

SESIÓN 8

Hidrogeología



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

Del 27 al 29 de noviembre 2024, Antigua Guatemala

SEGUIMIENTO AMBIENTAL DEL RÍO CIRUELAS, MINA BELLAVISTA. MONTES DE ORO, MIRAMAR DE PUNTARENAS, COSTA RICA

Abstrac ID 801

ENVIRONMENTAL MONITORING OF CIRUELAS RIVER, BELLAVISTA MINE. MONTES DE ORO, MIRAMAR, PUNTARENAS, COSTA RICA

Kenneth Bolaños Irigara¹, Allan F. Cascante Valladares²

Geólogo e Ingeniero en Minas, consultor ambiental independiente
Consultor ambiental independiente

Email: keboir@gmail.com; allan.cv1189@gmail.com

RESUMEN

La actividad minera en la subcuenca del río Ciruelas se ha desarrollado por más de 100 años y específicamente, la Mina Bellavista ha funcionado durante el período de análisis de 1998 a 2023, para la extracción de oro y plata. Fueron seleccionadas tres localidades para el análisis y monitoreo ambiental en las aguas de este río. La estación denominada SW-2008 se localiza aguas arriba de la mina, la estación SW-2006 está en el curso medio del área de la mina y la estación SW-2004 se localiza aguas abajo de la mina. Los resultados de los análisis de laboratorio realizados durante este periodo muestran un impacto despreciable en las aguas superficiales, y la ausencia de niveles significativos de metales pesados que puedan causar un deterioro en los usos potenciales y recomendados para las aguas del río Ciruelas. En los análisis reportados por los laboratorios independientes contratados por la Mina Bellavista, en ningún caso se encontraron valores de compuestos mayores o parámetros fisicoquímicos superiores a los recomendados para cuerpos de agua superficiales según la legislación vigente en Costa Rica. La calidad biológica del agua del río Ciruelas ha mejorado en el tiempo, tal y como muestran los resultados en el seguimiento para este periodo.

Palabras clave: *Mina Bellavista, monitoreo ambiental, parámetros fisicoquímicos, oro, plata.*

ABSTRACT

Mining activity in the rio Ciruelas hydrological basin had been conducted for the last 100 years and specifically Bellavista Mine has been operating for the analysis period from 1998 to 2023, for gold and silver extraction. Three locations had been selected for the analysis and environmental monitoring of the rio Ciruelas water. The station designated SW-2008 is located up stream of the mine, the station SW-2006 is at the middle of the distance of mining activities and the station SW-2004 is located downstream of the mine. The results from the laboratory during this analysis period show minor impacts on the surface waters of the river, as well as an absence of significative levels of heavy metals that could cause any harm for the potential and recommended uses for these waters. In the reported analysis from independent laboratories contracted by the Bellavista Mine, there were not found major compounds or physical chemical parameters over the limits recommended for surface water bodies according to the Costa Rican legislation. The biological quality of the Ciruelas river shows an upgrade for this analysis period.

Key words: Bellavista Mine, environmental monitoring, physicochemical parameters, gold, silver.

NIVELES DE FLUORUROS EN LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE JUTIAPA: UN ENFOQUE LOCAL

Abstrac ID 802

FLUORIDE LEVELS IN THE GROUNDWATER OF JUTIAPA: A LOCAL APPROACH

Carlos Manuel Caal de la Cruz¹, Karla Giovanna Judith Pérez Loarca²

Mtr. En Gestión de Recursos Hidrogeológicos

Asesora Mtr. En Recursos Hidráulicos Opción Hidrología

Email: cmcaaldelacruz@gmail.com, perez.giovanna@gmail.com

RESUMEN

En el periodo entre 2007 y 2012, el INSIVUMEH monitoreó dos pozos en la cabecera municipal de Jutiapa, identificando concentraciones de fluoruros. En 2023, se analizaron nuevamente las concentraciones de fluoruros y otros compuestos en varios pozos mecánicos, utilizando datos de campo y características fisicoquímicas para evaluar la influencia de la geología. Los resultados indicaron que las aguas subterráneas presentaban concentraciones de fluoruros por debajo de 2 mg/L. Se concluyó que los niveles altos de fluoruros registrados previamente en el pozo Filtros Amayo no estaban relacionados con la litología, sino con posibles factores antrópicos.

Palabras clave: *Acuífero, flúor, hidrogeoquímica, calidad del agua, litología.*

ABSTRACT

Between 2007 and 2012, INSIVUMEH monitored two wells in the municipal seat of Jutiapa, identifying fluoride concentrations. In 2023, fluoride concentrations and other compounds were reanalyzed in several mechanical wells, using field data and physicochemical characteristics to assess the influence of geology. The results indicated that groundwater had fluoride concentrations below 2 mg/L. It was concluded that the previously recorded high fluoride levels in the Filtros Amayo well were not related to lithology but rather to potential anthropogenic factors.

