

SESIÓN 2

Proyecto CASTES



**XV Congreso Geológico de América Central
V Congreso Guatemalteco de Geociencias Ambientales**

Del 27 al 29 de noviembre 2024, Antigua Guatemala

MODELOS DE SUSCEPTIBILIDAD PARA FLUJOS DE DETRITOS ACTIVADOS POR EVENTO EXTREMOS DE LLUVIA DURANTE EL AÑO 2020 EN EL SALVADOR.

Abstrac ID 201

SUSCEPTIBILITY MODELS FOR DEBRIS FLOWS TRIGGERED BY EXTREME RAINFALL EVENTS DURING THE YEAR 2020 IN EL SALVADOR.

Abel Alexei Argueta Platero^{1,2}, Laura Paola Calderón-Cucunuba¹, Juan Sebastián Acero Cortes¹, Claudio Mercurio¹, Edoardo Rotigliano¹, Christian Conoscenti¹

¹Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare (DiSTeM), University of Palermo, Via Archirafi 22, 90123 Palermo, Italy;

²Escuela de Posgrado y Educación Continua, Facultad de Ciencias Agronómicas, University of El Salvador, Final de Av. Mártires y Héroes del 30 Julio, San Salvador 1101, El Salvador

Email: abel.argueta@ues.edu.sv

RESUMEN

El Salvador ha sido afectado por movimientos en masa, principalmente provocados por eventos de lluvia extrema. Por lo tanto, la predicción de las áreas con susceptibilidad a movimientos en masa es un insumo primario para una gestión adecuada y futura del riesgo. En este estudio, se seleccionaron dos cuencas para predecir áreas sensibles, en la parte norte del lago Ilopango. Para la predicción, se identificaron los deslizamientos de tierra provocados por las tormentas tropicales Amanda y Cristóbal que ocurrieron en 2020. La identificación de estos movimientos en masa fue tanto puntual (LIP) como poligonal (BODY), que define el punto inicial del movimiento y toda la zona afectada, respectivamente. Posteriormente, se generaron dos modelos (BODY y LIP), a través del proceso estocástico, empleando 10 variables predictoras (pendiente, curvatura plana, curvatura de perfil, clasificación del terreno, índice de humedad topográfica, clasificación de las formas del relieve, orientación norte-sur, orientación este-oeste, uso del suelo y litología). Esta estimación se realizó mediante "Multivariate Adaptive Regression Splines" (MARS). Los resultados se evaluaron a través del cálculo del área bajo la curva ROC (Receiver Operating Characteristic), cuyos valores promedios para BODY fue de 0.91, y de 0.94 para LIP. Como resultado, las variables más importantes para la predicción de áreas susceptibles a deslizamientos son la elevación y la pendiente. Asimismo, se comprobó que el modelo LIP tiene una precisión mayor sobre el modelo BODY, estableciendo que, con solo el inventario puntual de los movimientos en masa, es posible llegar a un alto grado de predicción sobre el 93%.

Palabras clave: *flujos de escombros, susceptibilidad a los deslizamientos de tierra, Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS), Ilopango, El Salvador*

ABSTRACT

El Salvador country has been affected by landslides mainly triggered by extreme rain events. Therefore, the prediction of landslide susceptibility areas is a primary input for proper and future risk management. In this study, two catchments were selected to predict susceptible areas, in the northern part of Ilopango Lake. For prediction, were identified landslides triggered by the tropical storms Amanda and Cristóbal that occurred in 2020. The identification of these mass movements was both punctual (LIP) and polygonal (BODY), which define the initial point of motion and the entire area affected, respectively. Subsequently, two models (BODY and LIP) were generated through the stochastic process, employing 10 predictor variables (slope, plain curvature, profile curvature, land classification, topographic wetness index, aspect northness, aspect eastness, soil use, and lithology). This estimation was performed by "Multivariate Adaptive Regression Splines" (MARS). The respective results were evaluated through the calculation of the area under the Receiver Operating Characteristic curve (ROC), which mean values for BODY model was 0.91, and 0.94 for LIP model. As a result, the most important variables to predict landslide susceptibility were elevation and slope. Furthermore, LIP model has a greater precision over BODY model, establishing that with only the punctual landslide inventory is possible to reach a high degree of prediction over 93%.

Key words: *debris flows, landslide susceptibility, Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS), Ilopango, El Salvador*

ENSEÑANZA EXPERIENCIAL Y TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTOS: DE LA INVESTIGACIÓN DE CAMPO A LA INTERPRETACIÓN DE LOS FENÓMENOS NATURALES. EL PROYECTO CASTES, UN EJEMPLO DE BUENAS PRÁCTICAS EN COOPERACIÓN INTERNACIONAL

Abstrac ID 202

EXPERIENTIAL TEACHING AND KNOWLEDGE TRANSFER: FROM FIELD RESEARCH TO INTERPRETATION OF NATURAL PHENOMENA. THE CASTES PROJECT, AN EXAMPLE OF GOOD PRACTICE IN INTERNATIONAL COOPERATION

Sergio Calabrese^{1,2}, Miguel Ángel Hernández Martínez³, Christian Conoscenti¹

¹Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare (DiSTeM), Università degli Studi di Palermo, Via Archirafi 36, 90123 Palermo, Italy

²Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, sez. Palermo, Via Ugo La Malfa, 90 Palermo Italy

³Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador

Email: sergio.calabrese@unipa.it

RESUMEN

Hay muchas formas de transmitir información en el aula: conferencia, instrucción directa, recitación de libros de texto, aprendizaje cooperativo, método de debate, aprendizaje basado en problemas y método de descubrimiento, por mencionar algunas [1]. Algunos de estos métodos son más pasivos y otros más activos. El “Curso de monitoreo volcánico: la geoquímica de fluidos” celebrado en El Salvador en mayo de 2023 fue una oportunidad para experimentar una metodología de enseñanza activa con un enfoque de aprendizaje- experiencial. El curso organizado en el marco del proyecto CASTES contó con la participación activa de seis profesores y seis alumnos de la Carrera de Geología de la Universidad de El Salvador. Comprendió 72 horas de actividades divididas en seminarios presenciales, ejercicios prácticos de campo y laboratorio, procesamiento de datos brutos e interpretación de resultados. Las actividades de campo se desarrollaron en los principales sistemas volcánicos activos del país: La Viejona, Cráter El Hoyón, Laguna de Alegría, Lago de Coatepeque, Cerro Pacho, San Salvador (Infiernillo), Santa Ana. Se adoptó el enfoque didáctico del aprendizaje experimental, que requiere la participación activa de los alumnos, así como del instructor, que actúa como facilitador del proceso de aprendizaje. Pretende ser una alternativa activa y dinámica a la enseñanza tradicional en el aula, que debe resultar interactiva y colaborativa para los participantes. El curso fue muy apreciado, y los resultados científicos producidos por el grupo de trabajo (profesores y estudiantes) se presentaron en el congreso internacional “Cities on Volcanoes 12” celebrado recientemente en Guatemala [2,3].

Palabras clave: *aprendizaje experimental; geoquímica de fluidos; volcanes activos.*

ABSTRACT

There are multiple ways to deliver information in classroom settings: lecturing, direct instruction, textbook recitation, cooperative learning, discussion method, problem-based learning, and Discovery method to mention a few [1]. Some of these delivery methods are more passive and others are more active. The “Curso de monitoreo volcánico: la geoquímica de fluidos” held in El Salvador in May 2023 was an opportunity to experience an active teaching methodology with a learning-experiential approach. The course organised as part of the CASTES project actively involved six lecturers and six students from the University of El Salvador's Geology Course. It comprised 72 hours of activities divided into classroom seminars, practical field and laboratory exercises, processing of raw data and interpretation of results. Field activities took place on the country's main active volcanic systems: La Viejona, Cráter El Hoyón, Laguna de Alegría, Lago de Coatepeque, Cerro Pacho, San Salvador (Infiernillo), Santa Ana. The experiential learning didactic approach was adopted, which requires the active engagement of the students as well as the instructor who serves as the facilitator of the learning process. It is intended to be an active, dynamic alternative to traditional classroom instruction that should be interactive and collaborative for those involved. The course was highly appreciated, and the scientific results produced by the working group (professors and students) were presented at the international congress “Cities on Volcanoes 12” held recently in Guatemala [2,3].

Key words: experiential learning; fluid geochemistry; active volcanoes.

