



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 6 (13-29 marzo 2019)

Período del 13 al 16 marzo, 2019 en Guatemala

Período del 18 al 23 marzo, 2019 en El Salvador

con extensión del 25 al 27 de marzo en Guatemala, y del 27 al 29 de marzo en Honduras

*Redactado en abril 2019, por:*

*Abel Alexei Argueta Platero (UES) y Giuseppe Giunta (UNIPA)*  
*Coordinado por: Giuseppe Giunta (UNIPA)*

*Los reportes de los talleres temáticos han sido elaborados por los especialistas designados por los grupos:*

*Amelia García Castro -MARN/OA (Sismología y Sismotectónica);  
Eduardo Gutiérrez-MARN/OA y Dolors Ferrés-UNAM (Volcanología);  
Jacqueline Rivera- MARN/OA y Miguel Hernández-UES (Geohidrología)  
Luis Montenegro (Protección Civil)*

# Contenido

<b>1. Introducción</b> .....	2
<b>2. Antecedentes y página web</b> .....	4
2.1 Programación de la Jornada Plenaria 6.....	5
<b>3. Desarrollo actividades de RIESCA</b> .....	10
3.1. SISMOLOGIA .....	10
3.1.2. Antecedentes.....	10
3.1.3. Estado del avance de la base de datos macrosísmicos .....	11
3.1.4. Metodologías y herramientas implementadas.....	15
3.1.5. Resultados a nivel local y regional .....	17
3.1.6. Transferencia de informaciones sísmicas desde/a los Sistemas de Protección Civil .....	18
3.1.7. Propuesta de actividades en Sismología a realizar en el 2019 .....	19
3.2. SISMOTECTÓNICA .....	20
3.2.1. Introducción.....	20
3.2.2. Antecedentes.....	20
3.2.3. Estado del avance de la base de datos sismotectónicos .....	21
3.2.7. Metodologías y herramientas implementadas.....	21
3.2.8. Resultados a nivel regional.....	22
3.2.9. Resultados a nivel local .....	26
3.2.10. Transferencia de informaciones sismotectónica desde/a los Sistemas de Protección Civil .....	34
3.2.11. Propuesta de actividades en Sismotectónica a realizar a partir de abril de 2019 .....	34
3.3. VULCANOLOGIA .....	37
3.3.1. Introducción.....	37
3.3.2. Antecedentes.....	37
3.3.3. Componentes de trabajo de la mesa de vulcanología .....	37
3.3.4. Metodologías y herramientas implementadas.....	38
3.3.5. Resultados a nivel local y regional .....	39
3.3.7. Transferencia de información vulcanológica desde/a los Sistemas de Protección Civil.....	53
3.3.8. Propuesta de actividades en Vulcanología a realizar en el 2019 .....	53
3.4. GEOHIDROLOGÍA.....	58
3.4.1. Introducción.....	58
3.4.2. Antecedentes.....	59
3.4.3. Metodologías y herramientas implementadas.....	59
3.4.4. Estado del avance de la base de datos geohidrológicos .....	60
3.4.5. Transferencia de informaciones Geohidrológicas desde/a los Sistemas de Protección Civil .....	73
3.4.6. Propuesta de actividades en Geohidrología a realizar en el 2019 .....	73
<b>4. Avances con la Sinergia entre instituciones y Protección Civil</b> .....	75
4.1. Propuesta de actividades con la Dirección General de Protección Civil a realizar en el 2019 .....	78
<b>5. Conclusiones</b> .....	79

## 1. Introducción

Por sexta vez dentro del marco del desarrollo del Proyecto “Escenarios de Riesgo”, RIESCA se ha desarrollado una Jornada especializada en la generación de productos en las diferentes mesas temáticas, esto significa que los especialistas a nivel centroamericano han trabajado en continuidad mediante metas comunes con objetivos precisos como lo son la generación de cartografía actualizada referente a cada fenómeno e interés ya sea este Geohidrológico, Sísmico, Sismotectónico y Vulcanológico, generación de bancos de catálogos de sismos a nivel centroamericano, inventario de deslizamientos y otros.

En particular, las actividades 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.

Además, 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 desarrollo de este esfuerzo se encuentran también tareas orientadas para mejorar las capacidades de las Direcciones de Protección Civil de los países participantes RIESCA para brindar un mejor servicio a la ciudadanía. Los resultados ya conseguidos muestran notables avances en el cumplimiento de los objetivos principales, siendo que cada mesa temática aporta desde su punto de vista la preparación necesaria para el personal encargado del análisis de la información y por otro lado también dentro de las instituciones que utilizan este tipo de datos para la planificación de acciones conjuntas.

A lo largo de los talleres realizados en los últimos meses se han puesto en evidencia algunas importantes acciones en base al nivel de desarrollo de los varios temas de riesgos, como:

- Geología y Tectónica: uniformizar mapas de diferentes tipologías, detalle y escala.

- Vulcanología: los datos y mejores elaboraciones pertenecientes a algunas instituciones, a quien se refiere para intentar uniformizar conocimiento y procesos, colaborando con los demás países, también con la ayuda de investigadores especializados que han sido invitados a proveer sus aportes (ej. UNAM, UNA/OVSICORI).

- Sismicidad: los catálogos, aunque no se refieren a un largo periodo, incluyendo 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.

La Jornada 6ª ha incluido varias reuniones, plenarias, de coordinación e institucionales, todas que han respaldado la importancia del proyecto para Centro América, acompañado por instituciones como UNIPA, CNR, OGS y el IILA quienes han aportado capacidad técnica para desarrollar las tareas programadas durante esta jornada y las anteriores, siendo esto posible a través del financiamiento de la Agencia de Cooperación Italiana para El Desarrollo (AICS).

En dichas reuniones se ha discutido de conseguir con éxito los principales resultados finales del proyecto, y por eso se está elaborando un crono programa para el 2019, estableciendo los procesos y actividades que faltan, unas 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 se está generando para ayudar a los países que no consiguen ponerse al paso de los demás, empujando la resolución rápida de los problemas técnicos que condicionan los avances.

## 2. Antecedentes y página web

Como parte fundamental del proceso de fortalecimiento del conocimiento de los técnicos especialistas de cada institución de los países participantes RIESCA, se ha implementado el seguimiento de las diferentes mesas temáticas para dar continuidad a las actividades en el tercer año del proyecto.

Estas actividades involucran desde los años anteriores algunos componentes clave para el cumplimiento de los objetivos del proyecto, uno de ellos es la generación de información nueva por temática como cartografía en formato SIG y también en formato de impresión para su visualización, análisis, y distribución a organismos involucrados en la Protección Civil. Además de bases de datos organizadas de acuerdo a estándares adecuados en materia científica.

Por lo antes mencionado se ha trabajado el Aula Virtual con la ayuda de herramientas de almacenamiento para manejar grandes volúmenes de datos de forma organizada y estructurada, algo importante al respecto es que se ha buscado con esta metodología, centralizar la información generada para que los interesados en utilizar los productos elaborados puedan acceder a ellos de una forma fácil.

El acceso al Aula Virtual (<http://eduvirtual.cimat.ues.edu.sv/>) hace posible además el acceso directo a la página web del proyecto que permite la divulgación de información de manera efectiva y actualizada (<http://proyectoriesca.agronomia.ues.edu.sv>), ambas plataformas se encuentran en constante revisión, mantenimiento y alimentación de información por parte de los especialistas del proyecto de los diferentes países, todo con el objetivo de mejorar la comunicación y la intervención científica sobre los datos por parte de los involucrados RIESCA (El Salvador, Nicaragua, Guatemala y Honduras) añadiéndose en algunas actividades Costa Rica como apoyo técnico y acompañados de la Universidad de Palermo, OGS y CNR-IGG y el IILA de Italia bajo el financiamiento de la Agencia Italiana para el Desarrollo.

The image shows a screenshot of the RIESCA virtual classroom interface. On the left, there is a header with the RIESCA logo and a navigation menu with options: 'Novedades', 'Foro social', and 'Foro temático RIESCA'. Below this is a section titled 'Proyecto RIESCA - Resumen' with a detailed text description of the project. On the right, there is a 'NAVEGACIÓN' (Navigation) sidebar menu with the following items: 'Área personal', 'Inicio del sitio', 'Páginas del sitio', 'Curso actual', 'RRR' (with sub-items: 'Participantes', 'Insignias', 'General', 'Proyecto RIESCA - Resumen', 'Biblioteca Virtual RIESCA El Salvador', 'Biblioteca Virtual RIESCA Guatemala', 'Biblioteca Virtual RIESCA Nicaragua', 'Biblioteca Virtual RIESCA Honduras', 'Biblioteca regional'), and 'Mis cursos'.

*Figura 1 Estructura temática organizativa dentro del Aula Virtual*

## *2.1 Programación de la Jornada Plenaria 6*

La jornada se desarrolló en tres sedes en diferentes fechas:

- Guatemala del 13 al 16 de marzo, con extensión del 25 al 27 de marzo
- El Salvador del 18 al 23 de marzo
- Extensión en Honduras del 27 al 29 de marzo

La jornada de Guatemala también sirvió de preámbulo para el trabajo desarrollado en El Salvador el cual tenía como objetivo continuar con la elaboración de productos del tercer año de actividades del proyecto. Además, en Honduras se continuó con actividades de Geohidrología en este país.

**Programa de Jornada 6 RIESCA, del 13 al 16 marzo 2019, Guatemala**

<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Actividad</b>	<b>Lugar</b>	<b>Coordinación</b>
Martes 12		Llegada de las delegaciones Centroamericanas e Italiana a Guatemala	Aeropuerto Internacional Aurora  Terminal de autobus	Julio Luna
Miércoles 13	9:00 - 17:00	<b>Taller Temático Geohidrología</b> Consolidación datos Guatemala	CESEM-FIUSAC	Julio Luna Miguel Hernandez
	9:00 - 17:00	<b>Taller Temático Vulcanología</b> Consolidación datos vulcanología	INSIVUMEH	Roberto Mérida Carla Chung
	9:00 - 17:00	<b>Taller Temático Sismología – Sismotectónica</b> Consolidación de catalogo sísmico y caracterización de fallas sísmogénicas	INSIVUMEH	Amílcar Roca Alan Cosillo Eliana Esposito
Jueves 14	9:00 - 17:00	<b>Taller Temático Geohidrología</b> Consolidación datos geohidrología	CESEM-FIUSAC	Julio Luna Miguel Hernandez
	9:00 - 17:00	<b>Taller Temático Vulcanología</b> Consolidación datos vulcanología	INSIVUMEH	Roberto Mérida Carla Chung
	9:00 - 17:00	<b>Taller Temático Sismología – Sismotectónica</b> Consolidación de catálogo sísmico y caracterización de fallas sísmogénicas	INSIVUMEH	Amílcar Roca Alan Cosillo Eliana Esposito
Viernes 15	9:00 - 17:00	<b>Taller Temático Geohidrología</b> Consolidación datos geohidrología	CESEM-FIUSAC	Julio Luna Miguel Hernandez
	9:00 - 17:00	<b>Taller Temático Vulcanología</b> Consolidación datos vulcanología	INSIVUMEH	Roberto Mérida Carla Chung
	9:00 - 17:00	<b>Taller Temático Sismología – Sismotectónica</b> Consolidación de catálogo sísmico y caracterización de fallas sísmogénicas	INSIVUMEH	Amílcar Roca Alan Cosillo Eliana Esposito
Sábado 16	9.00 - 13:30	<b>Jornada Plenaria Guatemala</b> Discutir y Organizar resultados a trasladar a jornada en El Salvador	CESEM-FIUSAC	Julio Luna Giuseppe Giunta Abel Argueta Eduardo Gutiérrez
Domingo 17		Salida de las delegaciones Centroamericanas e Italiana a El Salvador	Aero Puerto Internacional La Aurora  Terminal de autobus	Julio Luna
Lunes 25 y Martes 26	9:00 - 17:00	<b>Taller Temático Geohidrología</b> Aplicación modelos geohidrológicos	CESEM-FIUSAC	Julio Luna Edoardo Rotigliano

*Programa de Jornada 6 RIESCA, del 18 al 23 marzo 2019, El Salvador*

<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Actividad</b>	<b>Lugar</b>	<b>Coordinación</b>
Domingo 17		<i>Llegada de las delegaciones Centroamericanas, Italiana y Mexicana a El Salvador</i>	<i>Aeropuerto Internacional Monseñor Romero Terminal de autobus</i>	<i>Abel Argueta</i>
Lunes 18	8:00 - 16:00	<b>Taller Temático Geohidrología</b> Revisión de los avances jornada Guatemala. Base de datos y revisión metodológicas	MARN Sala N°1Edificio2	Jacqueline Rivera Miguel Hernández
	8:00 - 16:00	<b>Taller Temático Vulcanología</b> Taller generación de mapa de amenaza por flujos de lava	MARN Sala Cerrón Grande Edificio 1, nivel 4	Dolores Ferrés Eduardo Gutiérrez
	8:00 - 16:00	<b>Taller Temático Sismología – Sismotectónica</b> Finalización de catálogo sísmico y caracterización de fallas sismogénicas y activas.	MARN Sala Sótano Edificio 2	Amelia García Luis Castillo Eliana Esposito
Martes 19	8:00 - 16:00	<b>Taller Temático Geohidrología</b> Revisión sistemática de los catálogos de deslizamientos	MARN Sala Olomega Edificio 1, nivel 2	Jacqueline Rivera Miguel Hernández
	8:00 - 16:00	<b>Taller Temático Vulcanología</b> Taller generación de mapa de amenaza por flujos de lava	MARN Sala N°1Edificio2	Dolores Ferrés Eduardo Gutiérrez
	8:00 - 16:00	<b>Taller Temático Sismología – Sismotectónica</b> Finalización de catálogo sísmico y caracterización de fallas sismogénicas y activas	MARN Sala Sótano Edificio 2	Amelia García Luis Castillo Eliana Esposito
Miércoles 20	8:00 - 16:00	<b>Taller Temático Geohidrología</b> Análisis de los datos de los eventos generadores de movimientos en masa (lluvia y sismo)	MARN Sala Olomega Edificio 1, nivel 2	Jacqueline Rivera Edoardo Rotigliano
	8:00 - 16:00	<b>Taller Temático Vulcanología</b> Taller generación de mapa de amenaza por flujos de lava	MARN Sala El Jocotal Edificio 1, nivel 4	Dolores Ferrés Eduardo Gutiérrez
	8:00 - 16:00	<b>Taller Temático Sismología – Sismotectónica</b> Relaciones entre sismicidad y sismotectónica para revisión de áreas sismogénicas	MARN Sala Sótano Edificio 2	Amelia García Luis Castillo Eliana Esposito
Jueves 21	8:00 - 16:00	<b>Taller Temático Geohidrología</b> Análisis de los datos de los eventos generadores de movimientos en masa (lluvia y sismo)	MARN Sala Olomega Edificio 1, nivel 2	Jacqueline Rivera Edoardo Rotigliano
	8:00 - 16:00	<b>Taller Temático Vulcanología</b> Taller generación de mapa de amenaza por flujos de lava	MARN Sala Cerrón Grande Edificio 1, nivel 4	Dolores Ferrés Eduardo Gutiérrez
	8:00 - 16:00	<b>Taller Temático Sismología – Sismotectónica</b> Avance de sismología y sismotectónica para fases final del proyecto	MARN Sala Sótano Edificio 2	Amelia García Luis Castillo Eliana Esposito



	9:00 -15:00	<b>Conversatorio Protección Civil entre habitantes comunidad y especialistas de Sismología, Vulcanología y Deslizamiento</b>	Complejo deportivo de El Progreso	Carlos Melendez Eduardo Gutiérrez Luis Montenegro Abel Arqueta
Viernes 22	8:00 - 16:00	<b>Taller Temático Geohidrología</b> Revisión de resultados en prueba piloto	MARN Sala Olomega Edificio 1, nivel 2	Jacqueline Rivera Edoardo Rotigliano
	8:00 - 16:00	<b>Taller Temático Vulcanología</b> Taller generación de mapa de amenaza por flujos de lava	MARN Sala Cerrón Grande Edificio 1, nivel 4	Dolores Ferrés Eduardo Gutiérrez
	8:00 - 16:00	<b>Taller Temático Sismología – Sismotectónica</b> Avance de sismología y sismotectónica, programación para finalización de relaciones sismológicas y sismotectónicas en fase final del proyecto.	MARN Sala Sótano Edificio 2	Amelia García Luis Castillo Giuseppe Giunta Eliana Esposito
Sábado 23	9:00 -11:00	<b>Jornada Plenaria El Salvador</b> Resultados de la jornada, Informe y programas finales	UES, Facultad de Ciencias Agronómicas	Abel Argueta Giuseppe Giunta Eduardo Gutiérrez
	11:00 –13:30	<b>Reunión coordinadores</b> Plan Operativo de los meses restantes 2019	UES, Facultad de Ciencias Agronómicas	Giuseppe Giunta Abel Argueta Eduardo Gutiérrez Julio Luna Maynor Ruíz Carlos Rubí
Domingo 24		Salida de las delegaciones Centroamericanas e Italiana a sus países de origen	Aeropuerto Internacional Monseñor Romero Terminal de autobus	Abel Argueta

*Programa de Jornada 6 RIESCA, del 27 al 29 marzo 2019, Honduras*

Miercoles 27	9:00 -15:00	<b>Trabajo de gabinete</b> (revisión de metodologías)	Instalaciones de IHCIT	Maynor Ruiz
Jueves 28	8:00 - 11:00	<b>Visita Campo a la zona de deslizamiento de la Colonia Ulloa</b>	Instalaciones de IHCIT	Maynor Ruiz
	12:00 - 13:00	<b>Coloquio: Landslide Susceptibility Maps</b>	Edoardo Rotigliano	Sala de audiovisuales Albert Einstein
	14:00 - 15:00	<b>Reunión para revisión del Plan de Estudios, Carrera de Geología: su estado de avance, pasos a seguir para su apertura en II Periodo Académico 2019</b>	Elisabeth Espinoza	Sala de Maestrías IHCIT
	15:00 - 17:00	<b>Trabajo de gabinete</b> (revisión de metodologías)	Maynor Ruiz	Instalaciones de IHCIT
Viernes 29	10:00 -12:00	<b>Reunión para dar a conocer alcances del mapa de susceptibilidad RIESCA y alcances proyecto control de deslizamientos coordinado por JICA</b>	Lidia Torres	A realizarse en Oficinas del Proyecto JICA en la Alcaldía del Distrito Central
	13:00 –17:30	<b>Taller: Análisis de susceptibilidad a movimientos en masa utilizando metodologías estadísticas</b>	Edoardo Rotigliano	laboratorios de computo de IHCIT

**3. Desarrollo actividades de RIESCA**  
**en Sismología, Sismotectónica, Vulcanología y Geohidrología**  
**presentado en la Jornada 6**

**3.1. SISMOLOGIA**

**3.1.1. Introducción**

En el periodo de 13 al 23 de marzo de 2019 se realizó la sexta jornada plenaria del proyecto RIESCA, en Guatemala del 13 al 16 y en El Salvador del 18 al 22 de marzo. En donde participaron miembros de las diferentes instituciones de los países que conforman el proyecto. Con el fin de realizar una revisión de los resultados alcanzados en el año 2018 en la base de datos macrosísmicos (MARCA-GEHN), así como la identificación de las actividades prioritarias a realizarse en el año 2019, orientadas a poder alcanzar los objetivos establecidos en el proyecto.

La mesa de sismología se mantuvo trabajando en el catálogo macrosísmicos, de la mano de su coordinadora Laura Peruzza desde Italia, con quien se tuvieron varias video conferencias a fin de aclarar conceptos metodológicos y dudas respecto a las aplicaciones y recursos empleados para el trabajo en el catálogo macrosísmicos.

**3.1.2. Antecedentes**

Tomando en cuenta los informes de la Jornada 5 realizada en noviembre de 2018, se menciona en este capítulo los resultados conseguidos y lo planificado para mostrar de manera más clara el avance del año 2019.

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

Hasta noviembre de 2018, se habían recopilados 1,312 punto de intensidad, correspondiente a 37 sismos. Los datos provienen de diferentes fuentes, entre ellos documentos históricos, informes internos, artículos científicos, cuestionarios en línea del USGS (did you feel it) y en la medida de lo posible se ha tratado de consultar las fuentes primarias.

Actividades planificadas para el año 2019:

- ✓ 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.
- ✓ 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.
- ✓ Usar herramientas de uso gratuito para publicar los datos macrosísmicos, 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.

### 3.1.3. Estado del avance de la base de datos macrosísmicos

Durante la jornada realizada en Guatemala y El Salvador, se realizó la recopilación y revisión de los datos macro sísmico a través de:

- 1) Actualización del Catálogo MARCA-GEHN con los nuevos sismos,
- 2) Ajustar el mini-catalogo, con la mejor ubicación posible de algunos sismos,
- 3) Verificar el campo macro sísmico para todos los terremotos de MARCA-GHEN
- 4) Insertar las correcciones necesarias en los archivos R, RP en la carpeta TOBEREVIDED

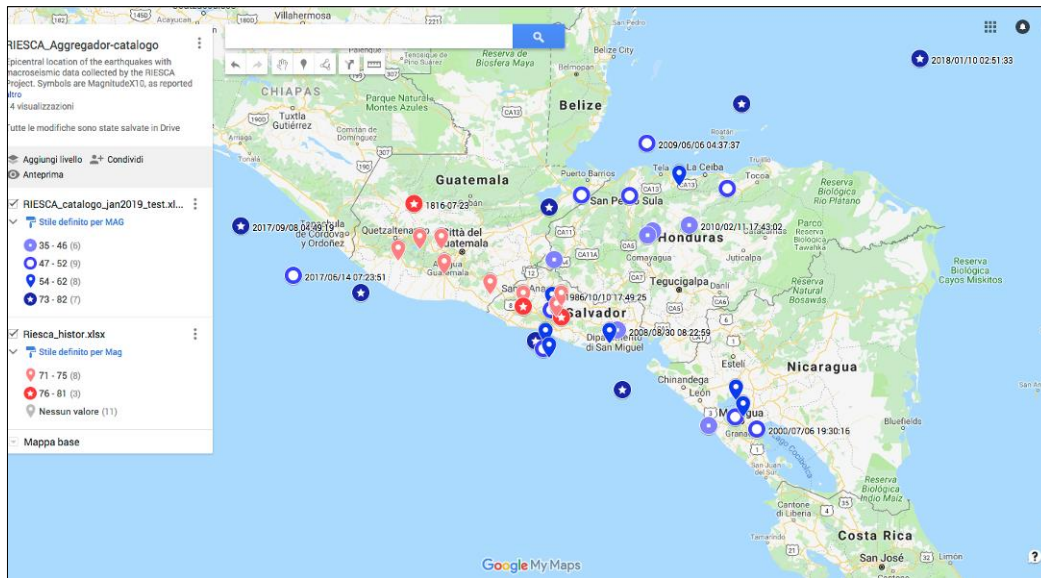
En el curso de las actividades y sobre la base de nuevas fuentes históricas la tabla de los terremotos a ser introducidos fue modificada. Para Guatemala fue agregado el terremoto de 1915, con epicentro en El Salvador, afectando regiones en territorio guatemalteco. El terremoto de 1917 en El Salvador fue sustituido por el de 1915 que tiene información bibliográfica. En el caso de Nicaragua se reporta la fecha correcta de 1898.

Los terremotos reportados en la tabla deben ser insertados (a excepción de 1915 y 1878 de El Salvador que ya fueron insertados) para su posterior revisión, así como realizar el respectivo control de calidad, y recopilación de fuentes bibliográficas.

GUATEMALA	EL SALVADOR	NICARAGUA	HONDURAS
1917-1918	2001 enero	1898	1855-56?
1915	2001 febrero	1631	
	1915		
	1878		

Para todos los terremotos del Archivo MARCA-GHEN se ha verificado el campo macro sísmico y realizado la corrección de las ubicaciones dudosas a través de los mapas de campos macro sísmicos. Las correcciones necesarias han sido enviadas a la coordinadora de Sismología Laura Peruzza.

El ultimo archivo KMZ del catálogo de macro-intensidades se encuentra disponible en la biblioteca virtual RIESCA El Salvador, Sismología en la carpeta Resultados\_6ta jornada. En la siguiente dirección web <http://eduvirtual.cimat.ues.edu.sv/mod/folder/view.php?id=2598>.



**Figura 2:** Mapa con datos de MARCA GEHN de archivo kmz actualizado hasta febrero de 2019 con epicentros definidos.

### 3.1.3.1 Estado del avance en Guatemala

Para la jornada del proyecto RIESCA realizada en Guatemala y El Salvador durante el mes de marzo, se agregaron 3 sismos nuevos a la base de datos MARCA-GEHN (Macroseismic Archive of Central América - Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua).

Los sismos agregados y sus respectivas fuentes se presentan a continuación:

**Sismo 06/09/1915:** Lardé J. (1916) El terremoto del 6 de septiembre de 1915 y los demás terremotos de El Salvador. Edición de la Revista de la Enseñanza. Biblioteca Nacional de España.



**Figura 3:** Localización de intensidades del sismo del 06/09/1915

**Sismo 25/12/1917 Ciudad de Guatemala:** Flores, A. (1970). Los Terremotos de Guatemala. Álbum Gráfico conmemorativo del Cincuentenario (1917/1918-1968). Guatemala, C.A.



*Figura 4: Localización de intensidades del sismo del 25/12/1917*

**Sismo 19/04/1902:** Engdahl E.R., Villaseñor A., 2002. Global seismicity: 1900-1999. In: W.H.K. Lee, H. Kanamori, P.C. Jennings, C. Kisslinger (eds), *International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology, Part A.*, Academic Press, San Diego, 665-690



*Figura 5: Localización de intensidades del sismo del 19/04/1902*

Además, los cuadros fueron enviados vía correo electrónico con toda la información que el formulario requiere. Para Guatemala aún falta determinar que sismo de los que se han trabajado en el proyecto será seleccionado para poder realizar el análisis respectivo determinando el epicentro y añadirlo al estudio de la mesa de sismo tectónica.

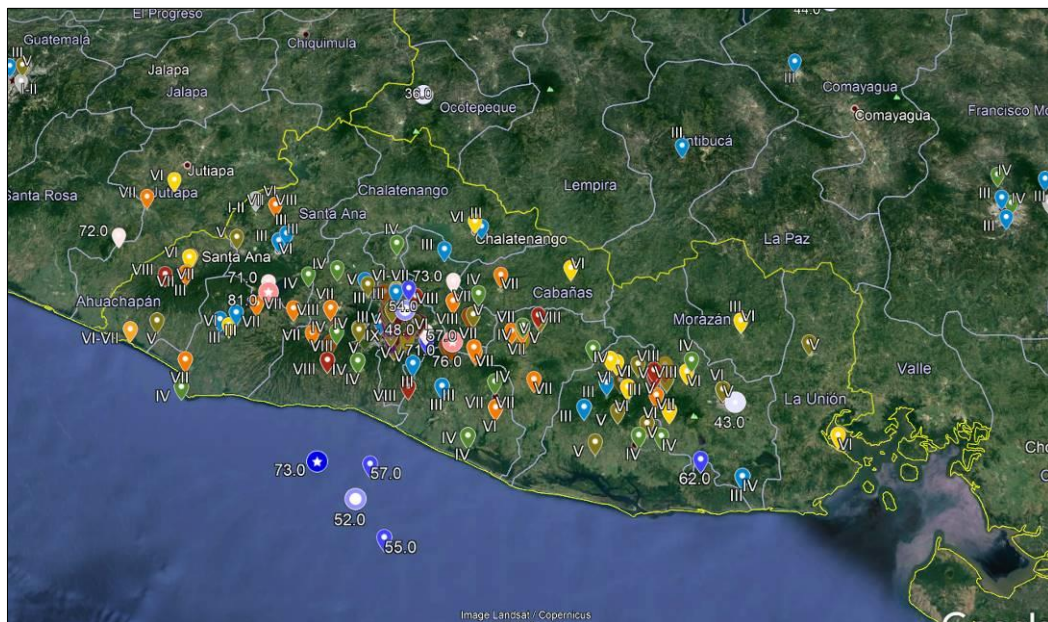
### **3.1.3.2 Estado del avance en El Salvador**

Durante las jornadas en Guatemala y El Salvador se trabajó en corregir los archivos del catálogo MARCA GEHN que necesitaban modificaciones, estos correspondían a los terremotos de 1951, 2008, 1719, 1831, 1748 y 2017. En su mayoría se introdujeron los campos con el ID del sitio y sus coordenadas respectivas, también se realizó la verificación de las fuentes bibliográficas. Estos archivos Excel corregidos fueron enviados a la coordinadora para que realizara la actualización respectiva del catálogo en línea y del archivo kmz.

También se verificaron los campos macro sísmicos de los eventos en el catálogo de MARCA GEHN, descartando los puntos anómalos tanto en intensidad como en localización. Las anomalías encontradas fueron enviadas a la coordinadora para la respectiva corrección del catálogo en línea.