Key words: Aquifer, fluoride, hydrogeochemistry, quality of water, lithology

GENESIS GEOLÓGICA Y POTENCIALIDAD DE GENERACIÓN DE DRENAJE ÁCIDO DE ROCA – DAR.

Abstrac ID 803

GEOLOGIC GENESIS AND ACID ROCK DRAINAGE GENERATION POTENTIAL - ARD.

Miguel Gutiérrez¹

Ingeniero de Minas y Metalúrgia

Universidad Nacional de Colombia; MSc. Ingeniería Mineral, Universidad de Sao Paulo, Brasil; QP Comisión Colombiana de Recursos y Reservas (CCRR) - CIRISCO.

Departamento de Materiales y Minerales de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia, Av. 80 #65-223, Villa Flora, Robledo, Medellín, Antioquia, Colombia,
SGS LATAM, Carrera 52 #14Sur-26, Av. Guayabal, Medellín Antioquia, Colombia.

Email: migutierrez@unal.edu.co, miguel.gutierrez@sgs.com

RESUMEN

Las geociencias ambientales nos permiten entender de una manera integral las interacciones entre los recursos naturales renovables, no renovables y la especie humana, procurando objetivos de desarrollo sostenible. Los diferentes dominios geológicos en los que se emplazan proyectos de aprovechamiento de recursos minerales para el mejor estar de la sociedad, juegan un rol fundamental, puesto que, así como se obtienen minerales esenciales para la vida, se pueden generar impactos que afectan el logro del anhelado bienestar. Uno de estos casos es la potencialidad de generación de Drenaje Ácido de Rocas - DAR, que resulta al exponer diferentes tipos de rocas que contienen iones y aniones metálicos, así como sulfuros y sulfatos, a un proceso de lixiviación, es decir, a la disolución de sulfuros metálicos. Este proceso se puede presentar de modo natural en zonas geográficas mineralizadas y con lluvias abundantes; no es exclusivo de zonas en las que se realizan actividades de aprovechamiento de recursos minerales, también se presenta en la construcción de carreteras, presas de agua, cimentaciones, etc. La potencialidad de generación de DAR se evalúa en laboratorios de ciencias de la tierra, a través de ensayos geo ambientales. Las muestras representativas de roca se analizan geoquímica y mineralógicamente, luego se realizan pruebas geo ambientales estáticas y dinámicas y también se realizan pruebas cortas de lixiviación. Las aguas de DAR deben ser controladas y tratadas para minimizar lo potencialmente negativo del impacto ambiental, el cual está regulado por legislaciones estatales.

Palabras clave: *Drenaje Ácido de Rocas - DAR; Lixiviación; Geoquímica; Geoambiental; Sostenibilidad.*

ABSTRACT

Environmental geosciences allow us to comprehensively understand the interactions between renewable and non-renewable natural resources and the human species, seeking sustainable development objectives. The different geological domains in which projects to exploit mineral resources for the betterment of society are located, play a fundamental role, since just as essential minerals for life are obtained, impacts can be generated that affect the achievement of the longed-for well-being. One of these cases is the potential for generating Acid Rocks Drainage - DAR, which results from exposing different types of rocks that contain metal ions and anions, as well as sulfides and sulfates, to a leaching process, that is, to dissolution. of metal sulfides. This process can occur naturally in mineralized geographic areas with abundant rainfall; It is not exclusive to areas in which mineral resource exploitation activities are carried out; it also occurs in the construction of roads, water dams, foundations, etc. The potential for generating DAR is evaluated in earth science laboratories, through geo-environmental tests. Representative rock samples are analyzed geochemically and mineralogically, then static and dynamic geo-environmental tests are performed and short leaching tests are also performed. DAR waters must be controlled and treated to minimize the potentially negative environmental impact, which is regulated by state legislation.

Key words: Acid Rocks Drainage - ARD; Geochemistry; Sustainability; Geoenvironmental; Leaching.

APLICACIONES DE HIDROLOGÍA ISOTÓPICA EN EL SALVADOR

Abstrac ID 805

ISOTOPE HYDROLOGY APPLICATIONS IN EL SALVADOR

Ricardo Mata¹

RESUMEN

El Salvador cuenta con registros discontinuos de isótopos estables desde 1968, y desde 2019 se ha logrado un monitoreo más continuo gracias a los Proyectos de Cooperación Técnica llevados a cabo con el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), que ha proporcionado equipos y desarrollado capacidades en el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). Actualmente, el MARN cuenta con un analizador isotópico de H₂O modelo L2130-i de la marca Picarro, colectores de agua lluvia para análisis de isótopos estables del agua, además de un equipo RAD 7 para la medición continua de Radón y Torón.