UN SCRIPT EN R PARA LA EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LOS DESLIZAMIENTOS DE TIERRAS MEDIANTE BOSQUES ALEATORIOS: ESTUDIOS DE CASO DE EL SALVADOR Y HONDURAS

Abstrac ID 203

AN R SCRIPT FOR LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY ASSESSMENT USING RANDOM FOREST: CASE STUDIES FROM EL SALVADOR AND HONDURAS

Laura Paola Calderon-Cucunuba¹, Claudio Mercurio¹, Abel Alexei Argueta Platero², Lidia Elizabeth Torres Bernhard³, Maynor Alberto Ruiz-Alvarez³ y Christian Conoscenti¹

¹Department of Earth and Marine Sciences DiSTeM, Università University of Palermo, Palermo, Italia

²Universidad de El Salvador UES, San Salvador

³Universidad Nacional Autónoma de Honduras UNAH, Tegucigalpa

Email: laurapaola.calderoncucunuba@unipa.it

RESUMEN

Este estudio presenta un script en R diseñado para calcular la susceptibilidad de movimientos en masa en una determinada área utilizando un inventario de los deslizamientos, un modelo digital de elevación (DEM) y un mapa de litología. El script utiliza herramientas geoespaciales de Whitebox para análisis de sistemas de información geográfica (SIG), incluyendo la extracción de un conjunto de atributos del terreno a partir del DEM, que sirven como predictores de la distribución espacial de deslizamientos junto con la litología. El modelo Random Forest (RF), implementado a través de la biblioteca de R "randomforest", se emplea como técnica de modelado para identificar posibles relaciones entre la distribución espacial de los deslizamientos y la variabilidad geográfica de las variables predictoras. El script se aplica a dos áreas de prueba donde se disponen de inventarios de deslizamientos, DEMs y capas de litología. La primera área de prueba se encuentra en El Salvador, al norte de la caldera de Ilopango. La segunda corresponde al área de Tegucigalpa, la capital de Honduras. Los resultados destacan la importancia de integrar múltiples conjuntos de datos y métodos estadísticos avanzados para lograr una predicción eficiente de deslizamientos de tierra. La aplicación del script a estas diversas regiones demuestra su robustez y versatilidad en diferentes entornos geológicos y topográficos. En conclusión, este enfoque proporciona una metodología valiosa y reproducible para la evaluación de la susceptibilidad a deslizamientos de tierra, que es fiable y sencilla de usar en cualquier lugar donde se disponga de los datos de entrada necesarios.

Palabras clave: *Susceptibilidad a deslizamientos, Evaluación de amenaza, Modelado estadístico, Random Forest, Script en R.*

ABSTRACT

This study presents an R script designed to calculate landslide susceptibility in a given area by using a landslide inventory, a Digital Elevation Model (DEM), and a lithology map. The script exploits Whitebox Geospatial tools for geographic information system (GIS) analyses, including the extraction of a set of terrain attributes from the DEM, which serve as predictors for the spatial distribution of landslides in addition to lithology. The Random Forest (RF) model, implemented through the R library "randomforest," is employed as modeling technique to identify potential relationships between landslides spatial distribution and geographical variability of predictor variables. The R script is applied to two test areas where landslide inventories, DEMs, and lithology layers are available. The first test area is in El Salvador, north of the Ilopango caldera. The second corresponds to the Tegucigalpa area, the capital of Honduras. The results underscore the importance of integrating multiple datasets and advanced statistical methods to achieve efficient landslide prediction. The script's application to these diverse regions demonstrates its robustness and versatility in different geological and topographical settings. In conclusion, this approach provides a valuable and reproducible methodology for landslide susceptibility assessment to researchers and specialists involved in landslide risk management and mitigation efforts, which is reliable and simple to use wherever the necessary input data is available. The research was developed in the framework of the CASTES project, funded by the Italian Agency for Development Cooperation (AICS).

Key words: Landslide susceptibility, Statistical modeling, Random Forest, R script, Hazard assessment

ESTUDIO PRELIMINAR DE DESGASIFICACIÓN DIFUSA DE CO₂ EN EL SUELO DEL VOLCÁN EL HOYÓN

Abstrac ID 204

PRELIMINARY STUDY OF DIFFUSE OUTGASSING OF CO₂ IN THE SOIL OF EL HOYÓN VOLCANO

Emerson Gustavo Martínez Hernández¹, Norbis Salvador Solano Melara¹, Miguel Ángel Hernández Martínez², Marco Antonio Castro Mendoza², Melissa Abigail González Aguilera², Ruth Deli Campos Cortez², Doris Michelle Hernández Martínez², Carlos Daniel Cañas Parada², Wendy Arely Hernández Meléndez², María Guadalupe Campos Coreas², Walter D'Alessandro³, Lorenza Li Vigni⁴, Sergio Calabrese^{3,4}

¹Departamento de Química Agrícola, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. Final de Av. Mártires y Héroes del 30 Julio, San Salvador 1101, El Salvador,

²Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. Final de Av. Mártires y Héroes del 30 Julio, San Salvador 1101, El Salvador,

³Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, sez. Palermo. Via Ugo La Malfa, 153, 90146 Palermo, Italy.

⁴Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare, Università degli Studi di Palermo. Via Archirafi 22, 90123 Palermo, Italy.

Email: emerson.martinez@ues.edu.sv

RESUMEN

El cráter El Hoyón se caracteriza por anomalías térmicas significativas, desgasificación difusa, aguas termales hirvientes, zonas fumarólicas y un impresionante chorro de vapor. Se realizaron tres sondeos en mayo y agosto de 2023 y enero de 2024 con el objetivo de cartografiar por primera vez la desgasificación de CO₂ y las anomalías térmicas del suelo. Se realizaron 155 mediciones de flujo de CO₂ con el método de la cámara de acumulación, simultáneamente con mediciones de temperatura del suelo a 10 y 40 cm de profundidad. Los mayores flujos de CO₂ se midieron en la primera campaña (mediana: 215 g m⁻² día⁻¹; rango: 83.4 a 723 g m⁻² día⁻¹). Los flujos en la segunda campaña fueron mucho menores (mediana: 0.98 g m⁻² día⁻¹; rango: 0.19 a 31.8 g m⁻² día⁻¹). Los flujos de la tercera campaña fueron superiores a las dos anteriores (mediana: 3.95 g m⁻²

día⁻¹; rango de 0.01 a 106.36 g m⁻² día⁻¹). Una diferencia tan grande podría estar relacionada con las condiciones climáticas durante estas campañas, con un fuerte impacto en la permeabilidad del suelo. Los gráficos de probabilidad sugieren una contribución de la desgasificación profunda ligada al sistema volcánico activo. Esto se confirma además por la correlación positiva entre el flujo de CO₂ y la temperatura del suelo, lo que indica una vía común de escape de gas y calor del sistema hidrotermal. Se necesitan más investigaciones y nuevas campañas de mediciones para cuantificar la producción total de CO₂, identificar más anomalías e investigar la huella isotópica de carbono para establecer su origen.

Palabras clave: *desgasificación difusa, dióxido de carbono, vigilancia volcánica.*

ABSTRACT

Crater El Hoyón is characterized by significant thermal anomalies, diffuse outgassing, boiling thermal waters, fumarolic areas and an impressive steam jet. Three surveys were carried out in May and August 2023 and January 2024, with the aim to map for the first time the CO₂ degassing and soil thermal anomalies. One hundred fifty-five CO₂ flux measurements were carried out with the accumulation chamber method, simultaneously with soil temperature measurements at 10 and 40 cm depth. The highest CO₂ fluxes were measured in the first campaign, (median: 215 g m⁻² day⁻¹; range: 83.4 – 723 gm⁻² day⁻¹). Fluxes in the second campaign were much lower (median value: 0.98 g m⁻² day⁻¹; range: 0.19 – 31.8 g m⁻² day⁻¹). Fluxes in the third campaign were higher than the second one (median value: 3.95 gm⁻² day⁻¹; range: 0.01 – 106.36 g m⁻² day⁻¹). Such a big difference could be related to the climatic conditions during these campaigns, strongly impacting on soil permeability. Probability plots suggest a contribution from deep outgassing linked to the active volcanic system. This is further confirmed by the positive correlation between CO₂ efflux and soil temperature, indicating a common pathway for gas and heat escape from the hydrothermal system. Further investigation and new measurements campaigns are required, in order to quantify the total CO₂ output, identify more anomalies, and investigate the isotopic carbon footprint to establish its origin.