Además, se trabajó en la recopilación de bibliografía sobre las intensidades reportadas de los dos terremotos de 2001 en El Salvador, tanto de enero como de febrero. Debido a que se cuenta con una gran cantidad de información se procedió a ordenarla y clasificarla en base a su contenido y su credibilidad, posteriormente se realizará la extracción de la información para su respectiva tabulación en el catálogo.

Durante la jornada desarrollada en El Salvador se realizó la introducción de dos nuevos eventos a la base, ellos fueron los terremotos de 1878 y 1915. Para ello se realizó una revisión bibliográfica de Lardé J. (1916), sobre el terremoto de 1915 y J. Lardé (1952), sobre el terremoto de 1878, Ruinas de Jucuapa y Chinameca. Finalmente, se agregaron los ID de los sitios y las coordenadas de los mismos.



**Figura 6:** Vista en Google Earth con datos de intensidad de El Salvador, tomado de la última versión de MARCA GEHN en formato KMZ, febrero 2019.

### 3.1.3.3 Estado del avance en Honduras

En la jornada realizada en noviembre de 2018 se dejó como tarea investigar 3 eventos más, para ser incluidos al mini catálogo en los meses posteriores.

Los terremotos a ser investigados son:

1. 25 de septiembre de 1855
2. 4 de agosto de 1856
3. 4 de febrero de 1976 (efectos y daños ocurridos en Honduras)

En diciembre de 2018 se procedió a agregar las referencias faltantes, con la finalidad de validar la información macro sísmica contenida en la hoja “1976-02-04\_HONDURAS\_ELIANA” de los efectos y daños ocurridos en Honduras por el terremoto del 4 de febrero de 1976 en Guatemala, la validación se hizo mediante fotografías, noticias de periódicos, etc.

Para finales de enero de 2019 se realizó el proceso de revisión de esta Información que posteriormente fue agregada a la hoja de trabajo “1976-02-04\_GUA\_29Jan19\_KP” agregándose así 22 IDPs más.

Durante los meses de diciembre a marzo de 2019, las siguientes fuentes han sido revisadas con respecto a los terremotos de 1855-56:

1. Sismología histórica de América Central (Peraldo y Montero\_1999\_pages 241-243)
2. Catálogo de Terremotos en Honduras 1539-1934 (Lawrence H. Feldman\_1986\_pages 162-165)
3. Estimated Intensities and Probable Tectonic Sources of Historic (Pre-1898) Honduran Earthquakes (PATRICIA SUTCH OSIECK\_1981)
4. Seismic Hazard Analysis of Honduras (Anne S, Patricia Sutch y Haresh C.\_1979\_page 36)
5. Temblores y Erupciones Volcánicas en C.A (Montessus de Ballore\_1888\_ page 75)
6. Exploraciones y Aventuras en Honduras (William Wells\_1857\_pages 207-208)
7. Les Tremblements de Terre (Perrey, Alexis\_1855\_page 98)
8. Les Tremblements de Terre (Perrey, Alexis\_1856\_page 60)

En la literatura vista solo Trujillo y Omoa se mencionan como los lugares afectados, lo que es muy poco. En este caso se trabajará con ellos más minuciosamente para corregir las posibles fuentes y efectos, para obtener mucha más información macrosísmica (IDPs) de la que actualmente se tiene.

En vista de la poca información encontrada hasta el momento, surgió la posibilidad de agregar nuevas propuestas. Durante el proceso de revisión de la literatura se encontró información macrosísmica del terremoto ocurrido el 14 de octubre de 1774, que ya fue añadida y validada. Actualmente se refleja en la hoja de trabajo” 1774-10-14\_HON\_28Jan19\_KP” agregándose 9 IDPs más.

Actualmente se está trabajando en la recopilación de una serie de fotografías referentes al terremoto ocurrido el 2 de diciembre de 1934, que podrían servir para obtener información macrosísmica que pueda ser añadida al mini catálogo.

De igual manera se siguen buscando nuevas fuentes (reportes, fotos, literatura, etc.) de información macrosísmica que complemente los datos ya existentes en el archivo MARCA-GEHN.

#### ***3.1.3.4 Estado del avance en Nicaragua***

Durante la jornada de Guatemala y El Salvador en el mes de marzo se trabajó en agregar los terremotos de 1931 y 1748 al catálogo de MARCA GEHN y en la corrección de sus epicentros. En los archivos Excel de ambos terremotos se agregó el ID del sitio y las coordenadas de los mismos. Estas correcciones fueron enviadas a la coordinadora para que se realizara la actualización del catálogo en línea.

#### ***3.1.4 Metodologías y herramientas implementadas***

Para la corrección del catálogo MARCA GEHN cada integrante trabajó en un archivo Excel por evento, en el que se realiza la corrección solicitada (sombreada en amarillo), se ingresa nueva información y se valida la ya existente. Para posteriormente enviar el archivo corregido a la coordinadora quien traslada esta información al catálogo en línea. Un ejemplo de los archivos Excel corregidos se muestra en la imagen siguiente.

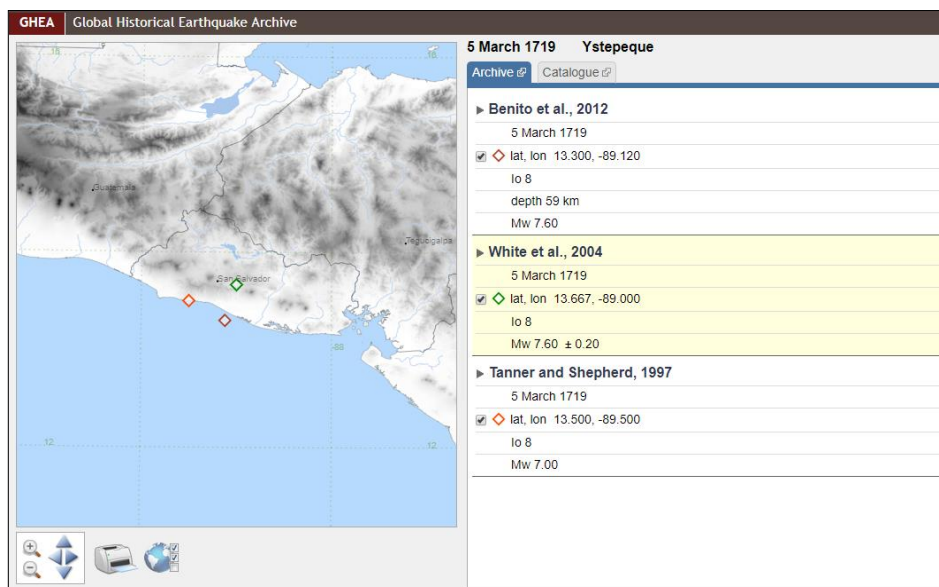


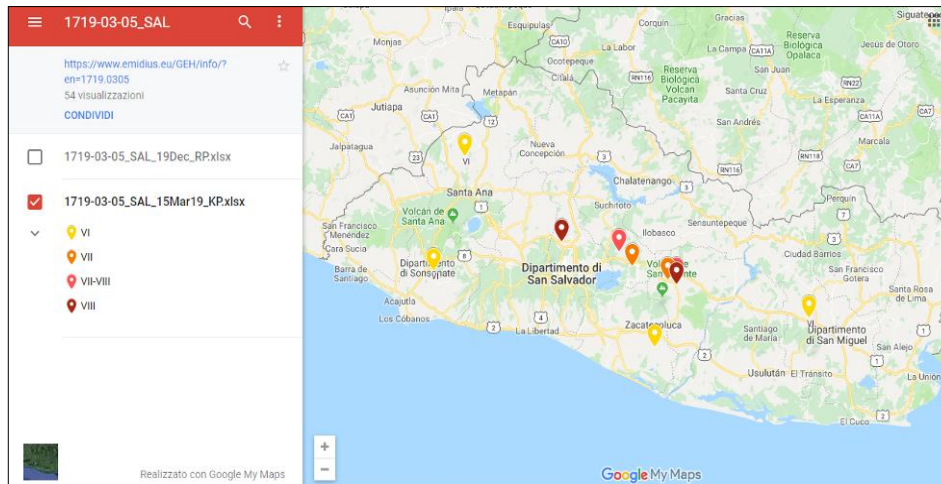
Date	Time	Err	RMS	Latitude	Longitude	Sma	Smin	Az	Depth	Err Ndef	Nsta	Gap	mdist	Mdlist	Qual	Author	OrigID
610673028	2017/06/14 07:23:51.47	3.06	1.510	-93.1019	12.3	5.2	230	10.0f	109	78	1.38					sc/NEIC_09192749	
http://www.isc.ac.uk/cgi-bin/web-db-vf?event_id=610673028&out_format=MS1.0&request=REVIEWED																	
2-feb.-18	laura	Inconsistency of date with references, check EVENTID or reference															
28-nov.-18	publo	Used Gazetteer GT to update sites															
11-dic.-18	eliana	Intensities were assigned to departments and not to localities. Insufficient data for macroseismic reconstruction															
17-dic.-18	laura	Inconsistency of the EVENTID/FULL REFERENCE TO BE FIXED, added link and biblio in 2nd sheet															
2-feb.-19	eliana	Insufficient data for macroseismic reconstruction (min 5 points)															

Figura 7: Ejemplo de archivo excel con datos macrosísmicos parte del catalogo MARCA GEHN.

Para la revisión y verificación del epicentro se usó la plataforma Global Historical Earthquake Archive, con la que se pretende seleccionar el epicentro más acorde al terremoto, considerando tanto la distribución del campo macrosísmicos como la sismotectónica del lugar. Aunque se encontró el inconveniente de no estar disponible para todos los sismos del catálogo.

En las siguientes imágenes se puede ver el ejemplo del terremoto histórico de 1719 en El Salvador, tres autores proponen diferentes epicentros, el campo macrosísmicos por su parte muestra que el epicentro propuesto por Benito et al., (2012) es más congruente con la distribución de las intensidades.

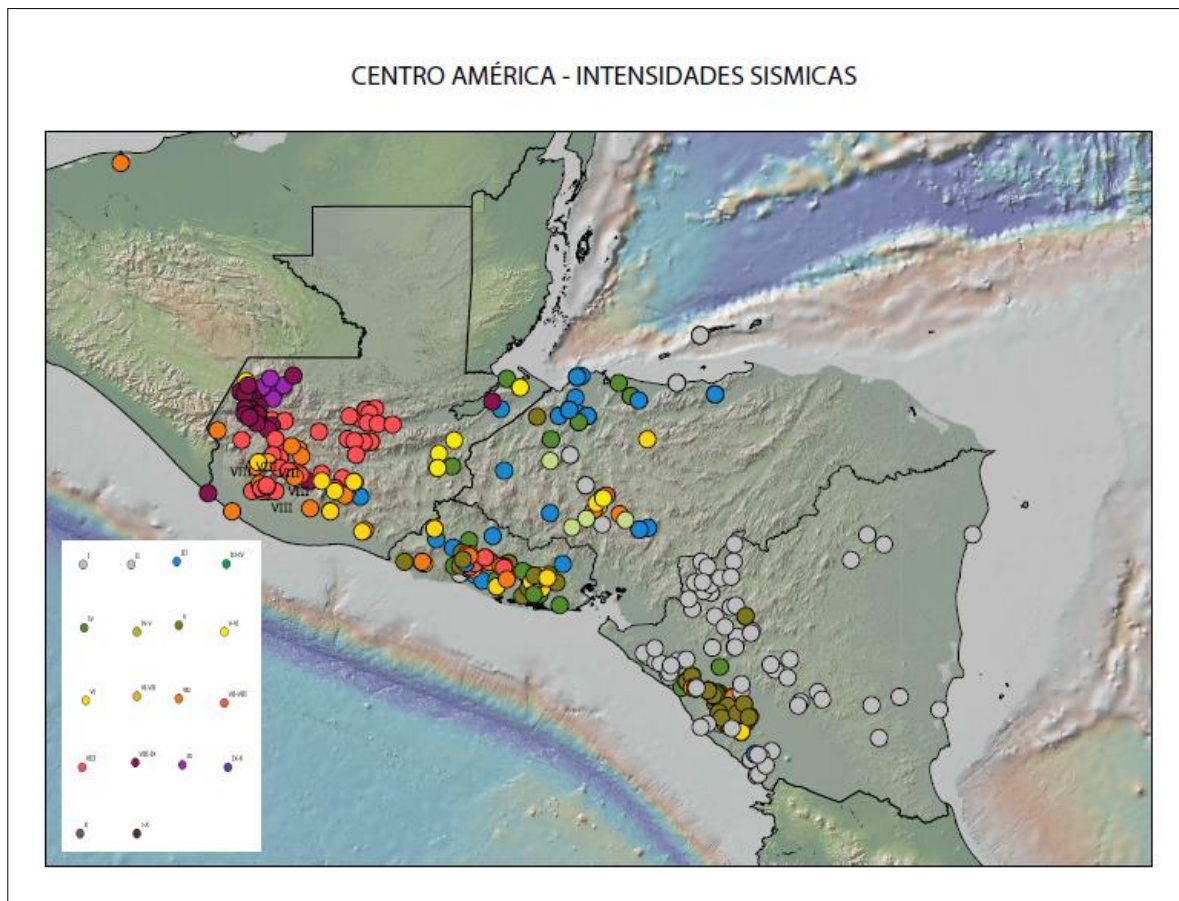




*Figura 8: Ejemplo de la selección del mejor epicentro del terremoto de 1719 considerando la distribución del campo macrosísmico.*

### 3.1.5. Resultados a nivel local y regional

A nivel regional se cuenta con un catálogo macrosísmico más completo, depurado y con mejores localizaciones de los puntos de intensidad. Cada país ha realizado las correcciones sugeridas por la coordinadora para los sismos pertinentes, así como la revisión de la distribución de los campos macrosísmicos de cada evento con el objetivo de identificar puntos erróneos. Se ingresaron y reevaluaron nuevos terremotos en el catálogo, los cuales han enriquecido el número de puntos de intensidad macrosísmica. Algunos de los terremotos reevaluados son: 1878 y 1915 para El Salvador, 1917 y 1918 para Guatemala y 1931 para Nicaragua. El siguiente mapa muestra la distribución de los puntos de intensidad del catálogo en su última versión en formato kmz. Falta la actualización del mismo con los nuevos datos depurados e ingresados en esta última jornada de marzo de 2019 realizada en Guatemala y El Salvador.



*Figura 9: Puntos de intensidad del Catálogo MARCHA GEHN, versión febrero 2019.*

### ***3.1.6 Transferencia de informaciones sísmicas desde/a los Sistemas de Protección Civil***

Durante la jornada en El Salvador representantes de protección civil se hicieron presentes. Ellos nos comentaban la importancia de poseer mapas con un mayor detalle de las zonas del país y la región.

Nos comentaban la necesidad de tener una base de datos macrosísmicos que les ayude a identificar las áreas más propensas a sufrir daños ante eventos sísmicos similares a los registrados históricamente en el país. También, nos expresaban que los mapas de macro intensidad les pueden brindar criterios para priorizar su respuesta al momento de los sismos fuertes, enfocando esfuerzos en zonas del país en las que se han identificado mayores daños en terremotos pasados, además de implementar campañas de concientización a la población de dichos sitios.

La integrante de la mesa de sismotectónica Amelia García participó en el conversatorio “Comprendiendo la amenaza de los fenómenos naturales”, entre habitantes de la comunidad El Porvenir, especialistas miembros del proyecto RIESCA en Sismología-Vulcanología-Deslizamiento y Protección Civil realizado en Santa Tecla el día 21 de marzo 2019.

Durante dicho evento se tuvo la oportunidad de compartir conocimientos con habitantes, miembros de protección civil y estudiantes del centro escolar El Porvenir. Los cuales se vieron muy interesados en comprender el fenómeno sísmico y volcánico que los amenaza, reconociendo la importancia de estar preparados y organizados antes la ocurrencia de un evento de esta naturaleza.

### *3.1.7. Propuesta de actividades en Sismología a realizar en el 2019*

Durante la última jornada se logró un avance sustancial para cada país, sin embargo, aún se tienen algunas actividades pendientes, éstas se presentan a continuación:

- ✓ Poner disponible en línea el Archivo del catálogo MARCA GEHN, junto con las monografías de cada terremoto analizado.
- ✓ Evaluar el potencial de usar los datos recopilados para generar escenarios de daños en tiempo real.
- ✓ Completar interpretación/caracterización de las áreas sismogénicas con listado de sismos del catálogo MARCA GEHN
- ✓ Usar herramientas de uso gratuito para publicar los datos macrosísmico, para que sean accesibles a todos.

## 3.2. SISMOTECTÓNICA

### 3.2.1. *Introducción*

Durante la sexta jornada plenaria del proyecto RIESCA llevada a cabo del 13 al 23 de marzo de 2019 en Guatemala y El Salvador. La mesa de sismotectónica realizó una revisión de los avances obtenidos hasta noviembre de 2018 y continuó con las metas propuestas en la jornada pasada.

Evaluar el potencial sismogénico de las fallas es algo vital cuando se quiere elaborar mapas con escenarios de riesgos sísmicos, para dicha evaluación se deben tomar en cuenta factores y parámetros de las fallas existentes como: magnitud máxima, intervalo de recurrencia, fecha del último terremoto grande, sismicidad asociada, actividad en el cuaternario, geometría de la falla, mecanismos focales asociados, morfología, etc. Con este enfoque se trabajó durante la plenaria del mes de marzo, tanto en Guatemala como en El Salvador.

### 3.2.2. *Antecedentes*

Tomando en cuenta los Informes de la Jornada V de noviembre de 2018, se copia en este capítulo los resultados conseguidos y lo planificado para hacer más claro el avance del 2019. 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.

Al final de la quinta sesión plenaria en noviembre del 2018 se propusieron algunas actividades a desarrollarse en 2019 para la mesa de 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

### **3.2.3. Estado del avance de la base de datos sismotectónicas**

La mesa de sismo-tectónica continuó con la clasificación de las fallas nacionales en: existentes, activas y sismogénicas en base a nueva información recopilada. Además de la depuración de los mecanismos focales correspondientes a sismos tectónicos, descartando los que no corresponden a fallamiento local o cortical para cada país.

Asimismo, se realizó una revisión de las diferentes zonificaciones sísmicas existentes para la región, comparando con la localización de la sismicidad para cada país (El Salvador y Guatemala).

Por último, se integraron los puntos de intensidad del catálogo de MARCA GEHN sobre el proyecto en QGIS con las diferentes fallas y mecanismos focales, para observar la distribución y densidad de puntos de intensidad sobre el marco sismo-tectónico de la región.

En El Salvador se realizó la unión de los datos macrosísmicos para algunos eventos importantes de cada país (El Salvador, Nicaragua y Honduras), para la interpretación/caracterización de las áreas sismogénicas a través de la asociación de los sismos identificados en MARCA-GHEN con condiciones tectónicas locales y regionales.

De los puntos presentados en el apartado anterior se trabajó en identificar y caracterizar las principales fuentes sísmicas regionales, análisis de datos macro-sísmicos junto con las fallas sismogénicas, revisión del mapa de MOHO y caracterizar las Fallas Sismogénicas a nivel Regional. Los demás puntos quedan pendientes de trabajar.

### **3.2.7. Metodologías y herramientas implementadas**

Ya que el objetivo es realizar mapas regionales de fuentes sismogénicas a ser tenidas en cuentas en estudios de amenaza y riesgo sísmico. Se pretende crear bases de datos de fallas activas sismogénicas (con un visor para visualizarlas en un mapa) que permita la actualización con resultados de publicaciones, estudios y otras bases de datos. Algunas herramientas utilizadas por los integrantes de la mesa son los Software QGIS, ArcGIS y catálogos sísmicos, así como diferente bibliografía y papers relacionados a la sismotectónica de la región.

Para la mesa de sismotectónica la información se ha trabajado en el siguiente orden:

- 1- Capa de fallas regionales existentes (fallas geológicas, nacionales y regionales, diferentes fuentes USAID, GEM, Harvard, etc.)
- 2- Capa de fallas activas y sismogénicas con sus diferentes atributos (parámetros geométricos e información relevante).
- 3- Capa con sismicidad cortical, sismos con magnitud mayor a 3.0 y profundidad menor a 30 km.
- 4- Capa con mecanismos focales de sismos con magnitud mayor a 3.0 de Harvard CMT y catálogos nacionales.
- 5- Capa con bandas de zonas sismogénicas, en base a distribución de datos macrosísmicos y localización de fallas activas y sismogénicas (en curso).
- 6- Clasificación de fallas en primero orden, segundo orden y tercer orden (En base a estructuras tectónicas importantes, ejemplo: graben, zona de falla de El Salvador (ZFES), etc.) (en curso).

Para abordar el trabajo realizado es necesario presentar las definiciones físico geológicas de las fallas:

**Fallas Activas:** toda falla que tenga registro de actividad sísmica desde el cuaternario (que presenta evidencias de movimiento) hasta la actualidad, en el mejor de los casos que existan registros instrumentales de la sismicidad, estudios paleo sismológicos y/o morfotectónicos. (escarpes, desvío de cursos de ríos, etc.).

**Fallas sismogénicas:** es toda aquella falla que, siendo una falla activa, presenta un comportamiento stick-slip, es decir, que está bloqueada durante un periodo intersísmico acumulando tensiones que cada cierto tiempo libera en forma de sismos y terremotos. Una falla potencialmente Sismogénica, es una que no presenta evidencia instrumental de movimiento reciente, pero que presentan una gran tasa de peligrosidad asociada a probables sismos con Mw hasta  $\approx 7.5$ , con intervalos de recurrencia entre cientos y miles de años.

En este proyecto consideramos como fallas activas sismogénicas aquellas con mayores dimensiones (mayores a 5.0 km de longitud) y mayor potencial de generar sismos grandes (terremoto característico o registrado mayor a 5.0), así como aquellas con evidencia de actividad sísmica histórica destructiva.

Se trabaja sobre un shape base que corresponde a las fallas existentes a nivel regional y se sobreponen las fallas nacionales clasificadas por sismogénicas y activas. La mayoría de estas fallas posee información del tipo de movimiento que presenta: 1) normal, 2) inversa y 3) strike-slip. Cada país recopila toda la información relacionada a los planos de fallas existentes, sismicidad asociada, registros históricos de sismos destructivos, mecanismos focales asociados, dimensiones de las fallas, ancho, largo, superficie de ruptura, etc. Toda la información recopilada es introducida en la tabla de atributos de cada plano de fallas.

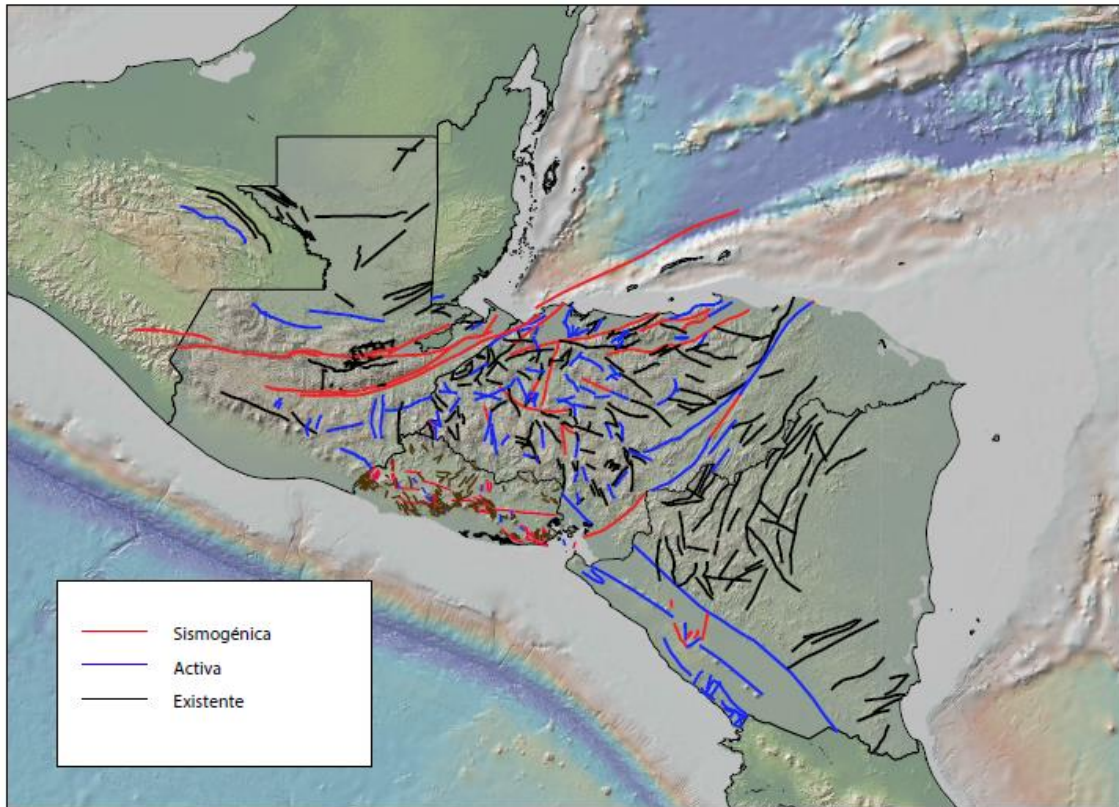
Para hacer una interpretación sismotectónica sobre el DEM con las fallas clasificadas en existentes, activas y sismogénicas, se cargan los puntos de intensidad del catálogo MARCA GEHN en QGIS, así como también el catálogo de sismicidad regional de CCARA. Se procede a crear un buffer para las fallas activas sismogénicas relacionadas con sismos destructivos, para la delimitación de éste se toma en cuenta el área de contribución de la falla, la zona de ruptura, el slip rake (para los países que no tiene mayor información se obtiene del catálogo de CCARA GEM) y la sismicidad relacionada a la misma.

### ***3.2.8. Resultados a nivel regional***

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la mesa de Sismotectónica en conjunto con la mesa de sismología. Al final se cuenta con un mapa de fallas a nivel regional con más detalle que el de la jornada de noviembre de 2018, ya que cada país trabajó en afinar sus shapes de fallas y la clasificación de las mismas en activas, sismogénicas y existentes. Vale la pena aclarar que las fallas sismogénicas también son activas, pero con mayor potencial de generar sismos destructivos (magnitudes mayores a 5.0).

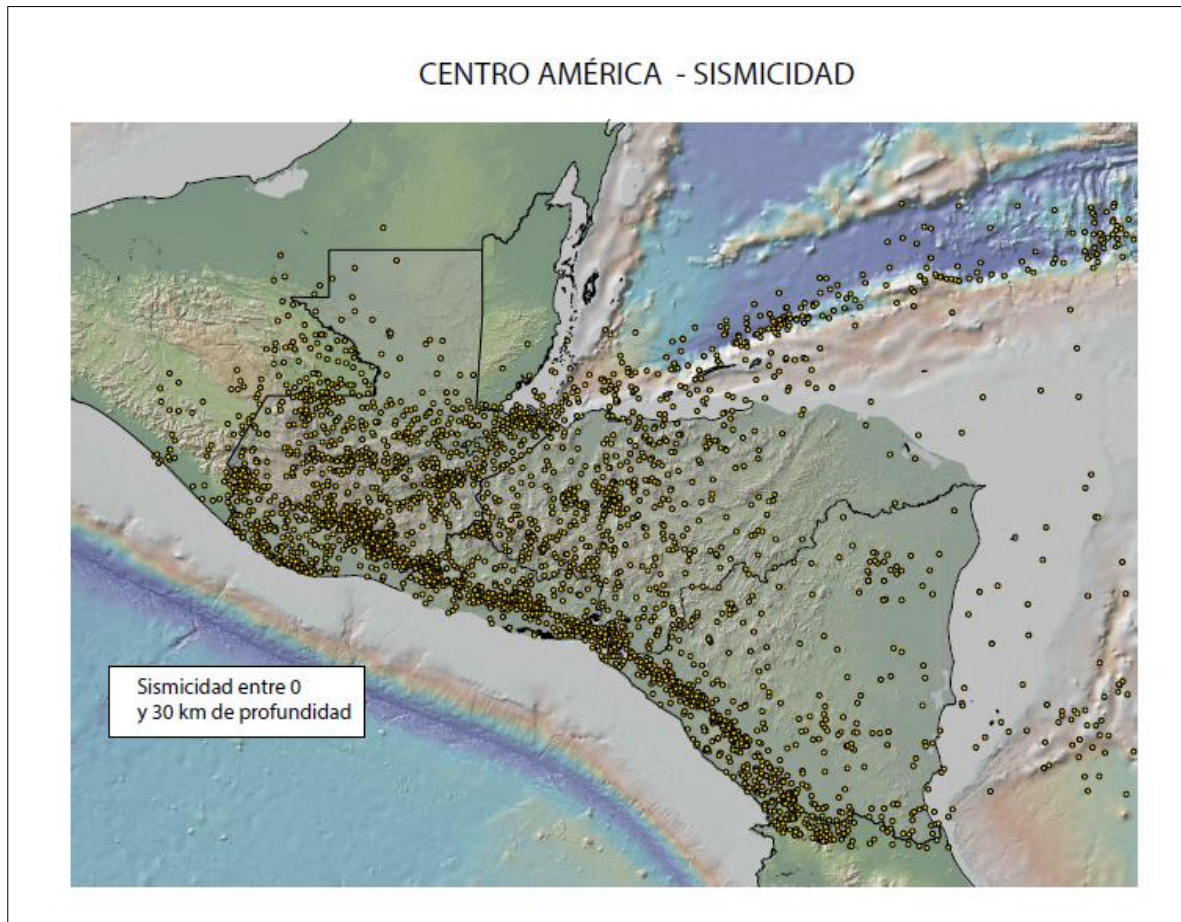
Para el caso de El Salvador la mayor parte de las fallas son activas ya que presentan evidencias de actividad cuaternaria y todas las grandes fallas de El Salvador son consideradas como activas sismogénicas. Por su parte las fallas de Centroamérica incluidas en la base de datos del GEM son fallas con actividad Cuaternaria.