El monitoreo ha permitido establecer una red de más de 100 puntos que incluye muestras de agua de lluvia, manantiales, pozos, ríos y lagos. Se ha generado una base de datos isotópica nacional que, junto con otras características hidrogeológicas del medio físico, facilita la identificación de zonas de recarga hídrica y la creación de mapas isotópicos (isoscapes) de oxígeno 18 en precipitación. En la actualidad, se lleva a cabo el muestreo continuo de isótopos estables (oxígeno 18 y deuterio), y de isótopos de sulfato y nitrato para identificar fuentes de contaminación.

Asimismo, se están utilizando isótopos radiactivos, como el tritio, para estimar el tiempo de residencia del agua subterránea y el Radón 222 para analizar la interacción entre agua superficial y subterránea. Los resultados y datos generados se integran en el Sistema de Información Hídrica del país para su divulgación y uso en la gestión de los recursos hídricos.

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

Abstrac ID 806

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

Emerson Gustavo Martínez Hernández^a, Norbis Salvador Solano Melara^a, Henry Gabriel Montan Flores^b, Fátima Suyapa Santos Hernández^b, Wendy Arely Hernández Meléndez^b, Fernanda Rebeca Alfaro Zelada^b, Cristian Ernesto Arucha Shupan^b, Diego Rodolfo Beltrán Piche^b, María Guadalupe Campos Coreas^b, Carlos Daniel Cañas Parada^b, Juan Diego Cornejo Rosales^b, Douglas Alejandro Fuentes Cabrera^b, Alessandro Paolo Lara Reyes^b, Isis Nohemy Martínez de Quintanilla^b, Nubia Alejandra Martínez Sánchez^b, Elian Rafael Nochez Avelar^b, Douglas Fernando Raimundo Acevedo^b, Carlos Mauricio Reyes Polanco^b, Rafael Eduardo Rodríguez Mayorga^b, Christopher Aarón Soriano Rodríguez^b, Kelvin Omar Guzmán Meléndez^b.

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

b. Departamento 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⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, SO₄²⁻, HCO₃⁻, Cl⁻, NO₃⁻), 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 (Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, SO₄²⁻, HCO₃⁻, Cl⁻, NO₃⁻), 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.

VALIDACIÓN DE PRECIPITACIÓN EN LA SUBCUENCA DEL LAGO DE YOJOA EN HONDURAS: COMPARACIÓN DE DATOS SATELITALES CHIRPS Y CMORPH CON OBSERVACIONES TERRESTRES

Abstrac ID 807

VALIDATION OF PRECIPITATION IN THE YOJOA LAKE SUB-BASIN IN HONDURAS: COMPARISON OF CHIRPS AND CMORPH SATELLITE DATA WITH GROUND-BASED OBSERVATIONS

Dayan Pichardo ^(1,2), **Lenín Henríquez-Dole** ⁽³⁾

1. Unidad de Hidrología - Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE)

2. Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra (IHCIT), Tegucigalpa, Honduras

3. Red Interdisciplinaria para la Sostenibilidad de los Ecosistemas (EcoAgsus), Mendoza, Argentina

Email: mishellpichardo@gmail.com, l.henriquez@ecoagsus.com

RESUMEN

Los datos de precipitación son esenciales en la gestión de recursos naturales, estudios hidrológicos, y planificación de infraestructuras hidráulicas. No obstante, la medición de la precipitación es escasa, limitada o nula en muchas regiones del mundo, lo que ha impulsado el uso de productos satelitales para estimarla. Este estudio evalúa la precisión de los datos diarios (y su agregación mensual y anual) de precipitación satelitales CHIRPS y CMORPH mediante la comparación con observaciones terrestres en la subcuenca del Lago de Yojoa, Honduras. Se utilizaron datos de precipitación diaria de 10 estaciones hidroclimatológicas para un periodo comprendido entre 1981 y 2015. A nivel diario, los datos satelitales de CHIRPS mostraron un bajo ajuste con los datos observados, con coeficientes de determinación (R^2) entre 0.02 y 0.07. La revisión de la distribución de los datos diarios indicó que los datos satelitales presentan pocos días con precipitación y tienden a acumular la lluvia durante esos días, a diferencia de las observaciones terrestres. A nivel mensual, los datos satelitales presentaron un mejor ajuste, con coeficientes de determinación (R^2) entre 0.63 y 0.84. Estos resultados subrayan la importancia de la validación regional de datos satelitales para su aplicación en estudios hidrológicos, y sugieren que, aunque los datos satelitales son útiles a nivel mensual, su uso a nivel diario aún requiere mayor estudio y desarrollo de métodos de corrección del sesgo. Las implicaciones de estos hallazgos son significativas para la gestión de recursos hídricos en regiones con limitaciones en la infraestructura de monitoreo.

