DECANATO DE INVESTIGACIÓN DE LA UTECO

REVISTA CIENTÍFICA

El Capacho

EDICIÓN ESPECIAL
GEOLOGÍA

UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DEL CIBAO ORIENTAL
1982
COTUI, R.D.
UTECO

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL CIBAO ORIENTAL
UTECO

DECANATO DE INVESTIGACIÓN

Revista Científica El Capacho

Séptima Edición (Versión Especial)

COTUÍ, PROVINCIA SÁNCHEZ RAMÍREZ

Título Original:
© Revista Científica El Capacho
UTECO

ISSN: 2224-3623

Presentación:
Dr. Antonio Rosario Gómez
Decano de Investigación

Corrección y Estilo:
Bélgica A. Lazala Calderón, M.A.

Encargado de Circulación:
Juan Alcides Acosta (Julián la Salsa)
Director de Relaciones Públicas

Diseño de Portada:
Luis Manuel Vizcaino

Diagramación:
Juan Fermín Rosario Ureña

Impresión:
Impresos Norte del Jaya, S.R.L.
San Francisco de Macorís, Rep. Dom.

ÍNDICE

Presentación 7

Petrología de las Litologías, Alteraciones Hidrotermales y Mineralizaciones de la Formación Tireo al Norte de san Juan 11

Luz Liliana Lizardo Genao

Víctor Alfonso Santos Díaz

Prospección Geofísica Para la Búsqueda de Agua Subterránea, Monte de la Jagua, Provincia Espaillat.....57

Laura Villa

Brahian Tineo

Giselle Valverde

Mineralogía y Geoquímica de los Elementos de Tierras Raras Asociados a los Depósitos de Lateritas Aluminíferas 77

Auridis Altagracia Severino Díaz

Luis Ángel Mosquea García

Lisard Torró i Abat

Caracterización kárstica y Exploración Hidrogeológica de Pozos Para el Abastecimiento Agropecuario, Municipio de Río San Juan 109

Armando Suárez Rodríguez

Berenice Matías Marte

Denny Altagracia Saldivar Reyes

Petrografía, Geoquímica y Datación U-Pb en Zircones de Domos Riodaciticos Encajantes del Depósito Romero e Implicaciones Metalogenéticas.....139

Albert Joan Belén Manzueta

Métodos y Técnicas de Voladura en Rocas del Yacimiento Pueblo Viejo.....167

Roberto Francisco Marte Reinoso

Roque Sierra Carbajal

Joel Muñoz Salazar

Análisis de Riesgos Geológicos en la Provincia Sánchez Ramírez: Implicaciones para la Gestión de Riesgos ...193

Dainel Antonio Burgos Paula

José Emmanuel Solano Mieses

Luismeldi María Martínez María

PRESENTACIÓN

La Universidad Tecnológica del Cibao Oriental, Uteco, en esta nueva edición especial de la revista científica El Capacho, pone a la disposición de los amigos lectores investigaciones realizadas por estudiantes de la carrera de geología para optar por su título grado. Se trata de artículos científicos producto de las tesis que presentaron los estudiantes de ingeniería en geología.

Estas investigaciones que realizaron los estudiantes de geología para optar por su título de grado, corresponden a la primera promoción de egresados 2016, después que la universidad reabrió la carrera en el mes de abril del año 2012.

Hay que precisar que esta carrera se inició con la fundación del ITECO en el año 1982, pero posteriormente fue suspendida por falta de estudiantes, siendo reabierta en el trimestre abril/junio del año 2012.

La revista científica El Capacho, es un medio de difusión que sale por séptima vez en una edición especial, con el objetivo de contribuir al desarrollo educativo, científico y cultural, de la provincia Sánchez Ramírez, la región y el País. Es una fuente documental que contiene contenidos de conocimientos científicos, que son el resultado de investigaciones en el área de geología, y que son publicados en esta revista, para que los

lectores se informen y se nutran de los conocimientos que contiene la misma, y aumenten su acervo cultural.

La Uteco, con la puesta en circulación de la edición especial de la revista El Capacho, importantiza los esfuerzos que hacen los estudiantes en la búsqueda del conocimiento científico. Estos artículos que usted tiene la oportunidad de leer, cuyos autores son los egresados de geología de la primera promoción 2016 (después de la reapertura de la carrera), se inscriben dentro de la línea de investigación de la universidad y cumplen rigurosamente con la metodología científica.

La revista científica El capacho, se enfoca en publicaciones resultantes de investigaciones realizadas por docentes y profesores en la línea de desarrollar la investigación acción partiendo desde las aulas de la universidad. Con esta edición especial la UTECO, hace un aporte significativo a la literatura científica, sobre todo en el campo de la ciencia geológica.

En el cuerpo de la revista, se describen los contenidos de la temática que fue objeto de investigación en cada trabajo presentado y que a continuación se detallan: Petrología de las Litologías, Alteraciones Hidrotermales y Mineralizaciones de la Formación Tireo al Norte de san Juan. Prospección Geofísica Para la Búsqueda de Agua Subterránea, Monte de la Jagua, Provincia Espaillat. Mineralogía y Geoquímica de los Elementos de Tierras Raras Asociados a los Depósitos de Lateritas Aluminíferas. Caracterización kárstica y Exploración Hidrogeológica de Pozos Para el Abastecimiento Agropecuario, Municipio de Río San Juan. Petrografía Geoquímica y Datación U-Pb en Zircones de Domos Riodaciticos Encajantes del Depósito Romero e Implicaciones Metalogenéticas. Métodos y Técnicas de

Voladura en Rocas del Yacimiento Pueblo Viejo. Análisis de Riesgos Geológicos en la Provincia Sánchez Ramírez: Implicaciones Para la Gestión de Riesgos

Con esta publicación, esperamos contribuir a que futuros estudiantes egresados de nuestra universidad, se preocupen por temas para su trabajo de grado que san relevantes y que sus resultados después de realizada la investigación, sean susceptibles de ser publicados, como ha ocurrido con los graduados de geología de la promoción 2016.

Dr. Antonio Rosario Gómez

PETROLOGÍA DE LAS LITOLOGÍAS, ALTERACIONES HIDROTERMALES Y MINERALIZACIONES DE LA FORMACIÓN TIREO AL NORTE DE SAN JUAN.

Luz Liliana Lizardo Genao
Víctor Alfonso Santos Díaz

Resumen

La investigación se basó en la recolección de muestras para su posterior análisis, a continuación, se describen las etapas que conformaron el proyecto de investigación: En la etapa de recolección se realizó una compilación de artículos de revistas científicas, libros, tesis, reportes técnicos, páginas web, entre otros, con el propósito de identificar todo el conocimiento geológico sobre la zona de estudio, además de entender las características petrológicas y petrográficas de la unidad superior de la Formación Tireo. Después de haber compilado toda la información sobre la zona objeto de estudio, se hizo un mapeo detallado a escala 1:5000, mediante la utilización de las hojas topográficas (Juan de Herrera 5972-I, Pedro corto 5972-IV, Lamedero 5973-II y Arroyo Limón 5973-III). En este paso se tomaron las coordenadas con un GPS, se midieron las estructuras (rumbo y buzamiento) con una brújula Brunton, se utilizaron dos niveles de papel vegetal encima del mapa topográfico en el cual se dibujaron los afloramientos, rasgos estructurales, alteraciones y mineralización (en caso de que las haya). Todos los datos obtenidos en

el mapeo fueron procesados e interpretados utilizando Sistemas de Información Geográfico (TrackMaker, MapInfo y ArcGis). Luego de localizar el área que fue objeto de estudio, durante el mapeo se procedió a la toma de muestras de todas las unidades litológicas aflorantes en superficie. Fueron consideradas todas las rocas alteradas con mineralización o no, afloramientos In-situ y rodados. Las muestras fueron aproximadamente 3 a 5 kilogramos en peso. Una descripción en una libreta en campo afianzó los datos de las muestras recolectadas. Petrográficamente las rocas de los proyectos Toribio y La Escandalosa, se componen principalmente de andesitas con texturas semi-porfirítica a porfirítica, ricas en fenocristales de feldespatos y anfíboles. Las rocas félsicas (dacitas-riolitas) son de textura porfídica, el fenocristal abundante es la plagioclasa. Las rocas básicas son de textura de tipo dimensional seriada. Las rocas de composición ultrabásica tienen textura granular-granuda seriada. Los minerales se encuentran alterados, en mayor grado el olivino que se altera a serpentina y antigorita.

Palabras Claves: La Formación Tineo, Edad Cretácica, Unidades Magmáticas, Procesos de subducción, Petrográficos, Basalto-diacitas, Andasitas, dacitas y riolitas, Calco-alcalinas y adakiticas, Alteración cuarzo-illita-pirita-sericita (argílica), Feldespato potásico (potásica), sericita-clorita (fílica), cuarzo (silificación), clorita-epidota (propilítica). Litologías geología de La Escandalosa (romero 1), lomas los comíos y Las Tres Veredas, rocas volcánicas.

ABSTRACT:

The research was based on the collection of samples for later analysis, and then describes the stages

that formed the research project: In the collection stage were made a compilation of articles from scientific journals, books, theses, technical reports, Web pages, among others, in order to identify all the geological knowledge about the study area, as well as to understand the petrographic and petrographic features of the upper unit of the Tireo Formation. After having compiled all the information about the area under study, a detailed mapping was done at a scale of 1: 5000, using the topographic sheets (Juan de Herrera 5972-I, Pedro short 5972-IV, Labeled 5973-II And Arroyo Limón 5973-III). In this step the coordinates were taken with a GPS, the structures (bearing and dip) were measured with a Brunton compass, two levels of vegetal paper were used on the topographic map in which outcrops, structural features, alterations and mineralization were drawn (If any). All the data obtained in the mapping were processed and interpreted using Geographic Information Systems (TrackMaker, MapInfo and ArcGis). After locating the area that was studied, during the mapping, samples were taken from all surface lithographic units. All rocks altered with mineralization or not, in-situ outcrops and rotations were considered. The samples were about 3 to 5 kilograms by weight. A description in a notebook in the field secured the data of the collected samples. Petrográficamente the rocks of the Toribio and La Escandalosa projects, are composed mainly of andesites with semi-porphyritic to porphyritic textures, rich in phenocrysts of feldspars and amphiboles. The felsic rocks (dacitas-riolitas) are of porfídica texture, the abundant fenocristal is the plagioclase. The basic rocks are of serial dimensional type texture. The rocks of ultrabasic composition have granular-granular texture serial. The minerals are al-

tered, to a greater degree the olivine that is altered to serpentine and antigorite.

Keywords: Tineo Formation, Cretaceous Age, Magmatic Units, Subduction Processes, Petrográficos, Basalt-diacites, Andasites, Dacites and Rholites, Calco-Alkaline and Adakitic, Alteration Quartz-illite-pyrite-sericite (argillic), Potassium Feldspar Potassium), sericite-chlorite (silica), quartz (silica), chlorite-epitope (propyl). Lithographs geology of La Escandalosa (rosemary 1), lomas comíos and Las Tres Veredas, volcanic rocks.

INTRODUCCIÓN

La Formación Tireo, de edad Cretácica, se localiza en la Cordillera Central de la República Dominicana. Las unidades magmáticas están íntimamente relacionadas con procesos de subducción. En los últimos años esta formación ha sido objeto de estudios geológicos, petrográficos, geoquímicos y de exploración de mineralizaciones importantes desde el punto de vista económico. Un grupo de rocas con dos afinidades geoquímicas representan un magmatismo bimodal que se presenta en los proyectos Toribio y Escandalosa, ubicados en la Cordillera Central como 1) basalto-andesitas con afinidades toleíticas y boniníticas y basaltos ricos en Nb, y 2) andesitas, dacitas y riolitas con afinidades calcoalcalinas y adakíticas. Estas rocas han sufrido procesos de alteración y metasomatismo de fondo oceánico y localmente, metamorfismo de contacto.

Petrográficamente las rocas de los proyectos Toribio y La Escandalosa, se componen principalmente de andesitas con texturas semi-porfirítica a porfirí-

tica ricas en fenocristales de feldespatos y anfíboles, riolitas con textura porfídica ricos en fenocristales de plagioclasas, basaltos, gabros y rocas ultrabásicas metamorfizadas. La asociación de alteración cuarzo-illita-pirita-sericita (argílica), feldespato potásico (potásica), sericita-clorita (fílica), cuarzo (silificación), clorita-epidota (propilítica), y la mineralización que comprende de sulfuros diseminados y semi-masivos de hierro y cobre y óxidos de hierro, corresponden a varias modalidades de mineralización/alteración hidrotermal, siendo algunas de ellas relacionadas a pórfidos (La investigación se basó en la recolección de muestras para su posterior análisis, a continuación, se describen las etapas que conformaron el proyecto de investigación: En la etapa de recolección se realizó una compilación de artículos de revistas científicas, libros, tesis, reportes técnicos, páginas web, entre otros, con el propósito de identificar todo el conocimiento geológico sobre la zona de estudio, además de entender las características petrológicas y petrográficas de la unidad superior de la Formación Tireo. Después de haber compilado toda la información sobre la zona objeto de estudio, se hizo un mapeo detallado a escala 1:5000, mediante la utilización de las hojas topográficas (Juan de Herrera 5972-I, Pedro corto 5972-IV, Lamedero 5973-II y Arroyo Limón 5973-III). En este paso se tomaron las coordenadas con un GPS, se midieron las estructuras (rumbo y buzamiento) con una brújula Brunton, se utilizaron dos niveles de papel vegetal encima del mapa topográfico en el cual se dibujaron los afloramientos, rasgos estructurales, alteraciones y mineralización (en caso de que las haya). Todos los datos obtenidos en el mapeo fueron procesados e interpretados utilizando Sistemas de Información Geográfico (TrackMaker, MapInfo y

ArcGis). Luego de localizar el área que fue objeto de estudio, durante el mapeo se procedió a la toma de muestras de todas las unidades litológicas aflorantes en superficie. Fueron consideradas todas las rocas alteradas con mineralización o no, afloramientos In-situ y rodados. Las muestras fueron aproximadamente 3 a 5 kilogramos en peso. Una descripción en una libreta en campo afianzó los datos de las muestras recolectadas. Localmente identificadas en algunos cuerpos intrusivos, así como cuarzo-clorita-sericita que es propia de los del tipo VMS; aparentemente es esta última la más predominante. La alteración y mineralización se encuentran estrechamente relacionadas a las estructuras frágiles locales reconocidas en los proyectos.

En los últimos años se han realizado diversos estudios sobre las diferentes litologías existentes en la Formación Tireo, Cordillera Central, República Dominicana. Para tener un marco de referencia claro, se presentan a continuación trabajos realizados en la República Dominicana sobre el origen de estas rocas y como este conocimiento ha evolucionado a través del tiempo. Bowin (1966), en su trabajo de tesis doctoral describe por primera vez La Formación Tireo. Este trabajo se basó principalmente en un mapeo geológico de aproximadamente 5,000 kilómetros cuadrados en la Cordillera Central. A partir de diversos estudios realizados a muestras de la zona, el autor concluyó con lo siguiente: La Formación Tireo está constituida predominantemente por tobas, tobas-lapilli, potentes secuencias sedimentarias y cuarzo-queratófidos (no metamorfoseadas).

Domínguez (1987), en sus trabajos realizados en la Cordillera Central, específicamente en el área de

El Recodo (localidad del municipio de Baní, Peravia, República Dominicana), se plantea que localmente las rocas de la Formación Tireo muestran una alteración pervasiva de las fases de minerales primarios a epidota-clorita-cuarzo-calcita, particularmente en rocas volcánicas máficas a intermedias en la proximidad de cuerpos intrusivos.

Lewis (1991), realiza trabajos de investigación en la Formación Tireo donde muestra que existen más unidades litológicas que las descritas por Bowin (1966) en el área 2 alrededor de Constanza. El término de Formación Tireo fue utilizado preferentemente en los reportes para describir las nuevas rocas encontradas en la formación, además sugieren extender el término y que todas las litologías aflorantes fuesen incluidas bajo el nombre del Grupo Tireo. Este nombre fue propuesto para dar cabida a una amplia gama de unidades mapeables en nuevas formaciones y pequeñas unidades discontinuas. Sin embargo, en este trabajo se hará referencia a Formación Tireo.

Gonzales (2004), en el reporte sobre el primer programa de mapeo y muestreo en el proyecto Las Tres Palmas, ubicado al Norte de la provincia San Juan de la Maguana, al Oeste de la República Dominicana, señaló que las zonas de alteraciones y mineralizaciones mapeadas están íntimamente relacionadas a intrusivos de tipo cuarzo porfirítico, alrededor de los cuales comúnmente se producen limitadas aureolas de alteración y mineralización. En muchos casos el cuerpo porfirítico aparece mineralizado y/o alterado. Los tipos de alteraciones son diversas, van desde argílicas, cuarzo-epidota y silicificación con diversos grados de intensidad (principalmente en las rocas encajonantes); frecuente-

mente debido al alto grado de intemperización, sólo se evidencia alteración por fuertes coloraciones rojiza y anaranjado del suelo.

Escuder-Viruete y otros (2007), realizaron trabajos en la cordillera Central en donde estudiaron la relación magmática y temporal de las adakitas, andesitas magnesianas pobres en Ti y basalto-andesitas ricas en niobio de La Hispaniola. En esta investigación se concluyó lo siguiente: la secuencia volcánica inferior de la Formación Tireo constituye una serie toleítica de arco de isla, derivada de la fusión parcial del manto con fluidos hidratados relacionados a subducción. Por el contrario, las adakitas representan fundidos de la corteza subducida, las andesitas magnesianas pobres en Ti se consideran producto de la hibridación 3 de líquidos de adakita, con una porción del manto peridotítico, y los fundidos de basaltos-andesitas ricos en niobio se originan del residuo de la hibridación.

Dunkley & Gaibor (2008), emiten un reporte interno sobre el proyecto Las Tres Palmas, donde recopilaron toda la información existente hasta la fecha. En dicho informe concluyeron que la mayor parte del proyecto está subyacido por las rocas volcánicas básicas, intermedias y silíceas de la Formación Tireo.

Goulet-Lessard (2012), realiza la cartografía estratigráfica del Distrito Restauración-La Miel, ubicado al Noroeste de la República Dominicana, en donde caracteriza las estructuras que portan la mineralización y como éstas afectan al origen de las mismas. De acuerdo a los estudios realizados se llegó a la conclusión de que las mineralizaciones se encuentran controladas por estructuras (falla San Juan-Restauración).

Sillitoe (2013), emitió un reporte sobre el posible origen del depósito mineral Romero, ubicado al Sur de la Cordillera Central; en él concluyó que el modelo podría atribuírsele a un epitermal de intermedia sulfidización, pero que se requerían más estudios para corroborarlo. Román-Aldaym (2015), llevaron a cabo una investigación en el proyecto Romero, donde determinaron que la mineralización de oro y metales bases del depósito Romero está dividido en una unidad superior de baja ley dominada por sulfuros-sulfatos y, que aproximadamente 100 metros debajo, corresponde a una unidad inferior de alta ley dominada por una malla de vetillas (stockwork, o zona de alimentación). Estos autores encontraron evidencias que contradecían el modelo de epitermal de sulfidización intermedia y proponen un modelo de mineralización tipo VMS. Recientes perforaciones 4 por Gold Quest cortaron secuencias de sulfuros masivos estratiformes (Espaillat, comunicación personal, 2016).

METODOLOGÍA

Diseño, Tipo y Enfoque de Investigación

Este trabajo se corresponde a un diseño no experimental, porque ha sido necesario limitarse a las observaciones de situaciones que ya existen en el objeto de estudio, dado que los investigadores no manipulan las variables y sus efectos. De acuerdo con Sampieri (2010), el diseño no experimental es cualquier investigación que se realiza sin manipular en forma deliberada ninguna variable, es por ello que este diseño de investigación es el que mejor se adapta a este estudio.

El enfoque de esta investigación ha sido identificado como cuantitativo el cual según Herrera (2013), tiene como objetivo explicar los fenómenos físicos, por interesarse en las causas que los originan (principio de verificación y apoyarse en técnicas estadísticas para el procesamiento de la información, la cual obtiene a través de métodos empíricos. Por su parte, Sampieri (2010), dice que este enfoque utiliza la recolección de datos para tratar de probar una hipótesis con base en la medición numérica y análisis estadístico y a su vez establecer patrones de comportamiento y probar teorías.