Key words: carbon dioxide, diffuse degassing, volcanic surveillance.

MEDICIÓN DE GASES VOLCÁNICOS EN SITIOS DE INTERÉS TURÍSTICO EN EL SALVADOR

Abstrac ID 205

MEASUREMENT OF VOLCANIC GASES AT SITES OF TOURIST INTEREST IN EL SALVADOR

Norbis Salvador Solano Melara¹, Emerson Gustavo Martínez Hernández¹, Miguel Ángel Hernández Martínez², Marco Antonio Castro Mendoza², Melissa Abigail González Aguilera², Ruth Deli Campos Cortéz², Doris Michelle Hernández Martínez², Walter D'Alessandro³, Andres Sandoval-Velazquez⁴, Lorenza Li Vigni⁴, Sergio Calabrese^{3,4}

¹Departamento de Química Agrícola, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. Final de Av. Mártires y Héroes del 30 Julio, San Salvador 1101, El Salvador,

²Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. Final de Av. Mártires y Héroes del 30 Julio, San Salvador 1101, El Salvador

³Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia sez. Palermo. Via Ugo La Malfa, 153, 90146 Palermo, Italy

⁴Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare, Università degli Studi di Palermo. Via Archirafi 22, 90123 Palermo, Italy

Email: norbis.solano@ues.edu.sv

RESUMEN

Los volcanes de El Salvador son uno de los principales atractivos turísticos del país. Cada año, miles de turistas locales y extranjeros visitan estas zonas volcánicas activas. Estas zonas carecen de advertencias sobre los riesgos potenciales y no existe un seguimiento geoquímico sistemático de la actividad volcánica. Se llevó a cabo un estudio geoquímico preliminar en los lugares volcánicos más visitados. Se realizaron mediciones difusas del flujo de CO₂ en el suelo, además, se recogieron 11 muestras de gas para determinar su composición química e isotópica. Los valores más altos de flujo de CO₂ se obtuvieron en el cráter El Hoyón, con una mediana de 214.6 g m⁻² día⁻¹, mientras que los más bajos correspondieron a El Boquerón, con una mediana de 6.7 g m⁻² día⁻¹. La composición química de los gases mostró un patrón de mezcla entre un miembro final de origen profundo dominado por el CO₂ (hasta 976.200 μmol/mol) y un componente atmosférico dominado por el N₂. Los valores de helio llegaron hasta 4.6 μmol/mol. Sólo La Vieja presentó un ligero enriquecimiento en metano (hasta 155 μmol/mol), mientras que El Hoyón mostró enriquecimiento en H₂S (hasta 22.800 μmol/mol). Los valores de δ¹³C-CO₂ variaron entre -12.6 y -3.1 ‰, mientras que la composición isotópica del helio dio valores de R/R_A comprendidos entre 5.98 y 7.11. Tales valores indican una clara contribución magmática de origen profundo. Estos datos preliminares muestran una importante actividad volcánica potencial que requiere una vigilancia geoquímica continua; así como la evaluación de los riesgos a los que se exponen los turistas.

Palabras clave: *desgasificación difusa, dióxido de carbono, geoquímica de gases, vigilancia volcánica.*

ABSTRACT

El Salvador's volcanoes are one of the country's main tourist attractions. Every year thousands of local and foreign tourists visit these active volcanic areas. These areas often lack of warnings on the potential risks and a robust and systematic geochemical monitoring of volcanic activity is absent. A preliminary geochemical survey was carried out at the most visited volcanic sites. It included diffuse soil CO₂ flux measurements, moreover, 11 gas samples were collected to determinate their chemical and isotopic compositions. The highest CO₂ flux values were obtained at El Hoyón crater, with a median value of 214.6 g m⁻² day⁻¹, whilst the lowest value were from El Boquerón, with a median value of 6.7 g m⁻² day⁻¹. Chemical composition of the gases showed a mixing pattern between a CO₂-dominated (up to 976,200 μmol/mol) end-member of deep origin and a N₂-dominated atmospheric component. Helium values arrived up to 4.6 μmol/mol. Only La Vieja site presented a slight enrichment in methane (up to 155 μmol/mol), whilst only El Hoyón site showed enrichment in H₂S (up to 22,800 μmol/mol). Δ¹³C-CO₂ values varied from -12.6 to -3.1 ‰, whereas the helium isotope composition, gave R/R_A values comprised between 5.98 and 7.11. Such values indicate a clear magmatic contribution to the deep end-member. These preliminary data show significant potential volcanic activity that needs continuous geochemical monitoring, and the evaluation of the risks to which tourists are exposed.

Key words: carbon dioxide, diffuse degassing, volcanic surveillance, gas geochemistry.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y MODELACIÓN NUMÉRICA DE LA VERTIENTE NORTE DE LA CORDILLERA DEL BÁLSAMO. SANTA TECLA, SAN SALVADOR

Abstrac ID 206

STABILITY ANALYSIS AND NUMERICAL MODELING OF THE NORTH SLOPE OF THE BALSAMO MOUNTAIN RANGE. SANTA TECLA, SAN SALVADOR

Mario Luigi Rainone¹, Monia Calista¹, Luis Alfonso Castillo Ramos^{1,2}, Alex Chavez³, Walter Hernandez⁴, Julio Luna⁵, Massimo Mangifesta¹, Daniela Novembre¹, Nicola Sciarra¹ & Jiri Sebesta⁶

¹Dipartimento di Scienze– Università degli Studi “G.d’Annunzio” Chieti-Pescara , Italia

²Facultad de Ingeniería – Universidad de El Salvador

³Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador – OPAMSS

⁴Geólogo consultor – El Salvador

⁵Facultad de Ingeniería – Universidad de San Carlos - Guatemala

⁶Czech Geological Survey – Prague

Email: monia.calista@unich.it

RESUMEN

El 13 de enero de 2001, a las 11:33 hora local, un evento sísmico de Mw 7,7 sacudió El Salvador. El epicentro se registró a 100 kilómetros al suroeste de San Miguel a una profundidad de 60 kilómetros. Sólo en El Salvador murieron 944 personas y 5.565 resultaron heridas, con la destrucción de más de 100.000 edificios. Más de 550 muertes fueron causadas por enormes deslizamientos de tierra en las zonas de Santa Tecla y Comasagua. En la vertiente norte de la Cordillera Bálsamo, en la localidad de Las Colinas, el terremoto provocó un deslizamiento de tierra que mató a más de 500 personas. Este deslizamiento de tierra provocado por un terremoto ha sido objeto, a lo largo de los años, de numerosos estudios que han reconstruido las características geológicas y geomorfológicas de la zona, las relaciones geométricas entre las diferentes unidades litológicas/litoestratigráficas presentes, caracterizado las principales propiedades físico-mecánicas, evaluado, a través de simulaciones numéricas, condiciones de estabilidad. En nuestra opinión, quedan algunos aspectos, especialmente los relacionados con los métodos y mecanismos de activación, que merecen una mayor investigación. Sobre todo, evaluar las condiciones reales de riesgo de las zonas adyacentes, de similares características y afectadas por una intensa urbanización a pie de ladera. Los análisis realizados utilizando el software FLAC en este sentido, quieren, por tanto, contribuir a mejorar el conocimiento del fenómeno mediante simulaciones numéricas 2D que analizan las condiciones teóricas de estabilidad del talud y permiten predecir la evolución cinemática.

Palabras clave: *Deslizamiento de Las Colinas, modelado numérico de un deslizamiento*

ABSTRACT

On January 13, 2001, at 11:33 local time, a Mw 7.7 seismic event struck El Salvador. The epicenter was recorded 100 kilometers southwest of San Miguel at a depth of 60 kilometers. In El Salvador alone, 944 people died and 5,565 were injured, with more than 100,000 buildings destroyed. More than 550 deaths were caused by massive landslides in the areas of Santa Tecla and Comasagua. On the northern slope of the Cordillera Bálsamo, in the town of Las Colinas, the earthquake caused a landslide that killed more than 500 people. This earthquake-induced landslide has been the subject of numerous studies over the years, which have reconstructed the geological and geomorphological characteristics of the area, the geometric relationships between the different lithological/lithostratigraphic units present, characterized the main physical-mechanical properties, and evaluated, through numerical simulations, the stability conditions. In our opinion, there are still some aspects, especially those related to the activation methods and mechanisms, that deserve further investigation. Above all, the real risk conditions of the adjacent areas, with similar characteristics and affected by intense urbanization at the foot of the slope, should be evaluated. The analyses carried out using the FLAC software in this regard therefore aim to contribute to improving the knowledge of the phenomenon through 2D numerical simulations that analyze the theoretical stability conditions of the slope and allow the kinematic evolution to be predicted.