Palabras clave: *Meteorología, Climatología, Pluviometría, Satélite, Hidroclimatología*

ABSTRACT

Precipitation data are essential in natural resource management, hydrological studies, and hydraulic infrastructure planning. However, precipitation measurement is sparse, limited, or nonexistent in many regions of the world, prompting the use of satellite products to estimate it. This study evaluates the accuracy of daily (and their monthly and annual aggregation) satellite precipitation data from CHIRPS and CMORPH by comparing them with ground observations in the Lake Yojoa sub-basin, Honduras. Daily precipitation data from 10 hydroclimatological stations were used for the period from 1981 to 2015. At the daily level, CHIRPS satellite data showed a poor fit with observed data, with coefficients of determination (R^2) between 0.02 and 0.07. A review of the daily data distribution indicated that the satellite data had few days with precipitation and tended to accumulate rain on those days, unlike terrestrial observations. At the monthly level, satellite data showed a better fit, with R^2 values between 0.63 and 0.84. These results highlight the importance of regional validation of satellite data for their application in hydrological studies and suggest that while satellite data are useful at the monthly level, their use at the daily level still requires further study and development of bias correction methods. The implications of these findings are significant for water resource management in regions with limited monitoring infrastructure.

Key words: Meteorology, Climatology, Pluviometry, Satellite, Hydroclimatology

CALIDAD DEL AGUA Y CONTAMINACIÓN POR MERCURIO EN LA MICROCUENCA RÍO CALDERAS: APORTES DE LA MAPE DE ORO, EN EL CORPUS, CHOLUTECA HONDURAS.

Abstrac ID 808

WATER QUALITY AND MERCURY POLLUTION IN THE MICRO-BASIN RÍO CALDERAS: GOLD ASM CONTRIBUTIONS IN EL CORPUS-CHOLUTECA.

Rodrigo Alejandro Palacios Ordenes¹

a. Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Tegucigalpa, Honduras

RESUMEN

Históricamente El Corpus-Choluteca, se conoce como uno de los primeros municipios mineros en beneficiar oro con mercurio en Honduras. En el estudio se tomaron como muestra cinco aldeas del municipio, en época seca y lluviosa del año 2022 en las matrices de agua y sedimentos. La metodología de la investigación es del tipo mixta (cuantitativa-cualitativa) descriptiva. Se analizó Hg-total en época lluviosa y se detectó contaminación en dos fuentes superficiales con concentraciones de 2.6 y 1.3 µg/L respectivamente. Respecto a metales traza, en época seca el Fe excede el máximo admisible (0.3 mg/L) para todos los sitios detectados (11) y para Pb se excede (0.01 mg/L) en 1 sitio. En lluviosa, el Fe lo excede en 4 sitios y el Mn excede (0.5 mg/L) para 4 sitios.

En sedimentos las mayores concentraciones detectadas para Hg-total fueron para lagunas de descarga, seguido de sedimentos de río que presentan una descarga directa de rastras y, por último, en sedimentos de río que no reciben descargas. En época seca las concentraciones oscilan entre 52.1 a 30,400 µg/kg, y en lluviosa entre 100 a 11,000 µg/kg. Debido a la presencia de Hg-total en sedimentos de ríos y lagunas de descarga, agua superficial y subterránea, asimismo concentraciones de Fe, Mn que exceden los máximos admisibles; el agua no es apta para uso, consumo humano y animal, ni está presente en niveles seguros para la protección de la vida ecosistémica

Palabras clave: *Contaminación, hidroquímica, MAPE, mercurio, metales traza*

ABSTRACT

Historically, El Corpus-Choluteca is known as one of the first mining municipalities to benefit gold with mercury in Honduras. The study sampled five villages in the municipality, in the dry and rainy season of 2022 in the water and sediment matrices. The research methodology is of the mixed (quantitative-qualitative) descriptive type. Hg-total was analyzed in rainy season and contamination was detected in two surface sources with concentrations of 2.6 and 1.3 µg/L respectively. For trace metals, in dry season the Fe exceeds the maximum allowable (0.3 mg/L) for all sites detected (11) and for Pb it is exceeded (0.01 mg/L) at 1 site. In rainy season, Fe exceeds it in 4 sites and Mn exceeds (0.5 mg/L) for 4 sites.