El tipo de investigación ha sido de corte descriptivo-exploratorio, el primero es definido por Sampieri (2010), como aquel que busca especificar propiedades, características y atributos importantes de cualquier fenómeno que se analice. Describe tendencias de un grupo o población. Por su parte Odón (1999), establece que la investigación exploratoria es aquella que se efectúa sobre un tema u objeto desconocido o el cual se ha estudiado poco, por lo que no se logra tener con certeza los resultados sobre dicho objeto, es decir, que sólo se adquiere un nivel superficial de conocimientos.

Métodos, Técnicas e Instrumentos de Investigación

El método de investigación desarrollado en este trabajo fue el deductivo, Ander-Egg, E. (1997), lo define como el razonamiento partiendo de casos particulares, se eleva a conocimientos generales. La técnica que se utilizó para este trabajo es la observación, la cual se define según Postic y De Ketele (1988) como una lectura lógica de las formas, ya que se establece una relación concreta e intensiva entre el investigador y el

objeto observado con el propósito de obtener la mayor información posible sobre el área de estudio. El instrumento que se usó para extraer las informaciones es una ficha de registro de observación, la cual fue llenada con informaciones obtenidas a través de un GPS, una libreta de campo, lupas, piquetas, cámara fotográfica y mapas geológicos.

La ficha de registro de información estuvo estructurada de las siguientes partes: fecha, coordenadas planares (Este y Norte), elevación, litología (tipo de roca), textura, estructura, rumbo y buzamiento, grado de alteración, principales minerales de alteración escala macro), tipo de alteración, mineralización, tipo de mineralización, y una descripción o comentarios al final. Este instrumento servirá para las observaciones de campo.

Procedimientos

La investigación se basó en la recolección de muestras para su posterior análisis, a continuación, se describen las etapas que conformaron el proyecto de investigación: En la etapa de recolección se realizó una compilación de artículos de revistas científicas, libros, tesis, reportes técnicos, páginas web, entre otros, con el propósito de identificar todo el conocimiento geológico sobre la zona de estudio, además de entender las características petrológicas y petrográficas de la unidad superior de la Formación Tireo. Después de haber compilado toda la información sobre la zona objeto de estudio, se hizo un mapeo detallado a escala 1:5000, mediante la utilización de las hojas topográficas (Juan de Herrera 5972-I, Pedro corto 5972-IV, Lamedero 5973-II y Arroyo Limón 5973-III). En este paso

se tomaron las coordenadas con un GPS, se midieron las estructuras (rumbo y buzamiento) con una brújula Brunton, se utilizaron dos niveles de papel vegetal encima del mapa topográfico en el cual se dibujaron los afloramientos, rasgos estructurales, alteraciones y mineralización (en caso de que las haya). Todos los datos obtenidos en el mapeo fueron procesados e interpretados utilizando Sistemas de Información Geográfico (TrackMaker, MapInfo y ArcGis). Luego de localizar el área que fue objeto de estudio, durante el mapeo se procedió a la toma de muestras de todas las unidades litológicas aflorantes en superficie. Fueron consideradas todas las rocas alteradas con mineralización o no, afloramientos In-situ y rodados. Las muestras fueron aproximadamente 3 a 5 kilogramos en peso. Una descripción en una libreta en campo afianzó los datos de las muestras recolectadas.

Las muestras fueron preparadas por los estudiantes en los laboratorios de la Universidad de Barcelona, para luego realizar un estudio mineralógico y textural mediante microscopía óptica de luz transmitida y reflejada (ver figura 3.2) y microscopía electrónica de barrido con analizador de energías (SEM-EDS) a partir de secciones delgadas pulidas. El estudio con SEM-EDS se llevó a cabo usando un equipo Quanta 200 FEI, XTE 325/D8395 equipado con un sistema de microanálisis de dispersión de energías INCA Energy 250 operando a 20kV y una corriente de haz de 1nA en los ServeisCientífics i Tecnològics de la Universidad de Barcelona.

Las muestras fueron analizadas para geoquímica de roca total. Las mismas fueron pulverizadas en un molino de anillos de carburo de tungsteno previa se-

paración de vetas hidrotermales. Las concentraciones de los elementos mayores y el Zr se determinaron en perlas de fusión a partir de ~0.6 g de muestra pulverizada diluida en 6 g de Li2B4O7 mediante un equipo de fluorescencia de rayos X Philips Magix Pro (PW-2440) en el Centro de Instrumentación Científica de la Universidad de Granada (CIC-UGR). La precisión es mejor de ±1.5% relativo para concentraciones del orden de 10% en peso; la precisión en la medición de la concentración de Zr es mejor de ±4% relativo para concentraciones de 100 ppm.

Los elementos traza fueron determinados en el CIC-UGR por medio de espectrometría ICP-MS tras una digestión ácida con HNO3+HF de ~100 mg de muestra pulverizada en bombas de Teflón a ~180ºC y 200psi durante 30 minutos, evaporación y secado y posterior disolución en 100 ml de HNO3 al 4%; la precisión es mejor de ±2% y ±5% relativo para concentraciones de 50 y 5 ppm, respectivamente. Las composiciones químicas minerales se obtuvieron utilizando una Microsonda de electrónica con longitud de onda de la espectrometría dispersiva (EPMA-WDS) (ver figura 3.4). Los análisis se obtuvieron en el "Serveis Científicos i Tecnològics (Universidad de Barcelona), utilizando una Microsonda de cuatro canales Cameca SX50 electrones (EMP) con longitud de onda de la espectrometría dispersiva (WDS). Los análisis se realizaron con un voltaje de aceleración de 20 kV, 20 nA de corriente del haz, diámetro del haz de 2 micras y tiempo de contaje de 10 segundos por elemento. La rutina a utilizar para el análisis dehaluros ha sido 15 kV y 6 nA. Normas y líneas utilizadas para los análisis han sido: diópsido (SiKα), rutilo (TiKα), Al2O3 sintético (AlKα), pirita (FeKα), rhodonite (MnKα), periclasa (MgKα), albita (NaKα), wollasto-

nita (CaKα), ortoclasa (KKα), blenda (ZnKα), fluorita (FKα) y AgCl (ClKα).

Los cálculos de las fórmulas estructurales para cada mineral analizado se realizaron a partir de la siguiente metodología: a) Obtención de las proporciones moleculares; dividiendo el porcentaje adquirido en el análisis entre el peso molecular de la molécula de óxido. Cálculo del porcentaje molecular de los cationes; cada proporción molecular es multiplicada por la cantidad de cationes que posee la molécula. El Cálculo del porcentaje molecular de los aniones; cada proporción molecular es multiplicada por la cantidad de aniones que posee la molécula. En el ejemplo de la figura 3.7, se multiplica por 3 aniones de oxígenos. A partir de un número de normalización el cual es dividido entre la suma de las proporciones aniónicas se obtiene el factor de normalización. Obtención de las proporciones catiónicas en base a un número dado de oxígenos; se multiplican las proporciones catiónicas por el factor de normalización obtenido en el paso anterior.

Asignación de cationes a los sitios estructurales; en algunos minerales como los feldespatos no es necesario hacer esta distribución, sino que se buscan los porcentajes de Na, K, y Ca (ver figura 3.9), sin embargo, otros minerales si requieren de estas asignaciones a los sitios estructurales. En el caso de los piroxenos la asignación se realiza en tres capas (T,M1,M2), la T (octaédrica) se llena con Si, Al de la capa octaédrica y Fe cuya suma no debe exceder a 2, la M1 (tectaédrica) se llena con el Al y el Fe que excedieron en la capa T más Ti, Cr,Zn,Mg,Fe2 y Mn cuya suma no debe exceder a 1, la capa M2 (octaédrica) le corresponde el excedente de Mg, Fe2 y Mg de la anterior capa más el Ca y el Na cuya

suma no debe exceder a 1. Determinación del nombre del mineral; a partir de las concentraciones catiónicas y aplicando fórmulas en Excel se puede determinar el nombre del mineral.

Análisis de los Datos

Para la presentación e interpretación de los resultados que han sido obtenidos, se utilizaron programas especializados como ArcGis, MapInfo, GcdKit y Corel Draw, los cuales permitieron elaborar los mapas, cuadros, figuras que se requieren en el informe final.

Resultados de la Investigación

Los basaltos afloran en la parte norte, al este de la concesión Las Tres Veredas y Loma Los Comíos. Se encuentran en contacto al oeste con parte del paquete andesítico y al norte quedan cortados por intrusivos gabroicos (ver Figura 4.1). Estos basaltos se caracterizan por su textura de grano fino, su color verde oscuro parduzco, en donde se encuentran algunos minerales fantasmas de piroxenos, hornblendas y plagioclasas. Otros de sus atributos son su alta densidad y su fuerte atracción magnética.

Andesitas.

El paquete andesítico aflora abundantemente en toda la zona incluyendo las concesiones Las Tres Veredas y Loma Los Comíos al Norte (ver Figura 4.1), donde cubren un área de aproximadamente 3.2 kilómetros cuadrados. En esta parte, las andesitas se encuentran subyaciendo discordantes a capas de lutitas calcáreas

que siguen una orientación Norte-Sur. Grandes afloramientos aparecen más hacia la parte Sur, donde se encuentra el depósito Romero en la concesión La Escandalosa. Este paquete sigue una tendencia Noroeste-Sureste y se puede dividir en dos grandes afloramientos, cada uno con características texturales y composicionales diferentes.

a) Tobas brechosas polimícticas andesíticas (brecha tobácea andesítica): se caracterizan por presentar piroclástos desde angulosos a redondeados de coloración rojiza y verdosa de composición andesítica, dacítica calcárea de hasta 30 centímetros de diámetro y algunos fragmentos menores de vidrio, embebidos en aproximadamente un 15% de una matriz de coloración verde grisáceo constituido por fragmentos tamaño cenizas o lapilli. Los clastos de andesitas están constituidos predominantemente por fenocristales de plagioclasas y hornblenda. Los de dacitas, por hornblendas, plagioclasa y algunos cristales de cuarzo soportados en una matriz afanítica.

b) Autobrecha andesítica: se presentan en afloramientos que están más brechados hacia la periferia, donde se observaron abundantes fragmentos de cristales subhedrales de plagioclasa y hornblenda junto con fragmentos líticos dispersos de forma angulosa de 51.

c) andesitas y dacitas que se interpreta son autoclásticos y forman autobrechas. Estos se encuentran rodeados por aproximadamente un 20% de una matriz cristalina constituida principalmente por feldespato observable a grandes rasgos y otros constituyentes no diferenciados. Los clastos de andesita

están compuestos por cristales de colores blancuzcos crema (plagioclasa), cristales alargados de color verde parduzco (hornblendas) y algunos pequeños cristales esporádicos de un mineral de color negro posiblemente magnetita, rodeados por una matriz afírica de color verde grisáceo y en ocasiones gris rosáceo. Los clastos de dacita constituida por fenocristales de plagioclasas, cuarzo, hornblenda y menor proporción piroxenos, envueltos en una matriz afanítica de color verde oscuro.

Riolita

Predominantemente aparecen al norte del proyecto, con algunos afloramientos pequeños hacia el sur. Las riolitas se presentan en al menos 2 kilómetros de longitud en la parte oeste de La Escandalosa, al norte de Hondo Valle. Se encuentran sobreyaciendo las andesitas en la parte central de La Escandalosa, en contacto concordante al este con la meta-vulcanita basálticas y en algunos casos afloran en forma de diques que siguen una tendencia Norte-Sur.

a) La riolita forma delgados flujos y domos de lava, con flujos marginales y envolventes de autobrechas (incluyendo hialoclastitas; originadas al momento de su formación). Consisten en afloramientos de rocas con textura porfirítica hacia el centro y textura afanítica hacia los bordes, donde se pudieron observar fenocristales de cuarzo, feldespato y hornblenda esporádica, con inclusiones ocasionales de vidrio volcánico.

Texturas de flujo de lava también son evidentes en estas rocas. En los sondeos realizados en La Escanda-

losa 52 de forma vertical las riolitas están intercaladas con las calizas, andesitas y dacitas.

a) Rocas intrusivas

b) Gabros

c) Afloran al norte, específicamente en la concesión Las Tres Veredas. Aparecen intruyendo los basaltos. A grandes rasgos esta roca se presenta en forma de diques. Se pudieron observar cristales bien desarrollados de color oscuro (piroxenos) que presentan una ligera alineación. Además, la roca está moderadamente alterada a serpentina. Presenta alta densidad característica y una fuerte susceptibilidad magnética.

d) Pórfido de hornblenda

e) Afloramientos pequeños aparecen al sur de La Escandalosa. Los afloramientos cortan a las andesitas. Son rocas de textura porfirítica, constituidas por fenocristales alargados de color verde oscuro de hornblenda, rodeados de una matriz de color verde grisáceo. Aparecen esporádicamente minerales de color blancuzco (plagioclasas).

f) Rocas sedimentarias

g) Tobas y sedimentos calcáreos

h) Sedimentos calcáreos que aparecen en pequeños afloramientos en la parte Sur de La escandalosa. Se caracterizan por su granulometría de media a fina, constituidos por clastos de origen volcánico de forma angular envueltos en una matriz de color gris verdosa. Hacia el este se encuentran en contacto con las rocas volcanoclásticas.

Calizas rojas

Afloramientos pequeños se manifiestan al sur de La Escandalosa, y lateralmente gradan a margas y lutitas. Calizas con estratos entre 10 y 35 centímetros, de coloración rojiza-púrpura. Localmente los estratos de caliza buzan constantemente entre 15 y 40 grados hacía en noroeste.

Lutitas calcáreas

Al norte del mapa (ver figura 4.1) y en el extremo oeste afloran gruesas capas de lutitas y turbiditas, generalmente se presentan con una gradación de clastos bien redondeados predominantemente de caliza arcillosa, y algunos clastos angulosos de rocas volcánicas, soportados en una matriz calcárea de coloración gris verdosa. Estos clastos van desde una granulación media a fina y en ocasiones se pueden ver las secuencias desde la base hasta el techo, la potencia de los estratos varía entre 0.3 y 8.0 metros de espesor.

Rocas metamórficas

Las rocas metamorfizadas afloran al norte del mapa entre el contacto por cabalgamiento del basalto y la andesita. Un estadio tardío de brechas de falla se presenta en los proyectos. En zonas circundantes a las fallas encontradas cerca de las riolitas se identificaron fábricas miloníticas. Esto forma parte de un metamorfismo dinámico probablemente regional ocasionado en el cabalgamiento de los basaltos de la Tireo inferior con las demás rocas de la Tireo Superior. Hacia el este en el contacto de las rocas de la unidad superior de Tireo

con los basaltos es común encontrar fases de esquistos verdes donde es evidente una ligera foliación y clorita posiblemente metamórfica originada por movimientos de la falla. Este tipo de rocas se han formado a partir de una extensa actividad que se viene llevando a cabo entre las fallas San Juan-Restauración y el cabalgamiento de los basaltos con las rocas intermedias-acidas de la parte oeste del mapa.

a) Extensas zonas de cizalla han sido identificadas en los alrededores de las fallas antes mencionadas. En los bloques con desplazamiento horizontal es notorio fábricas tipos S, más evidentes en rocas andesíticas.

Zonas metamorfizadas más localizadas se pueden apreciar cerca de los contactos con los cuerpos intrusivos porfiríticos. Estas rocas circundantes tienden a desarrollar una textura porfidoblástica, constituidas predominantemente por cuarzo y feldespato observable. Tienden a presentarse en estructuras masivas.

Rocas volcánicas, basalto

Los basaltos afloran en el este de la concesión La Escandalosa y La Tachuela. Se encuentran en contacto por cabalgamiento con las demás unidades. Estos basaltos siguen una tendencia Norte-Sur. Se caracterizan por su textura de grano fino, su color verde oscuro parduzco, en donde se encuentran algunos cristales de hornblenda parcialmente alterados a epidota de forma pseudomórfica. Otros de sus atributos son su alta densidad y su fuerte atracción magnética. Algunos afloramientos que se encuentran más al oeste en el contacto por falla pueden identificar una fuerte esquistosidad

en los basaltos probablemente originada por el movimiento de la falla

Riolitas

Las riolitas afloran al norte de La Escandalosa Sur; aparecen en pequeños cuerpos suprayaciendo a las andesitas, con sólo un pequeño afloramiento hacia el suroeste entre Loma El Cachimbo y La Tachuela. Estas rocas se caracterizan a grandes rasgos por su textura porfirítica, constituida por fenocristales de plagioclasa, cuarzo y hornblenda. Contiene además fragmentos de vidrio volcánico, envueltos en una matriz de color gris púrpura.Estas rocas son muy duras. En algunos casos estas rocas se presentan con textura brechoide (brechas de hialoclastitas), constituida por clastos angulosos compuestos por cuarzo, feldespato, hornblenda y fragmentos de vidrio. También, ocasionalmente hacia los bordes de los afloramientos de riolita se pueden observar texturas de bandas de flujo de lava. Aparentemente entre estos flujos de lava las riolitas aparecen de forma más brechada y de textura más finas.

Dacitas

Los afloramientos de dacita aparecen en la parte sur de la concesión la Tachuela en contacto discordante con la toba cristalina lítica andesítica. Las dacitas se caracterizan por su textura porfirítica constituida por abundantes fenocristales de feldespato, hornblenda y abundantes ojos de cuarzo envueltos en una matriz afanítica de color gris. Estas rocas son porosas con aproximadamente un 10% de poros.

En algunos casos en las dacitas se pueden observar textura de brecha, con clastos que varían desde angulares hasta redondeados. Usualmente están mal clasificados con tamaños 56 variables entre 1-10 milímetros. La distribución es polimíctica. Los clastos están soportados por una matriz de grano fino. También varían desde tobas de grano fino a brechas tamaño cenizas con clastos curvados convexos y fragmentos de hialoclastitas.

Andesita

Las andesitas afloran en toda la concesión La Escandalosa, Loma Cachimbo y La Tachuela, siguiendo una dirección preferencial noroeste-sureste. Las andesitas se pueden aglomerar en tres grupos distintivos:

a) Tobas brechosas polimícticas tobáceas andesíticas (brecha tobácea andesítica): aflora al norte de La Escandalosa Sur y otro afloramiento aparece en el sur del mapa en La Tachuela. Se caracterizan por presentarse en afloramientos donde se pueden observar piroclastos desde angulosos a redondeados de hasta 30 centímetros de diámetro, de coloración rojizos y verdosos de andesitas, dacitas, y calizas de hasta 30 centímetros de diámetro y algunos fragmentos menores de vidrio, embebidos en aproximadamente un 15% de una matriz de grano fino, de coloración verde grisáceo. Los clastos de andesitas constituidos predominantemente por fenocristales de plagioclasas y hornblenda. Los de dacitas por hornblendas, plagioclasa y algunos cristales de cuarzo soportados en una matriz afanítica probablemente de la misma composición de los clastos.

Clastos con cristales de color crema envueltos en una matriz calcítica de coloración rojiza también constituyen estas rocas.

b) Autobrecha andesítica: estas rocas afloran al Norte de La Escandalosa Sur, en discordancia con la CLT al oeste y la andesita polimícticas brechosas tobácea al este. Se presentan en afloramientos masivos hacia el centro y más brechados hacia 57.

c) la periferia. Se observaron abundantes fragmentos de cristales subhedrales de plagioclasa y hornblenda junto con fragmentos líticos dispersos de forma angulosa de andesitas y dacitas que se interpreta son autoclásticos y forman autobrechas. Estos se encuentran rodeados por aproximadamente un 20% de una matriz cristalina constituida principalmente por feldespato observable a grandes rasgos y otros constituyentes no diferenciados. Los clastos de andesita están compuestos por cristales de colores blancuzcos crema (plagioclasa), cristales alargados de color verde parduzco (hornblendas) y algunos pequeños cristales esporádicos de un mineral de color negro posiblemente magnetita, rodeados por una matriz afírica de color verde grisáceo y en ocasiones gris rosáceo. Los clastos de dacita constituidos por fenocristales de plagioclasas, cuarzo, hornblenda y menor proporción piroxenos, envueltos en una matriz afanítica de color verde oscuro.

d) Toba cristalina lítica andesítica (andesitic cristal líthic tuff-CLT): estas rocas afloran al norte de La Escandalosa Sur y se extiende hacia el sureste en donde afloran en Loma El Cachimbo y La Tachuela. Consisten en delgados horizontes de tobas líticas cristalinas de color gris oscuro a verdoso separadas

por tobas de grano grueso. Están constituidas por fragmentos de andesitas brechosa tobácea y andesitas volcanoclásticas y clastos que van desde redondeados a ángulos, los cuales están compuestos por piroxenos, plagioclasas (feldespatos) y una mínima proporción de cuarzo secundario, envueltos en una matriz aparentemente de la misma composición.