## CENTRO AMÉRICA - FALLAS REGIONALES



*Figura 10: Mapa de fallas regionales obtenido al final de la VI jornada plenaria de RIESCA.*

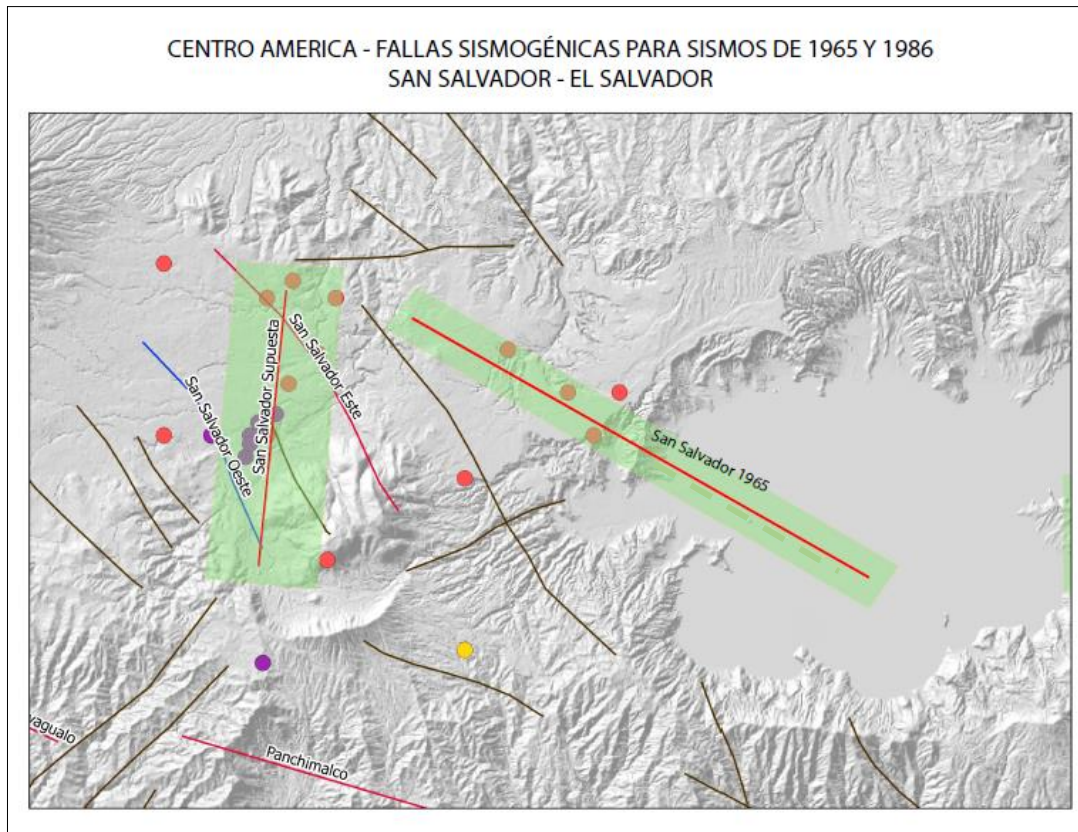




**Figura 11:** Mapa regional con sismicidad cortical obtenido al final de la VI jornada plenaria de RIESCA.

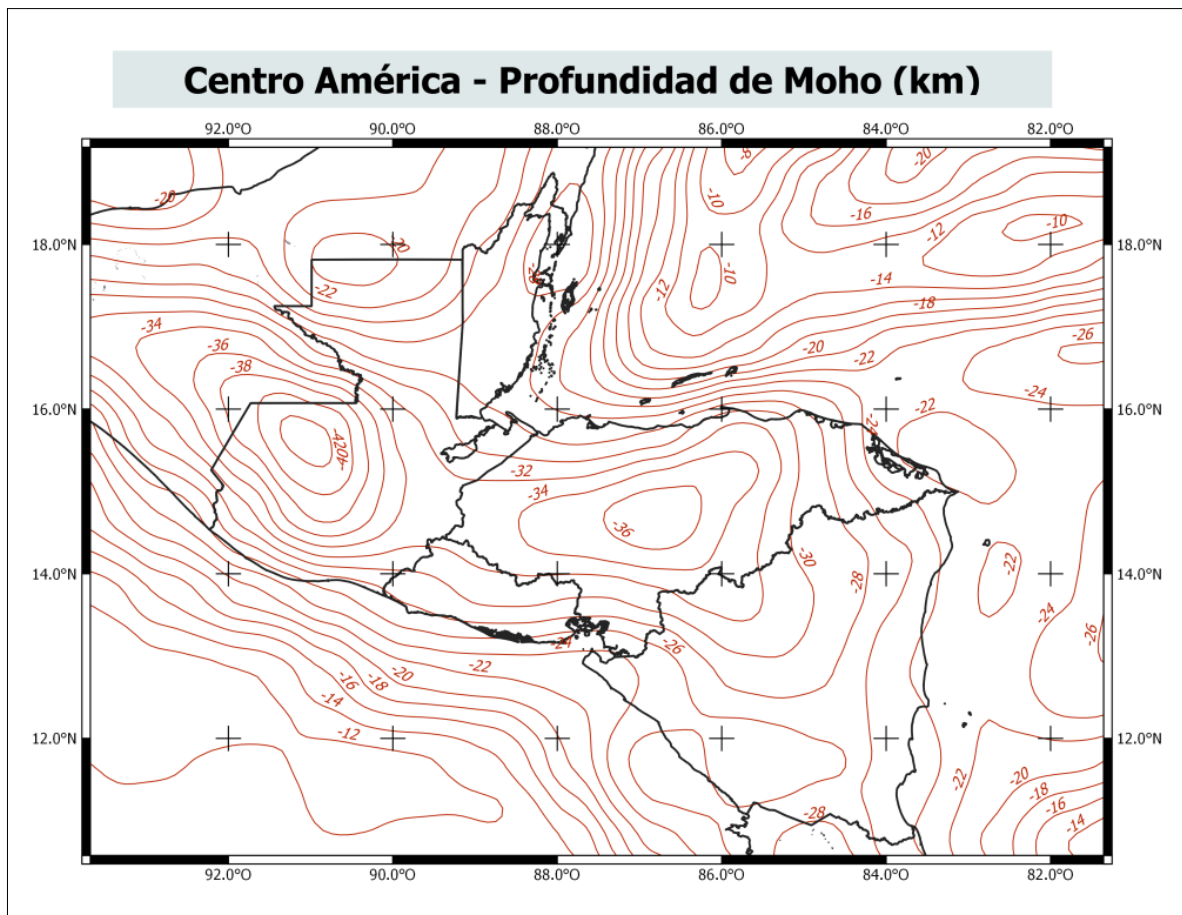
Para la identificación/caracterización de las áreas sismogénicas, los datos de sismicidad MARCHA-GHEN se compararon con condiciones tectónicas locales y regionales, apoyados en información bibliográfica específica. El ancho del búfer indica el grado de fiabilidad de los datos, entre mayor sea la amplitud, menor será la fiabilidad.

Se presenta el ejemplo del terremoto de 1965 y 1986 para El Salvador, para los cuales se dibujó un buffer considerando tanto la dimensión de la falla (largo, ancho, buzamiento) como la distribución del campo macrosísmicos. El segmento punteado de la falla de San Salvador 1965 en el lago Ilopango es un segmento propuesto por (Alonso-Henar et al., 2018).



**Figura 12:** Análisis sismotectónico de los terremotos de 1965 y 1986 de El Salvador, en verde se observa el buffer dibujado manualmente para fallas sugeridas por (Alonso-Henar et al., 2018) consideradas por Mixco, (2019) en la reevaluación de amenaza sísmica para El Salvador.

Durante la jornada también se realizó una revisión del mapa de Moho elaborado en la jornada de noviembre de 2018, se comparó la profundidad de la sismicidad del catálogo regional de CCARA con las profundidades obtenidas en el mapa. Se pudo observar que la variación de la profundidad del Moho en Centroamérica permitirá delimitar una profundidad para sismicidad cortical para cada país.



*Figura 13: Mapa de profundidad de Moho revisado en la jornada de marzo de 2019.*

### 3.2.9 Resultados a nivel local

A continuación, se presentan los resultados obtenidos por cada país en la última jornada de trabajo desarrollada del 13 al 23 de marzo de 2019 en Guatemala y El Salvador. Se describen las actividades realizadas y los avances obtenidos hasta la fecha. Los mapas presentados a continuación se encuentran disponibles en la biblioteca virtual RIESCA El Salvador, Sismología, en la carpeta Resultados\_6ta jornada en el siguiente link <http://eduvirtual.cimat.ues.edu.sv/mod/folder/view.php?id=2598>.

#### 3.2.9.1 Estado del Avance en Guatemala

Durante la jornada de marzo de 2019 se tenía como objetivo la finalización del catálogo sísmico, la caracterización de las fallas sismogénicas y activas para la región (Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua). Para el caso de Guatemala se consolidó un catálogo de 15,680 sismos.

Por otra parte, el primer criterio que se logró unificar fue el de crear un filtro para los sismos con profundidades menores a 30 Km y además de descartar los sismos superficiales de la zona subducción de las costas del Pacífico, debido a que están fuera de nuestro campo de estudio (sismicidad cortical).

Además se trabajó en el shape de fallas regionales, locales y existentes y se procedió a comprobar la congruencia de las fallas y el Modelo de Elevación Digital (DEM, por sus siglas en inglés) y luego se procedió a unificar criterios sobre cómo categorizar dichas fallas llegando a la conclusión que las fallas que tuvieran una longitud menor a 5 km y la sismicidad asociada

a dicha falla no sobre pasaba magnitudes mayores a 5 se le denominaría falla activa por el contrario si la falla tenía una extensión mayor a 5 km y sus sismicidad mayor a 5 en magnitud, entonces sería una falla sismogénica y para todas aquellas fallas que no se tuviera información sería catalogadas como fallas existentes.

Durante la Jornada, se estuvo trabajando en las relaciones entre sismicidad y las fallas además de proponer una zonificación de áreas sismogénicas para la región (Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua).

Luego de una extensa discusión sobre la mejor zonificación, se llegó a la conclusión de que un buffer de 10 km de ancho sobre las fallas regionales sería el método más acertado y para el caso de Guatemala, se validó la zonificación propuesta en RESIS II, sin embargo, en las futuras jornadas aún se seguirá evaluando otras opciones.

Por otra parte, también se trabajó y discutió sobre los sismos históricos de la región buscando y recabando información descriptiva relevante con la que se pueda deducir o suponer una magnitud para dichos sismos.

Por último, se procedió a unificar el producto de cada país (shapes) para consolidar los avances de la jornada y poder trabajar en la presentación los avances.

### 3.2.9.2. *Estado del Avance en Honduras*

Algunas de las Actividades propuestas por Honduras para el año 2019 son las siguientes:

- Caracterizar geometría de fallas, con información existente. Marzo-junio 2019.
- Identificar fuentes de información más local y de buena calidad, INETER, MARN e INSIVUMEH, para mejorar el mapa de sismos, así como de mecanismos focales. Mayo 2019.
- Instalar los equipos adquiridos para red sísmica universitaria. Marzo-agosto de 2019. Dependiendo de fondos para movilización.
- Mejorar el mapa geológico de Tegucigalpa. Mayo-Julio 2019.
- Relacionar datos macrosísmicos con zonas sismogénicas. Julio 2019.

Los resultados de la jornada realizada en Ciudad de Guatemala, Guatemala y San Salvador, El Salvador sirven de complemento a los trabajos realizados previamente.

Este trabajo se inició previo la realización del 4 jornada RIESCA, para ello se trabajó previamente con una tabla de clasificación de parámetros mecánicos de fallas a nivel nacional, dicha tabla de clasificación fue proporcionada por Amelia García, quien funge como coordinadora de la mesa temática.

Debido a que en Honduras existe muy poca información relacionada a fallas geológicas, se procedió a llenar los campos de dicha tabla que únicamente se podían obtener de análisis e interpretación geológica.

Previamente se había trabajado en un formato de llenado de datos mecánicos de fallas, esto fue realizado en noviembre 2018, sin embargo, se modificó en marzo 2019.

**Tabla 1.** Parámetros de fallas. (Noviembre 2018).

Nombre	Tipo_de_Fa	Clas_fault	Strike	Dip	Tipo_de_ru	Categoría	Actividad
Falla El Tablón	Normal	1	0	0	Lateral left	Existente	Inactiva
Falla El Infierno	Normal	1	0	0	Lateral left	Existente	Inactiva
Falla El Aguacate	Normal	1	0	0		Interpretada	Inactiva
Falla Oloman	Normal	1	0	0		Interpretada	Inactiva
Falla Quimistrán	Normal	1	0	0		Existente	Inactiva
Falla Chamelecon	Strike Slip-dx	3	0	0		Existente	Sismogénica
Falla Guayape	Strike Slip-sx	3	0	0	Lateral left	Existente	Sismogénica
Falla Montaña de Patuca	Inversa	2	0	0		Interpretada	Inactiva
Falla Valle de Catacamas	Normal	1	0	0		Existente	Activa
Falla Pedernales	Normal	1	0	0		Existente	Inactiva
Falla Micuiaderos	Strike Slip-dx	3	0	0		Interpretada	Inactiva
Falla Campanario	Strike Slip-sx	3	0	0		Existente	Activa
Falla de Omoa	Inversa	2	0	0		Existente	Activa
Falla Cerro Azul	Strike Slip-sx	3	0	0		Existente	Inactiva
Falla Cerro Grande	Normal	1	0	0		Interpretada	Inactiva
Falla Yoro	Normal	1	0	0		Existente	Inactiva
Falla El Ocotal	Normal	1	0	0		Existente	Inactiva
Falla del Aguán	Strike Slip-sx	3	0	0		Existente	sismogénica
Falla Sierra Rio Tinto	Normal	1	0	0		Existente	Inactiva

Nuevamente, debido a la ausencia de información de parámetros como; magnitud de momento generada por sismos ( $M_w$ ), área de ruptura, dip, rake, zona sísmica y slip rate, se decidió únicamente incluir los parámetros que se han obtenido de fuentes confiables, en el caso de no existir no se incluirán. En lo relacionado a slip rate (mm/año) se han utilizado los valores proporcionados por GEM, que para el caso de Honduras únicamente existen para 5 fallas importantes.

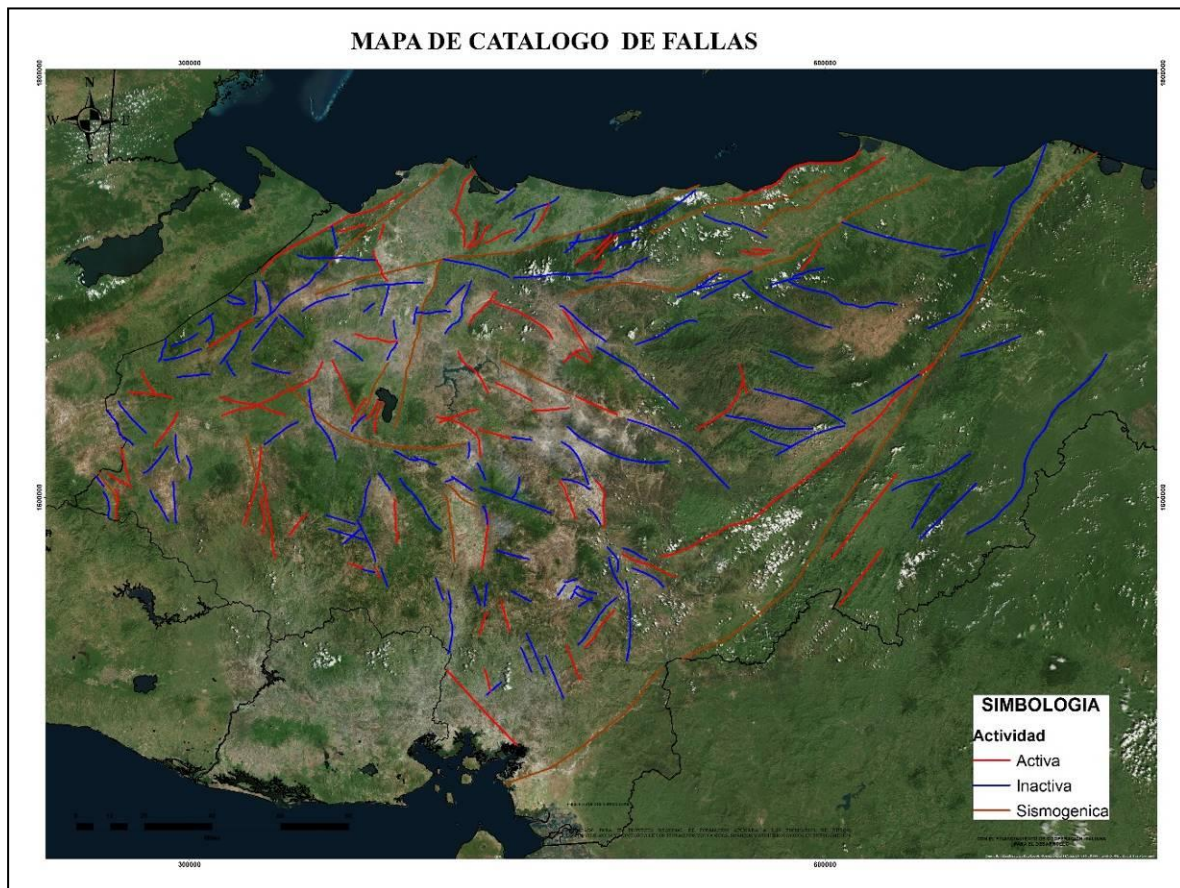
**Tabla 2.** Tabla de parámetros de fallas. (Noviembre 2018).

Código	Nombre	Rumbo (strike)	Tipo de falla
HN1	Falla El Tablón	N80E	Normal
HN2	Falla El Infierno	N85E	Normal
HN3	Falla El Aguacate	N48E	Normal
HN4	Falla Oloman	N28E	Normal
HN5	Falla Quimistrán	N50E	Normal
HN6	Falla Chamelecon	N50E	Strike Slip-dx
HN7	Falla Guayape	N30E	Strike Slip-sx

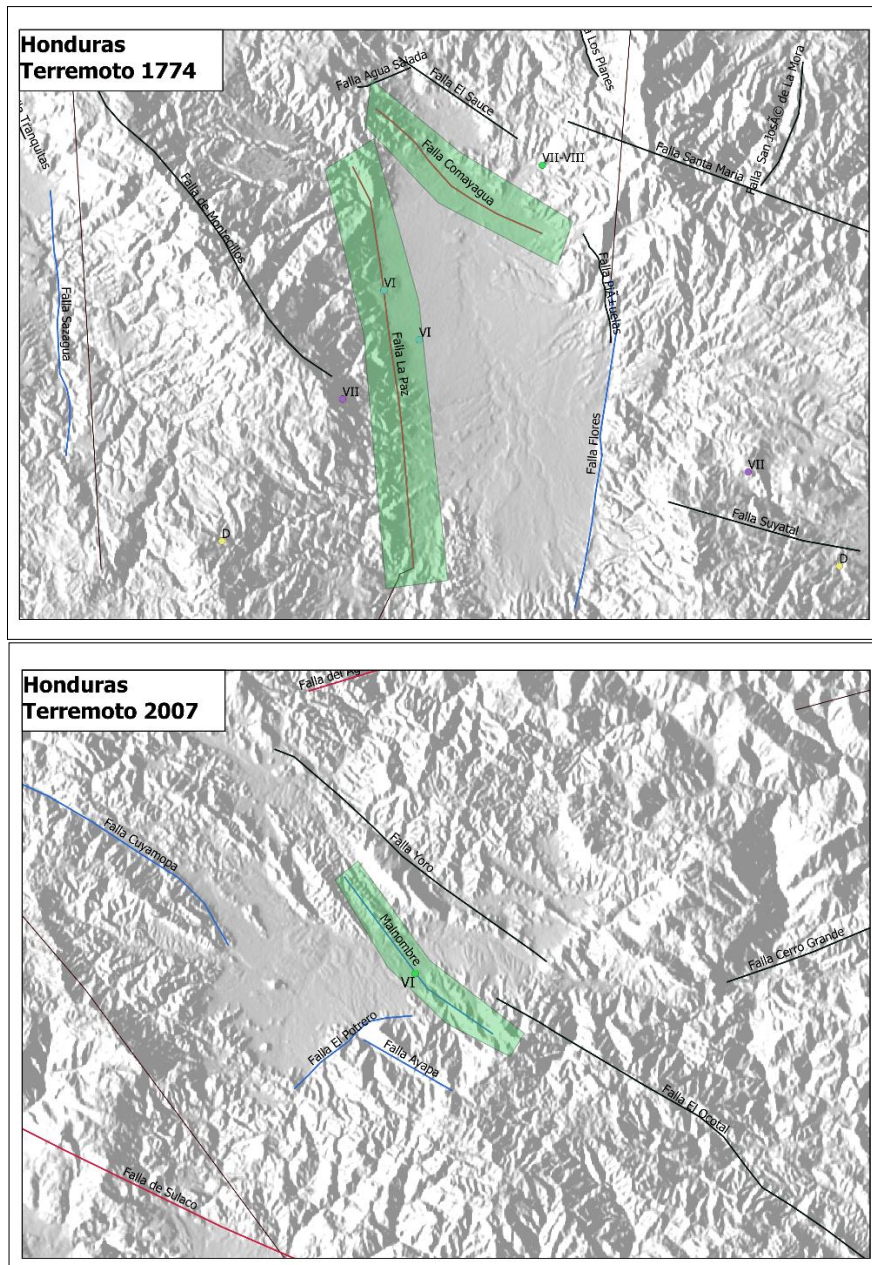
Con los datos homogenizados se procedió a la clasificación de las fallas en tres tipos de clases; primer, segundo y tercer orden. Este orden está definido la importancia de las estructuras en función de su relevancia regional, así como la actividad sísmica relacionada a ellas, estas serán de primer orden, para el caso de Honduras se consideran las estructuras de carácter regional.

Las fallas de segundo orden están asociadas principalmente a las estructuras tipo graben, de dirección preferencial N-S, las fallas de tercer orden son pocas, están relacionadas a fallamiento local, con longitudes menores a 5 km, lo que no es considerado en este estudio.

Se asignó la clasificación de fallas activas y sismogénicas, el criterio de asignación de esta categoría se definió como aquellas fallas que tengan actividad sísmica mayor a 5 Mw, incluso mayores a 6 Mw, las fallas activas son aquellas que generan sismicidad menor a 5 Mw y que según el catálogo sísmico de GEM presentan más de 3 eventos sísmicos relacionadas a ellas.



*Figura 14. Mapa de fallas Honduras actualizado en marzo de 2019.*

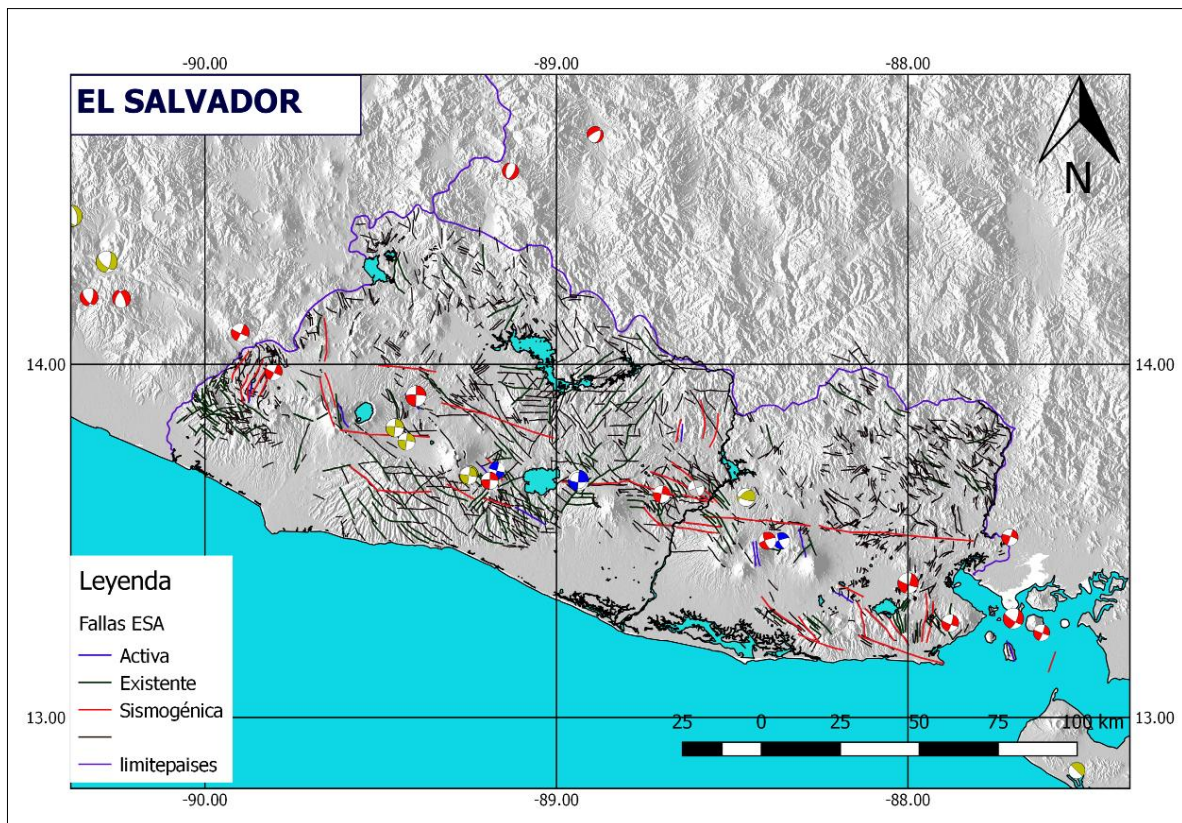


**Figura 15:** Análisis de los terremotos de 1774 y 2007 para Honduras, delimitación de buffers para áreas sismogénicas con diferentes grados de fiabilidad.

### 3.2.9.3. Estado del Avance en El Salvador

Durante las jornadas de trabajo realizadas en Guatemala y El Salvador se realizó la revisión de la base de fallas activas y activas sismogénicas para El Salvador, para ello se verificó la consistencia entre la clasificación de las fallas y la sismicidad histórica asociada, así como sus respectivos parámetros geométricos.

También se trabajó en la depuración de mecanismos focales corticales y en la revisión del epicentro de los sismos correspondientes, ya que para algunos terremotos corticales se encontró que la localización encontrada en el catálogo del USGS y el ISC no corresponde a la localización real del sismo y no es acorde a la tectónica existente.

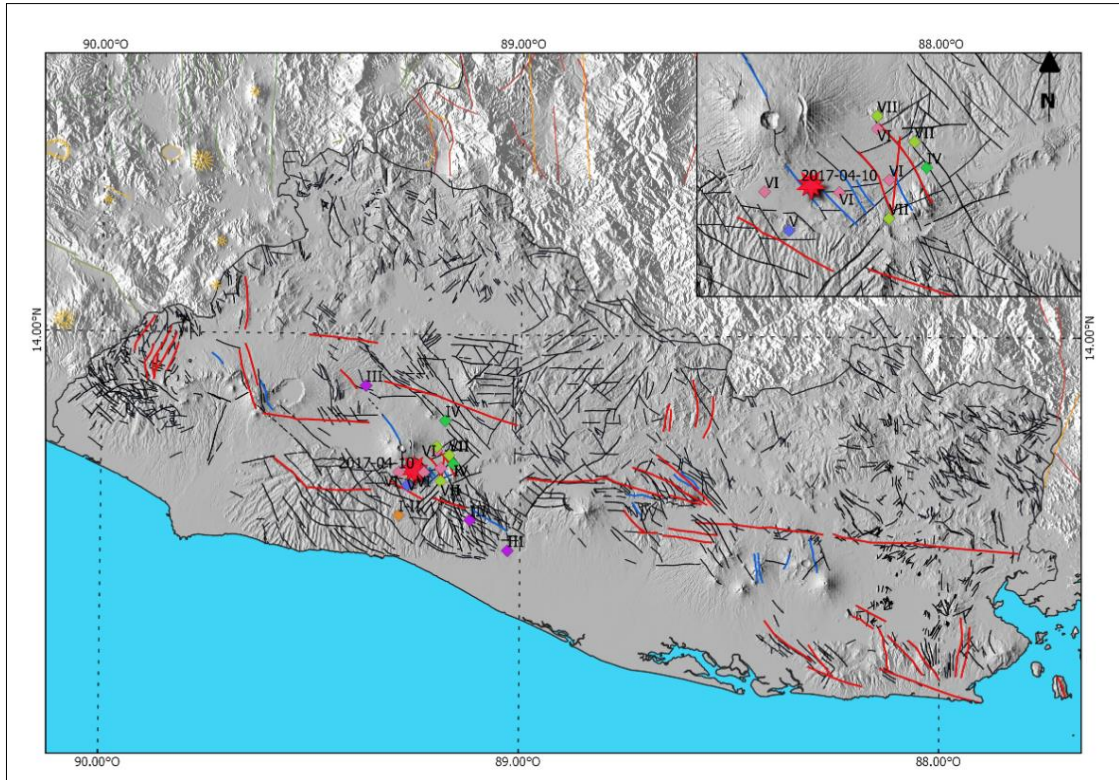


**Figura 16:** Planos de fallas principales en El Salvador y mecanismos focales de sismos con magnitud mayor a 4.0 del catálogo global del CMT y del catálogo del MARN.