In sediments the highest concentrations detected for Hg-total were for discharge lagoons, followed by river sediments that present a direct discharge of rastras and, finally, in river sediments that do not receive discharges. In dry season concentrations range from 52.1 to 30,400 µg/kg, and in rainy season from 100 to 11,000 µg/kg. Due to the presence of total Hg in sediments from rivers and discharge ponds, surface, and groundwater, as well as concentrations of Fe and Mn; water is not suitable for human and animal use, nor is it present at safe levels for the protection of ecosystem life.

Key words: ASM, hydrochemistry, mercury, pollution, trace metals

VARIABILIDAD HIDROQUÍMICA Y CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHIQUITO: IMPACTO DE SULFATOS Y METALES TRAZA

Abstrac ID 809

HYDROCHEMICAL EVALUATION AND DRINKING WATER QUALITY IN THE RÍO CHIQUITO SUB-BASIN: SULFATES AND TRACE METALS

Tania María Peña Paz^a

a. Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra – Facultad de Ciencias; Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Tegucigalpa, Honduras

RESUMEN

El estudio de la subcuenca del río Chiquito analizó la variabilidad estacional y las características hidroquímicas del agua, recolectando 219 muestras en distintos periodos. Se evaluaron parámetros fisicoquímicos, iones mayoritarios, sulfato y metales traza, destacando una alta concentración de sulfato en la zona baja sur durante la temporada seca, influenciada por la disolución de yeso y procesos redox. En las épocas lluviosas, el sulfato disminuye debido a la dilución por la recarga de agua de lluvia. El análisis identificó niveles elevados de metales tóxicos, como arsénico y cadmio, lo que resalta la necesidad de intervenciones para mitigar los riesgos de contaminación.

La metodología incluyó balances iónicos, clasificación hidroquímica y análisis de metales, evidenciando variaciones espaciales y temporales en la calidad del agua. Los resultados subrayan la importancia de un enfoque integral que considere la geología, la química del agua y las actividades humanas. Se propone una zonificación de riesgos que clasifica las áreas en niveles de riesgo bajo, medio y alto, proporcionando una herramienta útil para la gestión sostenible del recurso hídrico. Además, se destaca la urgencia de implementar programas de monitoreo continuo y políticas públicas para garantizar la calidad del agua y la protección de la salud pública.

Palabras clave: *Hidroquímica, sulfato, metales traza, calidad del agua.*

ABSTRACT

The study of the Río Chiquito sub-basin analyzed the seasonal variability and hydrochemical characteristics of the water, collecting 219 samples over different periods. Physicochemical parameters, major ions, sulfate, and trace metals were evaluated, highlighting a high concentration of sulfate in the southern lowland area during the dry season, influenced by gypsum dissolution and redox processes. During the rainy season, sulfate concentrations decrease due to dilution from rainfall recharge. The analysis also identified elevated levels of toxic metals, such as arsenic and cadmium, emphasizing the need for interventions to mitigate contamination risks.

The methodology included ionic balance calculations, hydrochemical classification, and metal analysis, revealing spatial and temporal variations in water quality. The results underline the importance of an integrated approach that considers geology, water chemistry, and human activities. A risk zoning was proposed, classifying areas into low, medium, and high-risk levels, providing a valuable tool for sustainable water resource management. Additionally, the study highlights the urgent need to implement continuous monitoring programs and public policies to ensure water quality and protect public health.

Key words: Hydrochemistry, sulfate, trace metals, water quality.

INCERTIDUMBRE Y ERRORES EN HIDROGEOLOGÍA: APLICACIÓN DE LA SIMULACIÓN MONTE CARLO UTILIZANDO EXCEL

Abstrac ID 810

UNCERTAINTY AND ERRORS IN HYDROGEOLOGY: APPLICATION OF THE MONTE CARLO SIMULATION USING EXCEL

Rudy Machorro Sagastume¹

Asociación Guatemalteca de Geociencias Ambientales - ASGA

Email: rudy.machorro@yahoo.com

RESUMEN

Los monitoreos hidrogeológicos involucran mediciones ambientales que no son perfectas y difíciles de cuantificar con exactitud y precisión en un contexto con incertidumbres aleatorias y epistémicas. En la presente investigación se utiliza la Simulación Monte Carlo (SMC) basada en Excel como herramienta predictiva para evaluar la incertidumbre mensual y anual de la lluvia en el Corredor Seco de Zacapa. El análisis exploratorio de datos revela una fuerte fluctuación aleatoria de lluvia mensual y anual, con los meses de verano manifestando un fuerte contraste en la desviación estándar especificada y presencia de extremos pluviales. Se describe la configuración de la SMC en Excel para implementar 1,000 iteraciones, generar las variables de valor aleatorio, verificar los valores simulados de lluvia, y visualizar los datos aleatorios generados. La comparación de los datos de campo y los datos simulados de lluvia generados con la SMC revelan un muy buen ajuste mensual, con ciertas diferencias en junio y octubre, y un comportamiento estacional de lluvia que puede aproximarse con una distribución tipo Gaussiana con asimetría positiva.