Rocas intrusivas

a) Pórfido de hornblenda

Afloramientos pequeños se presentan al Norte de La Escandalosa y algunos afloramientos hacia el Sur en Loma El Cachimbo y La Tachuela . Al Norte aparecen discordantes a las andesitas y hacia el Sur el afloramiento de La Tachuela está en contacto por falla con la CLT. En Loma El Cachimbo el afloramiento está discordante con la CLT y concordante al pórfido de feldespato. Estos cuerpos se caracterizan por su textura porfirítica, constituidos por fenocristales alargados de color verdoso (hornblenda), y esporádicamente minerales de color blancuzco (feldespatos) rodeados de una matriz de color verde grisáceo. La densidad de estas rocas es de moderada-alta.

Pórfido de feldespato.

Afloran al noroeste y el centro de La Escandalosa, algunos afloramientos hacia el sur en Loma El Cachimbo y La Tachuela . Al norte están sobreyaciendo las andesitas y hacia el Sur en Loma El Cachimbo aparece un afloramiento concordante con el pórfido de hornblenda. Se caracterizan por su textura porfirítica, con

fenocristales de feldespatos y hornblenda envueltos en una matriz que varía desde colores verdosos a púrpura-gris pálid.

Rocas sedimentarias

a) Tobas calcáreas y paquete sedimentario negro. Sedimentos clásticos de grano medio a fino (sedimentos calcáreos/tobas): afloran al Norte de La Escandalosa Sur y se encuentran discordancias con las andesitas. Afloran formando estratos entre 0.3 y 8.0 metros, donde se puede notar que están buzando hacia el oeste. Se caracterizan por su granulometría media a fina, constituidos por clastos de origen volcánico, de forma angular envueltos en una matriz de color gris verdosa.

La parte noroeste se distingue por los afloramientos de esquistos arcillosos y pizarras (paquete de sedimentos negros) con intercalaciones de areniscas y gravas (brechas sedimentarias de 1.5 metros). Estos esquistos arcillosos presentan una foliación constante hacia entre 20 y 30 grados en dirección Noroeste respectivamente.

Calizas rojas

Estas rocas afloran en el Noroeste, Noreste y centro de La Escandalosa Sur y pequeños afloramientos hacia el Sureste aparecen sobreyaciendo el metavolcánico basáltico. Las calizas se encuentran formando estratos entre 10 y 35 centímetros. Se caracterizan por su coloración rojiza-púrpura. Gradualmente pasan a margas y finalmente a lutitas. Localmente los estratos de caliza son afectados por estructuras (fallas) Noroeste-Sureste

y por una foliación evidente. Las capas de caliza buzan constantemente entre 15 y 40 grados en dirección Noroeste.

Rocas metamórficas

a) Un estadio tardío de brechas de falla se presenta en los proyectos. En zonas circundantes a las fallas encontradas cerca de las riolitas se identificaron fábricas miloníticas. Este tipo de fábrica es común encontrarla cerca de estas rocas, donde los cristales de cuarzo son reducidos debido a su plasticidad. Esto forma parte de un metamorfismo dinámico probablemente regional ocasionado en el cabalgamiento de los basaltos de la Tireo inferior con las demás rocas de la Tireo Superior.

Hacia el este en el contacto de las rocas de la unidad superior de Tireo con los basaltos es común encontrar fases de esquistos verdes donde es evidente una ligera foliación y clorita posiblemente metamórfica, originada por movimientos de la falla. Este tipo de 60 amorfismos se ha considerado que parte una extensa actividad que se viene llevando a cabo entre las fallas San Juan-Restauración y el cabalgamiento de los basaltos con las intermedias-acidas de la parte oeste del mapa.

a) Extensas zonas de cizalla han sido identificadas en los alrededores de las fallas antes mencionadas. En los bloques con desplazamiento horizontal es notorio fábricas tipos S, más evidentes en rocas andesíticas.

Zonas metamorfizadas más localizadas se pueden apreciar cerca de los contactos con los cuerpos intrusivos porfiríticos. Estas rocas circundantes tienden a de-

sarrollar una textura porfidoblástica, constituidas predominantemente por cuarzo y feldespato observable. Tienden a presentarse en estructuras masivas.

Metavulcanitas basálticas

a) Afloran al este de la concesión La Escandalosa, entre el contacto por cabalgamiento del basalto y la andesita. Estas rocas presentan un metamorfismo que varía desde ligero a medio, son de colores gris verdoso. Presentan cierta esquistosidad. Además, están intemperizadas por lo que resulta con dificultad describir su mineralogía a grandes rasgos.

Geología del proyecto Toribio, Loma El Cachimbo y La Tachuela

Rocas Volcánicas

Afloran a lo largo de todo el proyecto y han sido divididas según sus características macroscópicas en grupos distintivos.

Basaltos 61

a) Afloran en la parte este de las concesiones Toribio y La Tachuela, y se extienden noroeste-sur. Estos basaltos se caracterizan por su textura afanítica, su color verdoso típico de las rocas de composición basálticas, su fuerte susceptibilidad magnética y porque a menudo se presentan en forma amigdaloide en donde las amígdalas están rellenas de calcita o zeolitas. En algunos casos aparecen en zonas de contacto por falla en donde la roca tiene una ligera

alteración propilítica y sus constituyentes tienden a tener una cierta alineación probablemente producida por los esfuerzos originados en el movimiento de la falla. Algunas estructuras locales se han identificado perpendiculares a la falla principal.

Riolitas

a) Afloran en cuerpos de dimensiones variables en todo el Noroeste de Toribio y loma el cachimbo y al Norte de la Tachuela. Están sobreyaciendo discordantes a las andesitas y algunos cuerpos menores sobre las dioritas. Esta unidad se caracteriza por su textura porfirítica, constituida por feldespatos, cuarzo y hornblenda esporádica, envueltos en una matriz de color crema grisácea pálida, en ocasiones presenta hematites en algunas superficies de fracturas.

Dacitas

Sólo afloran en la parte norte de la cartografía de la Tachuela. Se encuentran discordantes a las andesitas. Las dacitas se caracterizan a grandes rasgos por su textura porfirítica, compuesta por cuarzo, feldespatos y algunas hornblenda y piroxenos, envueltos en una matriz afanítica probablemente de la misma composición. 62 Pórfido de feldespato

a) Estas rocas afloran al noroeste y al sureste de la cartografía, con un pequeño afloramiento en el centro de Toribio. Siguen una dirección preferencial Norte-Sur. Los pórfidos de feldespato se caracterizan por su textura porfirítica, con fenocristales de

feldespatos y hornblenda envueltos en una matriz que varía desde colores verdosos a purpura-gris pálido.

b) Pórfido de hornblenda

c) Se presentan varios afloramientos a lo largo de la parte noroeste-sureste del mapa . Estas rocas se caracterizan por su textura porfirítica, por estar constituidas de fenocristales de hornblenda en abundancia y feldespatos en menor proporción, envueltos en una matriz de color verde grisáceo.

d) Andesitas

e) Las andesitas afloran a lo largo de todo el proyecto Toribio y Loma El cachimbo.

Se han dividido en dos grupos distintivos que se describen a continuación:

a) Tobas brechosas polimícticas tobáceas andesíticas (brecha tobácea andesítica): afloran a lo largo de la parte central del mapa, siguen una orientación Noroeste-Sureste y está en contacto por falla al este con los basaltos y en contacto discordante con un cuerpo intrusivo de diorita, más hacia el Sur está en contacto por falla con las tobas líticas cristalinas. Se caracterizan por presentarse en afloramientos donde se pueden observar piroclastos mal clasificados que varían en su forma desde angulosos a redondeados, de coloración rojiza y verdosa de andesitas, dacitas, y calizas de hasta 30 63.

b) Centímetros de diámetro y algunos fragmentos menores de vidrio, embebidos en aproximadamente un 15% de una matriz de grano fino, de coloración verde grisáceo. Los clastos de andesitas cons-

tituidos predominantemente por fenocristales de plagioclasas, hornblenda y piroxeno que frecuentemente se encuentran alterados. Los clastos de dacitas por hornblenda, plagioclasa y algunos cristales de cuarzo soportados en una matriz afanítica en ocasiones de la misma composición de los clastos. Los clastos de caliza son de color crema y rojizos, donde predomina la calcita de gran fino, además el color rojizo es probablemente producido por alteración hidrotermal.

c) Toba cristalina lítica andesítica (CLT): estas rocas afloran en todo el proyecto Toribio y Loma El Cachimbo y siguen una tendencia Noroeste-Sureste. Consisten en delgados horizontes de tobas líticas cristalinas de color gris oscuro a verdoso separadas por tobas de grano grueso. Están constituidas por fragmentos de composición andesítica, los cuales están compuestos por piroxenos, plagioclasa (feldespatos) y una mínima proporción de cuarzo secundario, envueltos en una matriz afanítica de color verde grisáceo aparentemente de la misma composición.

Rocas intrusivas

Dioritas

d) Afloran al este y oeste del proyecto Toribio. Se presentan como domos y en algunas ocasiones como diques. Se encuentran discordantes con la andesita al oeste, y en contacto por falla de bajo ángulo con los basaltos hacia el este**.** Las dioritas se caracterizan por ser de color oscuro, de textura fanerítica y su fuete susceptibilidad magnética probablemente

dada por la presencia de minerales ferromagnéticos (magnetita). Están constituida por cristales visibles de plagioclasas y hornblendas.

Gabros

Afloran en el sureste del mapa en forma de diques discordantes a los basaltos. La mayor parte de los diques siguen una orientación noreste-suroeste. Ocasionalmente se encontraron afloramientos frescos en los cuales se identificaron su textura fanerítica (equigranular), se pudieron observar sus cristales bien desarrollados de piroxenos y plagioclasas, también su fuerte susceptibilidad magnética.

Rocas sedimentarias

Calizas rojas

En el centro oeste del proyecto Toribio y la parte norte, se encuentran pequeños afloramientos una caliza roja que se encuentra discordante con las rocas donde aflora. Se presentan masivas, en ocasiones foliadas. El color rojo es producto de alteración hidrotermal la cual ha provocado que se insertaran abundantes óxidos de hierro como magnetita y hematites en la roca.

Rocas metamórficas

Hacia el Norte de Toribio se encuentra un afloramiento de metavulcanitas basálticas. Las metavulcanitas se caracterizan por su color gris verdoso y su esquistosidad. Hacia el este en el contacto de las rocas de la unidad superior de Tireo con los basaltos es común

encontrar fases de esquistos verdes donde es evidente una foliación que varía desde ligera a intensa. En la mayoría de los casos en estas rocas es evidente la presencia de clorita pervasiva y en otras formas como rellenando planos de deformación |en zonas de metamorfismo donde se originan movimientos de falla. Este tipo de metamorfismo se ha considerado que parte una extensa actividad que se viene llevando a 65 cabo por el cabalgamiento de los basaltos con las intermedias-acidas de la parte oeste del mapa, el cual no está claramente definido.

Extensas zonas de cizalla han sido identificadas como producto de la tectónica regional y local que se está desarrollando en esta formación. En los bloques con desplazamiento horizontal es notorio fábricas tipos S, más evidentes en rocas andesíticas. Por otra parte, alineación y alteración de los constituyentes minerales de las rocas circundantes a los intrusivos máficos y félsicos es notorio a simple vista. Esto último es posible que sea ocasionado por metamorfismo de contacto.

Alteración Propilítica; esta alteración se presenta a lo largo del paquete andesítico, cerca de los contactos con las riolitas y los cuerpos intrusivos porfiríticos (pórfido de hornblenda). La asociación consiste predominantemente de clorita pervasiva localmente acompañada por epidota, lo cual le da a la roca una coloración verdoso oscuro. Contiene trazas de pirita diseminada de aproximadamente un 1%, venas de calcita y venas de cuarzo.

Las vetillas de cuarzo abundan especialmente cerca de la zona de falla La Escandalosa. Las vetillas son de color blanco, masivas y multidireccionales, y además contienen proporciones menores de pirita y calcopiri-

ta. En las riolitas también se presenta este tipo de alteración.

Alteración sílica (silicificación); esta alteración ha sido mapeada desde Hondo Valle hasta La Escandalosa, siguiendo una dirección preferentemente Norte-Sur. Este tipo de alteración varía desde intensa, moderada y débil. Consiste en cuarzo-pirita, en ocasiones sólo cuarzo con trazas de sulfuros (pirita-calcopirita). Frecuentemente se encuentra en forma de vetillas entre 0.5-2 centímetros de ancho, rellenando cavidades y ocasionalmente pervasiva en las rocas. Fílica (cuarzo-sericita); la alteración cuarzo-sericítica se presenta en forma de venas irregulares. Estas venas están constituidas predominantemente por cuarzo-illita-pirita, cuarzo-sericita y en ocasiones micas de colores claros (¿flogopitas?).

La Argilitización; se presenta en la parte central de la Escandalosa, haciéndose más notable en las riolitas, aunque aparecen algunos puntos ocasionales de argilitización más hacia el sur y el este. Esta alteración es el resultado de la cristalización de caolinita-esmectita y jarosita junto con hematites.

Óxidos

Se presenta una zona de oxidación debido a la meteorización superficial de sulfuros que se ha podido mapear al oeste de La Escandalosa. Coloraciones rojizas en los afloramientos y textura de gossan se presentan en esta zona. Transformaciones de los sulfuros han sido observadas en zonas de alteración sílica. La pirita aparentemente ha sido lixiviada dejando un residuo con contenidos de jarosita y hematites. Además, óxi-

dos de cobre y carbonatos de cobre de colores azules aparecen en superficie.

La alteración propilítica; este tipo de alteración se presenta a lo largo de toda la concesión La Escandalosa, Loma El Cachimbo y La Tachuela, siguiendo una dirección Noroeste-Sureste. En los basaltos se presenta una leve alteración a clorita. Al norte de los basaltos afloran rocas de grano fino y color marrón, ligeramente foliadas y con una alteración en forma de venillas menores de 1 centímetro, rellenas por epidota y calcita.

En las andesitas este tipo de alteración se extiende noroeste-sureste, ocupando prácticamente todos los afloramientos. Las rocas presentan una coloración verdosa en la matriz (clorita). Está acompañada por epidota, venas de calcita, venas de cuarzo, y en algunas ocasiones magnetita esporádica.

La silicificación; este tipo de alteración se presenta localmente en al noroeste de La Escandalosa, y localmente en algunos afloramientos hacia el sur en Loma El Cachimbo y La Tachuela. Vetillas rellenas de cuarzo en forma de stockwork se encuentran en afloramientos ubicados hacía La Tachuela. Consisten en vetillas de cuarzo blanco, se caracterizan por presentarse multidireccionales, además presentan proporciones menores de pirita y calcopirita. Esta alteración varía desde intensa a moderada, constituida por cuarzo-pirita, en donde el cuarzo tiende a rellenar cavidades.

La argilitización; se presenta en La Escandalosa Sur, Loma El Cachimbo y La Tachuela. Esta alteración se ha desarrollado a partir de cuarzo-illita-pirita, illita-clorita-pirita y la alteración propilítica, dando como resultado arcillas blancas (caolinita-esmectita) con contenidos de jarosita y hematites. Los cuerpos de dacitas

se presentan con una alteración argílica avanzada, minerales de alteración como cuarzo-sericita son visibles.

Los sulfuros (pirita diseminada); consisten predominantemente en pirita de grano grueso (1-2 mm) que están en forma diseminada en las zonas de alteración sílica, asociada a otros sulfuros en zonas semi-masivas de hasta 50 centímetros de ancho, y otros sulfuros en vetillas de cuarzo-calcita-barita. Los demás sulfuros comunes son la esfalerita, calcopirita y galena, con posible tenantita-tetrahedrita. Óxidos (jarosita); una zona de oxidación debido a la meteorización superficial se ha podido mapear al oeste de La Escandalosa Sur. Coloraciones rojizas en los afloramientos y textura de gossan presentan en esta zona. Transformaciones de los sulfuros han sido observadas en zonas de alteración silícica, donde la pirita aparentemente ha sido lixiviada dejando un residuo con contenidos de jarosita y hematita. Además, óxidos de cobre y carbonatos de cobre de colores azules aparecen en superficie.

La alteración propilítica; este tipo de alteración se presenta a lo largo de toda la concesión La Escandalosa, Loma El Cachimbo y La Tachuela, siguiendo una dirección Noroeste-Sureste. En los basaltos se presenta una leve alteración a clorita. Al norte de los basaltos afloran rocas de grano fino y color marrón, ligeramente foliadas y con una alteración en forma de venillas menores de 1 centímetro, rellenas por epidota y calcita, NG-1111). En las andesitas este tipo de alteración se extiende noroeste-sureste, ocupando prácticamente todos los afloramientos. Las rocas presentan una coloración verdosa en la 69 matriz (clorita). Está acompañada por epidota, venas de calcita, venas de cuarzo, y en algunas ocasiones magnetita esporádica.

La silicificación; este tipo de alteración se presenta localmente en al noroeste de La Escandalosa, y localmente en algunos afloramientos hacia el Sur en Loma El Cachimbo y La Tachuela. Vetillas rellenas de cuarzo en forma de stockwork se encuentran en afloramientos ubicados hacía La Tachuela. Consisten en vetillas de cuarzo blanco, se caracterizan por presentarse multidireccionales, además presentan proporciones menores de pirita y calcopirita. Esta alteración varía desde intensa a moderada, constituida por cuarzo-pirita, en donde el cuarzo tiende a rellenar cavidades. Argilitización; se presenta en La Escandalosa Sur, Loma El Cachimbo y La Tachuela. Esta alteración se ha desarrollado a partir de cuarzo-illita-pirita, illita-clorita-pirita y la alteración propilítica, dando como resultado arcillas blancas (caolinita-esmectita) con contenidos de jarosita y hematites.

Los cuerpos de dacitas se presentan con una alteración argílica avanzada, minerales de alteración como cuarzo-sericita son visibles. Sulfuros (pirita diseminada); consisten predominantemente en pirita de grano grueso (1-2 mm) que están en forma diseminada en las zonas de alteración sílica, asociada a otros sulfuros en zonas semi-masivas de hasta 50 centímetros de ancho, y otros sulfuros en vetillas de cuarzo-calcita-barita. Los demás sulfuros comunes son la esfalerita, calcopirita y galena, con posible tenantita-tetrahedrita. Una zona de oxidación debido a la meteorización superficial se ha podido mapear al oeste de La Escandalosa Sur. Coloraciones rojizas en los afloramientos y textura de gossan presentan en esta zona. Transformaciones de los sulfuros han sido observadas en zonas de alteración silícica, donde la pirita aparentemente ha sido lixiviada dejan-

do un residuo con contenidos de jarosita y hematita. Además, óxidos de cobre y carbonatos de cobre de colores azules aparecen en superficie.

Alteraciones hidrotermales y mineralizaciones del proyecto Toribio, Loma El Cachimbo y La Tachuela

Esta alteración se presenta en todas las rocas de la parte oeste del mapa. Ocasionalmente estas rocas (andesitas, dacitas, pórfido de hornablenda, pórfido de feldespato, diorita, basaltos) la alteración se caracteriza por presentar una coloración verdosa en la matriz de la roca. La cloración es debido a la presencia de clorita en forma pervasiva. Además, es frecuente encontrarla rellenando fracturas, cavidades o planos de deformación (foliaciones y fracturas) con epidota-cuarzo-clorita y en algunos casos calcita.

Es muy frecuente encontrar vetillas de cuarzo en forma de stockwork en zonas de alteración propilítica. Consiste en vetillas de cuarzo-epidota, en algunos casos con sulfuros diseminados (pirita-calcopirita), óxidos de hierro (jarosita) y vetillas con cuarzo y carbonatos de cobre (malaquita). Estas vetillas aparecen en todas direcciones (multidireccionales).

La silicificación, se identificaron algunas zonas en noroeste, centro y suroeste del mapa. Se presenta en forma pervasiva en ocasiones, haciendo que la roca obtenga 71 un aspecto de gran dureza, varía desde intensa a débil. La asociación mineral de la alteración consiste en cuarzo-epidota. También se pueden encontrar en forma de vetillas entre 1 y 2 centímetros, rellenando cavidades y fracturas en las rocas y muy frecuentemente

en forma de stockwork en algunos casos con sulfuros diseminados (pirita-calcopirita), óxidos de hierro (jarosita) y carbonatos de cobre (malaquita).