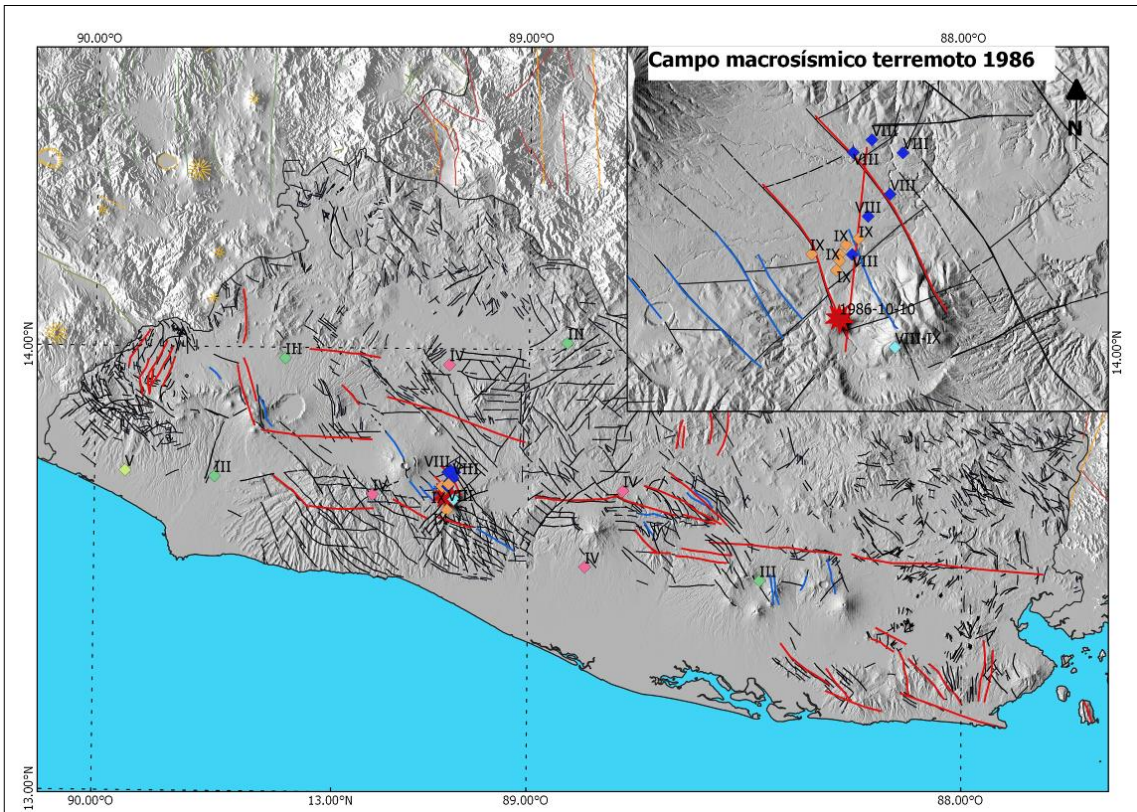
Además, se trabajó en la incorporación de los datos macrosísmicos al proyecto de Sismotectónica con el objetivo de identificar zonas o áreas sismogénicas. En los siguientes mapas la estrella roja representa el epicentro del sismo tomado del catálogo depurado del MARN y los rombos de colores representan los puntos de intensidad, importante mencionar que aún falta homogeneizar el color de cada intensidad a la paleta propuesta por Laura Peruzza en noviembre de 2018.

Las fallas están clasificadas como: existentes en negro, activas en azul y sismogénicas en rojo. Para el caso del Área metropolitana de San Salvador bibliografía reciente (Alonso-Henar et al., 2018) identifica una nueva falla activa sismogénica con dirección norte sur, como se puede observar en el zoom derecho superior de cada mapa. Aún se está revisando información que valide la existencia de dicha falla, que es congruente con la distribución de daños del terremoto de 1986.

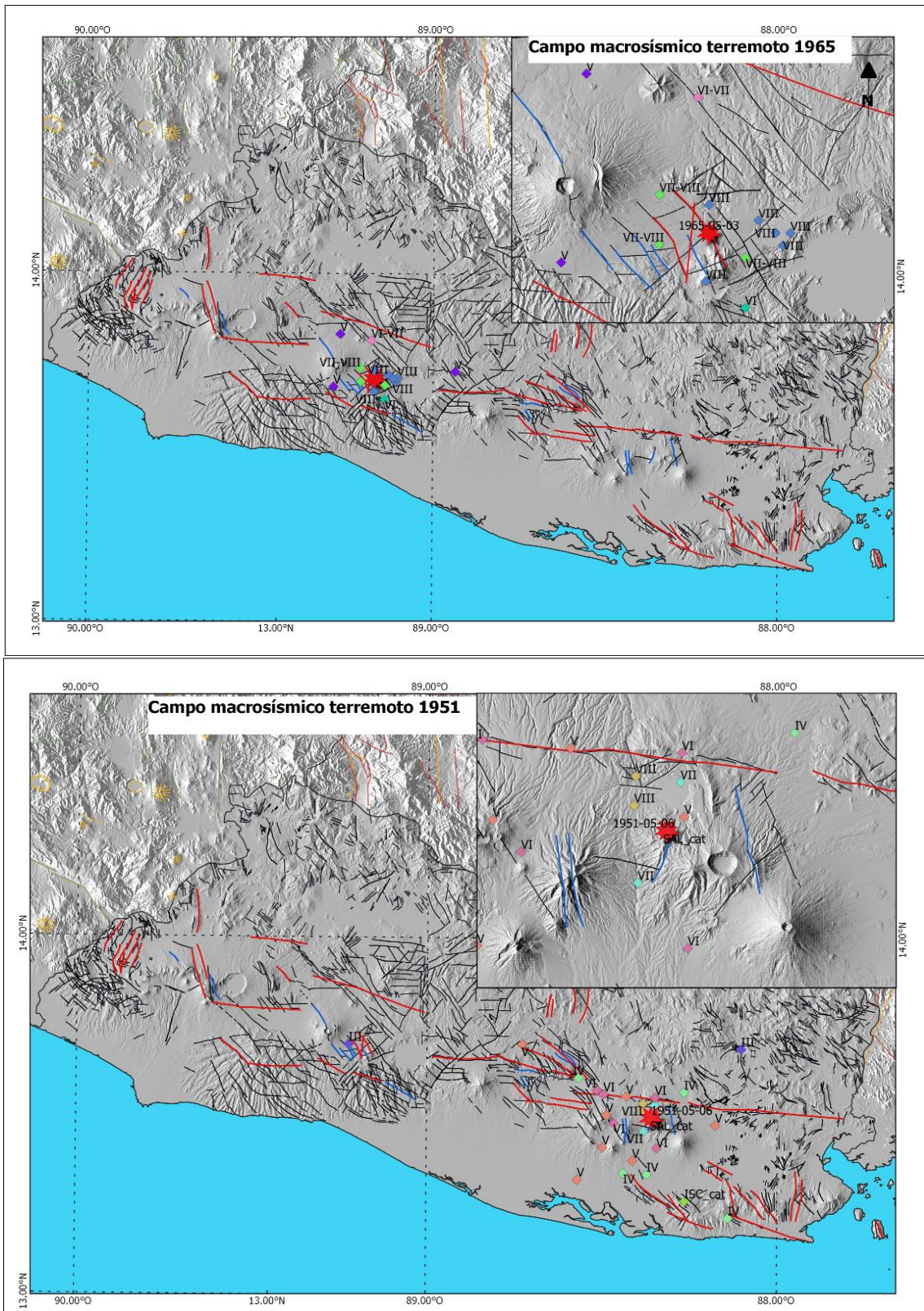




Sismo del 10 de abril de 2017



Campo macrosísmico terremoto 1986



**Figura 17:** Campos macrosísmicos para los terremotos de 2017, 1986, 1965 y 1951 de El Salvador sobre plano de fallas activas y sismogénicas.

### 3.2.9.4. Estado del Avance en Nicaragua

Durante la jornada de trabajo se realizó una revisión de planos de fallas existentes, activos y sismogénicos para Nicaragua, complementando la tabla de atributos de fallas activas y sismogénicas con los parámetros geométricos de la falla, slipe rate, datos de GPS y demás información encontrada.

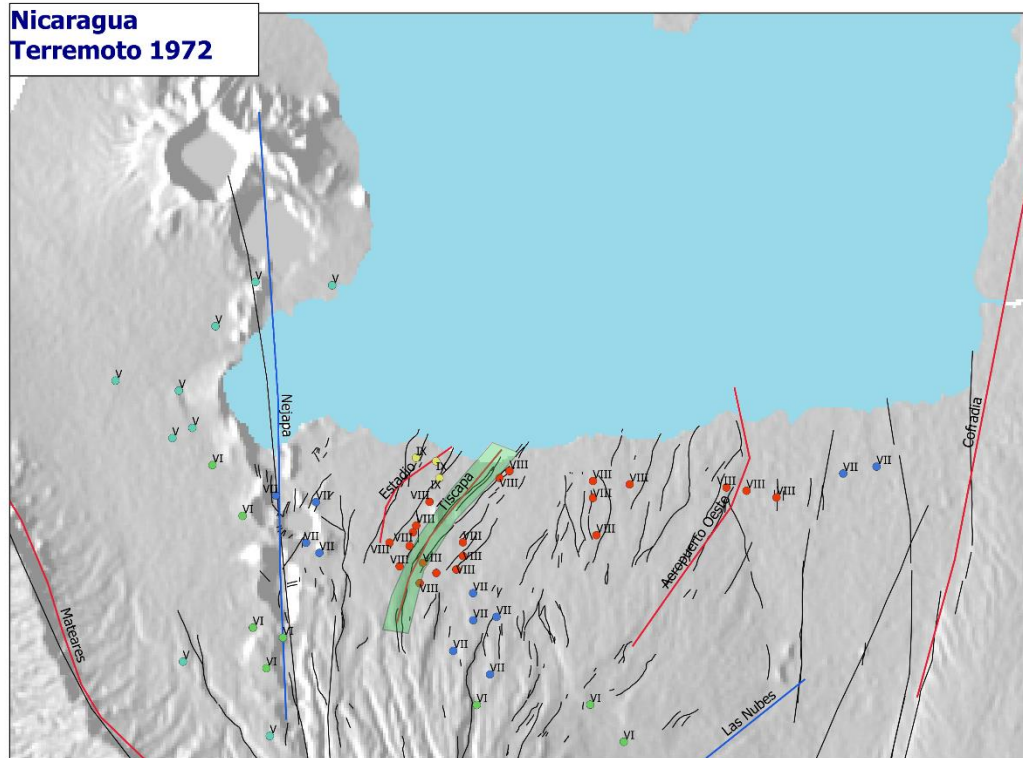


Figura 18. Análisis del terremoto de 1972 para Nicaragua, delimitación de buffer para área sismogénica.

### 3.2.10. Transferencia de informaciones sismotectónica desde/a los Sistemas de Protección Civil

Se pretende proporcionar los mapas elaborados a los diferentes organismos de Protección civil, para aportar mayor información sobre zonas sismogénicas para la región, que les permitan elaborar planes de contingencia en caso de terremotos dando énfasis en las zonas con mayor vulnerabilidad y riesgo sísmico.

### 3.2.11. Propuesta de actividades en Sismotectónica a realizar a partir de abril de 2019

- ✓ Unificar shapes de fallas activas y sismogénicas a nivel regional
- ✓ Validar el mapa del MOHO elaborado en la jornada de noviembre de 2018.
- ✓ Finalizar con la delimitación de bandas o zonas sismogénicas en base a datos macrosísmicos, ambiente sismotectónico y análisis de mecanismos focales.
- ✓ Ingresar datos de desplazamiento de suelo de estudios geodésicos a base datos de fallas sismogénicas.
- ✓ Elaborar Mapas Geológicos de más detalle de las zonas Metropolitanas y revisión de los existentes.
- ✓ Revisión de la zonificación sísmica para cada país y la región.

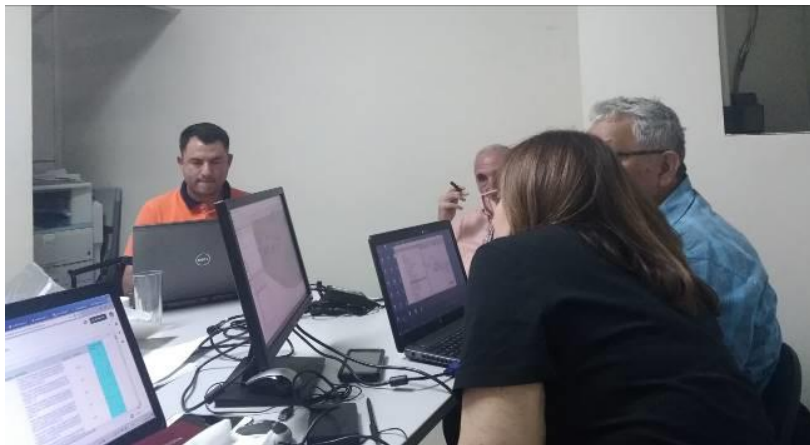
- ✓ Durante el mes de mayo se realizará la pasantía de un integrante hondureño en el OGS-Trieste para capacitación sobre catalogo macrosísmico.
- ✓ A finales de mayo se realizará una jornada de reuniones con expertos italianos en Centro América.

### 3.2.13. Integrantes de la Mesa de Sismología-Sismotectónica

N°	Nombre	Institución	Correo electrónico
1	Amelia García	El Salvador/DGOA-MARN	rgarcia@marn.gob.sv
3	Luis Castillo	El Salvador/UES	luiscastillor@gmail.com
5	Pablo Santos	Guatemala/USAC	santospa6@gmail.com
7	Maynor Ruiz	Honduras/UNAH	maynor.ruiz02@gmail.com
8	Eliana Esposito	Italia/CNR	eliana.esposito@iamc.cnr.it
10	Carlos Rubi Tellez	Nicaragua/UNAN-CIGEO	rubi@igg.unan.edu.ni
11	Diego Castro	Guatemala/INSIVUMEH	ing.diegocastro.1@gmail.com

**Nota:** El listado de asistencia y las fotografías se encuentran disponibles en el link <http://eduvirtual.cimat.ues.edu.sv/mod/folder/view.php?id=2598#> en la carpeta resultados\_6ta jornada.





### ***3.2.14 Referencias bibliográficas.***

Alonso-Henar, Jorge & Benito, Belén & Staller, Alejandra & Álvarez-Gómez, José & Martínez-Díaz, José & Canora, Carolina. (2018). Large-magnitude crustal seismic sources in El Salvador and deterministic hazard scenarios. *Engineering Geology*. 243. 10.1016/j.enggeo.2018.06.015.

### 3.3. VULCANOLOGIA

#### **3.3.1. Introducción.**

En este informe, se presentan los avances que la mesa de vulcanología ha realizado para alcanzar los objetivos planteadas en el proyecto RIESCA. El propósito final del trabajo de investigación, es aportar información para que las entidades tomadoras de decisiones en materia de prevención del riesgo volcánico y el accionar de los sistemas nacionales de protección civil cuenten con la información que proporcione los insumos necesarios sobre zonificación de peligros volcánicos en caso de erupción volcánica, la cual servirá para formular las medidas de mitigación encausadas a salvaguardar la vida humana.

Durante la sexta jornada del proyecto RIESCA, se consolidó la información generada y se establecieron las estrategias a seguir por cada país participante.

La jornada, dio inicio en Guatemala, entre el 12 al 17 de marzo 2019 y finalizó en El Salvador del 18 al 23 de marzo 2019, donde se impartió el taller denominado “Elaboración de mapas de amenaza por flujos de Lava” a cargo de Dolors Ferrés, en el cual, 11 participantes de las instituciones socias del proyecto fueron capacitados.

#### **3.3.2. Antecedentes**

El objetivo de la Mesa de Vulcanología RIESCA, ha sido obtener 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.

El trabajo conjunto con asesores italianos, permitió establecer 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 preliminares 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. (*para más detalle, ver informe 5<sup>a</sup> jornada RIESCA*).

#### **3.3.3. Componentes de trabajo de la mesa de vulcanología**

La estrategia planteada en la mesa de vulcanología ha sido ejecutada a lo largo de más de dos años de proyecto, y ha seguido dos componentes principales:

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

La generación de **mapas probabilísticos de amenaza volcánica** ha tenido, hasta el momento, el avance de establecer el mapa probabilista de 10,000 nuevos centros emisores (“vents”) para tres áreas piloto. Esta información servirá de base para correr los softwares de simulación que permitan obtener la zonificación probabilística de amenaza por productos volcánicos referentes a tefra, balísticos, flujos de lava y flujos piroclásticos, que los países socios han de realizar para lograr los objetivos del proyecto.

En cuanto al **fortalecimiento del monitoreo** de la actividad volcánica, se han realizado avances en el estudio geoquímico de gases en el volcán de Santa Ana. Actualmente se está preparando la publicación del artículo: **“The crater lake or Ilamatepec (Santa Ana) volcano, El Salvador: First insights into lake gas composition, and implications for monitoring”**. Este aporte de los asesores italianos, presenta la primera caracterización química del penacho de gas volcánico

que proviene del hiperácido lago del cráter del volcán Santa Ana. Los resultados, fueron obtenidos entre 2017 a 2018 con un instrumento Multi-GAS desarrollado en la Universidad de Palermo. El Artículo está próximo a ser sometido a su publicación. Al tener notificación de los editores, el mismo será dado a conocer a través del aula virtual del proyecto RIESCA.

### 3.3.4. Metodologías y herramientas implementadas

La evolución para la obtención de mapa probabilístico por apertura de nuevos centros emisores (“vents”), ha sido un objetivo específico que se ha logrado en las tres áreas piloto del proyecto.

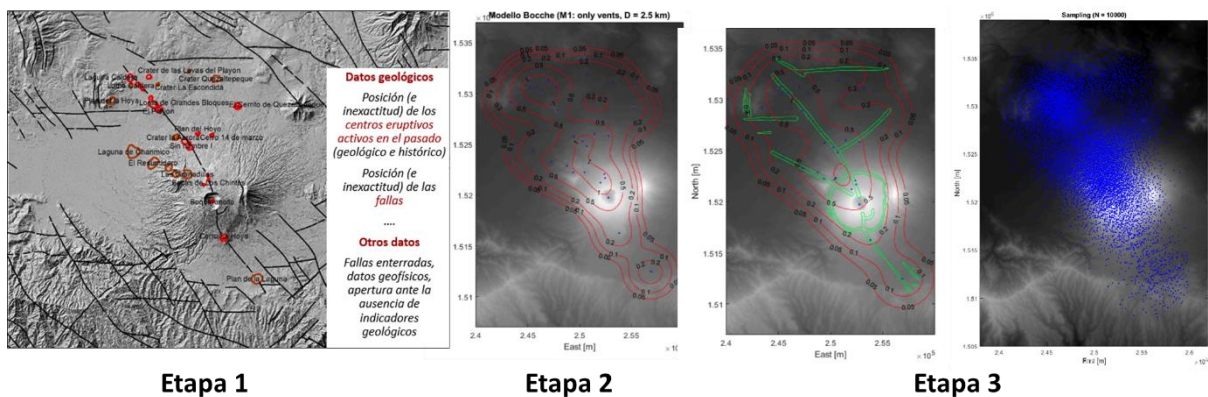
Durante la parte inicial, desarrollada durante el primer año de proyecto, se consolidó la recopilación de datos históricos y geológicos disponibles y se prepararon los insumos necesarios para la consolidación de bases de datos. En cada escenario, se asignaron rangos de valores a los principales parámetros 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.

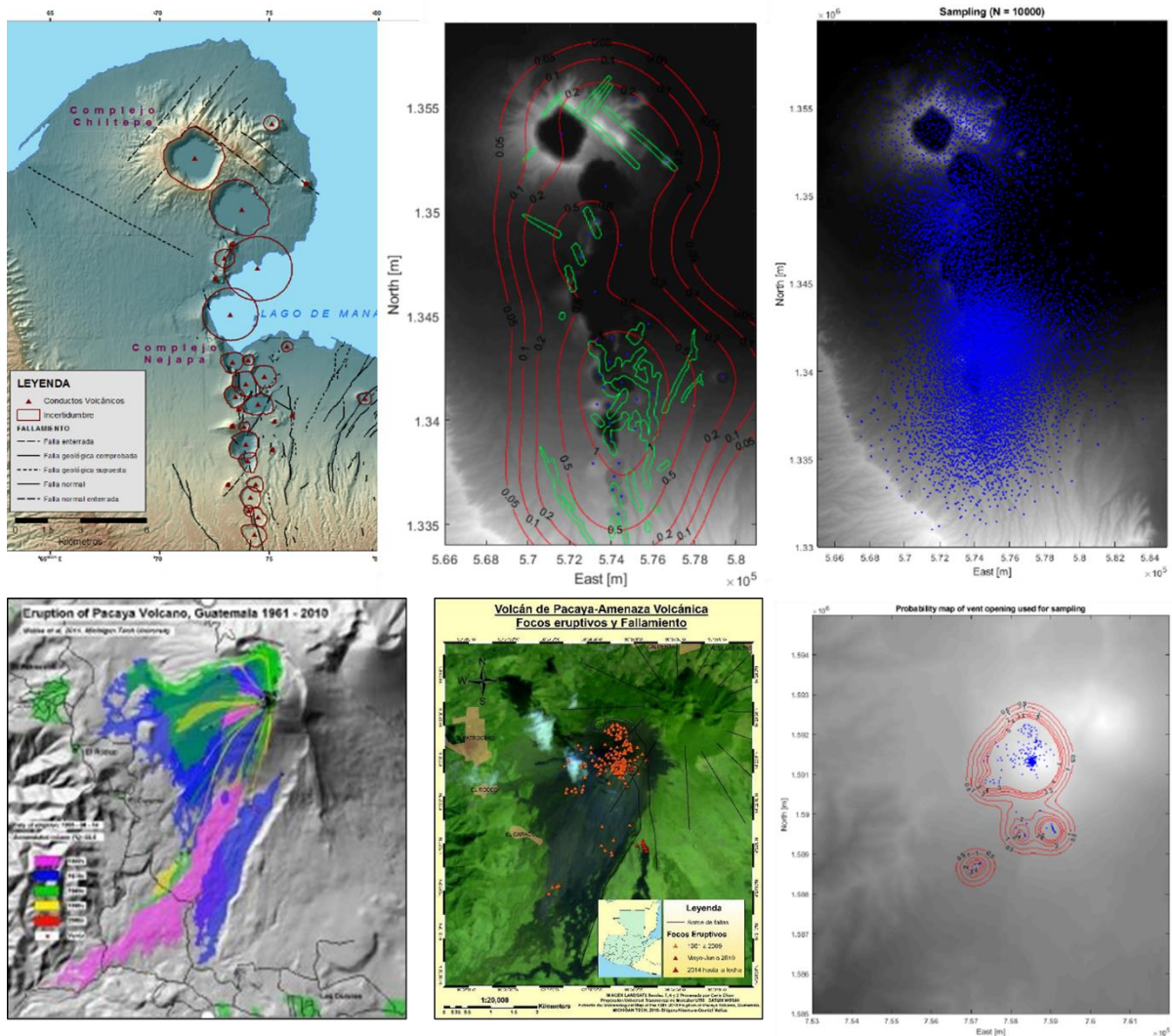
En la segunda etapa, desarrollada durante el segundo año de proyecto, se realizó el análisis proveniente de las bocas eruptivas y el sistema de fallamiento. En la Universidad de Florencia (UNIFI), se realizó la evaluación probabilística del surgimiento de bocas eruptivas utilizando una Dimensión Kernel de 2.5 km, utilizando solamente la información sobre la posición de los centros eruptivos pasados.

En la tercera etapa, en actual desarrollo del proyecto, se alimentó el modelo obtenido en la segunda etapa con la información estructural, de la posición y orientación de fallas y se realizó el modelaje probabilístico de nuevos centros emisores, obteniendo la distribución probabilística de 10,000 punto en los cuales puede surgir una nueva boca eruptiva, cubriendo de esta manera, las zonas pilotos y dando una probabilidad de ocurrencia en cada uno de ellos.

En la figura 19, se muestra gráficamente la evolución de información y resultados realizado para las áreas piloto de El Salvador, Nicaragua y Guatemala respectivamente:

Complejo volcánico San Salvador  
 Complejo volcánico Chiltepe-Nejapa  
 Volcán Pacaya





**Figura 19:** Evolución gráfica de datos para obtener mapa probabilístico de surgimiento de nuevas bocas eruptivas, en las zonas piloto: (parte superior) Complejo volcánico San Salvador (El Salvador), (parte media) Complejo volcánico Chiltepe-Nejapa (Nicaragua) y (parte inferior) volcán Pacaya (Guatemala)

### 3.3.5. Resultados a nivel local y regional

A la fecha de elaboración de este informe, se cuenta con la información de ubicación de 10,000 puntos probabilísticos de surgimiento de bocas eruptivas en las tres áreas piloto. Estos datos se convierten en el principal insumo que define la ubicación de puntos de emisión, que servirán de entrada para realizar las simulaciones para las amenazas de caída de tefra, proyectiles balísticos, flujos de lava y flujos piroclásticos. Según los escenarios establecidos para cada una de las áreas piloto.

Durante la **sexta jornada RIESCA**, la mesa de vulcanología, se enfocó en la transferencia de conocimiento para elaborar mapas de peligrosidad que muestren las áreas que podrían ser afectas por flujos de lava utilizando la evaluación probabilística. Para ellos se realizaron las gestiones necesarias para que Dolors Ferrés (asesora UNAM) pudiera impartir el taller temático. El detalle del mismo se describe a continuación:



<b>Nombre del Taller:</b>	Elaboración de mapas de amenaza por flujos de lava.
<b>Duración:</b>	18 al 22 de marzo 2019.
<b>Sede:</b>	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).
<b>País:</b>	El Salvador.
<b>Objetivo General:</b>	Capacitar a los participantes de la región en la elaboración de mapas de amenaza por flujos de lava, utilizando los simuladores <i>Etna Lava Flow Model</i> (Damiani et al., 2006) y <i>Q-LavHa</i> (Mosseauxet al., 2016).
<b>Objetivos específicos:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Comprender los parámetros que controlan los flujos de lava</li> <li>➤ Conocer herramientas para la simulación de flujos de lava, sus posibilidades y limitaciones.</li> <li>➤ Preparar insumos y utilizar software de simulación de flujos de lava.</li> <li>➤ Establecer las etapas para la construcción de mapas de amenaza volcánica por flujos de lava en las zonas de estudio.</li> <li>➤ Identificar avances y etapas por concluir al finalizar el taller.</li> </ul>
<b>Capacitadores:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Dra. Dolores Ferrés. (UNAM)</li> <li>➤ Dra. Diana Jiménez. (UGB)</li> </ul>
<b>Número participantes:</b>	11 participantes.
<b>Coordinador:</b>	➤ Ing. Eduardo Gutiérrez. (MARN)

El desarrollo del taller se dividió en tres etapas fundamentales:

<b>Teoría:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Flujos de lava (erupciones efusivas, tipos de flujos, caracterización química, parámetros físicos).</li> <li>➤ Herramientas para la simulación de flujos de lava.</li> <li>➤ Metodología y etapas de elaboración de un mapa de amenaza por flujos de lava.</li> </ul>
<b>Práctica:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Preparación de elementos y parámetros de entrada para las simulaciones.</li> <li>➤ Etapa de calibración.</li> <li>➤ Etapa de simulación.</li> <li>➤ Preparación de resultados para la construcción de un mapa de amenaza.</li> </ul>
<b>Participación y discusión:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Preguntas -Discusión.</li> <li>➤ Trabajo por países.</li> <li>➤ Revisiones de avance en cada jornada.</li> <li>➤ Presentación de resultados preliminares por países (jueves 21 de marzo).</li> </ul>
























La agenda de la mesa temática de vulcanología se detalla en anexo 1 de este capítulo.