La SMC implementada con Excel aporta una muy buena primera aproximación para la predicción de la lluvia en el Corredor Seco. Sin embargo, para generar escenarios hidrogeológicos de menor incertidumbre puede requerirse software mucho más avanzado tal como SPSS y SAS. La mayoría de los procesos hidrogeológicos pueden considerarse variables aleatorias, pero para producir un modelo integrado más eficiente es necesario combinar los métodos estadísticos con métodos determinísticos de modo que se logre una mejor planificación, desarrollo y manejo de los recursos hídricos

Palabras clave: *Excel, Simulación Monte Carlo, Corredor Seco, Lluvia.*

ABSTRACT

Hydrogeological monitoring involves environmental measurements that are not perfect and difficult to quantify accurately and precisely in a context with random and epistemic uncertainties. In this research, Excel-based Monte Carlo Simulation (MCS) is used as a predictive tool to evaluate the monthly and annual uncertainty of rainfall in the Zacapa Dry Corridor. Exploratory data analysis reveals a strong random fluctuation of monthly and annual rainfall, with the summer months manifesting a strong contrast in the specified standard deviation and presence of rainfall extremes. The configuration of the MCS in Excel is described to implement 1,000 iterations, generate the random value variables, verify the simulated rainfall values, and visualize the generated random data. The comparison of the field data and the simulated rainfall data generated with the SMC reveals a very good monthly fit, with certain differences in June and October, and a seasonal rainfall behavior that can be approximated with a Gaussian-type distribution with positive asymmetry.

The MCS implemented with Excel provides a very good first approximation for predicting rainfall in the Dry Corridor. However, much more advanced software such as SPSS and SAS may be required to generate lower uncertainty hydrogeological scenarios. Most hydrogeological processes can be considered random variables, but to produce a more efficient integrated model it is necessary to combine statistical methods with deterministic methods so that better planning, development and management of water resources is achieved..

Key words: Excel, Monte Carlo Simulation, Dry Corridor, rainfall.

CAMBIO CLIMÁTICO EN EL ÁREA CENTROAMERICANA, LA REDUCCIÓN DE RIESGOS HIDROGEOLÓGICOS: UN RETO Y UNA OPORTUNIDAD, PERO CREANDO CAPACIDADES PARA EL FUTURO.

Abstrac ID 811

CLIMATE CHANGE IN CENTRAL AMERICA, REDUCING HYDROGEOLOGICAL RISKS: A CHALLENGE AND AN OPPORTUNITY, BUT CREATING CAPACITIES FOR THE FUTURE.

Massimiliano Fazzini¹, Giuseppe Nerilli² & Mario L. Rainone³

1. URDIS - Università degli Studi di Camerino, - Italia

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

3. AICS - Agenzia Italiana per la Cooperazione allo Sviluppo, San Salvador

Email: mario.rainone@unich.it

RESUMEN

Mucho se ha escrito sobre lo que está sucediendo en Centroamérica y los impactos que eventos climáticos extremos o largos períodos secos, también atribuibles al cambio climático, tienen en el territorio, en la población y en las actividades humanas; especialmente agrícolas y turísticos, que representan un alto valor económico, en particular para el lado caribeño.

La reducción de las precipitaciones y la diferente distribución de las mismas en el llamado “corredor seco” (Honduras, Guatemala, El Salvador) ya ha mostrado importantes consecuencias para la agricultura y la seguridad alimentaria, especialmente para las medianas empresas y para las poblaciones indígenas de las montañas, cuyas condiciones están destinadas a empeorar, según las proyecciones.

En el escenario más optimista la precipitación en el área centroamericana disminuirá con un promedio para toda la región del 11%, mientras que en el escenario más pesimista se espera una disminución de la precipitación con un promedio del 28%. Este descenso también va acompañado de la modificación temporal de las precipitaciones con mayores niveles de precipitación al inicio de la temporada (entre mayo y julio). En la segunda mitad del XXI siglo es probable que las precipitaciones se concentren más en un intervalo de tiempo más corto con el consiguiente alargamiento del período seco. El aumento medio de la temperatura, respecto a la media del período CLINO 1980-2010, ha sido de unos 0,5°C en los últimos 50 años y se estima un nuevo aumento de 2,5°C para el próximo siglo en un escenario más optimista o 4,2°C. C en el más pesimista.