En algunos casos, en las andesitas se encuentran ojos de cuarzo y una matriz fuertemente silicificada. Argilitización; nonas de alteración argílica se han identificado en el oeste de Toribio y Loma El Cachimbo. Consiste predominantemente en arcillas blancas (caolinita), acompañadas con pirita diseminada en algunos afloramientos y en otras ocasiones con óxidos de hierro (hematites-goethita). Esta alteración varía desde intensa hasta débil. Barita; se presenta al noroeste del mapa, en loma El Cachimbo. Es común encontrarla en vetillas de color blancuzco, asociadas con cuarzo y calcita, y en algunos lugares de forma pervasiva.

La serpentinización; al sureste de loma el Cachimbo y Toribio afloran gabros y basaltos con alteración a minerales de colores verdosos azules, que corresponden a serpentinas. Esta alteración se intensifica en los basaltos cuando están cerca de los intrusivos gabroicos. Sulfuros (pirita diseminada); consisten predominantemente en pirita que se presentan en forma diseminada en las zonas de alteración sílica, propilítica, en vetillas de cuarzo y alteración argílica, asociada a otros sulfuros como calcopirita.

Óxidos; aparecen en zonas de alteración sílica, donde la pirita aparentemente ha sido lixiviada aparentemente por fluidos hidrotermales dejando como residuo contenidos de jarosita, goethita y hematites, los cuales también se pueden encontrar en zonas de alteración argílica, donde se han oxidado los sulfuros. Además, óxidos de cobre y carbonatos de cobre de colores azules aparecen en superficie.

Conclusiones

Dos tipos de rocas que representan un cambio en la afinidad geoquímica de las unidades litológicas que han sido estudiadas en los proyectos Toribio y La Escandalosa; 1) rocas volcánicas de composición basáltica a andesítica que definen una tendencia toleítica, boninítica y de basaltos enriquecidos en Nb, y 2) rocas de composición dacítica-riolítica con afinidades calcoalcalinas y adakíticas. Estas rocas han sufrido diferentes procesos de alteración: metasomatismo de fondo oceánico, alteración hidrotermal y metamorfismo de contacto.

Petrográficamente las rocas de los proyectos Toribio y La Escandalosa, se componen principalmente de andesitas con texturas semi-porfirítica a porfirítica, ricas en fenocristales de feldespatos y anfíboles. Las rocas félsicas (dacitas-riolitas) son de textura porfídica, el fenocristal abundante es la plagioclasa. Las rocas básicas son de textura de tipo dimensional seriada. Las rocas de composición ultrabásica tienen textura granular-granuda seriada. Los minerales se encuentran alterados, en mayor grado el olivino que se altera a serpentina y antigorita.

La composición química del olivino de las rocas ultrabásica sugiere que estos cristalizaron de diferentes tipos de magmas derivados del manto. La composición química de los piroxenos analizados de las rocas basálticas demuestra que estos pertenecen a VAB-OFB (basaltos de arco volcánico-basaltos de piso oceánico). La composición química del olivino de las rocas ultrabásica sugiere que estos cristalizaron de diferentes tipos de magmas derivados del manto. La composición química de los piroxenos analizados de las rocas basálticas

demuestra que estos pertenecen a VAB-OFB (basaltos de arco volcánico-basaltos de piso oceánico) 126.

Los tipos de alteraciones hidrotermales y asociaciones minerales de los mismos, obtenidos a partir de los estudios petrográficos y difracción de Rayos X sugieren que podrían corresponder a varias modalidades de mineralización/alteración hidrotermal, siendo algunas de ellas relacionada a pórfidos así del tipo VMS, siendo esta última la que predominaría.

Referencias

Aguilar Herrera, F. M., 2013. Métodos y Técnicas de investigación Cualitativa y Cuantitativa en Geografía. Paradigma: Revista de investigación educativa. (No 33), 79-89.

Ale Veliz, J., 2012. Influencia de la alteración hidrotermal en la calidad del macizo rocoso en taludes de tajos abiertos. Lima, Perú: M.Sc. Tesis. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Allaby, M., 2013. A dictionary of geology and earth sciences. Oxford: Oxford University Press.

Ander-Egg, E., & VALLE, P. A. E. (1997). Guía para preparar monografías y otros textos expositivos. Lumen/Hvmanitas.

Arias Odón, F., (1999), El Proyecto de Investigación, Caracas: episteme.

Batanova, V. G., Pertsev, A. N., Kamenetsky, V. S., Ariskin, A. A., Mochalov, A. G., &Sobolev, A. V. (2005). Crustal evolution of island-arc ultramafic magma: Galmoenan pyroxenite–dunite plutonic complex, Koryak Highland (Far East Russia). Journal of Petrology, 46(7), 1345-1366.

Bayliss, P. (1975). Nomenclature of the trioctahedral chlorites. The Canadian Mineralogist, 13(2), 178-180.

Beard, J. S. (2006). Epidotes. Reviews in Mineralogy and Geochemistry Volume 56. A. Liebscher and G. Franz, Editors. Pp. 628. Mineralogical Society of America, Washington, DC. 2004. ISBN 093995068-5. Price US $40. Economic Geology, 101(4), 903-903.

Best, M. G., & Christiansen, E. H. (2001). Igneous petrology. Blackwell Science.

Bienvenu, P., Bougault, H., Joron, J. L., Treuil, M., Demitriev, L., 1990. REE/nonREE element hygromagmaphile element fractionation. Chemical Geology 82, 1–14.

Bowen, C. O., 1966. Geology of Central Dominican Republic; A case history of part of an island arc. Hess, H. H., ed., Caribbean geological investigations: Geological Society of America, Memoria 98, p. 11-84.

Castillo, P.R., Janney, P.E., and Solidum, R.U. 1999. Petrology and geochemistry of Camiguin Island southdern Philipines: insights to the source of adakites and other lavas in a complex arc setting: contributions to Mineralogy and Petrology, v. 134, p. 33-51

Dominguez, H. S., 1987. Geology, Hydrothermal alteration and mineralization of the El Recodo porphyry copper prospect, Southeastern Cordillera Central, Dominican Republic (M.Sc. Thesis): Washington, D.C., George Washington University.

Dunkley, P., & Gaibor, A., 2008. Repraisal of the Tres Palmas project. Dominican Republic: Umpublished Internal Report GOLD FIELDS-GOLDQUEST.

Escuder-Viruete, J. E., Contreras, Joubert, M., Bernardez, E., Hernaiz Huerta, P.P.,Lewis, J., Pérez Estaun, A., 2004. La secuencia magmática del Jurásico Superior-Cretácico Superior de la Cordillera Central, Repúlica Dominicana: sección cortical de un arco-isla interoceánico. Geotemas 6 (1), p. 41-44.

Evans, A. M., 1993. Ore Geology and Industrial Minerals-An Introduction. Third edition; Blackwell Science; Oxford, UK.

Falloon T.J., Danyushevsky L.V., 2000. Melting of refractory mantle at 1.5, 2.0 and 2.5 gpa under anhydrous and H2O-undersatured conditions: implications for the petrogenesis of high-ca boninites and the influence of subduction components on mantle melting. Journal of Petrology 41, 257-283.

Fernández, J., Fernández, M., González, G., Hasbun, B., Hentschke, L., Lopez, G., 1988. Mapa Geológico de la República Dominicana a E. 1:100.000, San Juan (5972). Dirección General de Minería, Santo Domingo.

Foster, M.D., 1962: Interpretation of the composition and a classification of the chlorites. US Geological Survey Professional Paper, 414A, p. 1 – 33.

Gale, G.H., 2003: Vectoring volcanogenic massive sulphide deposits using rare earth elements and other pathfinder elements at Ruttan mine, Maitoba (NTS 63B5). In: Report of Activities 2003, Manitoba Industry, Trade and Mines, ManitobaGeological Survey, p. 54 – 73.

Gill, R, 2010. Igneous Rocks and Processes. Chichester, Wester Sussex, UK: Wiley Blackwell.

Harlov, D. E., & FÖRSTER, H. J. (2002). High-grade fluid metasomatism on both a local and a regional scale: The Seward península, Alaska, and the

Val Strona di Omegna, Ivrea–Verbano Zone, Northern Italy. Part I: petrography and silicate mineral chemistry. Journal of Petrology, 43(5), 769-799.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P., 2006. Metodología de la investigación. México: McGraw Hill.

Herzig, P. M., & Hannington, M. D. (1995). Polymetallic massive sulfides at the modern seafloor a review. Ore Geology Reviews, 10(2), 95-115.

Ishikawa, Y.; Sawaguchi, T.; Iwaya, S., and Horiuchi, M., 1976: Delineation of prospecting targets for Kuroko deposits based on modes of volcanism of underling dacite and alteration halos. Mining Geology, v. 26, p. 105 – 117. 130.

Jagoutz, O., Müntener, O., Ulmer, P., Pettke, T., Burg, J. P., Dawood, H., & Hussain, S. (2007). Petrology and mineral chemistry of lower crustal intrusions: The Chilas Complex, Kohistan (NW Pakistan). Journal of Petrology.

Joubert, M., 2004. Mapa Geológico de la República Dominicana a E. 1:100.000, Lamedero (5973-II). Santo Domingo: IGME-BRGM-INYPSA.

Kepezhinskas, P.K., Defant, M.J., Drummond, M.S., 1996. Progressive enrichment of island arc mantle by melt–peridotite interaction inferred from Kamchatka xenoliths. Geochimica Cosmochimica. Acta 60, 1217–1229

Leake, B. E., Woolley, A. R., Arps, C. E., Birch, W. D., Gilbert, M. C., Grice, J. D., & Linthout, K. (1997). Report. Nomenclature of Amphiboles: Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names. Mineralogical Magazine, 61(2), 295-321.

Lewis, J., Amarante, A., Bloise, G., Jimenez, J., & Domínguez, H., 1991. Lithology and stratigraphy of Upper cretaceous rocks volcanic and volcanoclastic rocks of theTireo Group, Dominican Republic, in correlation with Massif du Nord in Haiti: Mann, P., Draper, G., Lewis, J.F. (Eds), Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola. Geological Society of America Special Paper, vol. 262, pp 143-164.

Lewis, J.F., Escuder Viruete, J., Hernaiz Huerta, P.P., Gutiérrez, G., Draper, G., 2002.

Subdivisión geoquímica del Arco de Isla Circum caribeño, Cordillera Central Dominicana: Implicaciones para la formación y crecimiento cortical en un ambiente intraoceánico. Acta Geológica Hispánica, 37-81-122.

MacLean, W.H., 1990: Mass change calculations in altered rock series. Mineral Deposita 25: p. 44–49.

Martin, H., Smithies, R.H., Rapp, R., Moyen, J.F., Champion, D. 2005. An overview of adakite, tonalite–trondhjemite–granodiorite (TTG), and sanukitoid: relationships and some implications for crustal evolution. Lithos 79, 1–24.

Martin, H. 1999. Adakitic magmas: modern analogues of Archaean granitoids. Lithos, 46, 411–429.

Maury, R. C., Sajona, F. G., Pubellier, M., Bellon, H., Defant, M. J., 1996. Fusion de la croûte océanique dans les zones de subduction/collision récentes; l'exemple de Mindanao (Philippines). Bulletinde la Société Geologique de France 167, 579–595.

McCarron, J. J., Smellie, J. L., 1998.

Melgarejo, J. C., Proenza, J. A., Gali, S., &Llovet, X., 2010. Técnicas de Caracterización mineral y su implicación en exploración y explotación minera. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 62(1), 1-23.

Oyarzun, R., Cubas, P., 2009. Léxico sobre procesos y estructuras geológicas. Geología y Yacimientos Minerales: Universidad de Chile.

Pearce, J.A. 1983. The role of sub-continental lithosphere in magma genesis at destructive plate margins. En: Hawkesworth, C. J., Norry.

Piercey, S.J., 2009: Lithogeochemistry of volcanic rocks associated with volcanogenic massive sulfide (VMS) deposits and applications to exploration. In: Cousens, B.L.,

Piercey S.J. (eds) subaqueous volcanism and mineralization. Mineral Deposits Division-Volcanology and Igneous Petrology Division, Geological Association of Canada, Short Course Notes 19, p. 15 – 40.

Piercey, S.J., 2011: The setting, style, and role of magmatism in the formation of volcanogenic massive sulfide deposits. Miner Deposita, v.46, p. 449 – 471.

Plank, T., 2005: Constraints from thorium/lanthanum on sediment recycling at subduction zones and the evolution of the continents. Journal of Petrology 46, p. 921 – 944.

Rapp, R. P., Shimizu, N. y Norman, M. D. 2003. Growth of early continental crust by partial melting of eclogite. Nature, 425, 605– 609.

Ridley, J., 2013. Ore Deposit Geology. New York, USA: Cambridge University Press.

Rollinson, H., 1993. Using geochemical data; evaluation, presentation, interpretation. England, Longman Scientific & Technical.

Román-Alday, M. C., Torró, L., Proenza, J. A., Melgarejo, J. C., Romero, J., Amarante, A., 2015. The Romero Cu-Au-Zn Deposits, Cordillera Central. Mineral resources in a suistainable world, Proceedings, Vol. 5, 2087-2090.

Sajona, F.G., Maury, R., Bellon, H., Cotten, J., Defant, M. J., 1996. High field strength element enrichment of Pliocene–Pleistocene island arc basalts, Zamboanga Peninsula, western Mindanao (Philippines). Journal of Petrology 37, 693–726.

Sun, W.-D., Ming-Xing, L., Sun-Lin, C., Xing, D., Yang, X.-Y., Liang, H.-Y., 2012).

Geochemical Constraints on Adakites of Different Origins and Copper Mineralization: The Journal of Geology, vol. 120, pp 105-120.

Tornos, F., 2006. Environment of formation and styles of volcanogenic massive sulfides: The Iberian pyrite belt. Ore Geol. Rev. 28, 259–307.

Winchester, J.A., and Floyd, P.A., 1977: Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. Chemical Geology 20, p. 325 – 343.

Yogodzinski, G. M., Lees, J. M., Churikova, T. G., Dorendorf, F., Woerner, G. y Volynets, O.N. 2001. Geochemical evidence for the melting of subducting oceanic lithosphere at plate edges. Nature, 409, 500–504

PROSPECCIÓN GEOFÍSICA PARA LA BÚSQUEDA DE AGUA SUBTERRÁNEA, MONTE DE LA JAGUA, PROVINCIA ESPAILLAT

Laura Villa
Brahian Tineo
Giselle Valverde

Resumen

En esta investigación se evidenció el impacto que han causado los Métodos Geoeléctricos y que tan eficiente es el método que se eligió para la búsqueda de agua subterránea en Monte de la Jagua Provincia Espaillat, tomando en cuenta los estudios previos, dándole validez a lo realizado y mostrando éxito al utilizarlo. El objetivo general de esta investigación fue satisfacer la necesidad de agua en el sector agrario en Monte de la Jagua, para la búsqueda de acuíferos productivos, la misma es debido a la fuerte escasez provocada por el fenómeno el niño. Se utilizó el Método Geoeléctrico: Sondeo Eléctrico Vertical con arreglo Schlumberger, para el procedimiento se diseñó una hoja de campo para registro de datos y gráfica preliminar con valores estándares, y otros como el factor, lectura y resistividad aparente que fueron llenados con las medidas dadas por el equipo. En esta investigación se utilizó en un primer instante el equipo SAS 1000, pero no se alcanzó a obtener los resultados esperados por fallos técnicos, luego se utilizó el Nilson 400 que a pesar de tener menor

potencial eléctrico se pudo hacer un buen trabajo. Los subsuelos estudiados fueron Arcillas Endorreicas Expansivas (Esmectitas), en el área de XVIII estudio el nivel freático se encuentra a 130 pies de profundidad, por lo tanto es un suelo con poca Eléctrico resistividad. En la investigación se comprobó, que el Método Geoeléctrico: Sondeo Vertical, debido al equipo utilizado no pudo cumplir con el objetivo planteado, ya que se necesitaba de un equipo con mayor potencial eléctrico que llegara a una profundidad asequible para construir en futuro un pozo tubular con buen caudal de agua. Este método ofrece buen desempeño del trabajo, menos personal, es más asequible al mover los electrodos porque se mueven en una línea recta.

Palabras Claves: Prospección geofísica, agua subterránea, fenómeno meteorológico, recursos hídricos, hidrogeológico, geoeléctrica, sondeo eléctrico vertical con arreglo Schlumberger, arcillas endorreicas expansivas, resistividad.

ABSTRACT

This research showed the impact of the Geoelectric Methods and how efficient the method was chosen for the search of groundwater in Monte de la Jagua Provincia Espaillat, taking into account the previous studies, giving validity to what was done and Showing success when using it. The general objective of this research was to satisfy the need for water in the agricultural sector in Monte de la Jagua, for the search of productive aquifers, it is due to the severe shortage caused by the phenomenon the child. The Geoelectric Method: Vertical Electrical Survey with Schlumberger arrangement was used for the procedure, a field sheet was designed for data recording and preliminary graphics with stan-

dard values, and others such as factor, reading and apparent resistivity that were filled with the given measurements By the team. In this investigation was used in a first instant the equipment SAS 1000, but was not obtained to obtain the expected results by technical failures, later it was used the Nilson 400 that in spite of having smaller electrical potential could do a good work. The subsoils studied were Expansive Endorheic Clays (Smectites), in the area of XVIII study the water table is at 130 feet deep, therefore it is a soil with little electrical resistivity. In the investigation it was verified that the Geoelectric Method: Vertical Survey, due to the equipment used could not meet the objective, since it was necessary a equipment with greater electrical potential that would reach an affordable depth to build a tubular well in the future With good flow of water. This method offers good work performance, less personal, is more affordable when moving the electrodes because they move in a straight line.

Key words: Geophysical prospecting, groundwater, meteorological phenomenon, water resources, hydrogeological, geoelectric, vertical electrical sounding with Schlumberger arrangement, expansive endorheic clays, resistivity.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo está enfocado en localizar acuíferos productivos para el abastecimiento de agua del poblado Monte de la Jagua que se dedica a la actividad Agrícola y Ganadera. En estos momentos el país fue severamente afectado por el fenómeno meteorológico "El Niño", el cual ha provocado una sequía extrema generando una continua escasez de los recursos hídri-

cos en la zona. Algunos trabajos de investigación hidrogeológico que anteriormente se han venido realizando se fundamentaban en la ejecución de sondeos mecánicos para conocer de forma directa el potencial presente de agua y la calidad de la misma, gracias a los métodos de prospección geofísica y geoeléctricos que permiten desde la superficie hasta la profundidad estudiar amplias secciones del subsuelo de forma rápida y no destructiva.

Los métodos de prospección geofísica precedentes a la ejecución de los sondeos, permiten tener una comprensión de las diferencias litológicas e hidrogeológicas de la zona. La misma es muy diversa por lo que, en principio, podría resultar complicado elegir el método más conveniente. Sin embargo, teniendo en cuenta que los valores a establecer deben ser tanto geológicos como hidrogeológicos, y dentro de éstos, los pertinentes a la calidad del agua, resulta factible determinar que la prospección más indicada es la resistividad eléctrica.

Monte de la Jagua es un distrito municipal del Municipio de Moca. Está dividida en dos parajes: 1. Monte de la Jagua Abajo y 2. Monte de la Jagua Arriba, localizado en las coordenadas: 335500 E, 2145379 N, con un área de 2.85 km2. Con sus límites: al norte XX Estancia Nueva Arriba, al sur Rio Licey, al este Estancia Nueva y Moca y al oeste Cruz de Isalquez. Se encuentra dentro de la unidad de Licey al Medio está estructurada por arcillas endorreicas expansivas muy plásticas (Esmécticas) frecuentemente calcáreas con intercalaciones subordinadas de siltitas y arenas finas y con desarrollo de vertisuelos negros, la geomorfología son glacis de pie de monte de origen poligénico, propios de áreas con relieves poco contrastados (Pol Urien, 2007-2010).

El desarrollo de las tecnologías en las últimas décadas ha dado un impulso notable para la búsqueda de agua subterránea debido a la carencia a nivel mundial de este recurso, exigiendo buscar alternativas que puedan satisfacer las necesidades demandadas, una de ellas son los Métodos Geofísicos. Aplicación de la prospección geofísica utilizando el método Schlumberger para la exploración del agua subterránea en Cantón los Magueyes, Colonia Santa Lucía, Municipio de Ahuachapan, este método es más eficiente para la exploración que se desea realizar, permite obtener las variaciones verticales de la resistividad con mayor precisión en el subsuelo sin la necesidad de mucho personal, para lograr desarrollar esta metodología se utilizan cuatro electrodos, 2 de corriente (A y B), 2 de potencial (M y N) y la unidad resistiva (Trasmisor de corriente, receptor), El Cantón Los Magueyes está integrado por cuatro caseríos, Los Magueyes, Santa Lucia, Los bonito y El Vallecito integrados por 16,184 habitantes, cuentan con dos tanques uno de 200mts y otro de 50mts cúbicos, logrando dar más agua para la satisfacción de dicho municipio, se recomienda tener control del uso del agua, la zona de estudio es comprendida mediante 5km cuadrado, realizando 3 pozos a profundidades de 1, 21 y 140mts, con resistividad promedio de 20d.m, 80d.m y 200d.m. (García y otros, 2011).