Key words: Las Colinas landslides; Landslide numerical models

EL CAMBIO CLIMATICO EN EL SALVADOR: EL APOORTE DE LA GEOLOGÍA

Abstrac ID 207

CLIMATE CHANGE IN EL SALVADOR: THE CONTRIBUTION OF GEOLOGY

Massimiliano Fazzini¹, Mario Luigi Rainone² & Monia Calista²

¹URDIS – Università degli Studi di Camerino, Italia

²Dipartimento di Scienze – Università degli Studi “G. d’Annunzio” Chieti-Pescara , Italia

Email: monia.calista@unich.it

RESUMEN

El cambio climático también está teniendo un impacto creciente en Centroamérica, provocando consecuencias cada vez más devastadoras y afectando gravemente no sólo a las poblaciones, sino también al tejido productivo. Después de períodos particularmente secos, para ejemplo, se producen violentas inundaciones. El Salvador no es ajeno a estos fenómenos y las consecuencias de los últimos eventos pluviales muy intensos, incluidos los ciclónicos, han demostrado el enorme impacto en los territorios, en las vías fluviales principales y menores, provocando deslizamientos de tierra, causando víctimas y daños a la infraestructura pública y privado. Los daños sufridos por la producción agrícola son importantes y sus consecuencias económicas no son nada despreciables. Pero, ¿qué tienen que ver las Ciencias de la Tierra y en particular la Geología con esto? Para definir correctamente las especificidades de las modificaciones climáticas y las consiguientes acciones de mitigación sobre el medio ambiente, la Geología es crucial. De hecho, nos permite comprender la evolución del sistema morfo-climático de una región y, mediante habilidades geomorfológicas, hidrogeológicas y geológicas aplicadas, evaluar los impactos en los territorios, tanto entropizados como no. La Geología, y por tanto el Geólogo, tienen las claves para comprender la evolución en el espacio y el tiempo de los efectos, por ejemplo, de fenómenos meteóricos extremos sobre el equilibrio de procesos naturales complejos. Permitiéndole identificar y definir acciones para mitigar riesgos. En este trabajo, los autores ilustran la experiencia italiana y cómo traducirla efectivamente a la realidad salvadoreña y, en general, centroamericana.

Palabras clave: *Cambio climatico en El Salvador*

ABSTRACT

Climate change is also having a growing impact in Central America, causing increasingly devastating consequences and seriously affecting not only populations, but also the productive fabric. After particularly dry periods, for example, violent floods occur. El Salvador is no stranger to these phenomena and the consequences of the latest very intense rainfall events, including cyclonic ones, have demonstrated the enormous impact on the territories, on the main and minor waterways, causing landslides, causing victims and damage to public and private infrastructure. The damage suffered by agricultural production is significant and its economic consequences are by no means negligible. But what do Earth Sciences and in particular Geology have to do with this? In order to correctly define the specificities of climate modifications and the consequent mitigation actions on the environment, Geology is crucial. In fact, it allows us to understand the evolution of the morpho- climatic system of a region and, through applied geomorphological, hydrogeological and geological skills, to evaluate the impacts on territories, both entombed and not. Geology, and therefore the Geologist, hold the keys to understanding the evolution in space and time of the effects, for example, of extreme meteoric phenomena on the balance of complex natural processes. Allowing him to identify and define actions to mitigate risks. In this work, the authors illustrate the Italian experience and how to effectively translate it to the Salvadoran and, in general, Central American reality.

Key words: Climate change in El Salvador

ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA RESPUESTA SÍSMICA LOCAL EN LA ZONA DEL CENTRO HISTÓRICO DE SAN SALVADOR.

Abstrac ID 208

PRELIMINARY ANALYSIS OF THE LOCAL SEISMIC RESPONSE IN THE AREA OF THE HISTORIC CENTER OF SAN SALVADOR.

Mario Luigi Rainone¹, Monia Calista¹, Luis Alfonso Castillo Ramos^{1,2}, Alex Chavez³, Benedetta Di Cesare⁴, Walter Hernandez⁵, Julio Luna⁶, Massimo Mangifesta¹, Daniela Novembre¹, Nicola Sciarra¹

¹Dipartimento di Scienze– Università degli Studi “G.d’Annunzio” Chieti-Pescara , Italia

²Facultad de Ingeniería – Universidad de El Salvador

³Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador – OPAMSS

⁴Agenzia Regionale Protezione Ambientale Emilia Romagna - ARPAE

⁵Geólogo consultor – El Salvador

⁶Facultad de Ingeniería – Universidad de San Carlos – Guatemala

Email: monia.calista@unich.it

RESUMEN

En esta contribución, los Autores ilustran los resultados preliminares de un estudio en curso sobre la evaluación de la Respuesta Sísmica Local (LSR) en el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS), la capital de El Salvador. En particular sobre el área del Centro Histórico. La ciudad de San Salvador está ubicada entre el volcán de San Salvador y la caldera de Ilopango, en una zona casi plan denominada "Valle de las Hamacas". Entre las ciudades latinoamericanas, San Salvador he sido la más frecuentemente dañada y destruida por terremotos: al menos doce veces desde 1576. En esta area, los fuertes terremotos generaron graves daños debido tanto a amplificaciones como a deslizamientos de tierra inducidos sísmicamente.

El presente trabajo se centra en la evaluación de los riesgos naturales en el Centro Historico de la ciudad. Una zona caracterizada por edificios históricos o en cualquier caso con un nivel muy alto de vulnerabilidad sísmica. En este sentido, tras recopilar todos los datos de investigación del subsuelo y caracterización del comportamiento dinámico de los suelos y rocas volcánicas en AMSS, se han realizado los análisis LSR 1D- 2D y se van a discutir los resultados obtenidos e a proponer lineamientos para una más correcta gestión del riesgo sísmico en un área antrópica y, en particular, para prever y mitigar posibles “efectos de sitio”.

Palabras clave: *Riesgo Sísmico, Respuesta sísmica local en San salvador*

ABSTRACT

In this contribution, the Authors illustrate the preliminary results of an ongoing study on the assessment of the Local Seismic Response (LSR) in the Metropolitan Area of San Salvador (AMSS), the capital of El Salvador. In particular on the area of the Historic Center. The city of San Salvador is located between the San Salvador volcano and the Ilopango caldera, in a nearly flat area called "Valley of the Hammocks". Among Latin American cities, San Salvador has been the most frequently damaged and destroyed by earthquakes: at least twelve times since 1576. In this area, strong earthquakes generated severe damage due to both amplifications and seismically induced landslides.

This work focuses on the assessment of natural risks in the Historic Center of the city. An area characterized by historic buildings or in any case with a very high level of seismic vulnerability. In this sense, after collecting all the data from subsoil research and characterizing the dynamic behavior of soils and volcanic rocks in AMSS, 1D-2D LSR analyses have been performed. In this work, the results obtained will be discussed and guidelines will be proposed for a more correct management of seismic risk in an anthropic area and, in particular, to foresee and mitigate possible “site effects”.

Key words: Seismic Risk, Seismic local Response in San Salvador

EVALUACIÓN DE LA COMPOSICIÓN GEOQUÍMICA DE GASES EN LOS CAMPOS FUMARÓLICOS LAS TERMÓPILAS Y EL TORTUGUERO. EL SALVADOR. C.A.

Abstrac ID 209

EVALUATION OF THE GEOCHEMICAL COMPOSITION OF GASES IN THE FUMAROLIC FIELDS OF LAS TERMÓPILAS AND EL TORTUGUERO. EL SALVADOR. C.A.

Rodolfo A. Olmos¹, Miguel A. Hernández², Doris M. Hernández², Francisco A. Barahona³, Agustín Hernández De la Cruz⁴

¹Facultad Multidisciplinaria de Occidente. Universidad de El Salvador. Ave Fray Felipe De Jesús Moraga Sur, Santa Ana, El Salvador.

²Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de El Salvador. Final de Av. Mártires y Héroes del 30 Julio, San Salvador 1101, El Salvador

³Facultad de Ciencias Naturales y Matemática. Universidad de El Salvador. Final de Av. Mártires y Héroes del 30 Julio, San Salvador 1101, El Salvador

⁴Facultad Multidisciplinaria Paracentral. Universidad de El Salvador. Avenida Crescencio Miranda, San Vicente, El Salvador

Email: rodolfo.olmos@ues.edu.sv

RESUMEN

Se evaluó el flujo total de gases principales en los campos geotérmicos Las Termópilas y El Tortuguero, ubicados entre la Caldera de Concepción de Ataco y volcán Santa Ana El Salvador. La composición química y las relaciones molares H_2O/CO_2 , H_2O/H_2S , CO_2/H_2S se obtuvo con analizador portátil MultiGAS y flujos de Dióxido de Carbono con cámara de acumulación. Las relaciones molares promedio en Las Termópilas fue $H_2O/CO_2 = 10.2 \pm 8.9$; $H_2O/H_2S = 1897.3 \pm 2977.6$ y $CO_2/H_2S = 101.4 \pm 82.4$. Para El Tortuguero fue $H_2O/CO_2 = 23.7 \pm 29.2$; $H_2O/H_2S = 1334 \pm 1380.2$ y $CO_2/H_2S = 105.4 \pm 83.9$. La composición química de vapor de Agua (H_2O), dióxido de carbono (CO_2) y azufre total (St) para Las Termópilas fue $88.0 \pm 2.7\%$, $11.8 \pm 2.6\%$ y $0.2 \pm 0.1\%$; y El Tortuguero de $95.7 \pm 2.4\%$, $4.2 \pm 2.4\%$ y $0.1 \pm 0.1\%$ respectivamente. La cantidad total promedio de vapor de agua (H_2O) en Las Termópilas fue 3.9 td^{-1} , equivalentes a 0.1 MW y El Tortuguero de 11.7 td^{-1} , equivalentes a 0.3 MW ; mientras que el azufre total (H_2S+SO_2) de 4.4 Kgd^{-1} y 5.8 Kgd^{-1} respectivamente. La evaluación geoquímica registrada evidencia que en periodos de actividad tectónica, su transferencia de esfuerzos distantes registrados en los sismogramas y sus cálculos de espectros de frecuencia en las estaciones más cercanas a los campos geotérmicos son importantes en la identificación de cambios en las ventanas de frecuencias dominantes por debajo de 0.3 Hz , y entre $2.3\text{-}4.3 \text{ Hz}$.

Palabras clave: *dióxido de carbono, gases volcánicos, MultiGAS, vulcanología.*

ABSTRACT

The total flow of main gases was evaluated in the Las Termopilas and El Tortuguero geothermal fields, located between the Concepción de Ataco Caldera and the Santa Ana volcano in El Salvador. The chemical composition and molar ratios H_2O/CO_2 , H_2O/H_2S , CO_2/H_2S were obtained with a portable MultiGAS analyzer and Carbon Dioxide flows with an accumulation chamber. The average molar ratios in Las Termopilas were $H_2O/CO_2 = 10.2 \pm 8.9$; $H_2O/H_2S = 1897.3 \pm 2977.6$ and $CO_2/H_2S = 101.4 \pm 82.4$. For El Tortuguero it was $H_2O/CO_2 = 23.7 \pm 29.2$; $H_2O/H_2S = 1334 \pm 1380.2$ and $CO_2/H_2S = 105.4 \pm 83.9$. The chemical composition of water vapor (H_2O), carbon dioxide (CO_2) and total sulfur (tS) for Las Termopilas was $88.0 \pm 2.7\%$, $11.8 \pm 2.6\%$ and $0.2 \pm 0.1\%$; and El Tortuguero of $95.7 \pm 2.4\%$, $4.2 \pm 2.4\%$ and $0.1 \pm 0.1\%$ respectively. The average total amount of water vapor (H_2O) in Las Termopilas was 3.9 td^{-1} , equivalent to 0.1 MW and El Tortuguero was 11.7 td^{-1} , equivalent to 0.3 MW ; while the total sulfur (H_2S+SO_2) of 4.4 Kgd^{-1} and 5.8 Kgd^{-1} respectively. The recorded geochemical evaluation shows that in periods of tectonic activity, its transfer of distant stresses recorded in the seismograms and its calculations of frequency spectra in the stations closest to the geothermal fields are important in the identification of changes in the dominant frequency windows. below 0.3 Hz , and between $2.3\text{-}4.3 \text{ Hz}$.

Key words: carbon dioxide, MultiGAS, volcanology, volcanic gases.

CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE LOS FLUIDOS HIDROTERMALES DEL VOLCÁN EL HOYÓN, MUNICIPIO DE BERLÍN, USulután, PARA IDENTIFICAR INDICADORES DE ACTIVIDAD VOLCÁNICA. EL SALVADOR. C.A.

Abstrac ID 210

GEOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF THE HYDROTHERMAL FLUIDS OF EL HOYÓN VOLCANO, MUNICIPALITY OF BERLÍN, USULUTÁN, TO IDENTIFY INDICATORS OF VOLCANIC ACTIVITY. EL SALVADOR. C.A.

Rafael A. Zaldaña¹, Agustín Hernández^{1,2,3}, Rodolfo A. Olmos^{1,4}, Miguel A. Hernández¹, Francisco A. Barahona⁵

¹Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador, San Salvador. Final de Av. Mártires y Héroes del 30 Julio, San Salvador 1101, El Salvador,

²Facultad Multidisciplinaria Paracentral, Universidad de El Salvador. Avenida Crescencio Miranda, San Vicente, El Salvador

³Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona. C/ Martí i Franquès s/n, 08028, Barcelona (España)

⁴Facultad Multidisciplinaria de Occidente. Universidad de El Salvador. Ave Fray Felipe De Jesus Moraga Sur, Santa Ana, El Salvador

⁵Facultad de Ciencias Naturales y Matemática. Universidad de El Salvador. Final de Av. Mártires y Héroes del 30 Julio, San Salvador 1101, El Salvador.

Email: rafael.zaldana@ues.edu.sv

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es caracterizar geoquímicamente los fluidos hidrotermales del volcán El Hoyón para la identificación de anomalías que pueden ser utilizadas en futuros trabajos de vigilancia volcánica. Se realizaron muestreos en 2 fumarolas dentro del cráter para analizar los cationes y aniones en la fracción líquida; y la fracción gaseosa se analizó por la técnica de titulación volumétrica determinando la concentración de CO₂ y H₂S. Además, se determinó in situ los parámetros de temperatura, pH y conductividad eléctrica y los sólidos totales disueltos utilizando un equipo portátil. Los fluidos del volcán El Hoyón se caracterizan por ser aguas muy ácidas con valores de pH entre 1.6 y 4.5 y temperaturas que oscilan entre los 65°C y 104°C. A partir de la composición de los cationes mayoritarios (Mg²⁺, Na⁺ y K⁺), se determinó el carácter inmaduro de estas aguas. La presencia de gases de origen magmático (CO₂, H₂S+SO₂) se solubilizan y disocian produciendo los aniones principales del sistema (SO₄²⁻, Cl⁻). La caracterización geoquímica reveló que los fluidos volcánicos asociados al volcán El Hoyón corresponden principalmente a fluidos con alto contenido de sulfatos, cloruros y magnesio caracterizados como sulfatos clorurados magnésicos.

Palabras clave: *fluidos volcánicos, gases, temperatura, titulación volumétrica.*

ABSTRACT

The objective of this work is to geochemically characterize the hydrothermal fluids of the El Hoyón volcano for identification of anomalies that can be used in future volcanic monitoring work. Sampling was carried out in 2 fumaroles inside the crater to analyze the cations and anions in the liquid fraction; and the gas fraction was analyzed by the volumetric titration technique, determining the concentration of CO₂ and H₂S. In addition, the parameters of temperature, pH and electrical conductivity and total dissolved solids were determined in situ using portable equipment. The fluids of the El Hoyón volcano are characterized by being very acidic waters with pH values between 1.6 and 4.5 and temperatures that range between 65°C and 104°C. From the composition of the major cations (Mg²⁺, Na⁺ and K⁺), the immature character of these waters was determined. The presence of gases of magmatic origin (CO₂, H₂S+SO₂) solubilize and dissociate, producing the main anions of the system (SO₄²⁻, Cl⁻). The geochemical characterization revealed that the volcanic fluids associated with the El Hoyón volcano correspond mainly to fluids with high content of sulfates, chlorides and magnesium characterized as chlorinated magnesium sulfates.