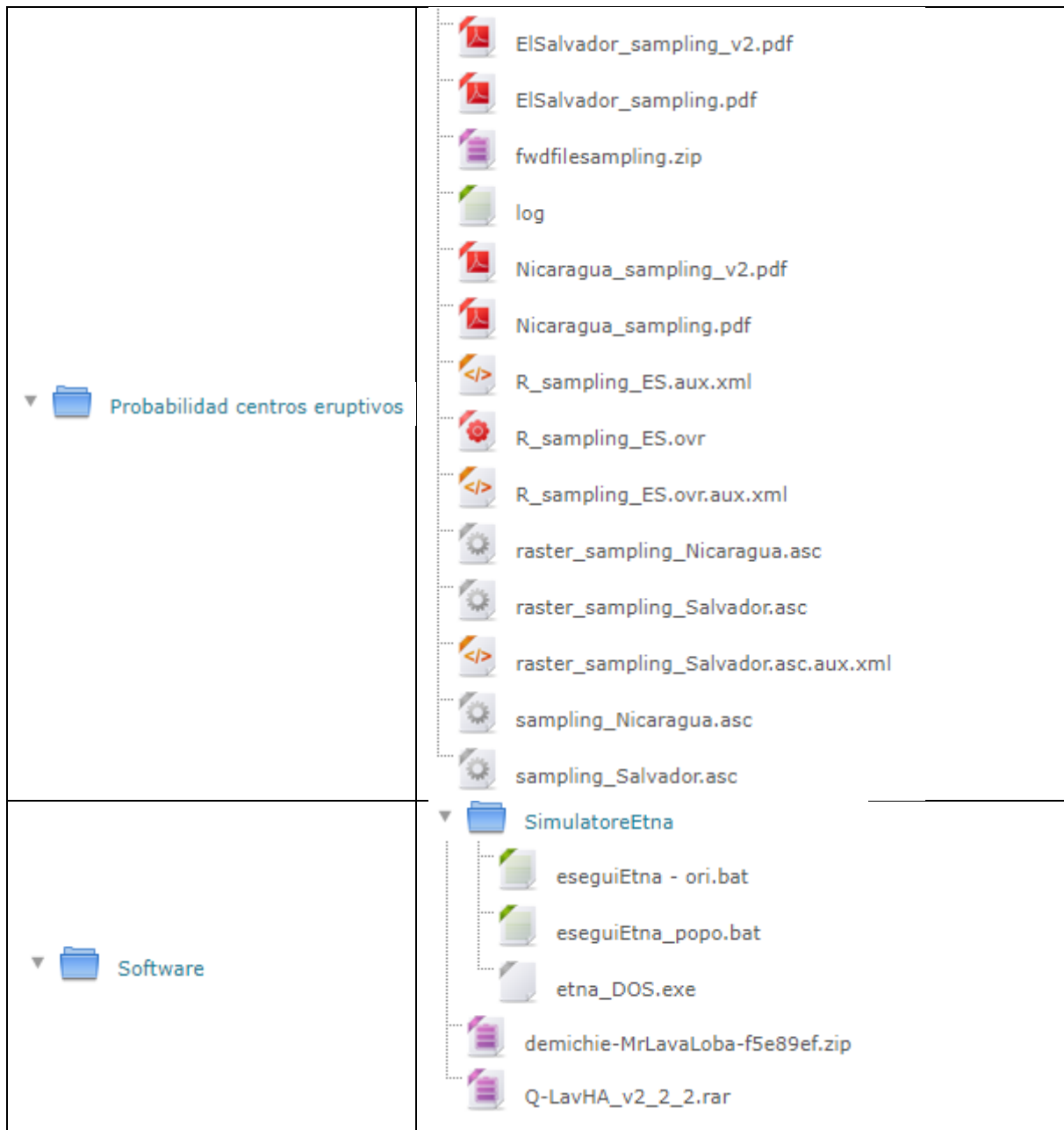
La información referente al taller, ha sido ingresada al sitio Web del **Aula Virtual** del proyecto RIESCA (<http://eduvirtual.cimat.ues.edu.sv/login/index.php>).

En la carpeta, **Biblioteca Virtual RIESCA El Salvador** ubicada en el sitio:

<http://eduvirtual.cimat.ues.edu.sv/course/view.php?id=146&section=2> en la subcarpeta:

**Resultados** (<http://eduvirtual.cimat.ues.edu.sv/mod/folder/view.php?id=3109>) se encuentran disponible toda la información referente al Taller según la siguiente estructura:

Biblioteca Virtual RIESCA El Salvador	
Resultados	
 Taller Simulación flujos de lava -El Salvador-Marzo 2019	
 Día 1 -Lunes 18 marzo 2019	 1.1._BIENVENIDAYPRESENTACION.pdf  1.2._TallerFL_FLUJOSdeLAVAsuSIMULACION.pdf  1.3._TallerFL_ETAPASMAPASAMENAZA.pdf  1.4._TallerFL_ELFM_PARÁMETROS.pdf  ConstrucciónPaleorelieve.pdf
 Día 2 -Martes 19 marzo 2019	 Q_LavhaPres.pdf
 Día 3 -Miércoles 20 marzo 2019	 JORNADA3.pdf
 Día 4 -Jueves 21 marzo 2019	 JORNADA4.pdf
 Fotos	Banco fotográfico del taller
 Literatura	 BENCHMARKING LAVA FLOWS_Cordonnier.pdf  Bertinoetal_2006.pdf  Costa_2005_ToolsLavaflows_GSA.pdf  Damianietal_2006.pdf  felpetoetalJVGR1662007.pdf  Jimenezetal2018_VSM_JVGR.pdf  Lavaflow hazard Lanzarote_Felpeto etal_NH_2001.pdf  TESIS_Micheli_Bertino_ELFM.pdf



*Nota: Cualquier consulta específica sobre contenido, bibliográfica, información de centros de emisión y software por favor realizarla a través del aula virtual del proyecto RIESCA.*

A continuación, se detalla los aspectos más importantes del contenido del taller.

Durante el desarrollo del taller, se cubrieron todos los tópicos relacionados a la elaboración de mapas de peligros. Como premisa básica, se explicó la teoría de los flujos de lava, los cuales son masas de rocas fundidas, a temperaturas que oscilan entre los 800° a 1000°C y se desplazan como unidad dinámica continua por las laderas del volcán a favor de la pendiente. Estos flujos pueden emanar desde fuentes puntuales (o central) o, a través de fisuras. La composición química (contenido de SiO<sub>2</sub>) de los flujos de lava son un condicionante de su longitud, espesor y desplazamiento, por ejemplo, flujos de composición máficos (basaltos) que poseen alta temperatura y baja viscosidad pueden formar depósitos de lava tipo **Pāhoehoe**, tal como sucede en los típicos flujos de lava de los volcanes Hawaianos. Para flujos más viscosos con rango Basáltico, basáltico-andesítico hasta andesíticos, generalmente los depósitos de la lava son del tipo 'A'ā, y para los magmas más félsicos y de muy alta viscosidad característicos de lavas

andesíticas a riolíticas los depósitos de sus lavas es tipo **Bloques**. En la figura 20, se muestra el cuadro comparativo de los tipos de lava descritos anteriormente.

## Tipos de flujos de lava

		
<p><b>Pāhoehoe</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Superficie lisa y flexible</li> <li>▪ Corteza fina formada por enfriamiento rápido. Interior fundido de baja viscosidad (&lt;100 Pa)</li> <li>▪ Crecimiento en lóbulos inflados.</li> <li>▪ Tubos, lavas cordadas</li> <li>▪ Alta temperatura (1,100-1,300 °C)</li> <li>▪ Baja tasa de fusión y baja cristalinidad</li> <li>▪ Poco espesor y grandes alcances</li> <li>▪ <b>Lavas basálticas</b></li> </ul>	<p><b>'A'ā</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Superficie irregular compuesta por bloques de lava fragmentados</li> <li>▪ Fragmentos con porosidad variable. Alta pérdida de calor</li> <li>▪ Alta viscosidad</li> <li>▪ Avance tipo oruga</li> <li>▪ Forman canales con levées</li> <li>▪ Temperaturas entre 900 – 1,100 °C</li> <li>▪ Alta tasa de efusión y alta cristalinidad</li> <li>▪ Espesores variables (decenas de m)</li> <li>▪ <b>Lavas basálticas, basáltico-andesíticas hasta andesíticas</b></li> </ul>	<p><b>En bloques</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bloques de gran tamaño con caras lisas, densos y cristalinos</li> <li>▪ Pueden alcanzar espesores &gt;100 m</li> <li>▪ <b>Lavas andesíticas y dacíticas (hasta riolíticas)</b></li> </ul> 

*Figura 20: Características de los tipos de flujo de lava.*

Otra parte importante a considerar, en la elaboración de mapas de zonificación, son los factores de peligro (amenaza) y de riesgo que los flujos de lava pueden presentar.

Factores PELIGRO	Factores RIESGO
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Dirección del flujo (centro de emisión).</li> <li>➤ Recorrido (área inundada y máximo alcance).</li> <li>➤ Tiempo de recorrido (velocidad de emplazamiento).</li> <li>➤ Altas temperaturas (tiempo de solidificación-enfriamiento).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Pérdida de suelo fértil y de cultivos (áreas muy amplias).</li> <li>➤ Soterramiento.</li> <li>➤ Quemadura e incendios.</li> <li>➤ Pérdida total o interrupción de infraestructuras.</li> </ul>

*Figura 21. Factores que controlan el tipo y avance de flujos de lava y sus interacciones.*

## Factores que controlan el tipo y avance de flujos de lava

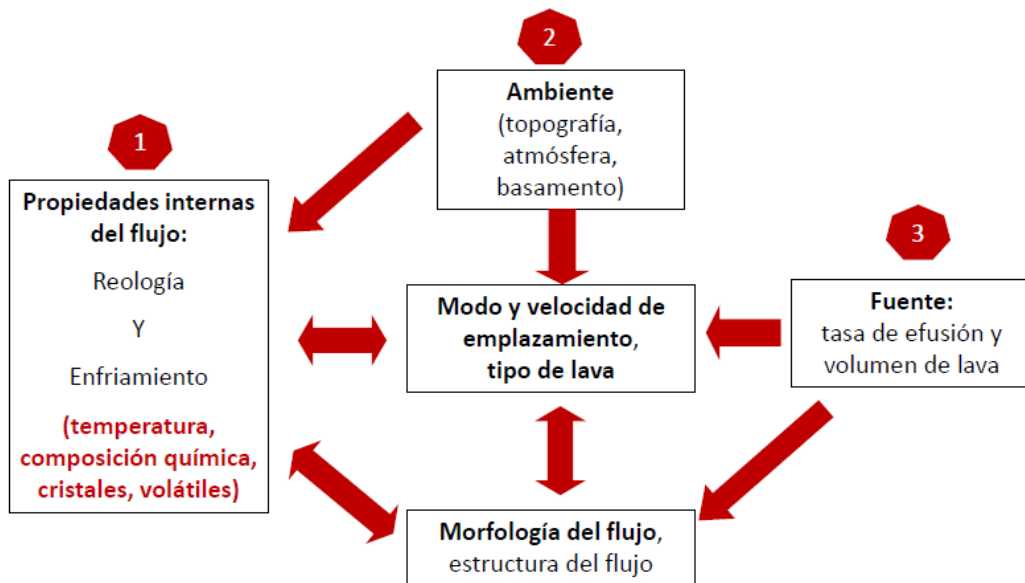


Figura 22: Factores que controlan el tipo y avance de flujos de lava.

Se ejemplificó las consideraciones que se deben tener para elegir el Modelo numérico para simular flujos de lava. En la figura 23, se resume las características y desventajas de los métodos determinísticos y probabilísticos.

## Modelos numéricos para simular flujos de lava

	DETERMINÍSTICOS	PROBABILÍSTICOS
FUNDAMENTO	ECUACIONES DE TRANSPORTE Y TERMO-REOLÓGICAS	CONTROL POR MÁXIMA PENDIENTE
USO	Reproducción de las características reológicas, trayectoria y alcance de un flujo conocido	Reproducción de una erupción con características promedio de la actividad eruptiva pasada
	Mayoritariamente para flujos de pequeña escala	Determinación de Áreas susceptibles a ser inundadas por flujos de lava
PRODUCTOS	Reproducción de flujos recientes o en época histórica con suficiente información	Mapas de susceptibilidad y peligrosidad por flujos de lava
	Modelado para crisis volcánicas, como complemento del monitoreo y para el diseño de	Gestión de riesgos y ordenamiento territorial
VENTAJAS	Información de la evolución temporal del flujo (altura, T, viscosidad, etc.)	Número limitado de parámetros de entrada y menor tiempo de cómputo
	Consideran cambios de topografía durante la erupción	Aplicables a áreas volcánicas distintas para las que fueron diseñados
LIMITACIONES	Requieren información de una gran cantidad de parámetros de entrada y tiempo de cómputo mayor	No proporcionan información de la evolución temporal
	Generalmente solo aplicables al área volcánica para el que fueron diseñados	Sobreestimación de áreas inundadas

**Calibración**

Inputs de una lava real (tasa de efusión, condiciones reológicas, de enfriamiento, velocidad, longitud del flujo, área de inundación, duración del emplazamiento)

Reproducción del área cubierta por flujos reales (históricos o geológicos)

**Requieren de la topografía previa a la emisión de los flujos para su calibración**

Figura 23: Características de modelos numéricos para simular flujos de lava.

Finalmente, se explicó el modelo **Etna Lava Flow model (ELFM, Damiani et al. 2006)** que es el que mejor se adapta a la tipología de los magmas en los volcanes pilotos. En las figuras 22 y 6 se muestra el resumen de funcionamiento del algoritmo y los datos de entrada necesario para corree el modelo.

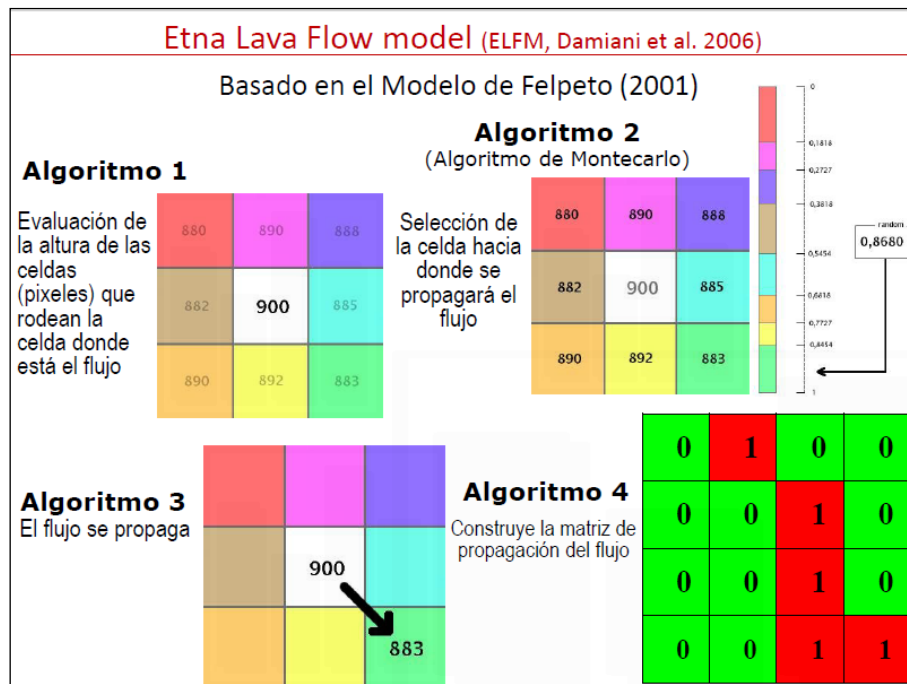


Figura 24: Funcionamiento básico del algoritmo utilizado.

## ELFM: parámetros de entrada

- Centro emisor
- Longitud
- Espesor
- Variación del espesor del flujo cte. o variable
- Número de iteraciones
- Dem

Símbolo	Parámetro	Valores (posibles o comunes)	Requerimientos/Observaciones
<b>h</b>	Espesor máximo del flujo	Registro geológico	
<b>l</b>	Número de iteraciones de la corrida	Máximo 1000	Varios trabajos de diversos autores muestran que por encima de este valor los cambios en las áreas inundadas no son sustantivos. Optimización del tiempo de cómputo.
<b>m</b>	Número de steps o pixeles que cruzará la simulación	En función de la resolución del dem	Se refiere a la longitud de la simulación, no a la longitud de la lava
<b>o</b>	Nombre del archivo de salida		.asc (nombre corto)
<b>p</b>	Proporcional (tipo de incremento del espesor de la	Constante (0), Lineal (1) y Logarítmico (2)	Ver gráfico
<b>x</b>	Centro emisor: Número de columna	Núm entero (lectura directa)	Se selecciona la coordenada UTM en el dem y debe buscarse a que columna corresponde en la versión del dem formato .grd
<b>y</b>	Centro emisor: Número de fila	Núm entero (Total de filas del dem-núm. fila centro emisor)	Se selecciona la coordenada UTM en el dem y debe buscarse a que columna corresponde en la versión del dem formato .grd
<b>i</b>	Archivo de entrada (dem)		asc.o.txt (nombre corto)

Figura 25: Parámetro de entrada para correr el modelo

### 3.3.6.1. El Salvador: Complejo volcánico San Salvador

Se prepararon los insumos necesarios para la calibración del programa.

- flujo de lava de referencia. (junio 1917)
- topografía actual y previa al flujo de lava.
- preparación de paleorelieve, es decir la topografía existente previa al flujo de lava. (figura 26)
- Distribución espacial probabilista de surgimiento de nuevas bocas eruptivas (trabajo proporcionado por Universidad de Florencia)



Figura 26: Elaboración de paleorelieve flujo de lava 1917

### Calibración del programa

Con la información del paleorelieve se procedió a calibrar el código de simulación “Etna Lava Flow model”, con el propósito de replicar, a través de este, el deposito real del flujo de lava de 1917. (figura 27)

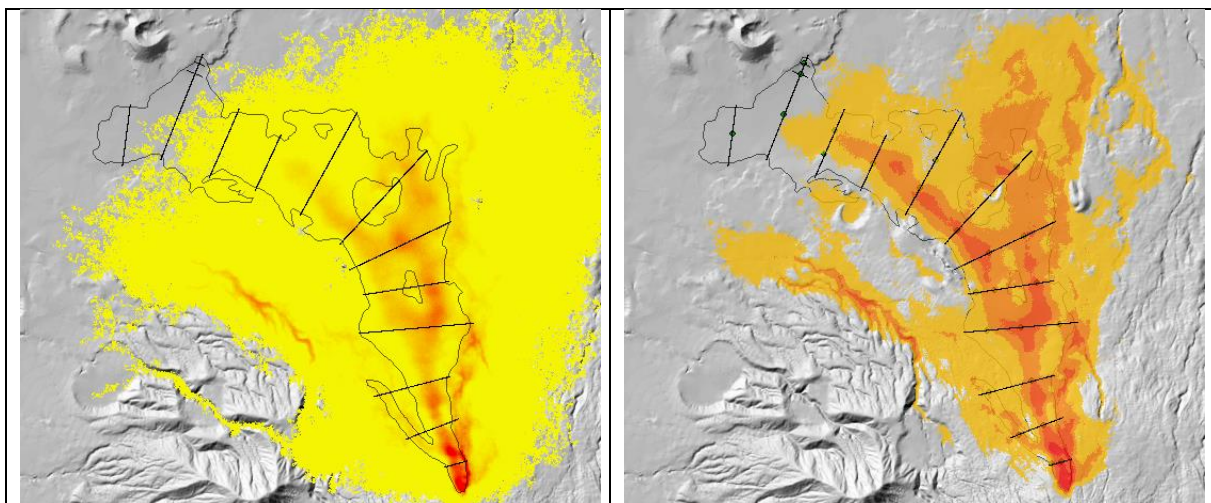


Figura 27 Calibración de flujo de lava para el volcán Boquerón del complejo volcánico San Salvador sobre el paleorelieve reconstruido.

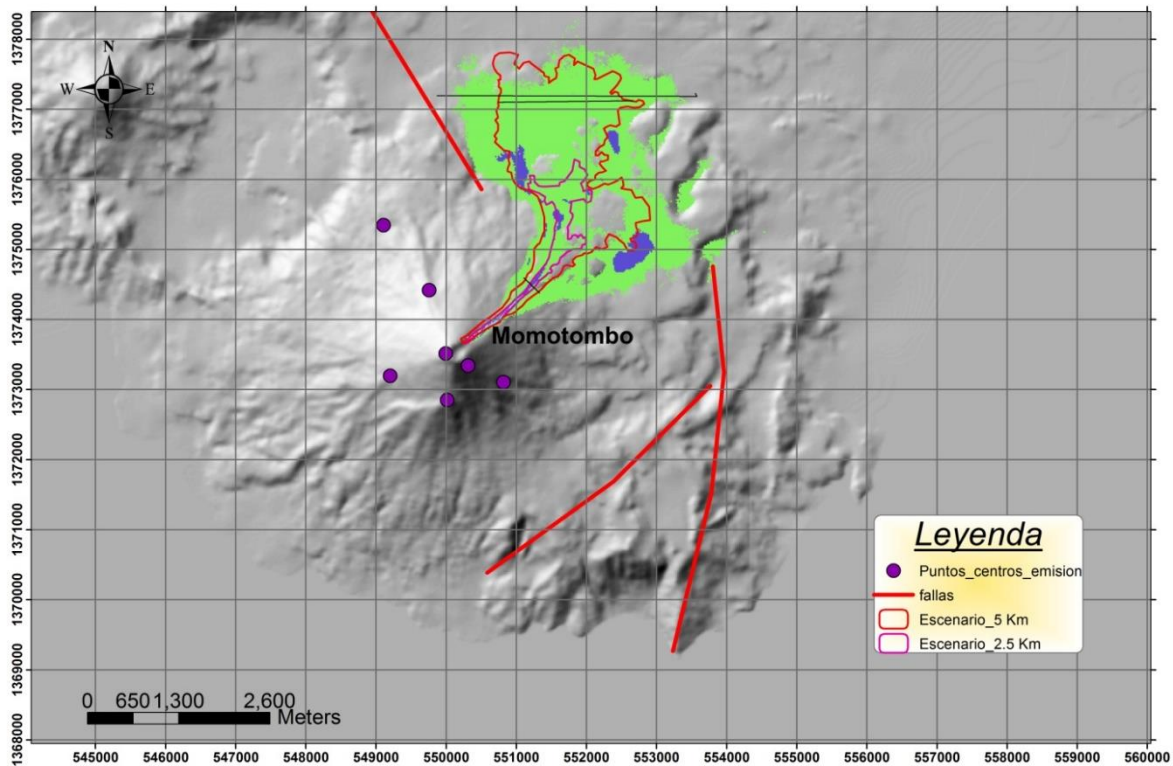
### 3.3.6.2. Nicaragua: Volcán Momotombo

Se prepararon los insumos necesarios para la calibración del programa.

- flujo de lava de referencia. (diciembre 2015)
- topografía actual y previa al flujo de lava.

## Calibración del programa

En la figura 28, se muestra el resultado de la calibración del programa, el cual fue realizado para replicar el flujo de lava emanado en diciembre 2015 y alcanzó los 7 km de desplazamiento.

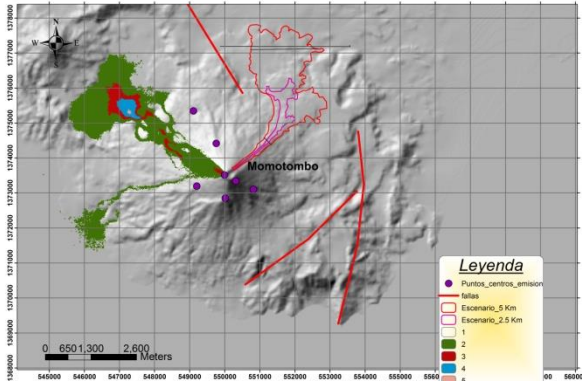


**Figura 28:** Calibración del programa utilizando el evento eruptivo de diciembre 2015.

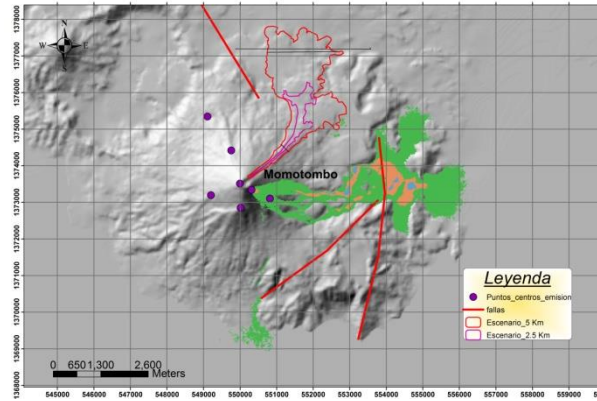
A continuación, se muestran los resultados de cada uno de los centros emisores y flujos de lava simulados. Por el corto tiempo disponible para realizar las simulaciones, solamente se muestran los flujos con mayor alcance y mayor espesor por ser los más críticos o de mayor impacto, es decir, los flujos con 7 Km y 60 m de espesor.



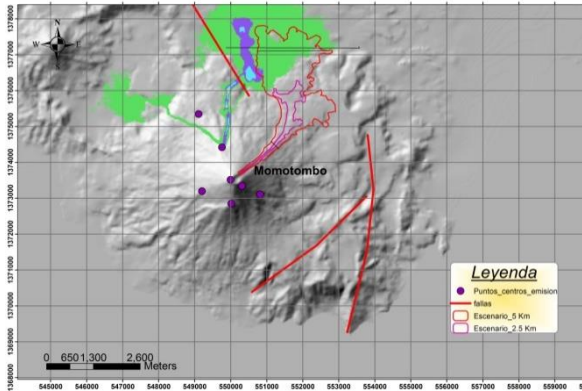
Centro emisor 0



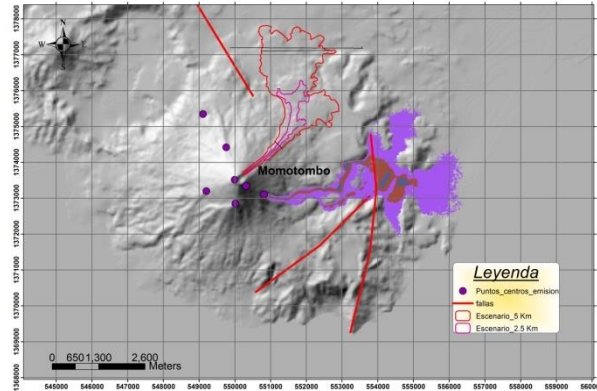
Centro emisor 1



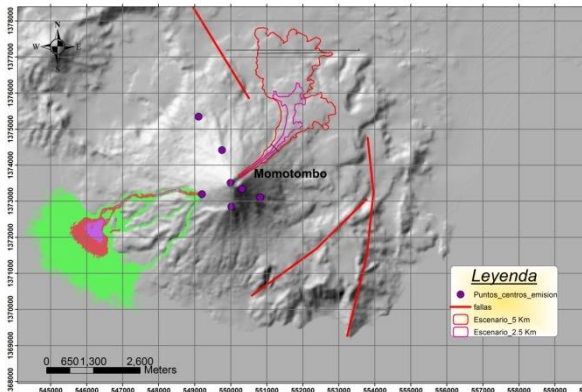
Centro emisor 2



Centro emisor 3



Centro emisor 4



Centro emisor 5

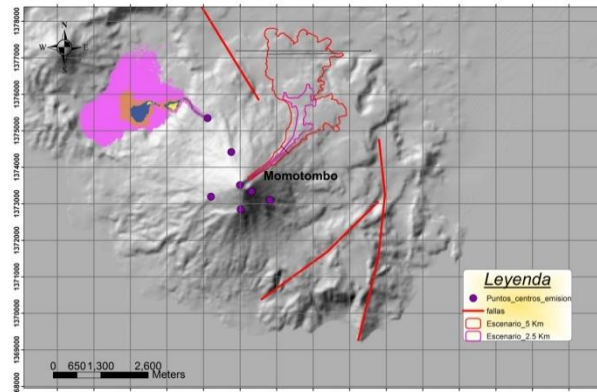


Figura 29: Calibración del programa utilizando el evento eruptivo de diciembre 2015.

### 3.3.6.2. Guatemala: Volcán Pacaya

Se prepararon los insumos necesarios para la calibración del programa EtnaLavaFlowModel (ELFM).