La localización de aguas subterráneas para el abastecimiento mediante prospección geofísica de resistividades: Acuíferos de interior y costeros (Benito y otros, Sf) Universidad de Burgos, teniendo en cuenta solo acuíferos de interior. La finalidad era localizar formaciones acuíferas, tanto someras (0-40) como a profundidad (110-130 metros), se buscó posibles estaciona-

mientos para ejecutar sondeos de extracción de agua y realizar una investigación de la definición del Karst. La posibilidad de encontrar formaciones acuíferas es alta, debido a la naturaleza detrítica porosa y permeable de los niveles conglomeráticos y areniscosos presentes, mediante tomografía eléctrica se logró encontrar la zona preferente de almacenamiento o concentración de agua, también la localización de agua asociada a fracturas en macizos rocosos, ésta técnica resultó eficaz, rápida y económica.

Otra alternativa no tradicional en caso de no utilizar sondeo eléctrico vertical debido que el terreno no es factible de usarse por factores de espacio y terreno quebrado, donde el agua pueda enviar una señal desde la profundidad sin atizarla con la inyección de energía desde la superficie. Los tres métodos son: Magnética, Potencial Espontáneo, con capacidad de penetración mayor de un kilómetro y Prospección Electromagnética (VLF) (muy baja frecuencia E.M., con un transmisor lejano), está limitada a unos 200mts., como máximo, pero su habilidad de detectar y determinar el echado de fracturas le permite usarse a mayores profundidades por proyección geológica. Son rápidos, portátiles, requieren de poco personal, su afectación por topografía, aunque variable, es menor que la de métodos eléctricos tradicionales. Se utilizó en la exploración para pórfidos cupríferos, tuvo un éxito muy importante en el estudio de agua geotérmica, aunque después dejó de usarse lo que indica que de los 3 solo uno dio resultado (Randall, Sf).

En la provincia de Sancti Spiritus, Municipio de Trinidad se implementó la geofísica aplicada a la búsqueda de agua subterránea en depósitos aluviales, caso

de estudio arenas algaba con los métodos de sondeo eléctrico vertical, imágenes eléctricas y resistivimetría (Jiménez y Rodríguez, 2013) se aplicaron los métodos geofísicos tanto de superficie como de pozo en dicha zona con el objetivo de buscar una fuente de suministro con la calidad y cantidad de agua suficiente para el abastecimiento en la zona turística. Estos estudios fueron realizados a raíz del crecimiento demográfico, se realizaron 7 perfiles, los cuales poseían una distancia variable, siempre cercana a los 1800 m., para un total de 34 tomografías. Los resultados de la investigación geofísica permitieron esclarecer las características y los parámetros hidrogeológicos.

El estudio de factibilidad hidrogeológica en la porción sur-oriente de la ciudad de San Juan del rio del Querétaro, aplicando los métodos electromagnéticos realizado por el Ingeniero Geofísico (Castillo, Sf) con el propósito de definir si el área tiene la capacidad de proveer agua para sustentar las necesidades de 5,000 personas. Se realizaron 11 sondeos electromagnéticos a una profundidad mínima de 600 m o hasta atravesar la unidad geoeléctrica, estos sondeos se ejecutaron con el mismo equipo, ocho con bobinas de 300x300m y tres con bobinas de 200x200m, para investigar a una profundidad del orden de los 500 m. en las zonas aledañas Palmillas, Soledad del Río, El Rodeo, Magdalena de Dolores Godoy, Paso de Mata y Santa Gertrudis. La profundidad de perforación citada anteriormente es recomendada para garantizar la vida útil del pozo por los próximos 30 años, la unidad hidrogeológica, el caudal mínimo esperado de esta unidad es de los 15 lps, suficientes para satisfacer las necesidades de una población de 5,000 habitantes.

METODOLOGÍA

Para realizar el levantamiento geofísico se utilizaron los siguientes instrumentos y equipos:

EQUIPO	
Cantidad	**Descripción**
1	Nilsson Model 400 (4-Pin Soil Resistance Meter)
2	Carretes de corriente de 150 mts
2	Carretes de corriente de 75 mts
2	Cintas métricas de 80 mts
1	Cintas métricas de 60 mts
4	Conectores
15	Electrodos
2	Mandarrias
1	Brújula
1	Vara
1	GPS
1	Tela señalizador
1	Voltímetro
Sombrilla, Tape, Spray, Machete, Lápiz, Papel	

Tabla 2. Hoja de campo para registro de datos y grafica preliminar

Hoja: Coordenadas:

Proyecto: Operador:

Ubicación: Fecha:

Coeficiente geométrico

K = pi [{b(b+a)/a}]. a= MN, b = AM=BN

No. Lectura	MN/2	AB/2	K	Lect.	Fact.	Resist. Apa. (ohm)	Prof (m)
1	0.25		1.25	9.42		0.63	
2	0.25		2.00	24.74		1.00	
3	0.25		2.75	47.12		1.38	
4	0.25		3.50	76.58		1.75	
5	0.25		4.25	113.10		2.13	
6	0.25		5.00	156.69		2.50	
7	1.00		5.00	37.70		2.50	
8	1.00		8.00	98.96		4.00	
9	1.00		11.00	188.50		5.50	
10	1.00		14.00	306.31		7.00	
11	1.00		17.00	452.39		8.50	
12	1.00		20.00	626.75		10.00	
13	4.00		20.00	150.80		10.00	
14	4.00		32.00	395.84		16.00	
15	4.00		44.00	753.98		22.00	
16	4.00		56.00	1225.22		28.00	
17	4.00		68.00	1809.56		34.00	
18	4.00		80.00	2507.00		40.00	

PROCEDIMIENTO DE CAMPO

El día martes 10 de mayo del 2016 se inició con una visita técnica preliminar en Monte de la Jagua con el objetivo de conocer la zona, saber su ubicación y como se llega, observando los posibles terrenos donde se pueda realizar el estudio e interactuando con los residentes de la zona que tienen construidos los pozos tubulares. Luego se realizó un mapa topográfico, georeferenciando los puntos, con el propósito de tener

más asequible la ubicación precisa de los acuíferos. La siguiente visita técnica preliminar efectuada el día 08 de Junio del 2016 se procedió a la ejecución de medir la resistividad eléctrica del terreno con los instrumentos mencionados anteriormente, siguiendo un sinnúmero de pasos, los cuales son:

1. Se debe tomar en cuenta trabajar paralelo a las montañas .2. Se acondicionó el terreno. 3. Se utilizó la brújula Brunton para indicar la dirección de una línea recta. 4. Luego de saber la dirección a seguir se utilizó una vara con una cinta de color visible y un spray indicando hasta qué punto se pudo observar con la brújula 5. Se midió el terreno con cintas métricas para medir el terreno. 6. Se seleccionó distancias de 136 Mts en total, para trabajar en el área, a 68 Mts de ambos lados, la misma se eligió dependiendo de las condiciones del terreno. 7. Se colocaron los electrodos a diferentes distancias con respecto a una tabla estándar, teniendo buen contacto con el suelo. Se procedió a la medición con el instrumento, conectando los cables del mismo en los electrodos. 8. Al final se registraron en las hojas preliminares las medidas proporcionada por el equipo, para el control de las mismas fue manipulado por un ayudante, moviendo el control de balance y el interruptor de la gama brindando la lectura y factor.

MEDICIÓN DE CAMPO

Para la medición de la resistividad en el campo se utilizó el instrumento NILSON 400, el mismo incluye una fuente generadora y detectora de corriente de onda cuadrada de frecuencia de 97 Hz (no industrial) siendo por lo tanto inmune a los campos eléctricos de corriente alterna o continua que normalmente pueden

presentarse en el campo o la ciudad. El equipo inyecta en el terreno una corriente y mide con buen grado de precisión la tensión generada en dicho terreno, de esta manera, conociendo la magnitud de la corriente inyectada y midiendo el valor de la tensión generada, puede obtenerse a resistencia eléctrica como el valor registrado por el equipo, y, finalmente para determinar la resistividad eléctrica se realiza un cálculo indirecto, multiplicando los valores de resistencia por una constante.

El mismo para ser utilizado se realizó con arreglo Schlumberger que es un dispositivo simétrico que debe cumplir con la condición de que la distancia que separa a AB debe ser mayor o igual que 5MN, requiriendo para su puesta en funcionamiento un operador, tres o cuatro ayudantes para mover los electrodos. Luego de establecer la ubicación del sondeo, la dirección de sus alas e instalar el instrumental de medición en el centro, se colocan los 4 electrodos (A M N B) de acuerdo al dispositivo, 2-electrodos nombrados potenciales o detectores (MN) de color rojo, en este caso se mantienen constantes cada 6 lecturas, los primeros 6 con una distancia de 0.25 metro, del 7 al 12 a 1.00 metro de distancia y de 13 a 19 con una distancia de 4.00 metros, y 2-electrodos inyectores de corriente (AB), las mediciones se realizan cambiando las distancias de los electrodos exteriores a partir de los electrodos centrales.

Este instrumento permitió obtener información para caracterizar los materiales que componen el terreno, mediante el espaciamiento de los electrodos en función de su posición y distancia. La profundidad a la que se realizaron los sondeos fueron en base de la separación AB, se llegó a dos profundidades debido a la poca resistividad que tenían estos terrenos, en el

primer terreno las berenjenas se llegó a los 44 Mts y un segundo terreno, los plátanos a 20 Mts., un aspecto importante para este estudio, fue mantener un voltaje bastante elevado para la obtención de las medidas en las áreas seleccionadas, reduciéndolo en función de la resistividad de los materiales del terreno. En este caso el aparato no poseía suficiente electricidad para continuar como se tenía planteado porque el terreno estudiado está compuesto de arcillas y las arcillas son muy resistivas ante el paso de la corriente.

Figura 1. Diagrama Schlumberger para medición de resistividad en el campo

Pesentación de los Resultados

El presente capítulo tiene el objetivo de mostrar detalladamente los resultados que se obtuvieron a través de la investigación realizada con ayuda del equipo Nilsson 400, para la lectura de las resistividades se seleccionó el método Schlumberger que consiste en hacer circular una corriente entre los terminales C1 a C2 (AB) y por consecuencia aparece una diferencia de potencial entre los terminales P1 y P2 (MN).

Presentación de datos

Tabla 3. Sondeo #1 y Gráfico Preliminar

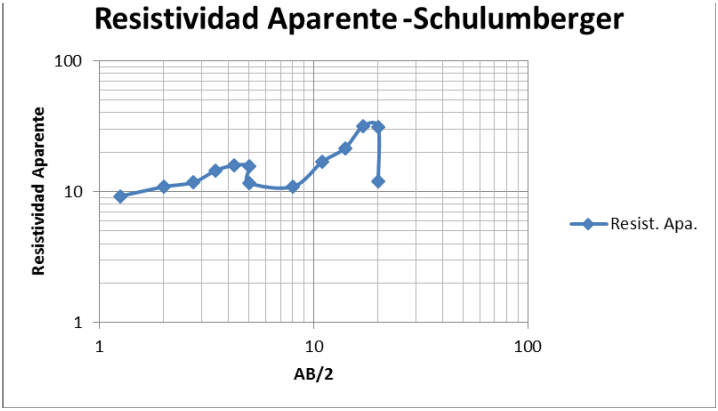
Pto	MN/2	AB/2	K	Lect.	Fact.	Resist. Apa. (ohm)	Prof (m)
1	0.25	1.25	9.42	10.60	0.1	9.9852	0.63
2	0.25	2.00	24.74	5.00	0.1	12.37	1.00
3	0.25	2.75	47.12	2.80	0.1	13.193	1.38
4	0.25	3.50	76.58	2.00	0.1	15.316	1.75
5	0.25	4.25	113.10	1.60	0.1	18.096	2.13
6	0.25	5.00	156.69	1.20	0.1	18.802	2.50
7	1.00	5.00	37.70	2.90	0.1	10.933	2.50
8	1.00	8.00	98.96	1.60	0.1	15.833	4.00
9	1.00	11.00	188.50	0.90	0.1	16.965	5.50
10	1.00	14.00	306.31	0.80	0.1	24.504	7.00
11	1.00	17.00	452.39	0.90	0.1	40.715	8.50
12	1.00	20.00	626.75	0.50	0.1	31.337	10.0
13	4.00	20.00	150.80	0.90	0.1	13.572	10.0
14	4.00	32.00	395.84	0.60	0.1	23.750	16.0
15	4.00	44.00	753.98	0.50	0.1	37.699	22.0

Según los datos presentados en la tabla anterior se observa que el instrumento solo pudo alcanzar 15 lecturas llegando a los 22 mts de profundidad, y en AB/2 44 mts que es la distancia máxima que alcanzaron los electrodos, donde la mayor lectura de resistividad aparente 0 fue de 40.7151 a los 8.50 mts de profundidad.

Tabla 4. Sondeo #2 y Gráfico Prelim0inar

Hoja: SONDEO #2 **Coordenadas:** 334060 E; 2143621 N
Proyecto: Terreno Reina (Los Plátanos) **Operador:** LABRAG1
Ubicación: Monte de la Jagua Abajo **Fecha:** 8/6/16

Pto	MN/2	AB/2	K	Lect.	Fact.	Resist. Apa. (ohm)	Prof (m)
1	0.25	1.25	9.42	9.80	0.1	9.2316	0.63
2	0.25	2.00	24.74	4.40	0.1	10.8856	1.00
3	0.25	2.75	47.12	2.50	0.1	11.78	1.38
4	0.25	3.50	76.58	1.90	0.1	14.5502	1.75
5	0.25	4.25	113.10	1.40	0.1	15.834	2.13
6	0.25	5.00	156.69	1.00	0.1	15.669	2.50
7	1.00	5.00	37.70	3.10	0.1	11.687	2.50
8	1.00	8.00	98.96	1.10	0.1	10.8856	4.00
9	1.00	11.00	188.50	0.90	0.1	16.965	5.50
10	1.00	14.00	306.31	0.70	0.1	21.4417	7.00
11	1.00	17.00	452.39	0.70	0.1	31.6673	8.50
12	1.00	20.00	626.75	0.50	0.1	31.3375	10.00
13	4.00	20.00	150.80	0.80	0.1	12.064	10.00



Según los datos presentados en la tabla anterior se observa que el instrumento solo pudo alcanzar 13 lecturas llegando hasta los 10 mts de profundidad, y en AB/2 20 mts que es la distancia máxima que alcanzaron los electrodos, donde la mayor lectura de resistividad aparente fue de 31.6673 a los 8.50 mts de profundidad.

Análisis y Discusión de los Resultados

Los resultados de las resistividades de los sondeos realizados en Monte de la Jagua son los siguientes: Tanto en el primer sondeo (las berenjenas) tabla #1, como en el segundo sondeo (los plátanos de Reina) tabla #2, las resistividades aparentes fueron muy bajas, lo que determina que son acuíferos de muy baja producción de agua. La litología que contiene son arcillas endorreicas expansivas (Esmécticas), (Auge, 2008) plantea que estas tienen resistividades de cero, (tabla #5), dándole validez a los resultados obtenidos.

¿Cómo interpretar la resistencia de los materiales al paso de la electricidad con la ayuda del método geofísico?

Se interpretó mediante la ayuda de la prospección geofísica sondeo eléctrico vertical, la cual es un método de exploración indirecta que inyecta corriente al subsuelo 29 donde los resultados van a depender de la litología que compone al mismo. Se utilizó el aparato Nilson 400 con arreglo Schlumberger, que cuenta con factores estándares, se escribieron los valores dados por el aparato a medida que se van moviendo los electrodos de corriente representados en la tabla como factor y lectura que al multiplicarlo con la constante K

nos da la resistividad aparente, se envían a una tabla de excel y la misma muestra una curva.

¿A qué profundidad se puede localizar el nivel freático, considerando la aplicación del método?

En el primer sondeo (La Berenjena), no se pudo localizar el nivel freático debido a que la abertura máxima de AB/2 fue de 44 mts. de distancia y 22 mts de profundidad. En el segundo sondeo (Los Plátanos), tampoco se pudo localizar el nivel freático debido a que la abertura máxima de AB/2 fue de 22 mtss de distancia y 10 mts de profundidad.

¿Cuáles áreas presentan las condiciones geológicas para desarrollar una campaña de perforación de pozos para captación?

Dentro de los resultados obtenidos en las áreas estudiadas, no se determinaron áreas con condiciones geológicas donde se pueda realizar campañas de perforación de pozos para la captaci0ón de aguas subterráneas.

CONCLUSIONES

Al realizar este levantamiento geofísico en la zona de estudio, se determinó por medio de los modelos obtenidos de Microsoft Excel 2010, las profundidades en los 2 sondeos realizados estuvieron entre 22 y 10m, comparándolo con los pozos existentes (Tabla 6) confirmó que los resultados están fuera de los rangos esperados. Se logró determinar la posible litología de la zona (Figura 3,4) dando como resultado que es una

capa de arcillas endorreicas expansivas (Esméctitas), lo cual hace que el terreno sea poco resistivo ante el paso de la corriente. El aparato Nilson 400 ayudó a la recopilación de datos en el campo, a la medición de resistividad de los terrenos, pero no tuvo la capacidad de inyectar la corriente necesaria para localizar el nivel freático.

Se determinó que si se llega a 100m de profundidad se podrían localizar acuíferos de muy baja producción de agua con caudales que oscilan entre 5 y 50 galones por minuto no aptos para la agricultura. Se utilizó el método Schlumberger porque se necesita menos personal, mayor rango de lectura y requiere menor tiempo de ejecución.

Se espera, que esta investigación sirva de utilidad a los habitantes de Monte de la Jagua y que en coordinación con otras instituciones puedan lograr la construcción de pozos tubulares exitosos. Cuando se requiera de la realización de perforación de pozos para agua subterránea es recomendable realizar un estudio mediante prospección geofísica, específicamente usando métodos geoléctricos, porque permiten determinar con mayor cercanía la profundidad del nivel freático, proporcionando una mejor información del área a perforar, reduciendo el riesgo de realizar perforaciones con un elevado costo económico.

Referencias

Abad. (2014). scribd. Obtenido de http://es.scribd.com/doc/54130836/Registro-de-Potencial-Espontaneo#scribd

Almonte. (7 de Abril de 2014). Vanguardia del pueblo. Obtenido de http://vanguardiadelpueblo.do/2014/04/07/el-agua-y-su-regimen-legal-en-la-republica-dominicana-ii/

Benito. (Sf). La Localización de aguas subterráneas para el abastecimiento mediante prospección geofísica de resistividades: Acuíferos de interior y costeros. Burgos.

BIBLIOGRAPHY Bernardo. (21 de Mayo de 2014). Think Big. Obtenido de http://blogthinkbig.com/experimentos-magnetismo/

Castillo. (Sf). Estudio de factibilidad hidrogeológica en la porción sur oriente de la ciudad de san juan del rio del Querétaro, aplicando los métodos electromagnéticos. San juan del rio del Querétaro.

Coro. (13 de Octubre de 2009). Scrib. Obtenido de http://proyectofactible6.blogspot.com/

Cortes. (2014). Análisis de los contenidos sobre "permeabilidad" en los libros de texto de Educación Primaria (Vol. 5). zaragosa: Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias.

EFE, A. (12 de Mayo de 2015). webs de EFE. Obtenido de http://www.efe.com/efe/america/sociedad/republica-dominicana-sufre-su-peor-sequia-en-20-anos/20000013-2610719

Eptisa. (2004). Informe de la unidad hidrogeológica del valle del Cibao. República Dominicana.

FAO. (24 de Septiembre de 2013). Obtenido de http://www.fao.org/home/es/ 34

Galvez. (2011). Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral de Recurso Hídrico. Peru.