Sin embargo, el cambio de uso del suelo, debido principalmente al crecimiento poblacional, la urbanización, la expansión agrícola y la creciente demanda de recursos naturales, además de la pérdida de biodiversidad y servicios ecosistémicos, reducen la capacidad de mitigar los efectos de las perturbaciones hacen que el fenómeno aún más agudo y devastador. Por lo tanto, las capacidades de afrontamiento son aún más limitadas y hacen que los enfoques multidisciplinarios e integrados sean más necesarios e indispensables que nunca, para reducir todos los múltiples riesgos resultantes. Es necesario y deseable pasar de la gestión de desastres a su prevención, como también lo indican las directrices del Informe de Evaluación Global sobre la Reducción del Riesgo de Desastres de la UNDRR.

En este artículo los autores indican las acciones deseables para reducir los efectos del cambio climático mediante la adopción de "Planes de Adaptación" y ilustran las experiencias adquiridas en el contexto italiano.

ABSTRACT

Much has been written about what is happening in Central America and the impacts that extreme weather events or long dry periods, also attributable to climate change, have on the territory, the population and human activities, especially agriculture and tourism, which represent a high economic value, particularly on the Caribbean side.

The reduction in rainfall and the different distribution of rainfall in the so-called “dry corridor” (Honduras, Guatemala, El Salvador) has already shown important consequences for agriculture and food security, especially for medium-sized businesses and for indigenous populations in the mountains, whose conditions are destined to worsen, according to projections.

In the most optimistic scenario, rainfall in the Central American area will decrease with an average for the entire region of 11%, while in the most pessimistic scenario a decrease in rainfall is expected with an average of 28%. This decrease is also accompanied by the temporary modification of rainfall with higher levels of precipitation at the beginning of the season (between May and July). In the second half of the XXI century, precipitation is likely to be concentrated more in a shorter time interval, with a consequent lengthening of the dry period. The average temperature increase, compared to the average for the timespan CLINO 1980-2010, has been about 0.5°C over the last 50 years and a further increase of 2.5°C is estimated for the next century in a more optimistic scenario or 4.2°C in the most pessimistic.

However, land use change, mainly due to population growth, urbanization, agricultural expansion and the increasing demand for natural resources, in addition to the loss of biodiversity and ecosystem services, reduce the capacity to mitigate the effects of disturbances, making the phenomenon even more acute and devastating. Coping capacities are therefore even more limited and make multidisciplinary and integrated approaches more necessary and indispensable than ever, to reduce all the resulting multiple risks. It is necessary and desirable to move from disaster management to prevention, as also indicated by the guidelines of the Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction of the UNDRR.

In this paper the authors indicate the desirable actions to reduce the effects of climate change by adopting "Adaptation Plans" illustrating the experiences acquired in the Italian context.

RETOS EN LA GOBERNANZA DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN COSTA RICA

Abstrac ID 812

CHALLENGES IN GROUNDWATER GOVERNANCE IN COSTA RICA

Ingrid Vargas-Azofeifa^{1,2*} & Paola Alvarado Piedra³

1. Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica

2. Maestría en Hidrogeología y Manejo de Recursos Hídricos, Posgrado en Geología

3. Hidrogeóloga consultora

Email: ingrid.vargas@ucr.ac.cr

RESUMEN

Costa Rica depende del uso del agua subterránea, ya que es la principal fuente concesionada en el abastecimiento público, en la industria, en la actividad turística y comercial. Aunque en el sector agropecuario y agroindustrial también se usa el agua subterránea, existe un subregistro, por lo que su uso aparente es bajo. Este recurso no recibe la atención que debería de tener, debido a los múltiples servicios que brinda, por ejemplo, en Guanacaste, la existencia de acuíferos contribuye considerablemente a alcanzar la seguridad hídrica. Los retos en la gobernanza parten de una mejora en la gobernabilidad, donde se actualice y aplique el marco regulatorio vigente. Asimismo, se deben fortalecer los controles para medir la extracción de agua concesionada en pozos tubulares y prevenir la sobreexplotación. Por otro lado, la falta de ordenamiento del territorio ha provocado impactos en la calidad del agua de algunas fuentes de abastecimiento. Cada vez son más frecuentes los conflictos en torno al aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo, donde la participación de la ciudadanía ha sido clave en la búsqueda de soluciones de los problemas. La mejora en la gestión del agua subterránea comienza con el entendimiento de su dinámica en el ciclo hidrológico, por lo que deben invertirse más recursos en la caracterización y el monitoreo de los acuíferos del país.