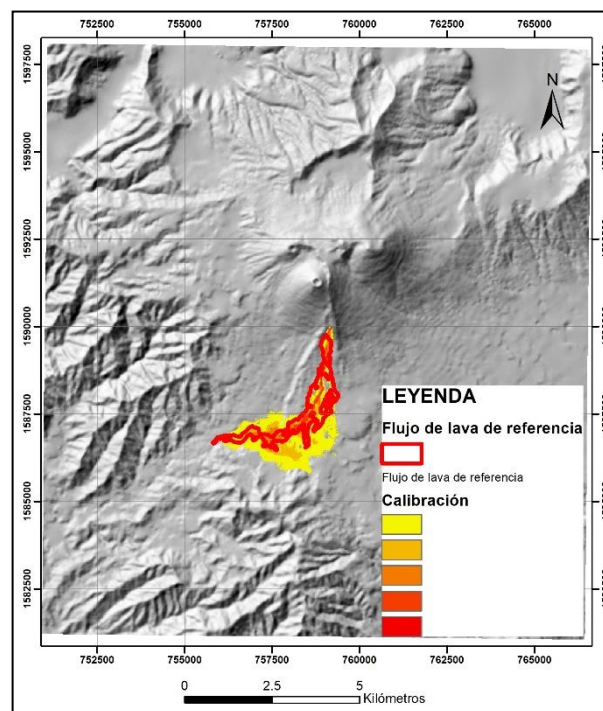
- Flujo de lava de referencia: 28 de mayo de 2010, con coordenadas de su punto de emisión, distancia recorrida y espesores mínimos, máximos y promedio (dibujado en un archivo de capa de tipo polígono).
- Modelo Digital de Elevación en formato AASCII, mostrando el relieve hacia el año 2005 (Modelo Digital de Elevación oficial en Guatemala, con una resolución de 20x20 m en cada pixel).

- Coordinadas en X e Y del punto de emisión del flujo de lava de referencia, según los valores de celda del raster (mapa de sombras) generado a partir del Modelo de Elevación Digital.

El código de ELM fue ejecutado con diversos valores para la variable de entrada “m” (pasos), asignando valores específicos para “h” (altura del frente de lava), “l” (iteraciones), “p” (coeficiente de incremento de espesor), “x” (valor de columna), “y” (valor de fila) e “i” (archivo de modelo de elevación digital en formato AASCII). Finalmente se obtuvo una simulación cuyo resultado se ajusta muy bien al flujo de lava de referencia. Los valores de los parámetros de entrada y el resultado gráfico se muestran a continuación.

**Tabla 3:** Valores utilizados en la modelación con ELM

<b>h</b>	30
<b>l</b>	1000
<b>m</b>	700
<b>p</b>	1
<b>x</b>	407
<b>y</b>	416
<b>i</b>	dem_pacaya.asc



**Figura 30:** Flujo de lava de referencia del volcán Pacaya

Habiendo realizado la calibración, se seleccionaron diversos centros de emisión para utilizar en los ejercicios de simulación. Se simularon cuatro escenarios, los cuales se correlacionan con registros históricos de flujos de lava en los últimos 50 años. Para cada escenario se asignaron longitudes mínimas y máximas para los flujos de lava esperados. Los parámetros utilizados para la simulación de cada uno de estos escenarios se muestran a continuación.

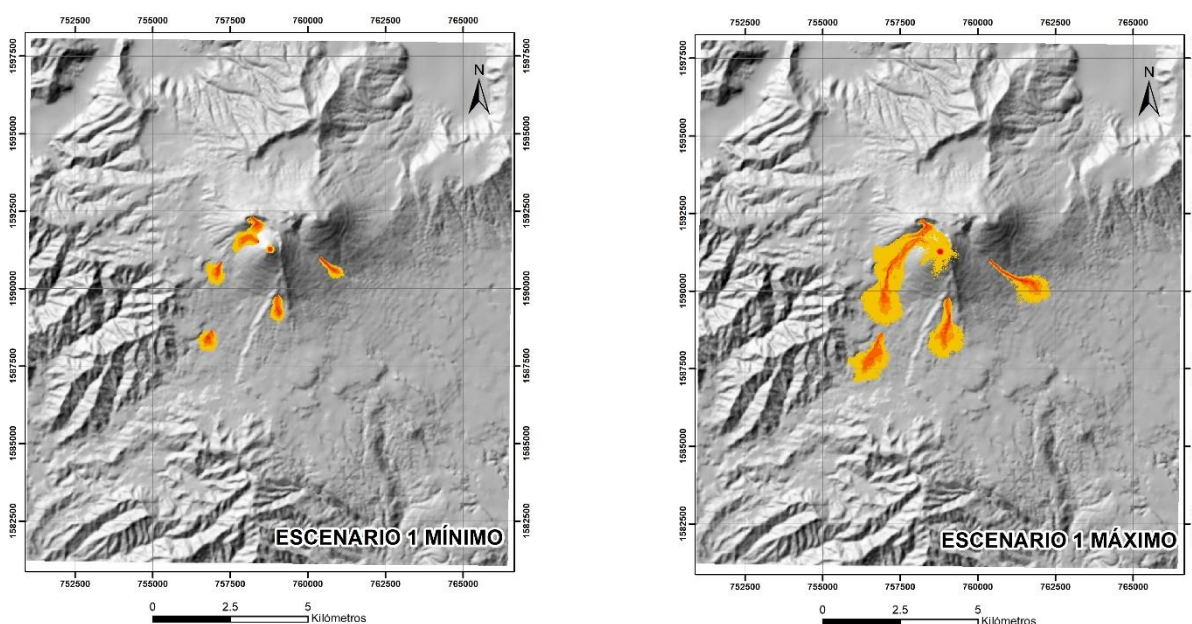
**Tabla 4:** Parámetros utilizados para cada escenario en la modelación con ELM

PARÁMETROS	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	ESCENARIO 3	ESCENARIO 4
LONGITUD MINIMA (m)	500	2000	4000	7000
LONGITUD MAXIMA (m)	1500	3500	6000	10000
ESPESES METROS (H)	30	30	30	30
ITERACIONES (I)	1000	1000	1000	1000
PASOS MÍNIMOS	63	252	504	883
PASOS MÁXIMOS	189	441	757	1261
LONGITUD DE PASO (m)	7.92857143	7.92857143	7.92857143	7.92857143
FACTOR P	1	1	1	1
ERUPCIÓN REFERENCIA	10/01/1993	20/05/1998	27/05/2010	1775?

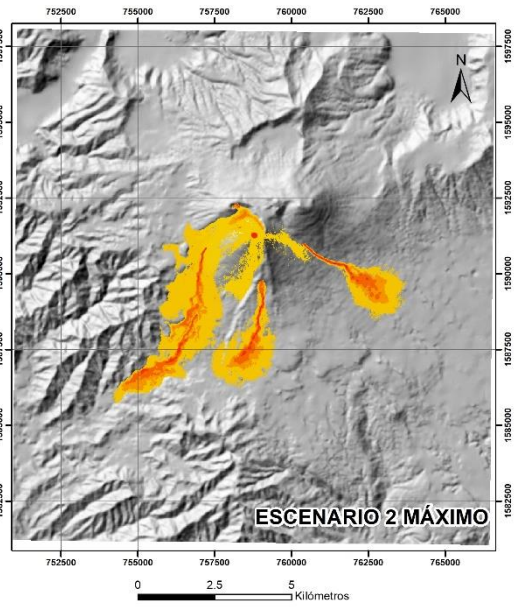
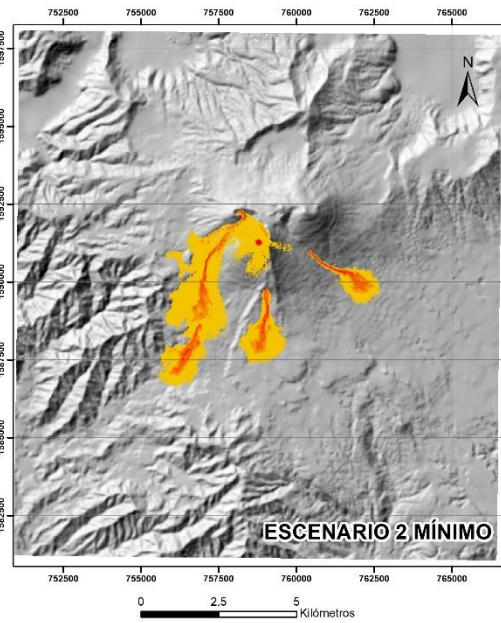
Para la simulación de estos escenarios se escogieron siete centros de emisión correspondientes a igual número de erupciones que el volcán ha tenido en los últimos 50 años. Los valores de celdas dentro del raster del modelo de elevación digital y la fecha de las erupciones que originaron flujos de lava se muestran a continuación.

**Tabla 5:** Centros de emisión para cada escenario en la modelación con ELM

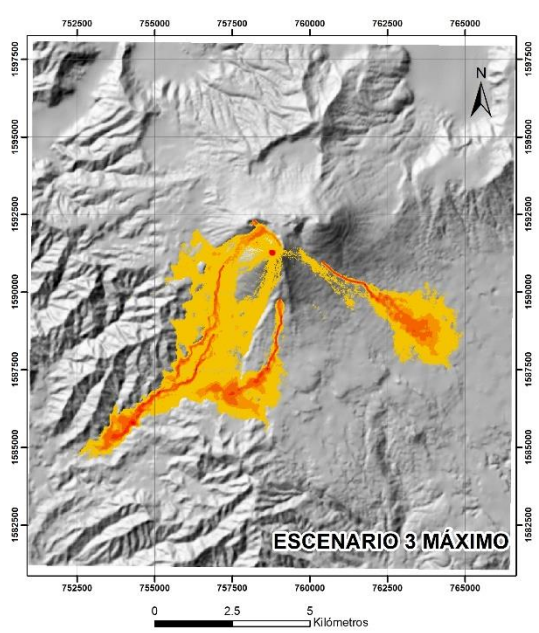
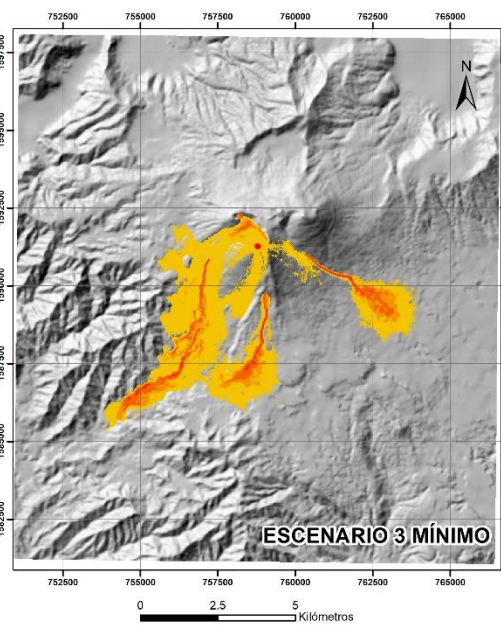
Fecha	Ubicación	Valor de Columna	Valor de Celda
22/10/1972	Oeste cráter McKenney	317	363
25/05/1985	Cerro Chino	366	290
06/05/1992	Suroeste C. McKenney	301	473
20/05/1998	Noroeste C. McKenney	377	331
04/04/2006	Sureste cráter McKenney	396	341
28/05/2010	Ladera sur V. Pacaya	407	416
Imaginaria	Ladera SO V. Pacaya	475	355



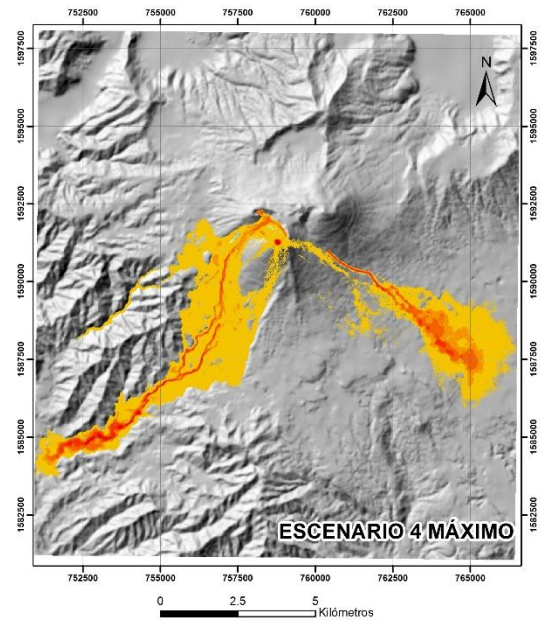
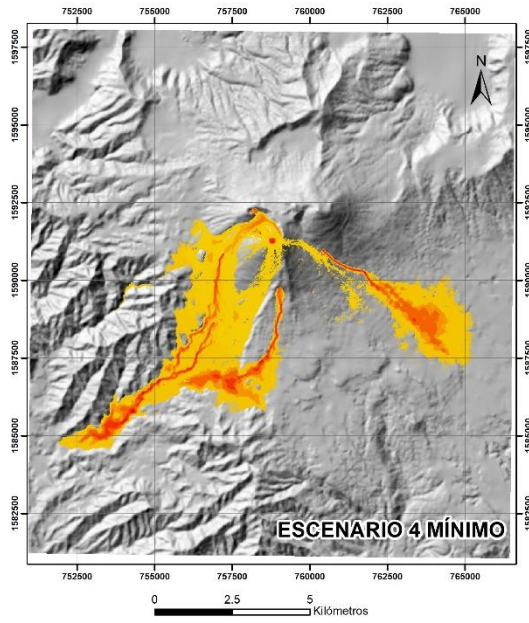
**Figura 31:** Escenario 1 de modelado de flujo de lava para el volcán Pacaya



*Figura 32: Escenario 2 de modelado de flujo de lava para el volcán Pacaya*



*Figura 33: Escenario 3 de modelado de flujo de lava para el volcán Pacaya*



*Figura 34: Escenario 1 de modelado de flujo de lava para el volcán Pacaya*

### ***3.3.7. Transferencia de información vulcanológica desde/a los Sistemas de Protección Civil***

Como parte de la transferencia de conocimiento, se incorporó a dos miembros de la Dirección General de Protección Civil al trabajo de simulación. Con ello, se logró la comprensión de los alcances que los diversos mapas de zonificación de amenaza tienen y cuales sería su interpretación.

### ***3.3.8. Propuesta de actividades en Vulcanología a realizar en el 2019***

#### **El Salvador**

Para el trabajo a futuro queda por definir, en base a los mapas de probabilidad de apertura de centros eruptivos, los puntos más probables de erupción los cuales serán considerados para realizar las simulaciones definitivas y obtener los mapas finales de amenaza tanto de flujos de lava, de emisión de ceniza como de caída de balísticos. Y con el fin de afinar la probabilidad de los mapas de apertura de centros eruptivos, se buscará incorporar otras variables como por ejemplo aquellos centros eruptivos que si han producido flujos de lava.

- flujos de lava, será elaborado en El Salvador.
- balísticos, será elaborado en la Universidad de Génova, Italia. Durante el curso de entrenamiento CERG-C.
- Caída de Tefras: Se está coordinado una pasantía a la Universidad de Florencia, Italia para la generación de los respectivos mapas de zonificación.

#### **Nicaragua**

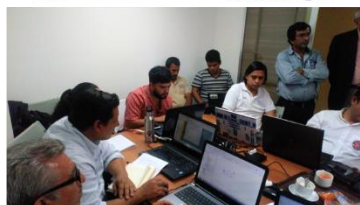
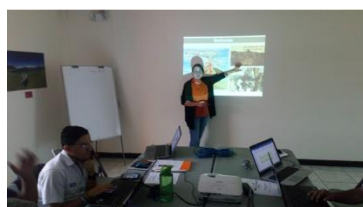
- Esta metodología ahora será compartida con otros colegas del IGG/UNAN-Managua para que ellos puedan reproducirla en cualquier volcán en el cual consideren es necesario realizar evaluaciones de flujos de lava.
- Se sugiere realizar en la próxima mesa a realizarse en Nicaragua en mayo-junio, un pequeño taller donde se explique los procedimientos para la realización del mapeo en campo de flujos de lava.
- También se sugiere realizar durante la próxima jornada en Nicaragua prácticas para la medición de gases en un volcán que será seleccionado. Nicaragua (El IGG) no tiene instrumentación para realizar esta prueba por lo que se solicita si se va a realizar esta práctica el apoyo de los compañeros de la Universidad de El Salvador (UES) con el préstamo de instrumentos, así como del apoyo de los compañeros del Ministerio del Ambiente y Recurso Naturales (MARN).

#### **Guatemala**

- Finalización del mapa de amenaza por flujos de lava provenientes del volcán Pacaya.
- Trabajo finalizando la “Evolución geoquímica de las lavas del Volcán de Pacaya, San Vicente de Pacaya, Escuintla, Guatemala.

### 3.3.9. Integrantes de la Mesa de Vulcanología

Jornada GUATEMALA	Jornada EL SALVADOR
Roberto Mérida (INSIVUMEH)	Dolors Ferrés (UNAM)
Carla Gordillo (USAC)	Diana Jiménez (UGB)
Miguel de León (USAC)	Eduardo Gutiérrez (MARN)
Eduardo Gutiérrez (MARN)	Manuel Barrios (MARN)
Edwin Nadir Castrillo (IGG-CIGEO)	Francisco Montalvo (MARN)
	Rodolfo Castro (MARN)
	Demetrio Escobar (MARN)
	Luis Montenegro (DGPC-El Salvador)
	Jose Tomasino (DGPC-El Salvador)
	Francisco Barahona (UES)
	Benancio Henríquez (UES)
	David Flores (UES)
	Alejandra Delgado (UES)
	Roberto Mérida (INSIVUMEH)
	Edwin Nadir Castrillo (IGG-CIGEO)



### 3.3.10 Anexos

#### Anexo 1

#### (Agenda del taller “Elaboración de mapas de amenaza por flujos de lava”)

Diciembre 2018	Hora	Actividad	Lugar	Coordina
Domingo 17	Por confirmar.	Arribo a EL Salvador Dra. Ferrés López	Aeropuerto Monseñor Romero	Eduardo Gutiérrez
Lunes 18	8:30 a.m. a 9:00 a.m.	Traslado de participantes	Hotel-MARN	Abel Argueta
	9:15 a.m. a 12:30 p.m.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Presentación del curso</li> <li>- Introducción a los aspectos fundamentales de los flujos de lava y su simulación.</li> <li>- Tipos de códigos computacionales para la simulación: probabilísticos y determinísticos</li> <li>- Etapas para la construcción de un mapa de amenaza por flujos de lava.</li> <li>- <b>Software Etna Lava Flow Model (ELFM)</b></li> </ul>	MARN Sala Cerrón Grande Edificio 1, nivel 4	Dolores Ferrés Rodolfo Castro Diana Jiménez
	12:30 p.m. a 1:10 p.m.	Almuerzo		
	1:10 p.m. a 4:00 p.m.	<p><b>Práctica:</b> Preparación de datos para el uso de ELFM</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Preparación de paleorelieve</li> <li>▪ Elementos para la etapa de calibración</li> <li>▪ Base de datos de flujos de lava geológicos e históricos</li> <li>▪ Marco estructural y probabilidad de apertura de nuevos centros eruptivos.</li> <li>▪ Selección de nuevos centros eruptivos para la etapa de simulación.</li> </ul>		
	4:00 p.m. a 5:30 p.m.	Traslado de participantes	MARN - Hotel	Abel Argueta
Martes 19	7:30 a.m. a 8:00 a.m.	Traslado de participantes	Hotel-MARN	Abel Argueta
	8:00 a.m. a 12:30 p.m.	<p><b>Software Q-LavHa (Mosseaux et al., 2016)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Presentación (investigación Volcán de San Miguel)</li> <li>- Requerimientos de cómputo para el uso del programa.</li> <li>- <b>Práctica:</b> Instalación del programa. Vínculos con Q-GIS.</li> </ul>	MARN Sala N°1 Edificio 2	Diana Jiménez Dolores Ferrés/ Eduardo Gutiérrez



		- Interfaz, parámetros y usos. Tratamiento del DEM y consideraciones sobre los parámetros de entrada. - Probability Density Functions (que son, como se utilizan). Ejemplos.		
	12:30 p.m. a 1: 10 p.m.	Almuerzo		
	1:10 p.m. a 4: 00 p.m.	<b>Práctica:</b> Ejercicios de preparación de datos, ejecución y discusión.		
	4:00 p.m. a 4:30 p.m.	Traslado de participantes	MARN-Hotel	Abel Argueta
Miércoles 20	7:00 a.m. a 7:30 a.m.	Traslado de participantes	Hotel - MARN	Abel Argueta
	8:30 a.m. a 12:30 p.m.	- Revisión de elementos para la etapa de calibración (trabajo lunes día 18). <b>Práctica:</b> Simulaciones para la calibración del software ELM en el volcán en estudio. - Post-procesamiento de resultados de las simulaciones de calibración. - Definición de escenarios por flujos de lava: rangos de los parámetros de entrada del software con base en los obtenidos en la calibración. - Planeación de las simulaciones	MARN Sala El Jocotal Edificio 1, nivel 4	Dolores Ferrés/ Eduardo Gutiérrez
	12:30 p.m. a 1: 10 p.m.	Almuerzo		
	1:10 p.m. a 4:00 p.m.	<b>Práctica:</b> Ejecuciones del programa. (corrida de simulaciones) Organización de listados de las corridas realizadas.		
	4:00 p.m. a 4:30 p.m.	Traslado de participantes	MARN-Hotel	Abel Argueta
Jueves 21	7:00 a.m. a 7:30 a.m.	Traslado de participantes	Hotel - MARN	Abel Argueta
	8:30 a.m. a 12:30 p.m.	Ejecuciones del programa. (corridas de simulaciones)		
	12:30 p.m. a 1: 10 p.m.	Almuerzo		
	1:10 p.m. a 4:00 p.m.	- Selección de los resultados para la elaboración del mapa de peligros. <b>Práctica:</b> Tratamiento de los archivos resultantes de las simulaciones (transformación de <i>ascii</i> a ráster y de ráster a polígono).	MARN Sala Cerrón Grande Edificio 1, nivel 4	Dolores Ferrés/ Eduardo Gutiérrez

	4:00 p.m. a 4:30 p.m.	Traslado de participantes	MARN-Hotel	Abel Argueta
Viernes 22	7:00 a.m. a 7:30 a.m.	Traslado de participantes	Hotel - MARN	Abel Argueta
	8:30 a.m. a 12:30 p.m.	Tratamiento de los archivos resultantes de las simulaciones (transformación de <i>ascii</i> a ráster y de ráster a polígono). - Elaboración preliminar del mapa de susceptibilidad a inundación por flujos de lava	MARN Sala Cerrón Grande Edificio 1, nivel 4	Dolores Ferrés/ Eduardo Gutiérrez
	12:30 p.m. a 1:10 p.m.	Almuerzo		
	1:10 p.m. a 4:00 p.m.	Consideraciones para la elaboración de un mapa de peligros por flujos de lava. Identificación de trabajo por concluir y de trabajo futuro. Discusión: dudas, comentarios. Evaluación del taller.		
	4:00 p.m. a 4:30 p.m.	Traslado de expertos a Hotel	MARN-Hotel	Abel Argueta
Sábado 23	6:00 a.m.	Salida de Dra. Ferrés López a Guatemala (8:50 a.m.)	Aeropuerto Monseñor Romero	Eduardo Gutiérrez

## 3.4. GEOHIDROLOGÍA

### **3.4.1. Introducción**

La evaluación de la amenaza por deslizamientos implica un reto que demanda el conocimiento de las diferentes variables que hacen a un área susceptible a deslizamientos. Para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa existen modelos basados en estadísticas de recurrencia y bases de datos históricas, como los son los modelos probabilísticos.

La utilización de modelos basados en análisis de probabilidad permite el análisis tanto de variables cualitativas como cuantitativas, haciendo la elección correcta de los diferentes modelos probabilistas disponibles.

La definición de los parámetros que alimentan este tipo de modelos debe caracterizar la mayor cantidad de elementos posibles que influyen en la ocurrencia de un deslizamiento. Estos elementos deberán incluir el detonador del evento (sismo, lluvia, etc.), morfología del terreno (pendientes, aspecto, etc.), propiedades mecánicas de los suelos (tipo de suelo, ángulos de fricción, etc.), entre otras variables que deberán ser incluidas de acuerdo a aspectos especiales de cada área en análisis.

De todos los parámetros que son incluidos en el proceso de análisis, es necesario un proceso previo de codificación. El proceso de codificación es aquel por el cual las alternativas de las variables se transforman en códigos o valores cuantitativos, de utilidad para ser modelizados utilizando técnicas econométricas.

El análisis probabilista para fenómenos como los deslizamientos implica tanto variables cuantitativas como cualitativas, por lo tanto, requiere modelos que permitan este tipo de enfoques, este tipo de modelos se conoce genéricamente con el nombre de modelos de elección discreta, dentro de la cual existe una amplia tipología de modelos. En concreto, según el número de alternativas incluidas en la variable endógena, se distinguen los modelos de respuesta dicotómica frente a los denominados modelos de respuesta o elección múltiple. Según la función utilizada para la estimación de la probabilidad existe el modelo de probabilidad lineal truncado, el modelo Logit y el modelo Probit.

La metodología empleada en para el análisis de probabilidad espacial de ocurrencia a deslizamientos se obtuvo con el modelo Probit. Utilizando como variable dependiente un set de puntos geográficos de ocurrencia de deslizamientos de acuerdo con registros históricos y un set de puntos aleatorios de no ocurrencia a deslizamientos y como variables independientes diferentes parámetros morfológicos y de mecánica de suelos.

En el marco del proyecto RIESCA se busca la obtención de un mapa probabilista de amenaza por deslizamientos para determinadas áreas crítica en los Centroamérica (Guatemala, Honduras, El Salvador y Nicaragua). Los resultados obtenidos de los modelos obtenidos para cada una de las áreas críticas determinadas para el proyecto permitirán replicar la metodología a niveles nacionales y regionales.

Posterior a la obtención de los mapas probabilistas de amenaza por deslizamientos cada integrante de la región deberá realizar procesos de validación y calibración de los resultados para ir ajustando de mejor manera sus propios modelos de evaluación. Este proceso es un

proceso continuo, dado que se pueden mejorar a medida las bases de datos de eventos disponible vayan siendo alimentadas con nuevos sucesos.

### 3.4.2. Antecedentes

Lo que se describe en esta sección está basado en los resultados obtenidos de jornadas RIESCA en Centroamérica, siendo las más recientes las mesas de trabajo en Guatemala de del 13 al 16 de marzo y en El Salvador del 18 al 23 de marzo.

Las jornadas han sido acompañadas tanto previa como paralelamente con comunicaciones remotas para coordinar acciones, métodos y disponibilidad de información para la aplicación del proceso metodológico de RIESCA.

### 3.4.3. Metodologías y herramientas implementadas

Cada uno de los países integrantes posee niveles de avance diferentes, sin embargo, se ha compartido con toda la metodología de análisis y recomendado las diferentes herramientas a utilizar. En primer lugar y de manera primordial se realizó el mapeo sistemático de deslizamientos por eventos y áreas críticas definidas por cada participante.

Los inventarios son el eje más importante para el inicio de la aplicación de la metodología, se ha iniciado definiendo áreas pilotos que tienen representatividad geomorfológica y que estén relacionadas a eventos extremos detonantes como tormentas y sismos. Para los casos seleccionados se realizó la búsqueda de imágenes satelitales, reportes en catálogos históricos, para el desarrollo del método sistemático de mapeo de deslizamientos compartido. Para el mapeo se utilizaron software y herramientas de libre adquisición como QGis, SAGAGIS y Google Earth.

La susceptibilidad a movimientos en masa ha sido evaluada mediante un análisis de regresión logística multinomial. Esta es una extensión multivariante de la regresión logística binaria clásica. Sirve para predecir las probabilidades de los resultados posibles de una variable dependiente de tipo nominal, de más de dos categorías, cuando se presenten diferentes categorías de las variables independientes. Para ello se han utilizado los paquetes de R Statistics.

En este caso se ha utilizado la regresión logística para obtener la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos, cuya respuesta toma valores entre 1 y 0, donde 1 indica el 100% de probabilidad de ocurrencia.

El modelo planteado es el siguiente:

$$P[Y = 1|X] = \frac{\exp(b_0 + \sum_{s=1}^n b_s x_s)}{1 + \exp(b_0 + \sum_{s=1}^n b_s x_s)}$$

donde el término de la izquierda es la probabilidad buscada,  $\mathbf{x}_s$  son las variables independientes,  $\mathbf{b}_0$  el término independiente y  $\mathbf{b}_s$  los coeficientes de las variables independientes.

Esta ecuación es de tipo exponencial por lo que se realiza su transformación logarítmica (logit) para utilizarla como una función lineal y que su interpretación sea más fácil, obteniendo la siguiente expresión:

$$\ln \left[ \frac{p(X)}{1 - p(X)} \right] = b_0 + \sum_{s=1}^n b_s x_s$$

Se han considerado como variables independientes la información disponible, que podrían ser condicionante de movimientos de ladera. El esquema a continuación resume el flujo de procesamiento de la metodología aplicada en el proyecto.