Garcia. (2012). SlideShare. Obtenido de http://es.slideshare.net/nachoHL/resistencia-y-resistividad

Geofisica, A. (2007). www.alhgeofisica.com.ar. Obtenido de http://www.alhgeofisica.com.ar/sondeoelectricovertical.html

Gomez. (2013). SlideShare. Obtenido de http://es.slideshare.net/andres452/instrumentacion-transmisores Gonzalez. (06 de Febrero de 2012). Obtenido de http://www2.etcg.upc.edu/asg/engeol/pdf_files/1.2aluvial_txt.pdf Heininge. (04 de Octubre de 2013).

Jaquez. (3 de Diciembre de 2015). 3 diario 3. Obtenido de http://diariode3.com/sequia-reduce-dos-metros-cubicos-nivel-embalses/

Jimenez. (2013). geofísica aplicada a la búsqueda de agua subterránea en depósitos aluviales, caso de estudio arenas algaba. Cuba.

Muñoz. (2011). Aplicación de la Prospección Geofísica utilizando el Método Schlumberger para la Exploración del Agua Subterránea en Cantón los Magueyes, Colonia Santa Lucia, Municipio de Ahuachapan. San Salvador. 35

Orosco. (5 de Abril de 2011). Conceptosdedefinicion.de. Obtenido de http://conceptodefinicion.de/suelo/

Paz. (29 de Marzo de 2015). ADTECH. Obtenido de http://www.latercera.com/noticia/mundo/2015/03/678-623056-9-los-paises-que-desafian-la-sequia.shtml/

Ramirez. (Jueves 15, de Septiembre de 2011). Plantilla Simple. Con la tecnología de Blogger. Obtenido de http://xcaretramirez.blogspot.com/2011/09/metodos-geofisicos-aplicados-la-mineria.html

Randall. (Sf). Métodos alternos de geofísica en la búsqueda de agua subterránea. (Vol. 2). Mexico: Dom. Mineral de Valenciana

Rojas. (06 de Junio de 2001). INVESTIGACION. Obtenido de http://www.rojasyasociados.com/wp-content/uploads/2010/06/Los-porfidos-de-cobre-en-la-Republica-Argentina.-Latinomineria.-Enero-2001.pdf

Rodríguez. (Miércoles 20 de Marzo de 2013). Los Mocanos. Obtenido de http://www.losmocanos.com/web/locales/21986-ing-rafael-martinez-pone-en-funcionamiento-generador-electrico-en-monte-de-la-jagua

Santos. (2010). SlideShare. Obtenido de http://es.slideshare.net/FRANKFLORESRUBINA/prospeccion-geofisica-metodos 36

Urien (, P. (2006-2010). Mapa geológico de la república dominicana escala 1:50.000 Santiago de los caballeros (6074-ii). Republica Dpminicana.

Urien, P. (Diciembre de 2007-20010). Mapa Geológico de Santiago de los Caballeros (6074-II). República Dominicana.

Vasquez. (03 de Junio de 2013). Uciencia. Obtenido de http://uciencia.uma.es/Banco-de-Imagenes/Ciencia/Rocas-Sedimentaria-Arenitas.-Arenisca

Weinzettel. (2009). Utilización de tomografía eléctrica con distintas configuraciones y espaciamientos electródicos para la caracterización de la zona no saturada. Barcelona

MINERALOGÍA Y GEOQUÍMICA DE LOS ELEMENTOS DE TIERRAS RARAS ASOCIADOS A LOS DEPÓSITOS DE LATERITAS ALUMINÍFERAS

Auridis Altagracia Severino Díaz
Luis Ángel Mosquea García
Lisard Torró i Abat

Resumen

El depósito de bauxitas kársticas de Las Mercedes, situado en la Sierra de Bahoruco, zona sur de la República Dominicana, está ubicado en el núcleo de un sinclinal y, encajante en una (calizas) que corresponde a un wakestone de foraminíferos planctónicos y algún bentónico. Este depósito se caracteriza por la presencia de hematites, goethita, gibbsita, boehmita, nordstrandita, rutilo y anatasa. El depósito de Mercedes fue caracterizado como una bauxita rica en Fe, y con un alto grado de laterización.

Estas bauxitas por sus altos contendidos en Cr es probable que la fuente que originó este depósito sea de composición básica. El mismo tiene alto contenido en LREE, que presentan una clara correlación positiva con los óxidos mayores de Al, Fe y Ti. Debido a los contenidos de tierras raras las bauxitas de Mercedes se pueden considerar como una fuente no-convencional de REE.

Palabras claves: Bauxitas kársticas; geoquímica y mineralogía de REE; Las Mercedes; Sierra de Bahoru-

co, roca carbonatada (calizas), tierras raras, las menas bastnasita, monacita, loparita.

ABSTRACT:

The karst bauxite deposit of Las Mercedes, located in the Sierra de Bahoruco, southern zone of the Dominican Republic, is located in the nucleus of a syncline and, in a limestone, corresponding to a wakestone of planktonic foraminifera and some benthic. This deposit is characterized by the presence of hematite, goethite, gibbsite, boehmite, nordstrandite, rutile and anatase. The Mercedes deposit was characterized as a bauxite rich in Fe, and with a high degree of laterization.

These bauxites for their high Cr-contends are likely to have the basic source of this deposit. It has a high content of LREE, which presents a clear positive correlation with the higher Al, Fe and Ti oxides. Due to rare earth contents Mercedes bauxites can be considered as a non-conventional source of REE.

Keywords: Bauxite karst; Geochemistry and mineralogy of REE; The Mercedes; Sierra de Bahoruco, carbonated rock (limestone), rare earths, ores bastnasita, monacita, loparita.

INTRODUCCIÓN

En 2010, la Comisión de la Unión Europea definió 14 materiales críticos sobre la base de su importancia económica y su riesgo de suministro (CE, 2010). Entre estas materias críticas, las tierras raras (REE) se clasifican como de prioridad máxima. Estos elementos tienen aplicaciones en tecnologías de alta gama tales como las

denominadas verdes asociadas a las energías renovables, la reducción de gases de efecto invernadero y la eficiencia energética (volumen de *elements* dedicado a las REE en el 2012, Chakhmouradian y Wall, 2012).

La actual situación de tensión en el mercado de estos elementos es producto del cambio brusco en la política de exportación de China, máximo productor mundial, que puso de manifiesto la gran vulnerabilidad de las industrias occidentales dependientes de estas materias primas. Esta situación ha conllevado a que nuevos proyectos de exploración de recursos de tierras raras se hayan iniciado en todo el mundo.

Los recursos mundiales de tierras raras se encuentran principalmente en las menas bastnasita, monacita, loparita, y en arcillas ricas en REE (*EE.UU. Geological Survey, 2013*). Los mayores recursos mundiales de tierras raras son los depósitos de bastnasita asociados a rocas alcalinas y carbonatitas en China y los Estados Unidos, seguido de los depósitos de monacita en Australia, Brasil, China, India, Malasia, Sudáfrica, Sri Lanka, Tailandia y en los EE. UU. La mayor parte de los recursos mundiales restantes están contenidos en arcillas (*REE-bearing ion-adsorption clay*s) en el sur de China (Bao y Zhao, 2007; Foley et al., 2013).

Actualmente, ha llamado la atención de las compañías mineras los denominados "depósitos no convencionales de REE". Entre estos recursos, las lateritas (incluyendo las bauxitas) son consideradas un objetivo prioritario de exploración donde las tierras raras pueden ser concentradas durante los procesos de meteorización como resultado de su limitada movilidad en las aguas superficiales.

Los procesos intensos de meteorización química en las regiones tropicales pueden dar lugar a la formación de arcillas enriquecida en REE. En particular, el Escandio (Sc) es considerado una tierra rara ya que tiene propiedades físicas y químicas similares, ha sido descrito en concentraciones de hasta 390 ppm de Sc2O3, junto con otras REE a partir de residuos de bauxita de Jamaica (Wagh y Pinnock 1987). Una revisión publicada recientemente sobre los procesos metalúrgicos para la recuperación de las lateritas como "los recursos de escandio más prometedores para su producción" (Wang et al., 2011).

Las bauxitas representan la primera fuente mundial de Aluminio (Al), y brindan información muy valiosas para reconstrucciones paleoambientales (Freyssinet et al., 2005; Price et al., 1997). Estos depósitos se agrupan en dos grandes categoría en función de la naturaleza de la roca madre (Bárdossy, 1982): i) depósitos desarrollados sobre rocas carbonatadas (tipo kárstico), ii) depósitos desarrollados sobre rocas aluminosilicatadas (se dividen en dos subtipos: bauxitas lateríticas y tipos Tikhvin).

Muchos depósitos de bauxitas kársticas, desarrollados sobre rocas carbonatadas, están relativamente enriquecidos en REE (Mordberg, 1993) y en algunos casos como los depósitos de bauxitas de China, los contenidos de tierras raras alcanzan grados industriales (Wang et al., 2010). De acuerdo con los datos obtenidos por geólogos chinos, 3 cortezas de meteorización con contenidos de REE de 500 ppm (g/t) son viables económicamente (Bao y Zaho, 2007; Klyucharev et al., 2013). En muchos de los depósitos las reservas estimadas de estos elementos oscilan entre 5 y 10 toneladas. Las principales fases portadoras de REE son minera-

les del grupo de las arcillas, donde los elementos de tierras raras se encuentran adsorbidas en la superficie, y cómo minerales propios de estos (synchysita, bastnasita, cerianita, parisita, churchita, crandallita, goyazita, svanbergita-woodhousita, xenotima, thorita, florencita, rhadophana) (Mongelli, 1997; Mordberg, 1999, 2000; Horbe y Costa, 1999; Lanskou y Andreou, 2003; Mameli et al., 2007; Wang et al., 2010; Li et al., 2013).

La región del Caribe alberga recursos importantes de bauxitas, estos han sido extensamente explotados en Jamaica (Nelson et al., 2011). En la República Dominicana, en la Sierra de Bahoruco, también existen recursos de bauxitas (depósitos de Las Mercedes, Rancho Nuevo, Aceitillar, Hundidero, Canote, Güirito, indicios de Caña de Peblique, Llanos de Franco, Punta de la Colmena, entre otros) aunque adolecen de estudios mineralógicos y geoquímicos detallados (memorias de recursos minerales, de los cuadrantes circundantes a escala 1:100,000, del proyecto de desarrollo al sector geológico y minero de la República Dominicana, Programas SYSMIN II, 2007-2011). La mena bauxítica fue explotada en el período comprendido entre 1954 y 1983 por Alcoa Exploration Company, y entre 1989 y 1991 por la empresa Ideal Dominicana. Las reservas iniciales de bauxitas se estimaron en 28 millones de toneladas métricas (TM) de los cuales se han extraído alrededor de 16 (TM).

METODOLOGÍA

Diseño de investigación

La presente investigación se ubica dentro del diseño no experimental, del tipo transeccional exploratorio, ya que se describieron variables y se analizaron su

incidencia en un momento dado. La investigación es de carácter exploratorio debido a la falta de antecedentes y procesos analíticos desarrollados en la zona de interés. De la zona de estudio solo se cuenta con datos relativamente superficiales sobre el tema de investigación, de modo que, para la efectividad de la presente se crearon fundamentos propios, basado en conclusiones planteadas por diversos autores en depósitos de bauxitas del extranjero.

En cuanto al enfoque**,** para cumplir con los objetivos de esta investigación las variables fueron medidas y descritas en función de las características geológicas, petrológicas y mineralógicas presentes en los afloramientos rocosos; por este motivo el diseño apropiado para obtener la correcta interpretación y recolección de los datos, es el enfoque mixto. La selección de este diseño de investigación está basada en la interpretación de las principales características del enfoque mixto, el cual es recomendado para investigaciones que requieran de la combinación de los enfoques cualitativos y de los cuantitativos. (Hernández, Batista. 2003).

De acuerdo con Le Compte (1995), la investigación cualitativa se refiere a una categoría de diseños de investigación que extraen descripciones a partir de las observaciones que adoptan diversas formas: tales como observaciones y descripciones tomadas en el campo, interpretación de los mapas, fotografías de los afloramientos rocosos, etc.; las mismas dependerán del tipo de dato a colectar. De acuerdo con Robles (2000), la investigación cuantitativa tiene un control sistemático de una variable de otra. Manteniendo un control estricto de la situación a experimental, utilizando variables definida operacionales. Se basa en la recolección

de datos numéricos que se obtienen de la construcción de instrumentos de medición para la prueba de hipótesis. Acorde a lo planteado por estos autores presentado en los dos conceptos expuestos anteriormente la investigación es de enfoque mixto.

Operacionalización de las variables Objetivos específicos	**Variables**	**Medio de verificación**	**Indicadores**
a) Caracterizar desde un punto de vista geológico, mineralógico y geoquímico, las mineralizaciones de bauxitas.	a) Geología, mineralogía y geoquímica, de las mineralizaciones de bauxitas.	Con los resultados de los análisis geoquímicos de laboratorios.	- Geoquímica de elementos traza (REE, HFSE, LILE). - Modelos de balance masas.
b) Identificar la roca madre de los depósitos de bauxitas de la sierra de Bahoruco.	b) Roca madre de los depósitos de bauxitas de la sierra de Bahoruco.	Con los resultados de los análisis geoquímicos de laboratorios.	- Contenidos en óxidos de Al, Si y FE. - Geología regional.
c) Definir las condiciones físico-químicas y procesos de formación, que controlan la movilidad de las REE en ambiente bauxíticos.	c) Condiciones físico-químicas y procesos de formación, que controlan la movilidad de las REE en ambiente bauxíticos.	Con los resultados de los análisis mineralógicos y geoquímicos de laboratorios.	- Contenidos en elementos mayores y trazas.

d) Interpretar la morfología de los patrones de REE y su significado genético.	d) Morfología de los patrones de REE y su significado genético.	Con los resultados de los análisis químicos de laboratorios.	- Concentraciones en REE (LREE y HREE).
e) Determinar la potencialidad de las bauxitas de la sierra de Bahoruco como una fuente no-convencional de REE.	e) Potencialidad de las bauxitas de la sierra de Bahoruco como una fuente no-convencional de REE.	Con los resultados de los análisis químicos de laboratorios.	- Menas portadoras de REE. - Concentraciones en REE (LREE y HREE).

Métodos

El presente estudio es de método deductivo, ya que el método deductivo crea leyes a partir de la observación de los hechos, mediante la generalización del comportamiento observado, lo que realiza es una especie de generalización, sin que por medio de la lógica pueda comprobar una demostración de las citadas leyes o conjunto de conclusiones (Behar 2008).

Se acogió un método de investigación deductivo debido a lo planteado por Behar en el 2008, porque en la presente investigación se estudiaron a detalles los procesos de formación del yacimiento de bauxitas mediante evidencias geológicas en los perfiles del 23 yacimiento, es decir analizando los elementos de la formación para llegar a un concepto o ley siguiendo un proceso analítico-sintético.

Técnicas e instrumentos

Las técnicas utilizadas en la investigación fueron: registros de datos mediante una bitácora de trabajo de campo, piqueta, GPS, brújula, escalímetro, lupa, rayador, fotografías satelitales, software informático aplicado a la geología para la creación de mapas geológicos (ArcGis 10.2), y los mapas topográficos y geológicos de la provincia de Bahoruco a escala 1:50.000. Entre las técnicas analíticas de geoquímicas que se desarrollaron, están las siguientes: - Análisis geoquímicos de roca total para elementos mayores y traza mediante Fluorescencia de Rayos-X (XRF) e ICP-MS, respectivamente.

- Realización de láminas delgadas-pulidas, y de probetas pulidas. - Estudio petrográfico mediante microscopía óptica de luz reflejada y transmitida. - Caracterización mineralógica mediante difracción de Rayos-X, y micro-Raman. - Estudio mediante microscopía electrónica con analizador de energías (SEM-EDS). - Determinación de la composición química de las principales fases minerales mediante microsonda electrónica (EMPA).

Procedimientos

a) Para el presente estudio se cuenta con informaciones cartográficas y geoquímicas, proveniente de los trabajos desarrollado en el marco del Programa de la CartografíaGeotemática de la República Dominicana, Proyecto 1B, financiado en consideración de donación por la Unión Europea, a través, del programa SYSMIN II de soporte al sector geológico-minero (Programa CRIS 190-604, ex No 9 ACP

DO006/01). Estos trabajos se realizaron en el período 2007-2010 por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), formando parte del Consorcio IGME-BRGM-INYPSA, con normativas de realización, dirección y supervisión de la Dirección General de Minería de la República Dominicana.

b) Se realizó una cartografía de pequeña escala de las áreas de afloramiento de las mineralizaciones de bauxita. Mediante este tipo de cartografía se establece relaciones estructurales y petrológicas que se sometieron a corroboración con métodos analíticos subsecuentes. Esto fue posible con los datos del muestreo intensivo desarrollado en aquellas áreas seleccionadas para cartografía de detalle.

c) Se estudió las características de las mineralizaciones a distintos niveles del perfil de meteorización. Además, se seleccionó perfiles representativos para realizar el muestreo desde la zona superior hasta la roca madre. En especial, se estudió el espesor de los perfiles de meteorización y su posible correlación con cambios en el tipo de roca madre, topografía, condiciones de drenaje y nivel freático. En esta etapa se tomaron las muestras representativas para su caracterización mineralógica y geoquímica. En el caso de las muestras que fueron procesadas por (EPD+HS) (Fig. 4), se tomaron muestras de 2 a 3 kg. Además, se realizó mediciones in situ de Ph-Eh en el área de los yacimientos.

d) Se utilizó los datos arrojados por las mediciones de pH y Eh realizadas *in situ* y la toma de muestra de agua en el área de los yacimientos. Se determinó el grosor de los 25 perfiles de meteorización y su posible correlación con cambios litológicos en la roca

madre y con la topografía, para con esto determinar la distribución de las zonas minerales y composición química con la profundidad. Del mismo modo, se realizaron análisis de los elementos más inmóviles dentro de los perfiles para poder definir sus perfiles de concentración, y se midió la densidad de la roca (laterita) a distintas profundidades. Con esta información, se pueden calcular los valores de los factores de enriquecimiento volumétricos y másicos. Los trabajos de campo fueron realizados por los equipos del Servicio Geológico Nacional (SGN) y las Universidades de Barcelona (UB) y Granada, en dos campañas de muestreo de campo de 15 días cada una, los equipos de trabajos estaban formados por especialistas en conocimiento del terreno y geología local, en geología regional y estructural, en petrología, y yacimientos minerales.

Ya realizados los trabajos de campos y obtenidas las muestras a analizar para lograr los objetivos planteados se llevó un arduo proceso de análisis químico analítico mediante las siguientes técnicas y métodos:

Análisis químico de los elementos mayores y traza de las rocas mediante ICP-MS y XRF.

Para la obtención de los objetivos a, b y c, se trituró moliendo y pulverizando grandes cantidades de muestras (>2.5 kg) en molino de mandíbulas y posteriormente en un mortero eléctrico de ágata (Fig. 5; anexo I). Los elementos mayores y menores de transición (Sc, V, Cr y Ni) se determinaron mediante Fluorescencia de Rayos-X en las 26 Universidades de Barcelona y Granada, o en el GeoAnalytical Lab de la Washington State University (Estados Unidos). Los elementos tra-

za (Li, Co, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Cs, Ba, elementos de las tierras raras, Hf, Ta, Pb, Th y U) se analizaron por Espectrometría de Masas sobre Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-MS) en la Universidad de Granada.

Estudios mediante microscopía óptica, SEM-EDS, EMPA, LA-ICP-MS y RAMAN.

Para la obtención del objetivo d, se realizaron láminas delgadas pulidas y probetas pulidas (en la Universidad de Barcelona y Universidad de Granada). A partir de estas láminas y probetas se realizaron un estudio mineralógico y textural (mediante microscopía óptica, SEM-EDS) y se determinó la composición química de los minerales mediante microsonda electrónica (EMPA).

Por otra parte, los minerales que componen la mena bauxítica se caracterizaron mediante espectroscopía Raman. La espectroscopía micro-Raman constituye un método rápido, sencillo, fiable y no destructivo para identificar fases minerales. Cada una de estas especies minerales tiene unas vibraciones Raman específicas que permiten identificarlas mediante un análisis directo sobre las mismas secciones pulidas o láminas delgadas pulidas que se usan en microscopía óptica La espectroscopía micro-Raman constituye un complemento idóneo para las técnicas convencionales de identificación mineral (Difracción de Rayos X (SEM, EMPA). Los análisis serán realizados en los Centros Científicos y Tecnológicos de la Universidad de Barcelona (CCITUB).

Caracterización mediante Difracción de Rayos X (DRX).