Key words: Gases, Temperature, Volumetric titration, Volcanic fluids.

ESTUDIO PRELIMINAR HIDROGEOQUÍMICO Y DE CO₂ DIFUSO EN SUELOS DE LA LAGUNA CUZCACHAPA, EL SALVADOR

Abstrac ID 211

A PRELIMINARY SURVEY OF THE HYDROGEOCHEMISTRY AND DIFFUSE CO₂ SOIL AT CUZCACHAPA LAGOON, EL SALVADOR

Emerson Gustavo Martínez Hernández¹, Norbis Salvador Solano Melara¹, Henry Gabriel Montano Flores², Fátima Suyapa Santos Hernández², Wendy Arely Hernández Meléndez², Fernanda Rebeca Alfaro Zelada², Cristian Ernesto Arucha Shupan², Diego Rodolfo Beltrán Piche², María Guadalupe Campos Coreas², Carlos Daniel Cañas Parada², Juan Diego Cornejo Rosales², Douglas Alejandro Fuentes Cabrera², Alessandro Paolo Lara Reyes², Isis Nohemy Martínez de Quintanilla², Nubia Alejandra Martínez Sánchez², Elian Rafael Nochez Avelar², Douglas Fernando Raimundo Acevedo², Carlos Mauricio Reyes Polanco², Rafael Eduardo Rodríguez Mayorga², Christopher Aarón Soriano Rodríguez², Kelvin Omar Guzmán Meléndez²

¹Departamento de Química Agrícola, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.

²Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. Estudiantes de cátedra: Geoquímica, tercer año de Ingeniería Geológica.

Email: emerson.martinez@ues.edu.sv

RESUMEN

La Laguna Cuzcachapa es una pequeña caldera ubicada al occidente de El Salvador, es considerada de importancia histórica por formar parte de un complejo arqueológico que evidencia la cultura indígena de los Pocomames y muy visitada anualmente como un lugar de recreación. Sin embargo, es una zona que carece de advertencias sobre riesgos potenciales y no hay un seguimiento geoquímico ambiental de sus aguas y gases difusos. Se realizó por primera vez una prospección de la desgasificación de CO₂ en suelo y de las aguas superficiales en agosto de 2024. Las mediciones de flujo de CO₂ se realizaron con el método de la cámara de acumulación, simultáneamente con mediciones de temperatura del suelo a 10 y 40 cm de profundidad. Los flujos de CO₂ medidos reflejan una mediana: 0.57 g m⁻² día⁻¹; y un rango: 0.06 a 1.04 g m⁻² día⁻¹. Además, se realizó el muestreo de aguas superficiales para su caracterización, midiendo in situ parámetros tales como pH (media: 8.43), conductividad eléctrica (media: 0.28 mS cm⁻¹), sólidos totales disueltos (media: 138 ppm), salinidad (0.01%), y oxígeno disuelto (media: 11.4%). Se utilizaron datos hidrogeoquímicos (Na⁺, K⁺, Mg⁺², Ca⁺², SO₄⁻², HCO₃⁻³, Cl⁻, NO₃⁻³), relaciones iónicas y correlaciones geoquímicas para confirmar los procesos que rigen la química del agua. De hecho, los principales diagramas geoquímicos (Langelier-Ludwig y Piper) confirman la naturaleza predominante de bicarbonatos y metales alcalinotérreos. Como metales en traza predomina el hierro con una concentración media de 184.13 µg L⁻¹. Estos resultados indican que una prospección geoquímica básica de fluidos puede ser útil para la caracterización de esta caldera y su monitoreo.

Palabras clave: *desgasificación difusa, dióxido de carbono, hidrogeoquímica.*

ABSTRACT

The Cuzcachapa Lagoon is a small caldera situated in the western region of El Salvador. The site is of historical significance as it forms part of an archaeological complex that provides evidence of the indigenous Pocomames culture. It is visited annually by tourists and other visitors, who come to enjoy its recreational facilities. However, the area is lacking in warnings regarding potential risks, and there is no environmental geochemical monitoring of the waters or diffuse gases. A preliminary survey of CO₂ degassing in soil and surface waters was conducted in August 2024. CO₂ flux measurements were performed with the accumulation chamber method, simultaneously with soil temperature measurements at 10 and 40 cm depth. Measured CO₂ fluxes reflect a median: 0.57 g m⁻² day⁻¹; and a range: 0.06 to 1.04 g m⁻² day⁻¹. Furthermore, surface water samples were collected for characterisation, with in situ parameters such as pH (mean: 8.43), electrical conductivity (mean: 0.28 mS cm⁻¹), total dissolved solids (mean: 138 ppm), salinity (0.01%), and dissolved oxygen (mean: 11.4%) being measured. Hydrogeochemical data (Na⁺, K⁺, Mg⁺², Ca⁺², SO₄⁻², HCO₃⁻³, Cl⁻, NO₃⁻³), ionic ratios and geochemical correlations were used to confirm the processes governing water chemistry. Indeed, the main geochemical diagrams (Langelier-Ludwig and Piper) confirm the predominant nature of bicarbonates and alkaline earth metals. In terms of trace metals, iron is the most abundant, with an average concentration of 184.13 µg L⁻¹. These results suggest that a basic fluid geochemical survey may be useful in characterising and monitoring this caldera.

Key words: carbon dioxide, diffuse degassing, hydrogeochemistry.

UN MAPA DE DEFORMACIÓN FRÁGIL DE CENTROAMÉRICA PARA UNA CARACTERIZACIÓN DEL MARCO SISMO-TECTÓNICO

Abstrac ID 212

A BRITTLE DEFORMATION MAP OF CENTRAL AMERICA FOR A CHARACTERIZATION OF THE SEISMO-TECTONIC FRAMEWORK

Mauro Agate¹, Francesco¹, Giuseppe Giunta¹, Attilio Sulli¹, Luis Castillo², Amelia Garcia³, Luis Mixco³, Jaime Requena⁴, Carlos Rubi⁵, Maynor Ruiz⁶

¹Department of Earth and Marine Sciences DiSTeM, University of Palermo, Via Archirafi, 22, Palermo, Italia

²Universidad de El Salvador UES, San Salvador

³Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador MARN, San Salvador

⁴Universidad de San Carlos de Guatemala USAC/CUNOR, Guatemala City

⁵Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua UNAN, Managua

⁶Universidad Nacional Autónoma de Honduras UNAH, Tegucigalpa

Email: francesco.caldareri@unipa.it

RESUMEN

La sismicidad regional del área Centroamericana es producto de una deformación tectónica generalizada, derivada de la intrincada interacción entre cinco placas litosféricas: Caribe, Norteamérica, Cocos, Nazca y Suramérica. Los terremotos más fuertes, con una magnitud cercana de 8 y con hipocentros que alcanzan profundidades de 200 km, están ubicados a lo largo del plano de subducción del Pacífico que se extiende debajo de la Fosa Centroamericana. Por otro lado, las regiones intraplaca se caracterizan por una sismicidad generalizada, con una magnitud promedio <6,5 y una profundidad de hipocentro media-baja. Sin embargo, incluso una sismicidad de pequeña magnitud puede generar daños considerables de impacto social. La cooperación entre varias instituciones académicas y de investigación italianas y centroamericanas, en particular El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua, desarrollada en el marco de los proyectos RIESCA y CASTES financiados por la Agencia Italiana de Cooperación para el Desarrollo, facilitó actividades de investigación conjunta en el campo de la peligrosidad sísmica, volcánica e geohidrológica. En el contexto de estos proyectos se ha elaborado un mapa sismo-tectónico que representa los principales elementos estructurales de la región, basado tanto en trabajo de campo como en análisis del DEM, caracterizando el entorno tectónico y las estructuras sismo-tectónicas individuales. El conjunto de datos incluye 986 ubicaciones de líneas de fallas y atributos para 86 estructuras seleccionadas, como geometría y cinemática. El mapa ofrece una descripción detallada y actualizada de la deformación frágil en la región, con la esperanza de servir como recurso para una evaluación integral del marco sismo-tectónico.