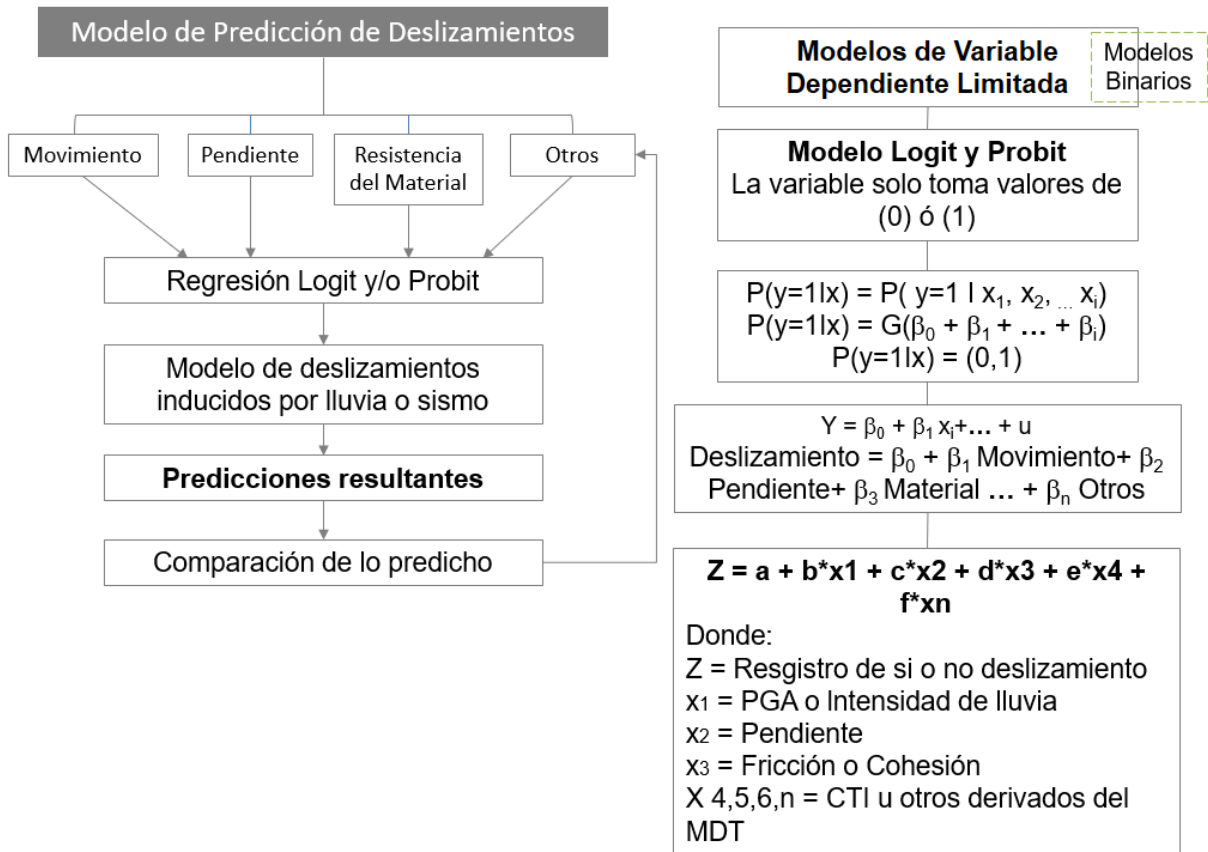


Figura 35. Diagrama de flujo de la metodología probabilista para la evaluación de amenaza por deslizamiento.



Figura 36. Ejemplo de mapas resultantes de amenaza por deslizamiento, mediante análisis probabilista.

### 3.4.4. Estado del avance de la base de datos geohidrológicos

Para realizar un orden conjunto con los datos de cada uno de los países de la región que se encuentran implementando la metodología para la evaluación de la amenaza por deslizamientos se creó una tabla de seguimiento tipo “check list”, para que cada integrante pueda identificar sus avances y pasos pendientes.

Se definieron ocho principales aspectos para poder darle seguimiento a la metodología, es de enfatizar el hecho que para cada área de estudio existen diferencias en la cantidad de datos

disponibles y entre la resolución espacial y temporal de los mismos. Sin embargo, una de las ventajas de este tipo de modelos probabilistas, permite que estas variaciones no afecten el proceso de cálculo, sino que se adaptará a la disponibilidad de los datos. Las mejoras a cada uno de los modelos se realizan bajo proceso posteriores de validación y de calibración.

**Tabla 6.** Cuadro resumen de los datos y herramientas requeridas para la implementación de la metodología de análisis de la amenaza por deslizamientos.

% actual	Requerimientos	Comentario	Nombre y formato del o los archivos
80%	1. Catálogo consolidado de deslizamientos	Procesados durante la jornada	Excel con los campos requeridos
100%	2. Mapas de zonificación de áreas críticas a deslizamientos	Definidos por cada país en comunicación remota.	Shapefiles y raster
50%	3. Imágenes satelitales o aéreas de los sitios de deslizamientos	Disponibilidad varía por área de estudio	En proceso de obtención de imágenes aéreas
100%	4. Modelos digitales de elevación de las áreas críticas	Disponibles en diferente resolución para cada área de estudio.	Raster
100%	5. Mapa geológicos y litológicos	Disponibles en diferente resolución para cada área de estudio.	Shapefiles y raster
100%	6. Otros mapas que puedan caracterizar el terreno (textura, uso de suelo, etc)	Disponibles en diferente resolución para cada área de estudio.	Pendientes, ángulos de fricción, Índice topográfico compuesto, aspecto, índice de convergencia.
100%	7. Poseen un programa de información geográfica, de preferencia SAGA GIS, ArcGIS o QGIS. Indicar en los comentarios cuales.	Disponible para todos los países	SAGA GIS, ArcGis y Qgis
60%	8. Programa de procesamiento estadístico como Rstudio, MatLab, consolas para Python o similares. Especificar en los comentarios.	Disponible para todos los países	Rstudio

Como se observa en la tabla los parámetros necesarios han sido obtenidos para cada país, sin embargo, existen discrepancias en ciertas características de los archivos fuente, sin embargo, realizar el análisis es posible. Durante la Sexta Jornadas se avanzó de gran manera en un aspecto importante, este fue el catálogo de deslizamientos y la forma sistemática de mapear los mismo.

#### 3.4.4.3. Estado del Avance en Guatemala

Durante el desarrollo la 6ta Jornada Plenaria de RIESCA en Centro América, el objetivo primordial fue establecer un área piloto de estudio y un evento en el mismo, para este caso Guatemala ha seleccionado el evento de la Tormenta Stan, la cual dejo serios daños en el departamento de Sololá, por lo que las cuencas en estudio son las del Rio San Francisco y Rio Madre Vieja. A continuación, se describen los avances obtenidos en esta jornada.

- *Periodo del 13 al 16 de marzo 2019, en Guatemala.*

En esta reunión se contó con la coordinación de Julio Luna y Alan Cosillo de la Universidad San Carlos de Guatemala (CESEM-FIUSAC) y Miguel Hernández de la Universidad de El Salvador (UES), como asesores de la mesa temática de Geohidrología.

Se logró determinar el área piloto de estudio la cual será la cuenca del **Rio San Francisco y la cuenca del Rio Madre Vieja**, ubicadas en **Sololá** departamento de Guatemala ya que fue la zona que sufrió serios daños en cuanto a deslizamientos debido a la tormenta que ocurrió el 1ro de octubre del 2005, dicha Tormenta es el **Stan**, ya que fue una tormenta relevantemente fuerte que se estableció como Huracán de categoría 1, en un periodo corto causo inundaciones y desprendimiento de suelo.

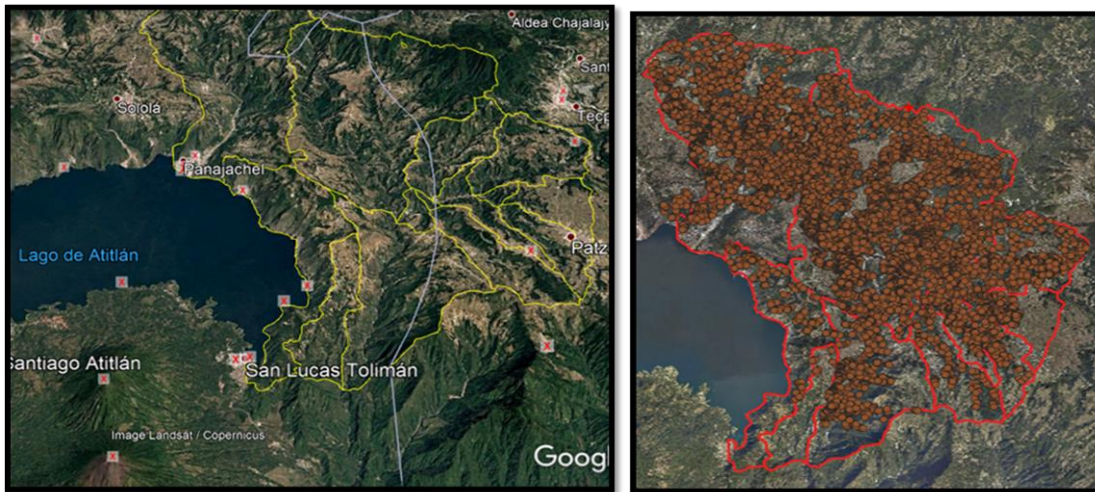
Esta mesa inicio con la explicación de la metodología que se aplicara en la zona piloto, por parte de Miguel Hernández (UES), quien nos indicó la manera en la cual podríamos obtener la información necesaria para generar la base de datos que se necesita para la utilización de la metodología. Debido a la complejidad del área en estudio, se decidió dividir en trabajo para la generación de la información entre los representantes de la mesa de Guatemala, para obtener una mejor eficiencia en la generación de la información, que posteriormente sería utilizada para correr los modelos con ayuda de Edoardo Rotigliano.

De esta manera se determinó y delimito el área de estudio por medio de las ortofotos las cuales están completamente ligadas al DEM-15m que utilizaremos para la cuenca del Rio San Francisco y la cuenca del Rio Madre Vieja, utilizando como apoyo las imágenes de Google Earth, para identificar Landslides Identification Points (LIP) y otras estructuras asociadas con movimientos en masa. Así mismo se identificó el evento que desencadeno grandes deslizamientos en el área de estudio identificados en las ortofotos.

La zona de trabajo se escogió tomando de base la información con que se cuenta en Guatemala y considerando las recomendaciones y sugerencias de Miguel Hernández sobre los requerimientos del software que se utilizará para llevar a cabo dicho estudio, las cuales se detallan a continuación:

- Los primeros días del mes de octubre de 2005 la tormenta tropical Stan azotó gran parte del territorio nacional, dejando muerte y destrucción, según información del diario Prensa Libre, el Impacto de la Tormenta Stan sobrepasó en término de vidas humanas, se reportaron más de 900 derrumbes que afectaron las dos carreteras principales del país y casi la mitad de los caminos de terracería.
- Por parte del Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación -MAGA- del 2006 al 2007 se tomaron fotos aéreas de toda la república de Guatemala, las cuales se utilizaron para elaborar ortofotos y posteriormente publicadas por el ente a finales del año 2007; en estas ortofotos, al revisarlas detalladamente, se pueden observar claramente los puntos de deslizamientos ocurridos en distintos lugares de la república, especialmente en los alrededores del lago de Atitlán, Sololá.
- Las ortofotos del MAGA del 2007 fueron utilizadas de base por el Instituto Geográfico Nacional para elaborar Modelos Digital de elevaciones DEM, con precisión de 15 m.
- Dado que la tormenta Stan acababa de Ocurrir y en vista de que, en Guatemala, la información más reciente y de mejor calidad que se tiene son las ortofotos y el DEM mencionados anteriormente, se escogió uno de los lugares cercanos al lago de Atitlán,

Considerando que es un proyecto piloto, lo que implica que no debe ser de gran extensión, se escogieron las cuencas de los Rio San Francisco y Rio Madre Vieja.



*Figura 37. Delimitación del área en estudio, cuenca del Rio San Francisco, y Rio Madre Vieja, a la izquierda; y Puntos de deslizamientos identificados en el área de estudio, a la derecha.*

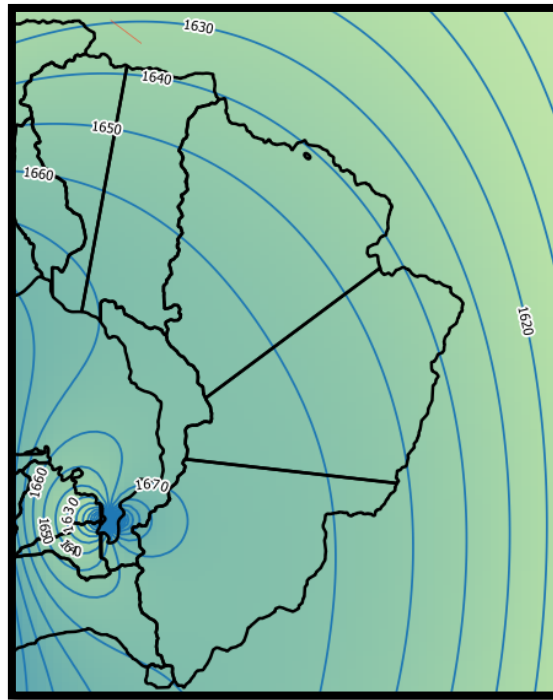
Se coordinó con el equipo de trabajo para la identificación de las áreas con índices de ocurrencia de deslizamientos dentro del área elegida, para lo cual se generó una capa de puntos en QGIS para la identificación de estos puntos y con ello se obtuvo un total de 13000 puntos. Teniendo ya identificada el área de estudio, el evento, los puntos de deslizamientos y todas las herramientas que necesitamos se dividió el trabajo para poder obtener la mayor cantidad de datos posibles nos dirigimos hacia El Salvador para continuar con el trabajo.

**- Periodo del 18 al 23 de marzo 2019, El Salvador.**

En esta reunión se contó con la coordinación de Jaqueline Rivera del Ministerios de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), y de Miguel Hernández de la Universidad de El Salvador (UES).

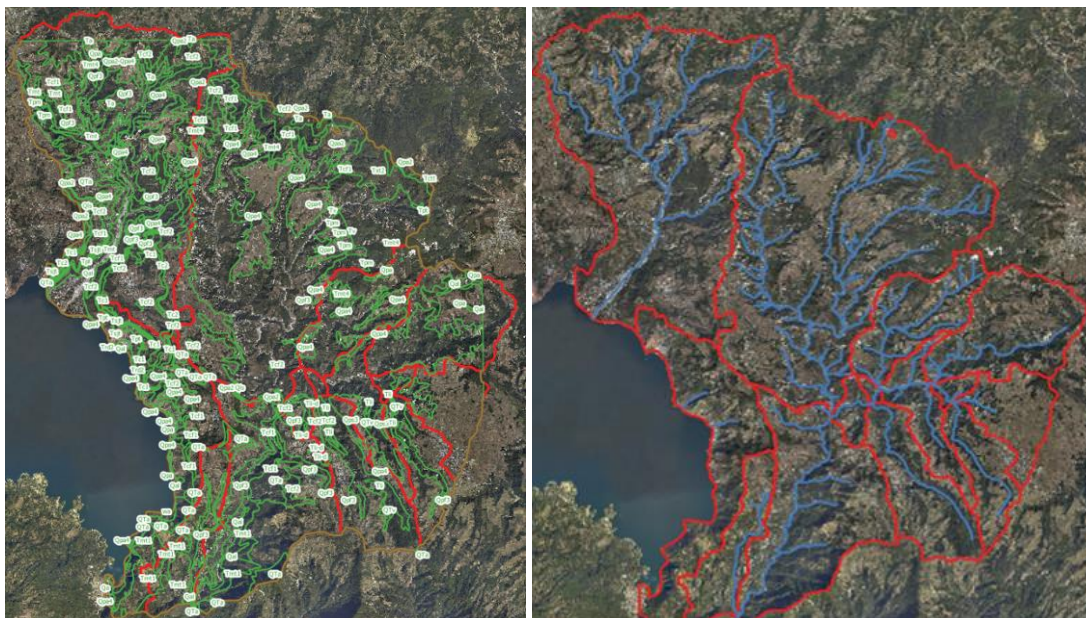
El 18 y 19 de marzo, se estuvo trabajando en la generación de información para crear la capa de ríos y de carreteras. Se solicitó al Departamento de Investigación y Servicios Climáticos información sobre registro de lluvias en las 3 estaciones más cercanas al área de trabajo para la elaboración de Isoyetas.





**Figura 38.** Representación de isoyetas, 495mm de lluvia de lluvia obtenida durante el evento “TORMENTA STAN”.

El miércoles 20 de marzo, se trabajó en obtener la información geológica del área de trabajo hasta que se pudo contactar con un integrante de una Organización no Gubernamental denominada Asociación Vivamos Mejor, quienes han tenido proyectos relacionados a Sistemas de Información Geográfica -SIG- quienes han digitalizado el mapa geológico de la hoja 1960 II SOLOLÁ del IGN. Así mismo se realizó el mapa hidrológico y de fallas utilizando Qgis.



**Figura 39.** A la izquierda, representación del mapa geológico del área en estudio. Obtenido por: Organización no Gubernamental denominada Asociación Vivamos Mejor. (Se realizarán mejoras para su adecuada visualización). A la derecha, Hidrogeología del área en estudio.

El jueves 21 de marzo se presentó la información a Edoardo Rotigliano, quien revisó e indicó las mejoras a realizar, las cuales fueron realizadas y presentadas, así mismo, indicó sobre la información que hace falta y en la que se tendrá que trabajar previo a ejecutar el modelo.

El viernes 22 de marzo, se trabajó en la elaboración de la presentación de power point de los avances alcanzados durante jornada plenaria del proyecto RIESCA y se coordinó la visita de Edoardo Rotigliano a Guatemala las fechas del 25 al 26 de marzo.

El sábado 23 de marzo se presentaron los avances logrados durante las jornadas de trabajo a todos los integrantes del proyecto RIESCA.

- ***Periodo 25 y 26 de marzo 2019, Guatemala.***

El día lunes 25 de marzo, se contó con la presencia de Edoardo Rotigliano en Guatemala, en esta reunión nos explicó para que se están generando los datos, que se busca con el proyecto de deslizamientos y como nos va a beneficiar para futuros eventos la información que estamos generando.

El martes 26 de marzo, con Edoardo Rotigliano se revisó la base de datos que obtuvimos en El Salvador y nos explicó cómo se utilizan los programas para generar información e ingresar datos, así mismo se coordinó la forma de cómo se estará trabajando posteriormente, después de finalizar los trabajos pendientes y la obtención de datos faltantes.

Se concluyó con Edoardo Rotigliano, que cuando finalicen los trabajos pendientes se realizarán video llamadas con él para que nos siga guiando en la ejecución del modelo.

***3.4.4.4. Estado del Avance en Honduras***

En esta reunión plenaria, se contó con el apoyo de Miguel Hernández de la Universidad de El Salvador (UES), como asesor de la mesa temática de Geohidrología. Con el apoyo del Miguel Hernández se identificó el área piloto de estudio, que inicialmente se había planteado sería el área urbana de Tegucigalpa.

Esta zona es seriamente afectada por fenómenos de movimientos en masas, debido a que es la zona mayormente poblada del país se considera que los resultados de una modelación de susceptibilidad a movimientos en masas serían de gran ayuda para los organismos de emergencia y protección civil (COPECO y AMDC).

Como paso inicial el Hernández explicó la metodología que se aplicaría en las zonas pilotos, así como sus principales insumos, desventajas y ventajas de la calidad de la información base. Debido a la complejidad del área de estudio (Tegucigalpa), se decidió generar la información requerida por el modelo y posteriormente con ayuda de Edoardo Rotigliano decidir si se evaluaría esta área u otra.

Así se partió del análisis de ortofotos de la ciudad de Tegucigalpa de 2013 levantadas por JICA, utilizando como ayuda auxiliar Google Earth, para identificar Landslides Identification Points (LIP) y otras estructuras asociadas con movimientos en masa.

Adicionalmente se identificó el evento meteorológico asociado con los deslizamientos que se identificaron en las ortofotos. En total se identificaron 532 LIP, los cuales fueron contrastados con inventario de deslizamientos en la zona de estudio realizado por IHCIT, 2018. Con esta base de datos se partió hacia El Salvador.



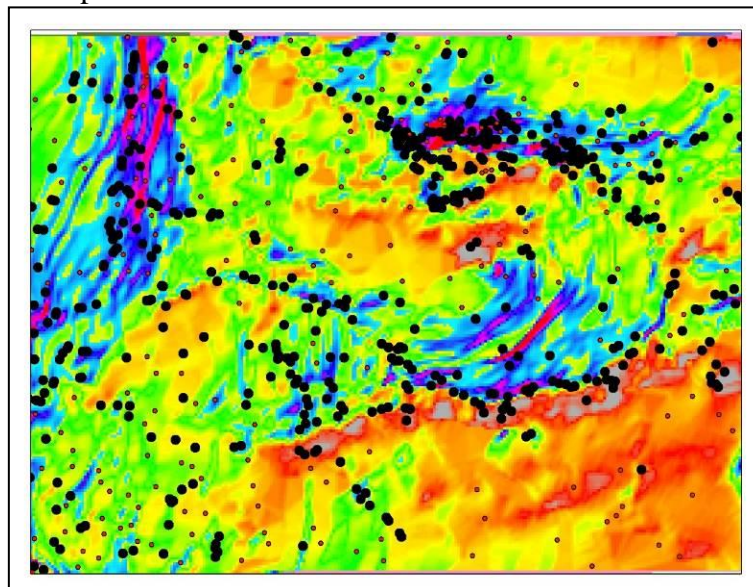
*Figura 40. Ubicación del área de estudio y puntos de deslizamientos (LIP).*

- **San Salvador, El Salvador**

La coordinación de la mesa temática estuvo a cargo de Jaqueline Rivera del Ministerios de Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

Se realizó el análisis de datos derivados del modelo de elevaciones del área de estudio, para ello se contó con el asesoramiento de Rivera quien indicó la metodología y software que se utilizan para poder obtener los parámetros mencionados.

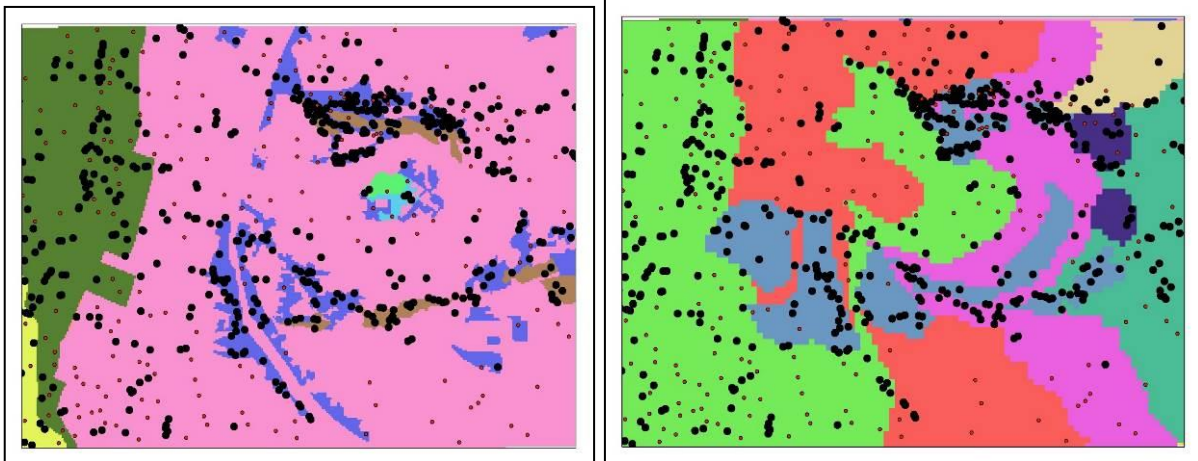
Para el ares de estudio se cuenta con un Digital Elevation Model (DEM) de 4x4 pixeles, derivado de un levantamiento topográfico de separación entre curvas de 4 m. Siendo el mejor modelo de elevaciones para el área de estudio.



*Figura 41. Mapa de DEM.*

Se desarrolló un mapa de uso suelos utilizando para ello ortofotos e imágenes de Google Earth, este mapa es una de las variables dentro del modelo. Para el tema de geología e partió del mapa geológico a detalle, escala 1: 5000 elaborado por IHCIT, 2018.

Con las variables del modelo completas se esperó el arribo de Rotigliano para la presentación de los datos y sus comentarios. Adicionalmente se inició la búsqueda de una zona no urbanizada, en la que se tuviera información, principalmente información de elevación. Se escogió una zona ubicada en Ocotepeque, fronterizo con El Salvador.



*Figura 42. Mapa de uso de suelos a la izquierda y mapa geológico a la derecha*

En consenso con Rotigliano se decidió:

1. Realizar una visita de campo a la zona de estudio propuesta para Tegucigalpa.
2. Continuar con el análisis de los datos y mejorar los mismos.
3. Iniciar el análisis de una zona que no sea urbanizada, para ello deberá ser una zona con eventos de movimientos de masa recurrentes.
4. Debe de obtenerse información de elevación no mayor de 15 m.

- **Tegucigalpa, Honduras**

Se contó con la visita de Rotigliano del 27-29 de marzo.

La agenda incluye la visita al sitio piloto para verificar las condiciones del terreno y la aplicación del modelo propuesto en RIESCA durante la 4 semana plenaria.

Para la visita al sitio piloto se contó con el apoyo de la ONG GOAL International, ya que es una zona conflictiva dentro de Tegucigalpa, esta ONG ha trabajado en conjunto con IHCIT temas relacionados a temas de gestión de riesgos y cuenta con una base de colaboradores que permite poder llegar sin problemas al área piloto.



*Visita en área piloto.*

Se visitaron en total 4 sitios, en los que miembros del equipo de GOAL conocieron los alcances de la mesa de Geohidrología y la aplicación del modelo de análisis de susceptibilidad.

Así mismo se realizó una charla sobre Mapas de Susceptibilidad, que fue impartida a profesores y estudiantes de Ciencias de la Tierra.



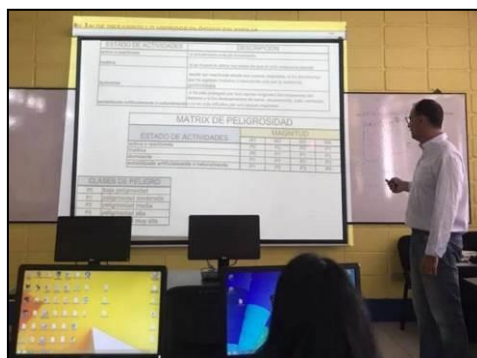
*Sesiones realizadas.*

Posteriormente se realizó una visita al equipo de trabajo de JICA en la Alcaldía Municipal del Distrito Central (AMDC), con la finalidad de poder presentar los alcances del proyecto RIESCA en la mesa de Geohidrología, dado que JICA trabaja en Tegucigalpa la construcción de contramedidas ante movimientos en masas. Esta fue una reunión fructífera ya que permitió a miembros de JICA conocer los alcances de la aplicación de una metodología estadística para análisis de susceptibilidad a movimientos en masa, así como el compromiso a poder trabajar en conjunto con IHCIT esta temática.



*Visita al equipo de trabajo de JICA Central (AMDC)*

Con la finalidad de reproducir la metodología para análisis de susceptibilidad de movimientos en masas se realizó una charla técnica en la que presento la metodología a profesores de la Escuela de Física de la Tierra, en esta charla técnica se obtuvieron resultados favorables, incluido la continuación de la capacitación vía Skype.