1. Para lograr los objetivos a, c, e; en conjunto con la técnica a, las muestras fueron caracterizadas cualitativa y cuantitativamente mediante difracción de rayos X en la Universidad de Barcelona. La caracterización incluye diversas etapas, que por orden de complejidad son:

a) Simple caracterización de fases minerales bien conocidas; identificación y parámetros cristalinos.

b) Identificación y caracterización física (cristalinidad) de fases complejas, mal definidas, poco cristalinas o muy variables. Es conocida la existencia de fases complejas de este tipo de mineralización.

c) Caracterización, hasta donde sea posible, de nuevas fases no descritas anteriormente.

d) Cuantificación de las fases (% en peso o % en volumen). Todos los apartados anteriores, excepto el a) requieren métodos no estándares de: Preparación de la muestra;

2. Método experimental de medida de intensidades de difracción y,

3. Método de análisis de los datos.

A continuación se describen brevemente los equipos disponibles en la universidad de Barcelona, y los métodos de análisis que se utilizaron.

Según las características del material, la muestra puede ser en capilar, o en forma plana. En este caso, además puede ser un agregado orientado. Para cada una de estas muestras, pueden registrar las intensidades mediante: a) PSD (detector sensible a la posición,

120° (2θ); b) detector unidimensional gran angular posicionable (3° (2θ)); c) detector de posición (clásico). En las planas, además, puede ser muy útil combinar difracción con temperatura, para registrar procesos como deshidratación y oxidación-reducción. Las intensidades de difracción del material policristalino se analizaron para identificar las fases (mediante los softwares de "search" habituales).

Métodos y técnicas de análisis de datos

Mediantes las técnicas mencionadas y descritas en el apartado anterior se realizaron diagramas binarios utilizando el software informático aplicado a la geología para interpretación geoquímica GCDkit 4.00, y se realizaron tablas en donde se presentan detalladamente las concentraciones mineralógicas de REE y minerales de bauxitas. Además mediante software especializado del campo de investigación se realizaron gráficas donde se presentan las variaciones en las concentraciones en ppm de cada los REE en los depósitos de bauxitas de acuerdo a las muestras estudiadas. Así mismo, se realizaron diagramas de normalización de REE a condritos.

Las preparaciones de las muestras para aplicarles las técnicas analíticas se realizaron en la Universidad de Barcelona.

RESULTADOS

Petrografía y mineralogía de los depósitos de bauxita de la Sierra de Bahoruco

Descripción petrográfica

Se estudiaron 8 secciones delgadas pulidas y 3 probetas pulidas. Las secciones delgadas corresponden a las muestras: M-P4-1; M-P7-1; M-P8-2, M-P8-3, M-P8-4, M-P8-5; M-P9-1 y M-P11-1. Las probetas corresponden a las muestras M-P8-3, M-P8-4 y M-P8-5. Las descripciones de las muestras más carbonatadas (representativas del encajante) siguen un esquema en el cual se definen los componentes (esqueléticos y no esqueléticos), la porosidad (primaria y secundaria), los cementos y se les otorga un nombre según la clasificación de Dunham (1962). Mientras, las muestras más bauxitizadas han sido descritas siguiendo un esquema basado en características texturales y mineralógicas. Ésta se basa en la identificación de los componentes petrográficos (ooides, pisoides, clastos), la identificación de la matriz, la porosidad, los cementos y se le otorga un nombre en función de la textura dominante.

Como se puede observar en la figura 8 las muestras más carbonatadas corresponden al encajante de las bauxitas. En las muestras menos meteorizadas (figura 8a) se puede caracterizar el carbonato encajante de las bauxitas que corresponde a un wakestone de foraminíferos planctónicos y algún bentónico que no han sido identificados. Las imágenes b, c, d, e, f, g, h e i muestran texturas de meteorización mucho más avanzadas. En ellas se puede observar como la roca carbonatada, que al principio presentaba una porosidad primaria interparticular, va siendo remplazada por 31 oxihidróxidos

de hierro. Los oxihidróxidos de hierro forman concreciones esferulíticas de distintos tamaños (desde 20μm hasta >250 μm) que se clasifican como ooides, pisoides o clastos en aumentar su tamaño.

En la mayoría de casos la porosidad secundaria vacuolar, o "vug", que viene dada por la disolución de los carbonatos durante la bauxitización queda rellenada por cementos de calcita blocky (figura h). En otros casos, se observa como los clastos de carbonato primario quedan envueltos por un cemento ferruginoso y llegan a formar pisoides complejos como los de la figura f. La génesis de este tipo de rocas es muy compleja, ya que los ambientes de formación, las fracturas, la permeabilidad, el clima y la geomorfología de la zona condicionan mucho la textura final que se observan.

En algunos casos como los oolitos de oxihidróxidos de hierro pueden llegar a ser transportados y depositarse en bandas que luego quedan cementadas por carbonatos. En otros, como en la figura h, solo se observa principalmente aglomeraciones masivas de oxihidróxidos de hierro con fracturas rellenadas por calcita. Las figuras j, k y l corresponden a fotografías de las probetas estudiadas con microscopía de luz reflejada.

Estas muestras se han clasificado como bauxitas pues más del 80% de la roca está formada por oxihidróxidos de hierro y aluminio. En estas muestras se observa principalmente hematites y goethita formando pisolitos como en la Figura j. En la figura k se observa porosidad vacuolar y pisolitos complejos con un núcleo anguloso que va siendo redondeado por cementos tardíos de oxihidróxidos de hierro. La Figura l corresponde a una textura masiva formada por hematites y goethita.

Análisis y Discusión de los Resultados

Clasificación geoquímica de los depósitos de bauxitas

Presentando los datos de Fe2O3-SiO2-Al2O3 en un diagrama ternario, se puede clasificar el tipo de depósito de bauxitas y determinar el grado de laterización (Bardossy, 1982). Todas las muestras analizadas del depósito de Mercedes quedan situadas dentro de la zona de bauxita rica en hierro (iron-rich bauxite), excepto una (M-P9-1) que cae dentro del campo de bauxita arcillosa (clayey bauxite), esto debido a que corresponde a un carbonato (Fig. 18a y véase tabla 1).

Rocas madre (fuente) y bauxitización

Si se representan los contenidos en zirconio (Zr), cromo (Cr) y galio (Ga), de las muestras del depósito de Mercedes en un diagrama ternario similar al utilizado por 45 .Ordóñez et al. (1990), se puede obtener datos relativos del carácter de la roca madre de las bauxitas de origen kárstico. Para la interpretación del mismo se ha elegido el zirconio (Zr) como elemento "propio" de rocas ácidas y/o intermedias, el cromo (Cr) de las rocas ultrabásicas y, el galio (Ga) es utilizado como un elemento relativamente neutro.

Insertando los campos correspondientes a las rocas ácidas, intermedias, básicas y ultrabásicas definidos por Ozlü (1983), las muestras estudiadas quedan incluidas, en su mayoría, en el campo correspondiente a las rocas básicas y ultrabásicas (Fig. 19). Por ello se sostiene que el depósito de bauxitas de Mercedes situado en la Sierra de Bahoruco al suroeste de la Republica Dominicana, se ha originado con influencia de una roca madre de composición básica o ultrabásica.

Se afirma que este depósito de bauxitas se originó bajo influencia de las rocas basálticas pertenecientes a la Formación Dumisseau, ya que son los únicos materiales volcánicos de composición basálticas presentes en toda la Península de Bahoruco (Pérez-Valera, 2010). Esta formación aflora en la Sierra de Bahoruco y continua hasta la Republica Haití, en el territorio dominicano esta aflora en núcleo de escala kilométrica, en anticlinales con rumbo NW-SE, esta formación por lo general ocupa zonas topográficamente deprimidas (Llinás, 1972; De León, 1989; Abad, 2010; Joubert, 2010; Pérez-Valera, 2010; Escuder-Viruete et al., 2016). La formación Dumisseau consiste en una secuencia con aproximadamente 1.5 kilómetros de espesor de coladas de basaltos y depósitos piroclastos, depósitos menores de sedimentos volcanogénicos e intrusiones doleríticas de diques y sills (Escuder-Viruete, 2010).

La petrografía principal observada en la Formación Dumisseau son basaltos olivínicos, basaltos con clinopiroxenos (augita rica en Ti), basaltos con orto y clinopiroxeno, basaltos andesiticos con plagioclasas y basaltos afaniticos (Escuder-Viruete, 2010). Esta formación fue cartografiada en las hojas de la Ciénega 5970-II, Polo, Enriquillo y La Salina, al noreste de la zona de estudio (Proyecto SYSMIN II-01B). (Fig. 1).

Según Escuder-Viruete et al., (2016), basado en el contenido de TiO2, patrón multi-elementos y los valores de los coeficientes de elementos traza incompatibles, en la Formación Dumisseau se pueden identificar tres grupos geoquímicos de basaltos: los de bajo Ti las toleitas (grupo I); los de alto Ti o basaltos transicionales (grupo II); y basaltos alcalinos de altos Ti y enriquecidos en LREE (grupo III).

El grupo I está compuesto por flujos de basaltos y diques microgabroico/doleríticos, que tienen composiciones de magma primitivos o ligeramente fraccionadas (Mg# = 66-49). Para contenidos relativamente altos de MgO, el contenido de TiO2, Zr y Nb es bajo (Escuder-Viruete et al., 2016).

El grupo II está compuesto por lavas basálticas de transición, que tienen composiciones ligeramente fraccionadas (Mg # = 57-52). Para intervalos similares de MgO, el contenido de TiO2, Zr y Nb son más altos que los del grupo I. El contenido de Cr, Ni y Th también son comparativamente altos. Los valores Nb/Y son típicos de magmas de transición (Escuder-Viruete et al., 2016).

El grupo III contiene olivino, clinopiroxeno y plagioclasas en basaltos, que tienen composiciones moderadamente fraccionadas (Mg# = 52-45). Este grupo tiene los más altos contenidos de TiO2, las lavas de este grupo presentan altos contenidos en Fe. Este grupo también presenta contenidos altos en CaO, que puede ser debido a la acumulación de plagioclasas en los magmas y / o a los procesos de carbonatación durante alteración tardía, tal como se sugiere por los valores alto de LOI. Cabe resaltar, que lo valores de Nb/Y son típicos de magmas alcalinos (Escuder-Viruete et al., 2016). Los basaltos del grupo III presentan un fuerte enriquecimiento general en REE, así como un enriquecimiento relativo en LREE con respecto a MREE y HREE que mimetiza los patrones de REE normalizadas para bauxitas que han sido mostrados en este proyecto.

Condiciones físico-químicas de formación de la mineralización de REE y, Factores que controlan la distribución de las REE.

Analizando el diagrama de normalización a condritos C1 de las REE del depósito de Mercedes, se observa que el patrón representado en la gráfica para las distintas muestras del depósito de Mercedes es muy semejante. Además, los datos de geoquímicas se evaluaron mediante análisis de coeficiente de correlación. Correlacionando los datos de las tablas 1 y 6 para las muestras de bauxitas del depósito de Mercedes, queda claro que la formación de REE está relacionado con minerales como diáspora, goethita, anatasa, ilmenita, rutilo o minerales arcillosos (Wang et al., 2010).

Los minerales de REE tales como la cerianita formados durante la meteorización son unos excelentes indicadores de una atmósfera oxidante (Pan y Stauffer, 2000). Por lo tanto, condiciones de meteorización oxidante comúnmente favorece la formación de la misma (CeO2) (Akagi y Masuda, 1998; Braun et al., 1990, 1998; Mongelli, 1997).

Dos mecanismos que podrían acidificar el suelo son la lixiviación de la roca madre durante una etapa temprana y la lluvia ácida asociada a una actividad volcánica que habría afectado la biota de la tierra y la ecología, o la formación de los suelos gruesos y ácidos orgánicos asociados con el desarrollo de una extensa vegetación en un clima tropical (Öztürk et al., 2002). En lo que, la única actividad volcánica registrada en la Sierra de Bahoruco corresponde a la Formación Dumisseau; no obstante, el volcanismo en esta formación (Campaniense superior-Eoceno inferior; Escuder-Viruete et al., 2016) fue muy anterior a la formación de las

bauxitas (Plioceno-Holoceno; Pérez-Valera, 2010). Por tanto consideramos que la afectación por acidificación asociada a volcanismo debe ser descartada en el caso de la bauxitización en el depósito de Romero.

En general, la meteorización de los minerales de la roca madre causa movilización de los elementos y fraccionamiento de LREE y HREE, de Ce y/o Eu (Hill et al., 2000; Ji et al., 2004; Karadağ et al., 2009; MacLean et al., 1997; Patino et al., 2003) citados por Li et al. (2013). Por lo tanto, los REE se liberan de los minerales primarios y son adsorbidos por ó sobre todos los tipos de minerales y asociaciones amorfas de las superficies durante el proceso de caolinización y lateritización (Karadağ et al., 2009).

El pH es el parámetro dominante para la movilidad de los REE. Bajo condiciones acidas, los REE son fácilmente removidos del material meteorizado, y los mismos precipitan bajo condiciones neutras o alcalinas (Fleet, 1984; Karadağ et al., 2009; Nesbitt, 1979).

La relación La/Y puede utilizarse como un juicio para determinar el carácter ácido o básico del medio de sedimentación, enunciación expuesta por Zuk-Pocekutov et al. (1986) y modificada por Crnicki (1987) y citada en Crnicki y Jurkovic (1989). De 50 acuerdo a estos autores, relaciones de La/Y superiores a uno indican un medio de deposición alcalino, mientras que valores de esta relación inferiores a uno indican un medio de sedimentación ácido (Ordóñez et al., 1990). Observando los datos de esta relación para las muestras del depósito de Mercedes, todos están por debajo de la unidad, caracterizando el medio de sedimentación en que se originó el mismo en un medio ácido.

De acuerdo a Ordóñez et al., (1990), la anomalía de europio puede interpretarse en relación con el carácter heredado, o bien en relación con la reducción del Eu+3 a Eu+2, hecho éste que puede tener lugar bajo condiciones moderadamente reductoras. En la tabla 6 se observa que estos valores son muy similares. Si representamos en un diagrama binario la relación Eu/Eu* con la de La/Y, lo que podría representar una representación Eh-pH del medio de sedimentación, si se observa la figura 21 casi en su mayoría las muestras del depósitos el Mercedes tantos las muestras de bauxitas como de carbonatos-bauxitas caen en la zona I, por lo que se sugiere que el depósito de Mercedes se originó en un medio ácido y moderadamente reductor durante su proceso de meteorización.

Interpretación de la morfología de los patrones de REE y su significado genético

El patrón de normalización de REE a condritos de las bauxitas de Mercedes muestra un enriquecimiento en LREE y un empobrecimiento en HREE con respecto a Condritos C1. Igualmente, se puede destacar la existencia de una depresión en los contenidos relativos en europio en prácticamente todas las muestras, depresión que suele caracterizar un ambiente reductor, datos que corroboran la información obtenida por las relaciones La/Y-Eu/Eu* representada en un diagrama binario (fig. 21). Esta anomalía positiva en cerio se puede deber a los contenidos de cerianita en las muestras estudiadas de este depósito (fig. 15b). La presencia de este mineral de Ce, se representa en la morfología del patrón de REE e induce la clara anomalía positiva de este elemento en el depósito (Mongelli, 1997; Wang et al., 2010).

Estudios anteriores han planteado que la anomalía de Eu se origina durante una intensa meteorización (Mameli et al, 2007; Mongelli, 1997), información que se corrobora con las obtenidas en la figura 18b. No obstante, se revela que los minerales de tierras raras estudiados en este trabajo contienen pequeñas cantidades de Sm, y poco Eu, lo que significa un pequeño fraccionamiento entre el Sm, y el Eu y, por lo tanto, la anomalía de Eu puede cambiar suavemente durante la formación del mineral (Wang et al., 2010).

De igual forma, existe una depresión en los contenidos relativos en cerio, pero, todas las muestras del depósito de Mercedes presentan anomalías positivas en dichos elementos (tabla 6). Además hay que hacer notar, que al igual que sucedía con los elementos 52 mayores, menores y trazas, en las tierras raras se observa una alta correlación en todas las muestras del depósito.

Si se observan los diagramas de correlación REE, LREE y HREE frente los elementos mayores (fig. 12-14) y, se relacionan con los datos de las tablas 1 y 6, se puede concluir que el enriquecimiento en REE está relacionado con minerales como diáspora, goethita, anatasa, ilmenita, rutilo o minerales arcillosos (Wang et al., 2010).

Potencialidad de las bauxitas como una fuente no-convencional de REE.

Generalmente las bauxitas se consideran como una fuente potencial de REE. Esto es en parte porque el aluminio y el galio extraído de bauxita parecen ser más importantes y, en parte porque el contenido de metales

raros de bauxita no ha sido suficientemente estudiado y no se encuentran en todas las bauxitas (Klyucharev et al., 2013).

De acuerdo a la investigación realizadas por Ordoñez et al. (1990) en las bauxitas kársticas del Noreste de la Península Ibérica en esta se encontraron valores de ΣREE de 698.67 ppm y 512.36 ppm, con promedio de ΣREE de 286.55 ppm. Por su lado, Karadag et al. (2009) en la bauxita de Mortas (al sur de Turquía) determinó que los contenidos en ΣREE de las muestras estudiadas de este depósito, excepto la piedra caliza de Katrangedigi tienen promedios de 54.6ppm variando entre 282 y 986 ppm.

Además, Bonig et al. (2013) en sus estudios sobre los depósitos de bauxitas kársticas en el sur de Apeninos, en Italia mostraron un contenido total de REE de 1,454 ppm, y un promedio en todos los depósitos de bauxitas, con valores de 550 ppm del total de REE en la parte superior del perfil de Regia Piana. El contenido de LREE (La-Eu) en las 53 muestras, varían entre 200 y 1,400 ppm, y el contenido de HREE (Gd-Lu) están siempre cerca de 40 a 80 ppm.

De modo, que si se comparan las concentraciones obtenidas en las muestras de bauxitas estudiadas del depósito de Mercedes con estos depósitos de bauxitas, se puede notar que estas tienen valores relativamente altos (ΣREE = 977.5 - 1159.97 ppm) con respecto a los encontrados por estos investigadores en los otros depósito de bauxitas; para un promedio (de 1079.50 ppm) valores superiores a los encontrados por Ordoñez et al. (1990) y a los encontrados por Karadag et al. (2009).

Como se muestra en los resultados obtenidos en esta investigación el depósito de bauxita de Mercedes presenta contenidos importantes de tierras raras muy superiores a los de otros depósitos de bauxitas, por lo que esta puede ser considerada como una potencial fuente no-convencional de REE.

Conclusiones

Los datos de tierras raras y de elementos trazas indican que el depósito de bauxitas de Mercedes se originó a partir de roca madre de composición básicas o ultrabásicas. Las principales fases portadoras de REE en las bauxitas del depósito de Mercedes, corresponden a monacitas, con cristales semi-euhedrales y óxidos de tierras raras (principalmente cerianita). Por los datos adquiridos con la relaciones La/Y y la anomalía de Eu/Eu*, se determina que el depósito de bauxitas de Mercedes se formó bajo condiciones ácidas y moderadamente reductoras.

De acuerdo con los datos obtenidos por geólogos chinos, cortezas de meteorización con contenidos de REE de 500 ppm (g/t) son viables económicamente (Bao y Zaho, 2007; Klyucharev et al., 2013). De modo que los datos de REE obtenidos en esta investigación (tabla 6), son superiores a los 500 ppm, se determina que el depósito de bauxita de Mercedes se considera como una fuente no-convencional de REE.

Referencias

Abad, M.,(2010). Mapa Geológico de la Hoja a E. 1:50.000 n° 5969-I (Enriquillo) y Memoria correspondien-

te. Proyecto 1B de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Programa SYSMIN. Dirección General de Minería, Santo Domingo. (202 pp.).

Akagi, T., Masuda, A., (1998), A simple thermodynamic interpretation of Ce anomaly. Geochemical Journal, v. 32, p. 301–314.

Bao, Z., and Zhao, Z., (2007), Geochemistry of mineralization with exchangeable REY in the weathering crusts of granitic rocks in south China: Ore Geology Reviews, v. 33, p. 519–535.

Behar, D.,(2008), Introducción a la Metodología de la Investigación: Editorial Shalom, p.40.

Braun, J.J., Viers, J., Dupré, B., Polve, M., Ndam, J., Muller, J.P., (1998), Solid/liquid REE fractionation in the lateritic system of Goyoum, East Cameroon: the implication for the present dynamics of the soil covers of the humid tropical regions. Geochimica et Cosmochimica Acta, v. p. 62, 273–299.