Palabras clave: *Centro America, peligrosidad sísmica, sismicidad, tectónica.*

ABSTRACT

The Central America area regional seismicity is the product of a widespread tectonic deformation, stemming from the intricate interplay among five lithospheric plates: Caribbean, North American, Cocos, Nazca and South American. Notably, the most powerful earthquakes, with a magnitude close to 8 and hypocenters reaching depths of 200 km, are situated along the Pacific subduction plane that extends beneath the Central American Trench. On the other hand, the intraplate regions are characterized by widespread seismicity, with an average magnitude < 6.5 and medium-low hypocentre depth. Nevertheless, even small magnitude seismicity can generate considerable damage of social impact. A cooperation among various Italian and Central American academic and research institutions, including El Salvador, Guatemala, Honduras and Nicaragua, developed within the framework of the RIESCA and CASTES projects financed by the Italian Development Cooperation Agency facilitated the joint research activities in the field of seismic, volcanic and hydrogeological hazard. A seismo-tectonic map depicting the main structural elements of the northern Central American region has been drafted, based on both fieldwork and Digital Elevation Model analysis, characterizing the tectonic setting and the individual seismo-tectonic structures of the area. The dataset includes 986 fault trace locations and attributes for 86 selected structures, such as fault geometry and kinematics. The map offers a detailed and up-to-date depiction of the brittle deformation across the region, hoping to serve as a valuable resource for a comprehensive assessment of the seismo-tectonic framework.

Key words: Central America, seismic hazard, seismicity, tectonics

EMISIONES DIFUSAS DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂) DE SUELO, DURANTE EL PERÍODO 2017-2024, EN UNA PEQUEÑA ÁREA DE OBSERVACIÓN AL SUR ESTE DEL BOQUERÓN, VOLCÁN SAN SALVADOR

Abstrac ID 213

DIFFUSE SOIL CARBON DIOXIDE (CO₂) EMISSIONS, DURING THE PERIOD 2017-2024, IN A SMALL OBSERVATION AREA SOUTHEAST OF BOQUERÓN, SAN SALVADOR VOLCANO.

Francisco A. Barahona¹, Aleyda C. Castillo¹, Xenia G. Mejía¹, Adriana A. Siguenza¹, Rodolfo A. Olmos², Agustín Hernández de la Cruz³, Miguel A. Hernández⁴ y Nelson E. Gómez¹

¹Facultad de Ciencias Naturales y Matemática. Universidad de El Salvador. Final de Av. Mártires y Héroes del 30 Julio, San Salvador 1101, El Salvador.

²Facultad Multidisciplinaria de Occidente. Universidad de El Salvador. Ave Fray Felipe De Jesus Moraga Sur, Santa Ana, El Salvador

³Facultad Multidisciplinaria Paracentral. Universidad de El Salvador. Avenida Crescencio Miranda, San Vicente, El Salvador

⁴Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de El Salvador. Final de Av. Mártires y Héroes del 30 Julio, San Salvador 1101, El Salvador

Email: francisco.barahona@ues.edu.sv

RESUMEN

Emisiones difusas de dióxido de carbono (CO₂) han sido medidas entre los años 2017 y 2024 en un área de experimentación o de control, ubicada a 3 kilómetros al sureste del Boquerón, del Volcán San Salvador. Se aplicó el método de la cámara de acumulación, para medir el flujo por unidad de área en 77 puntos de observación en un área de sección rectangular plana de 30 por 48 metros, durante nueve medidas en diferentes fechas. Para cada conjunto de medidas, se elaboró un mapa de flujo de CO₂ de suelo, aplicando el método de Kriging y el software Surfer y se estimó para el mismo, la cantidad total de CO₂ liberada por dicha área durante la fecha observada; estas emisiones oscilaron entre 3.1 y 56.4 Kg/d, observándose cambios en un orden de magnitud, particularmente al comparar las medidas realizadas durante los meses de junio de cada año estudiado, lo cual podría estar relacionado con los procesos de cambio de presión y ascenso magmático ocurriendo en este sistema volcánico durante el período observado. El propósito de este trabajo es generar datos de base para la implementación de un programa de monitoreo del complejo volcánico San Salvador con miras a generar nuevo conocimiento, complementario al sísmico, que pudieran hacer posible la generación de señales de alerta temprana ante una potencial reactivación de este volcán y de esta manera contribuir a la reducción del riesgo volcánico de alrededor de 2 millones de personas viviendo actualmente en los flancos de este volcán.

Palabras clave: *dióxido de carbono, volcán de San Salvador, vulcanología.*

ABSTRACT

Diffuse emissions of carbon dioxide (CO₂) have been measured between 2017 and 2024 in an experimental or control area, located 3 kilometers southeast of Boquerón, from the San Salvador Volcano. The accumulation chamber method was applied to measure the flow per unit area at 77 observation points in a flat rectangular section area of 30 by 48 meters, during nine measurements on different dates. For each set of measurements, a soil CO₂ flux map was prepared, applying the Kriging method and the Surfer software, and the total amount of CO₂ released by said area during the observed date was estimated; These emissions ranged between 3.1 and 56.4 Kg/d, with changes observed in an order of magnitude, particularly when comparing the measurements made during the months of June of each year studied, which could be related to the processes of pressure change and magmatic rise. occurring in this volcanic system during the observed period. The purpose of this work is to generate baseline data for the implementation of a monitoring program of the San Salvador volcanic complex with a view to generating new knowledge, complementary to seismic, that could make possible the generation of early warning signals in the event of a potential reactivation of this volcano and in this way contribute to the reduction of the volcanic risk of around 2 million people currently living on the flanks of this volcano.

Key words: carbon dioxide, San Salvador volcano, volcanology

IMPORTANCIA DE LAS EMISIONES DE SO₂ DURANTE UNA ERUPCIÓN BASÁLTICA EN CENTROAMÉRICA: EL CASO DE LA ERUPCIÓN DEL 29 DE DICIEMBRE DE 2013 DEL VOLCÁN SAN MIGUEL, EL SALVADOR, C.A.

Abstrac ID 214

SIGNIFICANCE OF SO₂ EMISSIONS DURING A BASALTIC ERUPTION IN CENTRAL AMERICA: THE CASE OF THE DECEMBER 29, 2013 ERUPTION OF SAN MIGUEL VOLCANO, EL SALVADOR, C.A.

Agustín Hernández^{1,2,3}, Domingo Gimeno¹, Vladimir Conde⁴, Rodolfo A. Olmos^{3,5}, Miguel A. Hernández³, Francisco A. Barahona⁶ y Daniela Novembre⁷

¹Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona. C/ Martí i Franquès s/n, 08028, Barcelona (Espanya),

²Facultad Multidisciplinaria Paracentral, Universidad de El Salvador. Avenida Crescencio Miranda, San Vicente, El Salvador.

³Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. Final de Av. Mártires y Héroes del 30 Julio, San Salvador 1101, El Salvador

⁴Department of Radio and Space Science, Chalmers University of Technology, 41296 Gothenburg, Sweden

⁵Facultad Multidisciplinaria de Occidente. Universidad de El Salvador. Ave Fray Felipe De Jesus Moraga Sur, Santa Ana, El Salvador

⁶Facultad de Ciencias Naturales y Matemática. Universidad de El Salvador. Final de Av. Mártires y Héroes del 30 Julio, San Salvador 1101, El Salvador

⁷Dipartimento di Ingegneria e Geologia, Università degli Studi "G.D'Annunzio", Via dei Vestini 30, 66013 Chieti, Italy

Email: agustin.hernandez@ues.edu.sv

RESUMEN

La erupción del 29 de diciembre de 2013 del volcán San Miguel (VEI-2), puede considerarse representativa de un gran número de erupciones similares que emitieron nubes de cenizas a la atmósfera; en este caso de este a oeste, a lo largo de unos 90 km. Se presentan los resultados del monitoreo diario detallado de la emisión de SO₂ (con estaciones móviles) durante un mes y medio inmediatamente después de la erupción. Además, se tomó un conjunto completo de muestras de cenizas prístinas a lo largo del transecto de dispersión y se caracterizaron textural, química y mineralógicamente. Estos datos resultan ser superiores en los momentos de máxima emisión (casi el doble en algunos casos) que los publicados anteriormente desde una pequeña red de estaciones permanentes y muestran la existencia de varios ciclos de desgasificación. Se parte de valores base pre-eruptivos estimados en poco más de 300 t SO₂/día, hasta valores pico máximos que alcanzan 4,300 y 2,000 t SO₂/día en el primer y segundo ciclo, respectivamente. Podemos concluir que los valores disponibles de emisiones de SO₂ en los días previos a la erupción mostraron un pobre comportamiento predictivo en términos de previsión de la erupción.