*Charla Escuela de Física de la Tierra*

**Tabla 7. Resumen de actividades, Guatemala.**

<b>Miércoles 27 de Marzo</b>				
<b>No.</b>	<b>Actividad</b>	<b>Horario</b>	<b>Responsable</b>	<b>Observaciones</b>
1	Trabajo de gabinete (revisión de metodologías)	2:00 – 5: 00 pm	Maynor Ruiz	Instalaciones de IHCIT
<b>Jueves 28 de Marzo</b>				
1	Visita Campo a la zona de deslizamiento de la Colonia Ulloa	8:00 – 11: 00 am	Maynor Ruiz	En acompañamiento con GOAL de Honduras
2	Coloquio: Landslide Susceptibility Maps	12:00 – 1:00 pm	Edoargo Rotigliano	Sala de audiovisuales Albert Einstein Edificio E1
3	Reunión para revisión del Plan de Estudios, Carrera de Geología: su estado de avance, pasos a seguir para su apertura en II Periodo Académico 2019	2:00 – 3:00 pm	Elisabeth Espinoza	Sala de Maestrías IHCIT
4	Trabajo de gabinete (revisión de metodologías)	3:00 – 5: 00 pm	Maynor Ruiz	Instalaciones de IHCIT
<b>Viernes 29 de Marzo</b>				
1	Reunión para dar a conocer alcances del mapa de susceptibilidad RIESCA y alcances proyecto control de deslizamientos coordinado por JICA	10: 00 – 12:00 am	Lidia Torres	A realizarse en Oficinas del Proyecto JICA en la Alcaldía del Distrito Central  Expertos Japoneses:  Kiyoharu HIROTA  Tsukamoto SATORU  Por Italia: Edoardo Rotigliano  Por IHCIT: Lidia Torres  Maynor Ruiz
2	Taller: Análisis de susceptibilidad a movimientos en masa utilizando metodologías estadísticas	1:00 – 5:00 pm	Edoardo Rotigliano	A desarrollarse en los laboratorios de computo de IHCIT  Participan: Profesores de UNAH

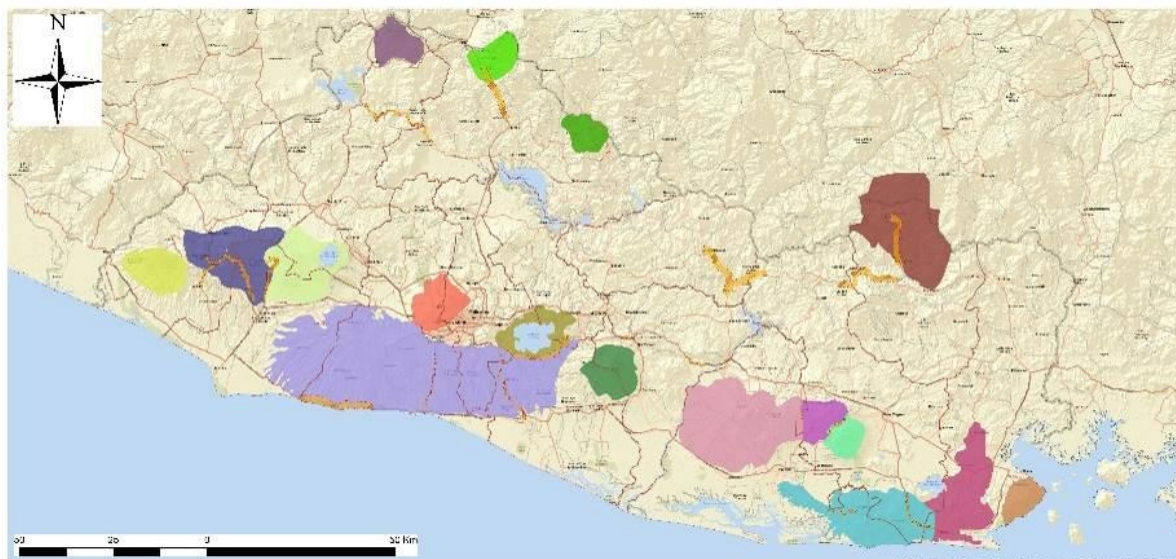
#### **3.4.4.5. Estado del Avance en El Salvador**

El objetivo final de la aplicación de la metodología para la evaluación probabilista de la amenaza es realizar un mapa nacional, sin embargo, la no uniformidad de los catálogos deslizamientos y la disponibilidad de otros parámetros, volvió necesario definir áreas críticas, donde se realice un levantamiento detallado de deslizamientos históricos con la mayor fuente de información posible.

Para El Salvador en la Jornada 5 se establecieron zonas de amenaza homogéneas, consideradas como críticas. El establecimiento de estas zonas ha permitido enfocar la toma de acciones para el proceso de mapeo de deslizamientos con imágenes satelitales, fotogrametría y modelos digitales de terreno (MDT), siguiendo los lineamientos a continuación:

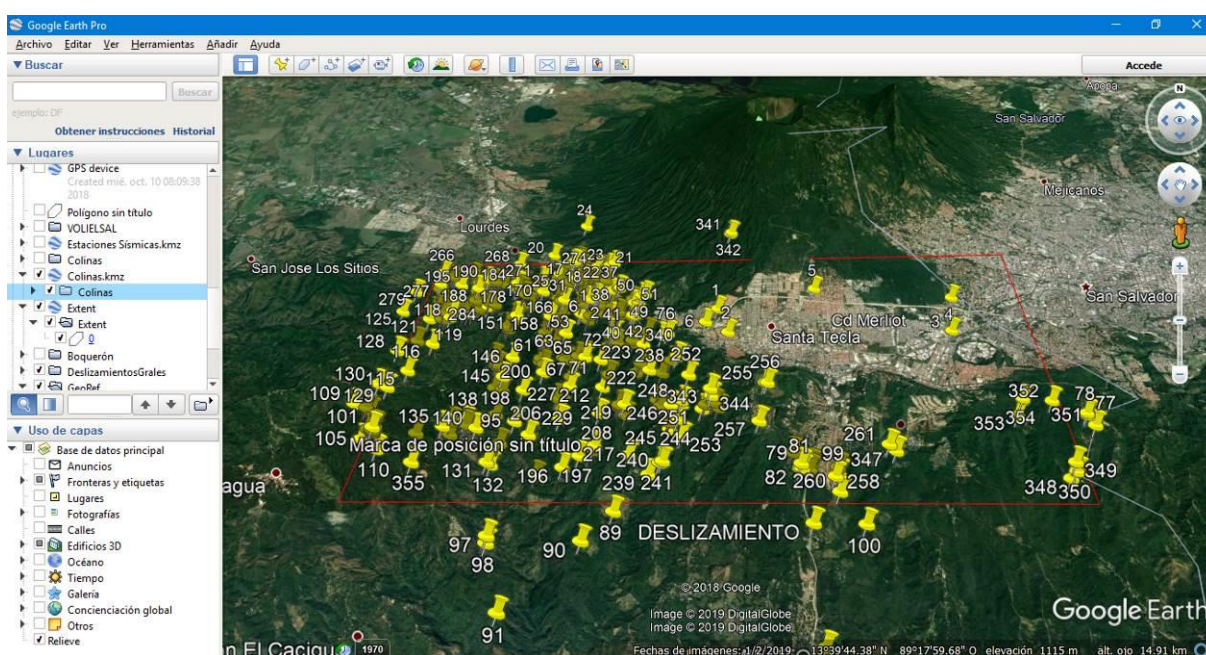
- Subdivisión del territorio nacional en áreas individuales y morfológicamente homogéneas.
- Mapeo sistemático de deslizamientos.

- Delimitación por cada una de las zonas de áreas para procesos de validación y calibración de los modelos.



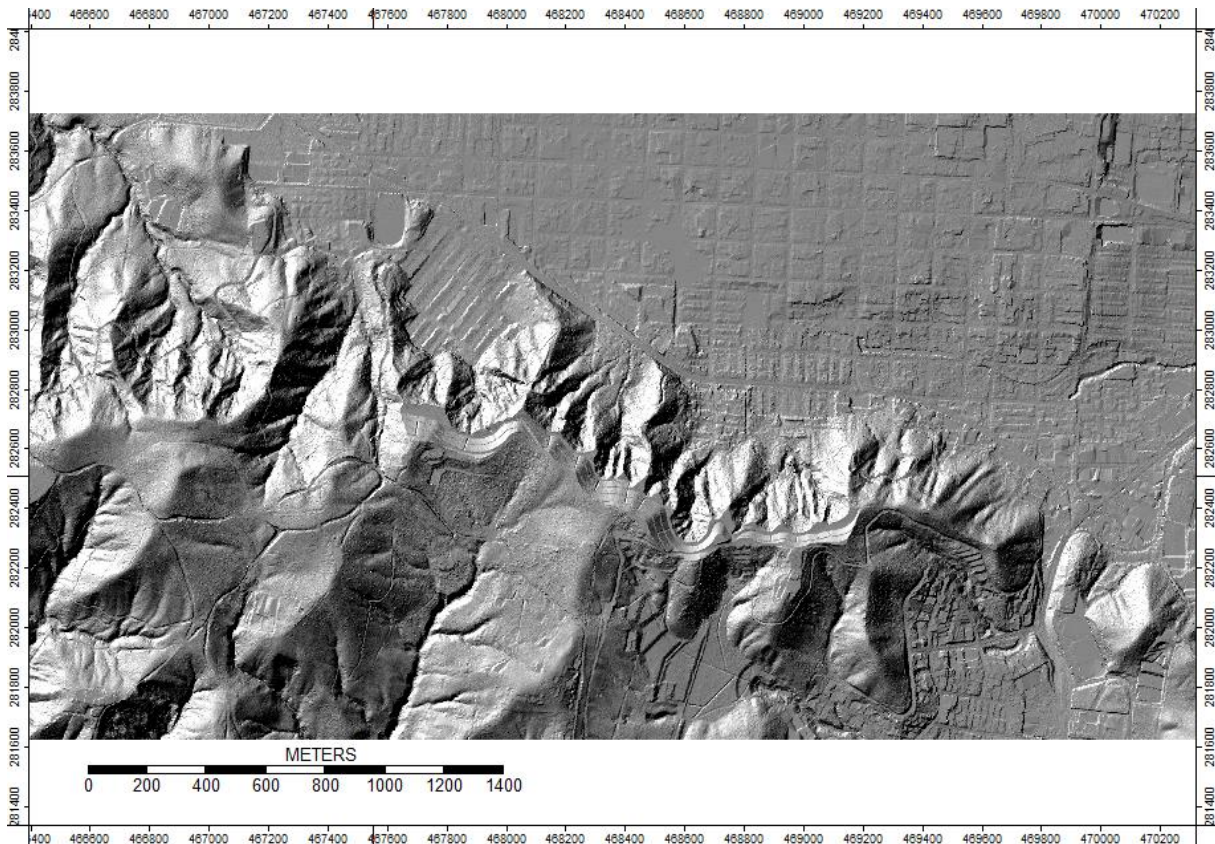
**Figura 43.** Zonificación de áreas críticas de ocurrencia por deslizamientos, basados en morfología, litología y eventos pasados.

- Zonas de amenaza homogénea:** con las zonas de amenaza homogénea, se ha iniciado con la información morfológica de las cordilleras de Apaneca y Bálamo. De estas áreas se ha procesado información derivada del modelo de elevación digitales resultado de LIDAR y a una resolución espacial de 1m. El procesamiento del análisis y cálculo de parámetros morfológicos se está realizando con el software libre SAGGis.
- Catálogos de deslizamientos sistemáticos:** la conformación de la base de datos de deslizamientos históricos. En proceso, se encuentra la revisión de fotografías aéreas provenientes de levantamientos del Centro Nacional de Registros de El Salvador. Adicionalmente, para tener una base más robusta, como es deseado, se ha realizado la determinación a través de imágenes satelitales y modelos de sombras de MDT:

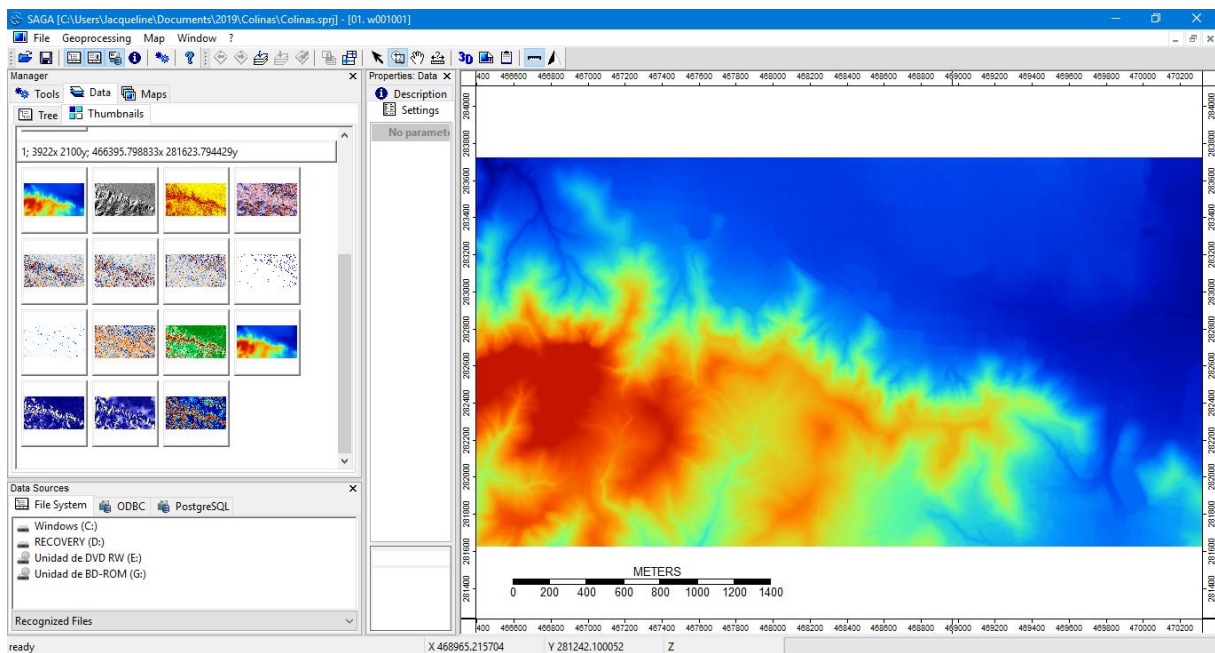


**Figura 44.** Deslizamientos identificados en la cordillera del Bálamo después de la depresión tropical I2E.

- c. **Parámetros morfológicos:** de datos de LIDAR se cuenta con un modelo digital de terreno de resolución espacial de 1 metro. Con estos datos se calcularon diferentes parámetros morfológicos con la herramienta “Basic Terrain Analysis”, dentro de SAGGIS.



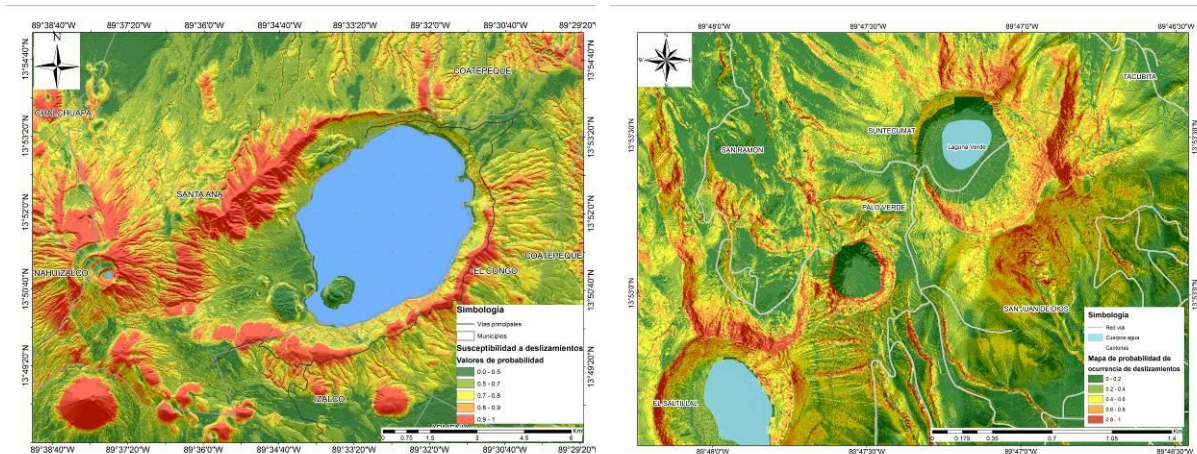
*Figura 45. Modelo de sombras de la zona crítica conocida como Cordillera del Bálsamo, El Salvador.*



*Figura 46. Parámetros derivados del MDT, calculados en SAGGIS para la cordillera del Bálsamo.*

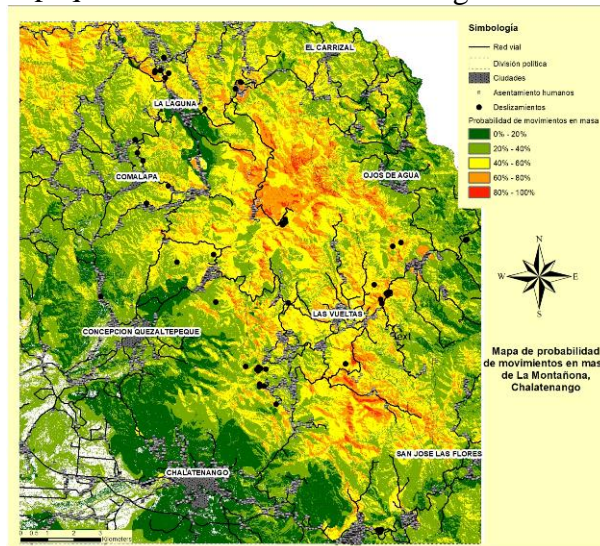


Los tres principales lineamientos ya fueron analizadas tres zonas piloto en El Salvador, las zonas ya analizadas han sido:



a. Caldera de Coatepeque

b. Laguna Verde



c. La Montañona

**Figura 47.** Mapas de amenaza probabilista, resultantes en tres áreas pilotos en El Salvador

Esta metodología ha sido utilizada para determinación de zonas con amenaza por deslizamientos ante la ocurrencia de sismos. La metodología espera ser también adaptada a evaluaciones en tiempo real en caso de eventos hidrometeorológicos.

#### 3.4.4.6. Estado del Avance en Nicaragua.

Las actividades dentro de la mesa de geohidrología fueron suspendidas por motivos ajenos al proyecto RIESCA, la situación del país ha imposibilitado realizar avances en cuanto a compartir la metodología y poder recolectar datos para su aplicación.

### 3.4.5. Transferencia de informaciones Geohidrológicas desde/a los Sistemas de Protección Civil

Durante la Sexta Jornada se contó con la participación de personal de la Dirección General de Protección Civil de El Salvador y Guatemala, para darles a conocer la metodología de evaluación de la amenaza geohidrológica, así como también a saber interpretar los resultados y como contribuir al mejor desarrollo de la misma.

Adicionalmente, en El Salvador se realizó un conversatorio con Protección Civil, habitantes comunidades de los alrededores del volcán de San Salvador y especialistas de Sismología, Vulcanología y Deslizamiento. En este conversatorio se compartió información técnica para que los habitantes y Protección Civil conocieran en general las amenazas naturales a los que se encuentran expuestos, como interpretar la información recibida y como ellos pueden retroalimentar estos procesos. Dado que el conversatorio se realizó en El Salvador, el enfoque se dirigió dentro del concepto de Sistemas de Alerta Temprana (SAT's), los SAT se alimentan continuamente los procesos de observación y retroalimentación de experiencias en campo.



## Evaluación de la Amenaza por Deslizamientos

Conversatorio entre habitantes comunidad El Porvenir, especialistas miembros del proyecto RIESCA en Sismología-Vulcanología-Deslizamiento y Protección Civil Santa Tecla

Proyecto Regional de Formación Aplicada a los Escenarios de Riesgos con Vigilancia y Monitoreo de los Fenómenos Volcánicos, Sísmicos y Geohidrológicos en Centro América (El Salvador-Guatemala-Honduras-Nicaragua) RIESCA

Jacqueline Rivera  
Técnico en Monitoreo Geológico - MARN  
21-marzo-2019



**Figura 48** Conversatorio con comunidades del volcán de San Salvador, Protección Civil y otras instituciones públicas.

### 3.4.6. Propuesta de actividades en Geohidrología a realizar en el 2019

#### - Próximos pasos - Honduras.

Los principales resultados y próximos pasos a realizar son:

1. El área de estudio propuesta como área piloto no es factible para la aplicación del modelo de análisis de susceptibilidad a movimientos en masa usando regresión logística.
2. Se debe realizar en esta zona un plan para la creación de un sistema de alerta temprana, incluyendo toda la información ya existente, así como la que se está generando por parte de GOAL International, AMDC e IHCT.
3. Dado que hay información de inventario de deslizamiento en todo Tegucigalpa, se preparará información adicional para realizar un entrenamiento de modelo.

4. Se creará una carpeta Dropbox para compartir información del área de estudio piloto, Tegucigalpa y la zona de Ocotepeque, la cual será trasladada al Aula Virtual.
5. La digitalización de información topografía de la zona de Ocotepeque se realizará en Palermo, para ello IHCIT debe enviar mapas topográficos e información complementaria.
6. Se realizará por parte del IHCIT inventario de deslizamientos en la zona de Ocotepeque y en la zona de Tegucigalpa, para incluir los que no están en el inventario de deslizamientos primario.
7. Obtener modelos de elevación de mejor resolución.
8. Se realizará un video llamada la semana del 25-29 de abril con la finalidad de poder continuar con la capacitación de la aplicación de la metodología de análisis de susceptibilidad a movimientos en masas.

**- Próximos pasos – El Salvador.**

1. Realizar regresiones de las dos áreas pilotes con los nuevos catálogos de deslizamiento conformados para los eventos hidrometeorológicos.
2. Calibraciones y validaciones de los dos nuevos modelos.
3. Implementación de la metodología a escala nacional.
4. Implementación de la metodología para evaluación de la amenaza en tiempo real.
5. Darle continuidad al levantamiento sistemático de deslizamientos, para la conformación de bases de datos que permitan actualizar los modelos que vayan siendo generados.

**3.4.7 Integrantes de la Mesa de Geohidrología**

- Edoardo Rotigliano, UNIPA - Italia
- Iris de León, USAC - Guatemala
- Pablo Santos, USAC - Guatemala
- Migdalia del Cid, USAC - Guatemala
- Alfredo Quiñonez, Guatemala
- Julio Luna, USAC - Guatemala
- Alan cosillo, CECEM - Guatemala
- Maynor Ruiz, UNAH - Honduras
- Cecilia Polío, MARN - El Salvador
- Miguel Hernández, UES - El Salvador
- Jaqueline Rivera, MARN - El Salvador



#### 4. Avances con la Sinergia entre instituciones y Protección Civil

Dentro del marco del desarrollo de la Sexta Jornada RIESCA, se realizó como parte de las actividades programadas con la Dirección General de Protección Civil, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales y la Universidad de El Salvador, el conversatorio denominado **Sistema de Alerta Temprana “Comprendiendo la amenaza de los fenómenos naturales”**. Esta actividad tuvo lugar en la Comunidad El Porvenir ubicada en el municipio de Santa Tecla departamento de La Libertad.

En el evento estuvieron presentes representantes del Observatorio Ambiental, la Universidad de El Salvador, así como también personal técnico especialista en sismología y sismotectónica, vulcanología y geohidrología, sumando además la presencia de la Coordinación municipal para Santa Tecla de la Dirección General de Protección Civil y la presencia de la Agencia Italiana para el Desarrollo en El Salvador (AICS).

Esta actividad tuvo como objetivo principal ilustrar a los asistentes en torno a conocimientos básicos sobre deslizamientos, vulcanología y sismología. Los participantes tuvieron la oportunidad de conocer de primera mano las opiniones de especialistas sobre los temas y así aprender entre otras cosas vocabulario y conceptualización, datos generales de la dinámica de la zona, visualización de cartografía, y otros.

Otro punto importante en el desarrollo de la actividad fue el enriquecimiento por parte de la población en materia de Protección Civil, su organización, y el trabajo realizado en el territorio para garantizar el bienestar de la población.



*Giuseppe Giunta (UNIPA), Mauricen Charlemagne Flores (DGPC, Santa Tecla), Celina Kattan (OA/MARN)*



*Intercambio de ideas sobre Vulcanología a cargo del especialista Eduardo Gutiérrez del Observatorio Ambiental (MARN)*

### *Agenda del evento*

<b>HORA</b>	<b>ACTIVIDAD</b>	<b>COORDINACIÓN</b>
8:30 – 9:00	Inscripción de participantes	Carlos López Meléndez (PCST)
9:00 - 9:15	Presentación de participantes	Carlos López Meléndez (PCST) Eduardo Gutiérrez (DGOA-MARN)
9:15 – 9:30	¿Qué es el proyecto RIESCA?	Giuseppe Giunta (UNIPA, Italia) Abel Argueta (UES)
9:30 – 9:40	Importancia del Sistema de Alerta Temprana	Celina Kattan (DGOA-MARN)
9:40 – 10:00	Amenaza Sísmica	Amelia García (DGOA-MARN)
10:00 – 10:20	REFRIGERIO	
10:20 – 10:40	Amenaza por deslizamiento de tierra	Jaqueline Rivera (DGOA-MARN)
10:40 – 11:00	Amenaza Volcánica	Eduardo Gutiérrez (DGOA-MARN)
11:00 – 11:20	El rol de Protección Civil	Carlos López Meléndez (PCST)
11:20 – 12:00	Discusión general (preguntas a ponentes)	Carlos López Meléndez (PCST)

Durante la Sexta Jornada los participantes de la Dirección General de Protección Civil se integraron al trabajo desarrollado por las diferentes mesas temáticas para enterarse de primera mano sobre cómo se lleva a cabo el procesado de la información y así poder mejorar la manera de interpretarla para transferirla a las comunidades.



*Dolors Ferrés (UNAM), Luis Montenegro (DGPC)*

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

Como parte de las actividades planificadas por la Dirección General de Protección Civil, se encuentran:

- Seguimiento a las temáticas discutidas y trabajadas en las mesas de Sismología y Sismotectónica, Geohidrología y Vulcanología
- Coordinación para el desarrollo de actividades en conjunto con las comunidades ubicadas dentro de áreas piloto en los diferentes países.
- Seguimiento a las jornadas de acercamiento a las comunidades para divulgación de material generado dentro del marco del desarrollo proyecto RIESCA
- Desarrollo de jornadas técnicas entre el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, la Universidad de El Salvador y las diferentes comunidades dentro de la zona piloto.
- Intercambio de experiencias entre los diferentes participantes del proyecto RIESCA.

## 5. Conclusiones

La Jornada 6ª (presente informe), que sigue después de la conclusión del segundo año de actividad del proyecto de la Jornada 5 (noviembre-diciembre 2018), se ha realizado en Guatemala, El Salvador y Honduras en marzo 2019, 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, INSIVUMEH, COPECO), a las cuales dieron apoyo especialistas de UNAM.

Como se ha mencionado en el Informe de la Jornada 5ª (noviembre-diciembre 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, ya finalizado, 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 necesario para proporcionar una plataforma donde se pueda alojar toda la información y los datos elaborados y en proceso de elaboración;
- 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 de los países, entre los países, y con Italia, y que a menudo se reunieron en plenarias;
- 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.

El 2019 representa el tercer año del proyecto, en el cual se tiene que afinar y mejorar los resultados principales conseguidos, definir y compartir nuevos aspectos para la finalización técnica del proyecto, entre otros:

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

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.

Como ya se expresó en varias ocasiones, el más importante resultado parece el logro de 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.

Sin embargo, en 2019 se continúa resolviendo el problema de las diferencias en cantidad y calidad de datos entre los distintos países y dentro de cada uno de ellos, empujando más la colaboración entre especialistas de países más virtuosos con aquellos que lo son en menor grado, con la asistencia de los especialistas italianos y de países cercanos.

Los datos y el análisis de las diversas peligrosidades en El Salvador, Guatemala, Nicaragua (que está tratando de superar la detención después de las últimas vicisitudes políticas) y Honduras están permitiendo el desarrollo de nuevas herramientas para el conocimiento volcánico, sismológico y geomorfológico de la región centroamericana, para ser de utilidad a nivel regional para el manejo de la prevención.

Además, el otro importante problema que se espera resolver pronto es lo de la adquisición de instrumentaciones para el mejoramiento del monitoreo. En efecto, hacia el 2018 se han encontradas graves dificultades burocráticas en varios países para la compra de instrumentos, que han retrasado el proceso. En 2019 se están ejecutando todas las medidas para proceder con rapidez con las nuevas compras, en la espera de la segunda parte de fondos por la AICS.

Así como se ha descrito en el último informe sobre la **administración** del proyecto, desde un punto de vista económico-financiero el 2018 representó una extensión del primer año del proyecto, pendiente de finalización en 2019 gracias al segundo tramo de financiamiento por AICS.

Después del final de 2018, fue enviada a la AICS la rendición del primer tramo de financiamiento y, 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 UNIPA-DGCS-AICS.

Siendo que a la fecha UNIPA no ha recibido la segunda parte de fondos por la AICS, para evitar interrumpir las actividades de proyecto se ha aplicado una solución temporal de utilización urgente, para cumplir en parte con los primeros meses de 2019, de fondos que han quedado en saldo en varios rubros de la primera auditoria, pendientes de ser desembolsados a los partner o gastados por UNIPA.

Dichos fondos a saldo, que suman en unas decenas de millares de euro, se quedan actualmente en la UES, USAC, y UNIPA, y aunque están incluidos en varios rubros serán utilizados en los mismos rubros o cambiados en otros, como por ejemplo para gastos próximos de “suporte docente”, “compras de instrumentaciones”, “un par de becas en Italia”, y en particular para “movilidad de especialistas centroamericanos e italianos en Centro América”.

A conclusión falta repetir lo mencionado en varias ocasiones y encuentros institucionales, que hasta la fecha RIESCA ha cumplido con éxito varias expectativas, aun buscando resolver los problemas encontrados, talvez típicos de un proyecto regional, de los cuales algunos se quedan todavía a la atención, también produciendo efectos paralelos gestionados por UNIPA, como la participación a Doctorados en Italia, la abertura de una Carrera de Geología y Ciencias de la Tierra en la UES-El Salvador, la colaboración de Costa Rica con un proyecto del IILA, de los cuales se espera un desarrollo muy exitoso.

Al final, es correcto reiterar nuestro agradecimiento a 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 y los Prorectores de UNIPA, a OGS, CNR y 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.



*Desde izquierda: Celina Kattan (Directora OA/MARN), Giuseppe Giunta (UNIPA, Coord. General RIESCA)  
Lina Pohl (Ministra de Ambiente, El Salvador)*