Palabras clave: *gobernanza, gobernabilidad, agua subterránea, acuíferos, Costa Rica.*

ABSTRACT

Costa Rica depends on groundwater use, since it is the main concessioned source in public supply, in industry, in tourism and commercial activity. Although groundwater is also used in the agricultural and agroindustrial sector, there is under-recording, so its apparent use is low. This resource does not receive the attention it should have, due to the multiple services it provides, for example in Guanacaste, the existence of aquifers contributes considerably to achieve water security. The challenges in governance start from an improvement in governability, where the current regulatory framework is updated and applied. Likewise, controls must be strengthened to measure the extraction of concessioned wells and prevent overexploitation. On the other hand, the lack of land planning has caused impacts on the source's water quality. Conflicts regarding the groundwater resources use are becoming more and more frequent, where citizen participation has been key in the search for solutions of the problems. Improving groundwater management begins with understanding its dynamics in the hydrological cycle, that is why more resources should be invested in the characterization and monitoring of the country's aquifers..

Key words: *governance, governability, groundwater, aquifers, Costa Rica*

EL USO DE ZEOLITAS EN LA PURIFICACIÓN DE AGUA: PERSPECTIVAS EN CENTROAMÉRICA A TRAVÉS DE LA EXPERIENCIA ITALIANA

Abstrac ID 813

THE USE OF ZEOLITES IN WATER PURIFICATION: PERSPECTIVES IN CENTRAL AMERICA THROUGH THE ITALIAN EXPERIENCE

Daniela Novembre^{1*}, Domingo Gimeno², Monia Calista³, M.L. Rainone³, A.H. De la Cruz⁴, L. A. Castillo Ramos⁵

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

2. Dept. Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Universitat de Barcelona, 08028 Barcelona, Spain.

3. Dipartimento di Scienze Psicologiche, della Salute e del Territorio, Università degli Studi "G. D'Annunzio" Via dei Vestini 30, 66013 Chieti, Italy

4. Grupo de Investigaciones Vulcanologicas de la Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.

5. Department of Geophysics, University of El Salvador, San Salvador, El Salvador.

RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo es centrar la atención en el uso potencial de los recursos volcánicos de zeolita de Centroamérica en la eliminación de amoníaco de aguas residuales locales a partir de la experiencia italiana. En este trabajo se presenta el uso de una roca volcánica zeolitizada de la región del Lacio (Italia central) en la eliminación de iones amonio de un pequeño curso de agua cercano al área del canal de San Giustino (Región de Abruzzo, Italia central) mediante un proceso de intercambio catiónico. Los tiempos de saturación de una zeolita con chabazita y phillipsita se definen mediante pruebas preliminares de laboratorio. Posteriormente se construye una planta piloto en un pequeño curso de agua cerca de la zona del canal de San Giustino (Región de Abruzzo, Italia Central). Las aguas residuales, caracterizadas por un valor inicial de amoníaco comprendido entre 5 y 120 mg/l, se filtran con un lecho zeolítico. Los primeros resultados experimentales indican una reducción positiva de amoníaco de alrededor del 80-90% y, en todos los casos, valores de concentración de NH₄⁺ por debajo de los límites de la legislación de la UE.

Palabras clave: *eliminación de amoníaco, chabazita, intercambio iónico, phillipsita, zeolitas.*

ABSTRACT

The main purpose of this work is to focus attention on the potential use of zeolite volcanic resources of Central America in ammonia removal from local sewage waters starting from the Italian experience. The use of a volcanic zeolitized rock from Lazio Region (Central Italy) in the removal of ammonium ion from a little water course near the area of San Giustino channel (Abruzzo Region, Central Italy) through cationic exchange process is presented in this work. The saturation times of a zeolite at chabazite and phillipsite are defined through preliminary laboratory tests. Subsequently a pilot plant is built up on a little water course near the area of San Giustino channel (Abruzzo Region, Central Italy). Wastewaters, characterised by starting ammonia value ranging between 5 and 120 mg/l, are filtered with a zeolitic bed. The first experimental results indicate a positive ammonia reduction of about 80-90% and, in all cases, NH₄⁺ concentration values under the EU law limits.

Key words: ammonia removal, chabazite, ionic exchange, phillipsite, zeolites.

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

Abstrac ID 814

CLIMATE CHANGE IN EL SALVADOR: THE CONTRIBUTION OF GEOLOGY

Massimiliano Fazzini¹, Mario Luigi Rainone² & Monia Calista^{2*}

1. URDIS – Università degli Studi di Camerino, Italia

2. Dipartimento 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 morfo-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.