Palabras clave: *El Salvador, magma basáltico, SO₂, volcán San Miguel*

ABSTRACT

The December 29, 2013 eruption of the San Miguel volcano (VEI-2) can be considered representative of a large number of similar eruptions that emitted ash clouds into the atmosphere; in this case from east to west, for about 90 km. The results of detailed daily monitoring of SO₂ emission (with mobile stations) for a month and half immediately after the eruption are presented. Additionally, a complete set of pristine ash samples were taken along the dispersal transect and characterized texturally, chemically, and mineralogically. These data turn out to be higher at times of maximum emission (almost double in some cases) than those previously published from a small network of permanent stations and show the existence of several degassing cycles. It starts from pre-eruptive base values estimated at just over 300 t SO₂/day, up to maximum peak values that reach 4,300 and 2,000 t SO₂/day in the first and second cycles, respectively. We can conclude that the available values of SO₂ emissions in the days before the eruption showed poor predictive behavior in terms of forecasting the eruption.

Key words: *El Salvador, basaltic magma, SO₂, San Miguel volcano*

UNA REVISIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-MECÁNICAS, MINERALÓGICAS Y QUÍMICAS DE LA FORMACIÓN TBJ, EN EL ÁREA DE SAN SALVADOR

Abstrac ID 215

A REVIEW OF THE PHYSICAL-MECHANICAL, MINERALOGICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE TBJ FORMATION IN THE SAN SALVADOR AREA

Mario Luigi Rainone¹, Monia Calista¹, Luis Alfonso Castillo Ramos^{1,2}, Alex Chavez³, Walter Hernandez⁴, Julio Luna⁵, Massimo Mangifesta¹, Daniela Novembre¹ & Nicola Sciarra¹

¹Dipartimento di Scienze– Università degli Studi “G.d’Annunzio” Chieti-Pescara , Italia

²Facultad de Ingeniería – Universidad de El Salvador

³Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador – OPAMSS

⁴Geólogo consultor – El Salvador

⁵Facultad de Ingeniería – Universidad de San Carlos – Guatemala

Email: monia.calista@unich.it

RESUMEN

Los productos eruptivos de la última erupción pliniana (430 años D.C.) de la caldera de Ilopango dieron origen a los depósitos de Tierra Blanca Joven (TBJ), que han cubierto gran extensión del territorio y sobre sus depósitos ha sido edificada la ciudad de San Salvador y otros municipios contiguos a dicha ciudad. Debido al alto crecimiento demográfico de la capital y áreas aledañas, la presión que sobre la tenencia de la tierra se genera y a las condiciones de pobreza, se construye inclusive sobre los taludes en este tipo de depósitos produciendo situaciones de amenaza por derrumbes y deslizamientos de la TBJ. Este hecho indujo a llevar a cabo el presente estudio, con el objetivo de proceder a una revisión crítica de todos los datos disponibles en la literatura y realizar nuevos ensayos geotécnicos, mineralógicos y químicos sobre muestras representativas. En los laboratorios del Departamento de Ciencias de la Universidad G. d'Annunzio Chieti-Pescara, en el marco del Proyecto AICS-CASTES, se llevaron a cabo nuevos ensayos de clasificación y caracterización geotécnica (ensayos triaxiales), análisis difractométricos, fluorescencia, etc.). En este artículo los autores ilustran los resultados alcanzados destacando la variabilidad de algunos parámetros físico-mecánicos del TBJ, fundamentales e indispensables para el correcto diseño de obras de ingeniería que involucran dicho terreno.

Palabras clave: *Terra Blanca Joven*

ABSTRACT

The eruptive products of the last Plinian eruption (430 AD) of the Ilopango caldera gave rise to the Tierra Blanca Joven (TBJ) deposits, which have covered a large area of the territory and the city of San Salvador and other municipalities adjacent to the city have been built on its deposits. Due to the high demographic growth of the capital and surrounding areas, the pressure on land ownership and the conditions of poverty, even the slopes of this type of deposits are built on, producing situations of threat due to landslides and landslides of the TBJ. This fact led to the carrying out of this study, with the objective of proceeding to a critical review of all the data available in the literature and to carry out new geotechnical, mineralogical and chemical tests on representative samples. In the laboratories of the Department of Sciences of the University G. d'Annunzio Chieti-Pescara, within the framework of the AICS-CASTES Project, new tests of classification and geotechnical characterization (triaxial tests), diffractometric analysis, fluorescence, etc.) were carried out. In this article the authors illustrate the results achieved by highlighting the variability of some physical-mechanical parameters of the TBJ, fundamental and indispensable for the correct design of engineering works involving such terrain.

Key words: *Terra Blanca Joven*

EL IMPACTO DE LOS GRANDES FENÓMENOS NATURALES EN LA HISTORIA DE LOS PUEBLOS: LA CIVILIZACIÓN MAYA Y EL VOLCÁN DE ILOPANGO – EL SALVADOR

Abstrac ID 216

THE IMPACT OF MAJOR NATURAL PHENOMENA ON THE HISTORY OF PEOPLES: THE MAYAN CIVILIZATION AND THE ILOPANGO VOLCANO - EL SALVADOR

Heriberto Erquicia¹, Walter. Hernández², Luis Alfonso Castillo Ramos^{3,4}, Monia Calista⁴ & Mario Luigi Rainone⁴

¹Universidad Pedagógica de El Salvador.

²Geólogo Consultores – El Salvador

³Facultad de Ingeniería – Universidad de El Salvador

⁴Dipartimento di Scienze– Università degli Studi “G.d’Annunzio” Chieti-Pescara , Italia

Email: monia.calista@unich.it

RESUMEN

“La civilización existe a través de un consenso geológico que está sujeto a cambios sin previo aviso” (Will Durant). La paradójica afirmación del filósofo estadounidense no puede ser más apropiada, teniendo en cuenta los múltiples fenómenos vinculados a la evolución de la Tierra que pueden transformar un proceso natural en una calamidad. La colosal erupción volcánica de Ilopango, que se produjo hacia el 431/435 d.C., se manifestó con una serie de flujos piroclásticos que provocaron el colapso de la caldera volcánica y con una dispersión de las cenizas que alcanzaron alturas de unos 40-45 km, extendiéndose en una buena parte del hemisferio norte, hasta Groenlandia. Ilopango hizo una erupción que arrojó aproximadamente 55.000 metros cúbicos de material piroclástico, un volumen diez veces mayor que el producido por la erupción del Vesubio en el 79 d.C., responsable del fin de Pompeya y cincuenta veces mayor que la erupción del St. Helen ocurrida en 1980 en el estado de Washington E.E.U.U. La erupción de Ilopango extinguió toda vida en un radio de 40 km, dejando la zona deshabitada por mucho tiempo. A partir de lo ocurrido en la zona de San Salvador, los autores abordan el tema de cómo podemos convivir, en zonas caracterizadas por la presencia de grandes fenómenos naturales, con condiciones de alto riesgo, a través de la adquisición de marcos cognitivos adecuados, acciones específicas de seguimiento, planes de resiliencia y protección civil.

Palabras clave: *erupciones volcánicas y Mayas; Volcán Ilopango*

ABSTRACT

“Civilization exists through a geological consensus that is subject to change without warning” (Will Durant). The paradoxical statement of the American philosopher could not be more appropriate, considering the multiple phenomena linked to the evolution of the Earth that can transform a natural process into a calamity. The colossal volcanic eruption of Ilopango, which occurred around 431/435 AD, manifested itself with a series of pyroclastic flows that caused the collapse of the volcanic caldera and with a dispersion of ashes that reached heights of about 40-45 km, extending over a good part of the northern hemisphere, as far as Greenland. Ilopango erupted, producing approximately 55,000 cubic meters of pyroclastic material, a volume ten times greater than that produced by the eruption of Vesuvius in 79 AD, responsible for the end of Pompeii, and fifty times greater than the eruption of St. Helen's in 1980 in Washington State, USA. The Ilopango eruption wiped out all life within a 40 km radius, leaving the area uninhabited for a long time. Based on what happened in the San Salvador area, the authors address the issue of how we can coexist in areas characterized by the presence of major natural phenomena, with high-risk conditions, through the acquisition of appropriate cognitive frameworks, specific follow-up actions, resilience plans and civil protection.

Key words: Volcanic Eruptions and Maya; Ilopango Volcano