Braun, J.J., Pagel, M., Muller, J.P., Bilong, P., Michard, A., Guillet, B., 1990, Cerium anomalies in lateritic profiles. Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 54, p. 781–795.

Bonig, M., Rollinson, G., Mondillo, N., Balassone, G., Santoro, L., 2013, Quantitative Mineralogical Characterization of Karst Bauxite Deposits in the Southern Apennines Italy, Society of Economic Geologists, Inc: Economic Geology, v. 108, p. 813–833.

Boynton, W.V., (1984), Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: Henderson, P. (Ed.), Rare Earth Element Geochemistry. Elsevier, Amsterdam, p. 63–114.

Crnicki, J., (1987), Lanthanides in Bauxites of Croatia and their Significance in the genetical interpretation. Tesis, Uni. Zagreb, p. 180.

De León, R.O., (1989), Geología de la Sierra de Bahoruco (República Dominicana): Museo Nacional de Historia Natural, Santo Domingo, p. 112.

Dmitry S. Klyucharev, Nataliya M. Volkova, Mikhail F. Comyn, 2013, The problems associated with using non-conventional rare-earth minerals: Institute of Mineralogy,Geochemistry, and Crystal Chemistry of Rare Elements (IMGRE) of MNRE RF, Moscow, Russia, Journal of Geochemical Exploration, v. 133, p.138–148.

Dunham, R.J., (1962), Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Texture. In, W.E. Hamm (Ed.), Classification of Carbonate Rocks, A Symposium. American Association of Petroleum Geologists, p. 108-121.

Escuder-Viruete, J., Joubert, M., Abad, M., Pérez-Valera, F., Gabites, J., 2016. The basaltic volcanism of the Dumisseau Formation in the Sierra de Bahoruco,

SWDominican Republic: A record of themantle plume-related magmatism of the Caribbean Large Igneous Province, Lithos, v. 254–255, p. 67–83.

Escuder-Viruete, J., (2010). Mapa Geológico de la República Dominicana E. 1:50.000.

Informe (Parte 1) de Petrología de Rocas Ígneas y Metamórficas, Hojas de Polo, La Ciénaga, Enriquillo, Sabana Buey y Nizao. Dirección General de Minería, Santo Domingo, p. 33.

Fleet, A.J., (1984), Aqueous and sedimentary geochemistry of the rare earth elements. In: Hendersonm, P. (Ed.), Rare Earth Element Geochemistry. Elsevier, p. 343–373.

Foley, N.K., De Vivo, B., Salminen, R.,(2013), Rare Earth Elements: The role of geology, exploration, and analytical geochemistry in ensuring diverse sources of supply and a globally sustainable resource Journal of: Geochemical Exploration, v. 133, p. 1–5.

Freyssinet Ph, Butt C.R.M., Morris, R.C., (2005), Ore-forming processes related to lateritic weathering: Economic Geology 100th Anniversary, p. 681-722.

Hernández, R., Fernández, C., Baptista, P., (2003), Metodología de la investigación: tercera edición, Mc Graw Hill, p. 188.

Hill, I.G., Worden, R.H., Meighan, I.G., 2000, Geochemical evolution of a palaeolaterite: the Interbasaltic Formation, Northern Ireland. Chemical Geology, v. 166, p. 65–84.

Horbe, A., and Costa, M., (1999), Geochemical evolution of a lateritic Sn–Zr–Th–Nb–Y–REE bearing ore body derived from apogranite the case of Pitinga, Amazonas—Brazil: Journal of Geochemical Exploration, v. 66, p.339–351.

Horvath, L., y Peter, Z., (1984), Geochemical Investigations of the Iharkut bauxite. Travaux, v. 14-15, p. 101-116.

Ji, H.B., Wang, S.J., Ouyang, Z.Y., Zhang, S., Sun, C.X., Liu, X.M., Zhou, D.Q., (2004), Geochemistry of red residua underlying dolomites in karst terrains of Yunnan–Guizhou plateau: II. The mobility of rare earth elements during weathering. Chemical Geology, v. 203, p. 29–50.

Joubert, M., (2010). Mapa Geológico de la Hoja a E. 1:50.000 n° 5970-II (La Ciénaga) y Memoria correspondiente. Proyecto 1B de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Programa SYS-

MIN. Dirección General de Minería, Santo Domingo, v. 202.

Karadag, M.M., Kupeli, S., Arýk, F., Ayhan, A., Zedef, V., Doyen, A., (2009), Rare earth element (REE) geochemistry and genetic implications of the Mortas bauxite deposit(Seydisehir/Konya – Southern Turkey): Chemie der Erde, v. 69, p. 143–159.

Klein, C., Hurlbut, C. S., (1959,) .Manual de Mineralogía: 2da edición. Editorial Reverté, S. A. p. 239-521.

Li, Zaihui., Din, Jun., Xu, Jinsha., Liao, Chaogui., Yin, Fuguang., L, Tao., Cheng, Li., Li,Junmin.,(2013) . Discovery of the REE minerals in the Wulong–Nanchuan bauxite deposits Chongqing, China: Insights on conditions of formation and processes. Journal of Geochemical Exploration, v. 133, p. 88–102.

Maksimovic, Z., y Roaldset, E., 1971, Lanthanide Elements in some Mediterraneankarstic bauxite deposits: Travaux, v. 13, p. 199-220.

Mameli, P., Mongelli, G., Oggiano, G., Dinelli, E., (2007). Geological, geochemical and mineralogical features of some bauxite deposits from Nurra (Western Sardinia, Italy): insights on conditions of formation and parental affinity. International Journal of Earth Sciences, v. 96, p. 887–902.

Maurasse, F.J. M., G., Husler, J., Georges, G., Schmitt, R., Damond, P., (1979), Upraised Caribbean sea-floor below acoustic reflector B" and the Southern Peninsula of Haiti. Geologie en Mijnbuow, v. 8, p. 71-83.

MacLean, W.H., Bonavia, F.F., Sanna, G., (1997), Argillite debris converted to bauxite during karst weathering: evidence from immobile element geoche-

mistry at the Olmedo Deposit, Sardinia. Mineralium Deposita, v. 32, p. 607–616.

Meschede, M., 1986, A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram. Chemical Geology, v. 56, p. 207-218.

Mordberg, L.E., Stanley, C.J., Germann, K., (2000), Rare earth element anomalies in crandallite group minerals from the Schugorsk bauxite deposit, Timan, Russia: European Journal of Mineralogy, v. 12, p. 1229–1243.

Nesbitt, H.W., (1979), Mobility and fractionation of rare earth elements during weathering of a granodiorite. Nature, v. 279, p. 206–210.

Nelson, C.E., Proenza, J.A., Lewis, J.F., Lopez-Kramer, J., (2011), The metallogenic Evolution of the 409 Greater Antilles: Geologica Acta, v. 9, p. 229-264.

Ordóñez S., (1987), Investigación de menas aluminosas del Noreste de España. ITGE,Madrid (inédito).

Oti, M. N., (1987), Geochemical and textural charactenzation of laterites of Southeastern Nigena. Chem. Geol., v. 60, p. 63-72.

Öztürk, H., Hein, J.R., Hanilçi, N., (2002). Genesis of the Doğankuzu and Mortaş bauxite deposits, Taurides, Turkey: separation of Al, Fe, and Mn and implications for passive margin metallogeny. Economic Geology, v. 97, p. 1063–1077.

Patino, L.C., Velbel, M.A., Price, J.R., Wade, J.A., (2003), Trace element mobility during spheroidal weathering of basalts and andesites in Hawaii and Guatemala. Chemical Geology, v. 202, p. 343–364.

Pearce, J.A., (1996), A user's guide to basalt discrimination diagrams. In: Wyman, D. A.

(Eds.), Trace element geochemistry of volcanic rocks; applications for massive sulphide exploration. Geological Association of Canada, Short Course Notes, v. 12, p. 79-113.

Pérez-Valera, F., Abad, M., (2010). Informe Estratigráfico y Sedimentológico. Proyecto De Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Programa SYSMIN, Proyect 1B. Consorcio IGME-BRGM-INYPSA. Dirección General de Minería, Santo Domingo (168 pp.).

Pindell J.L., Draper G., (1991), Stratigraphy and geological history of the Puerto Plata area,northern Dominican Republic. In: Geologic and tectonic development of the NorthAmerica-Caribbean plate boundary in Hispaniola (Mann P., Draper G., Lewis J.F.Eds.), Geological Society of America Special Paper, v. 262, p. 97-114.

Price, G.D., Valdes, P.J., Sellwood, B.W., (1997), Prediction of modern bauxite occurrence: implications for climate reconstructtion. Palaeogeography,Palae oclimatology, Palaeoecology, v. 131, p. 1 - 13.

Schellman,W., (1986,) A newdefinition of laterite. In: Banerji, P.K. (Ed.), Lateritisation Processes. Geological Survey of India Memoir, v. 120, p. 11–17.

Tuo, B., Wang, J.l., Qin, Z., (2007), Occurrence and utilization of rare earth element in bauxite: Chinese Rare Earths, v. 28, p. 117–119.

Van Den Berghe, B., (1983), Evolution sedimetaire et structurale depuis le Paleocene desecteur “Massif de la Selle-Barouco-Nord de la Ride de Beata” dans l◎orogene nor Caraibe (Hispaniola Grandes Antilles). These de doctorat, Universidad Marie y Pierre Curie, Paris, p. 205.

Wagh, A.S., Pinnock, W.R., (1987), Occurrence of scandium and rare earth elements inJamaican bauxite waste: Economic Geology v. 82: p. 757–761.

Wang, Y.X., Li, H.M., Yang, J.D., Qiu, L.W., Chai, D.H., Chen, P., (2000,) Discovery ofpalaeoweathering type rare and rare earth element deposits in Northern China and its significance Geological: Journal of China Universities, v. 6, p. 605–607.

Winchester, J.A., and Floyd, P.A., (1977), Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements: Chemical Geology, v. 20, p. 325-343.

Wood, D. A., (1980), The application of a Th-Hf- Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal Planetary Science Letters, v. 50, p. 11-30.

Yang, J.C.,Wang, F.L., Li, D.S., Fei, Y.C.,Wang, L.,(2004), Investigation on occurrence and trend of rare and rare-earth elements associated in bauxite: Mining and Metallurgy, v. 13, p. 9–92.

Ye, X., Paroo, Z., Liu, Q. (2007). Functional anatomy of the Drosophila MicroRNA-generating enzyme: J. Biol. Chem, v. 282(39), p. 28373-28378.

Zaihui Li, Jun Din, Jinsha Xu, Chaogui Liao, Fuguang Yin, Tao Lu, Li Cheng, Junmin Li., (2013), Discovery of the REE minerals in the Wulong–Nanchuan bauxite deposits, Chongqing, China: Insights on conditions of formation and processes. Journal of Geochemical Exploration, v. 133, p. 88–102.

Zuk-Pocekutov, K. A.; Serdobova, L. J.; Kataeva, Z. T.; Andraeva, J. P.; Rjabova, T. V., Y Lagunova, E. V., (1986), REE in anhydrites of the Kacharskaye iron-ore deposito Geochimija, v. 5, p.630-635.

CARACTERIZACIÓN KÁRSTICA Y EXPLORACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE POZOS PARA EL ABASTECIMIENTO AGROPECUARIO, MUNICIPIO DE RÍO SAN JUAN

Armando Suárez Rodríguez
Berenice Matías Marte
Denny Altagracia Saldivar Reyes

Resumen

El área objeto de estudio está enmarcada en un paisaje kárstico ubicado en el paraje Alto del Macao, sección Mata Puerco, Municipio de Río San Juan, provincia María Trinidad Sánchez. Debido a la gran importancia que poseen estos tipos de acuíferos, se ha considerado importante realizar este proyecto investigativo para poder obtener informaciones relevantes a cerca de este tipo de morfología y a la vez conocer cómo influye en la formación de acuíferos en la zona de estudio. Esta investigación estuvo basada en el diseño no experimental de tipo exploratoria y descriptiva, de enfoque mixto. Las técnicas que se utilizaron en esta investigación fueron: Análisis geológico y geomorfológico del karst, aplicación del método geofísico H/V (Tromino) para delimitar áreas de estructuras kársticas, la observación y reconocimiento de campo. Se determinó la presencia de múltiples dolinas y uvalas, están compuestas de rellenos residuales, se ubican como puntos de inundación, sirviendo estas como lagunas temporales en los meses más lluvioso del año y otras permanentes

en las estaciones seca, lo que corrobora que estamos en un área almacenadora de agua. Se determinó que la karstificación se extiende de manera superficial en todo el perímetro del área de acuerdo a las manifestaciones presente, en cambio a profundidad no se pudo delimitar la estructura. El método geofísico H/V no permitió dar con precisión los límites de la estructura kárstica, debido a la poca frecuencia en el suelo, no hay amplificación.

Palabras Claves: Paisaje kárstico, morfología, formación de acuíferos, geomorfológico del karst, dolinas y uvalas, karstificación, estructuras kársticas, litologías calcáreas (calizas), mogote kárstico.

ABSTRACT:

The area under study is framed in a karstic landscape located in Alto de Macao, section Puerco Mata, Municipality of Río San Juan, province Maria Trinidad Sánchez. Due to the great importance of these types of aquifers, it has been considered important to carry out this research project in order to obtain relevant information about this type of morphology and at the same time to know how it influences the formation of aquifers in the study area. This research was based on the non-experimental design of an exploratory and descriptive, mixed-focus type. The techniques used in this research were: Geological and geomorphological analysis of Karst, application of the H / V (Tromino) geophysical method to delimit areas of karst structures, observation and field recognition. The presence of multiple dolinas and uvalas were determined, they are composed of residual fillings, they are located as flood points, serving as temporary lagoons in the raini-

est months of the year and other permanent ones in the dry seasons, which corroborates that we are in a Water storage area. It was determined that karstification extends superficially around the perimeter of the area according to the present manifestations, but in depth could not delimit the structure. The H / V geophysical method did not allow to give precise limits of the karst structure, due to the low frequency in the soil, there is no amplification.

Keywords: Karstic landscape, morphology, formation of aquifers, karst geomorphological, dolinas and uvalas, karstification, karst structures, limestone lithologies, karst mogote.

INTRODUCCIÓN

Los acuíferos kársticos son una importante fuente de recursos de agua potable, por lo general muy vulnerable a la contaminación, la cual puede penetrar fácilmente a través de sumideros, simas, dolinas o mediante su infiltración en el subsuelo, y viajar rápidamente por fracturas y conductos (Göppert & Godscheider, 2008).

El potencial hidrogeológico de la República Dominicana presenta un 60% de la disponibilidad de los recursos hídricos, donde el grado de presión sobre el recurso es del orden del 49% de la oferta hídrica, lo que manifiesta la importancia de este vital recurso y la necesidad de promover su protección y conservación (Rodríguez & Febrillet, 2006).

Según el artículo Acuíferos Kársticos Costeros, (Fernández, Baquero, Lorca, & Verdejo Serrano, 1986), los acuíferos kársticos costeros presentan gran interés

por sus importantes recursos y, frecuentemente, por ubicarse en zonas de gran demanda de agua. En estos acuíferos litorales tienen lugar procesos geoquímicos, que pueden acelerar el incremento de la permeabilidad secundaria, a través de disolución de conductos kársticos.

Para el presente estudio se ha seleccionado la Formación los Haitises, la cual ocupa la extensión del área del proyecto, esta formación se enmarca en la Unidad Hidrogeológica nº 5 de la Cordillera Septentrional, y de forma más concreta, a cabalgamiento entre sus subunidades de Sabaneta-El Choco, al oeste, y Cabo Francés-Guaconejo, al este, cuyas características están representadas por litologías calcáreas (calizas), con grado de permeabilidad muy alto debido a la karstificación y fracturación, lo cual genera acuíferos libres de muy alta productividad. Esta formación ha sido una de las más estudiadas en el país debido a las características expuestas, donde se ha reconocido su origen, características y disponibilidad (Gonzales R. A., 2010).

El caso tipo del área a evaluar es el mogote kárstico que es una manifestación geomorfológica particular de la zona intertropical de la tierra. El término "mogote" y sus derivados "mogote kárstico" o "karst de mogotes" está ampliamente extendido en la región Caribe y en América Central para identificar cerros o colinas de dimensiones de decenas de metros; regiones características son Chiapas y Yucatán en México, Los Órganos en Cuba, Puerto Rico y Cockpit en Jamaica. Conceptualmente, en la República Dominicana está el Promontorio de Cabrera que es un acuífero carbonatado. Los karst de mogotes se hallan representados en diferentes puntos del país entre la localidad de Imbert, en la cos-

ta septentrional, a la de Sabana de la Mar, al sur de la bahía de Samaná incluyendo la península del mismo nombre. Sin embargo sus manifestaciones no son equivalentes, y desde el turmkarst al oeste de Puerto Plata hasta el kuppenkarst de Río San Juan, pasando por los kegelkarst de Jamao, Samaná y Los Haitises, su extensión, posición y respuestas morfológicas son diferentes, aunque todos ellos dentro de un régimen climático hiperhúmedo como denominador común (Díaz & Cámara, 2003).

La estación San Juan, es un punto de aforo que se encuentra situado en el sector noroeste de la subunidad Cabo Francés-Guaconejo y controla las salidas que se producen a través del río San Juan antes de desembocar al mar. La mayor parte del cauce discurre sobre depósitos poco permeables constituidos por materiales metamórficos indiferenciados, rocas plutónicas y terciarios margo arenosos. El último tramo del río está drenando las calizas arrecifales pliocenas de la Cabrera, a la salida de las cuales, se encuentra el punto de aforo utilizado por el programa SYSMIN fase II (proyecto INDRHI-EPTISA, 2004), durante el estudio hidrogeológico de la cordillera septentrional. Según sus observaciones, la falta de un aforo a la entrada de dicho afloramiento, impide tener un dato diferencial con el que poder calcular los aportes generados como consecuencia del drenaje de dichos materiales.

En la zona sur de la subunidad existen ríos que drenan sus aguas hacia la Unidad Hidrogeológica (U.H) de Valle del Cibao (subunidad del Yuna), como son los ríos Quinigua y Cenoví, ambos de escasa importancia en cabecera. En esta zona se localiza uno de los manantiales inventariados durante el proyecto antes mencionado.

Por último, en la subunidad Cabo Francés-Guaconejo se identifica una red principal de cauces superficiales que desembocan en la zona oriental de la subunidad, con un eje principal oeste-este marcado por el río Boba, el más importante de la subunidad y en segundo término, por el río Baquí, también de gran importancia. Los ríos de esta zona discurren prácticamente en su totalidad por materiales permeables. El río Baquí drena el borde sur del afloramiento de las calizas arrecifales pliocenas (Plc) de la Cabrera, la unidad de mayor interés hidrogeológico de la U.H. de cordillera septentrional, así como los depósitos cuaternarios, mientras que el río Boba drena los materiales meridionales (Calizas arrecifales pliocenas del sur de la subunidad (Plc) y depósitos cuaternarios (Qa y Qal)). Este sector de la subunidad Cabo Francés-Guaconejo tiene una importante zona de regadío que aprovecha tanto las aguas superficiales como las subterráneas.

De acuerdo a (EPTISA, 2004) en el sector noroeste se observa una pequeña serie de ríos y arroyos (como el Caño Claro y el Caño Azul) de corto recorrido en dirección sur-norte, que discurren, fundamentalmente, sobre materiales poco permeables como son las rocas plutónicas (RPi), las metamórficas indiferenciadas (MTi) y los depósitos terciarios indiferenciados (Ti). En este sector, el río San Juan en su último tramo drena las calizas arrecifales pliocenas (Plc) de la Cabrera, donde se puede observar uno de los dos manantiales inventariados de la Cordillera Septentrional. Los ríos de esta subunidad son, en su mayoría, de naturaleza drenante o ganadora con respecto a los materiales permeables por los que circulan.

METODOLOGÍA

En esta parte se describen los pasos a realizar para la obtención de información en la caracterización kárstica y exploración hidrogeológica de pozos para el abastecimiento agropecuario, en el paraje Alto del Macao, sección Mata Puerco, Municipio Río San Juan, y la forma de presentación de los resultados.

Diseño de la investigación

Esta investigación se desarrolló bajo el diseño no experimental. Según el autor (Martins & Palella, 2010), define: El diseño no experimental es el que se realiza sin manipular en forma deliberada ninguna variable. El investigador no sustituye intencionalmente las variables independientes. Se observan los hechos tal y como se presentan en su contexto real y en un tiempo determinado o no, para luego analizarlos. Por lo tanto en este diseño no se construye una situación específica, se observa las que existen.

Tipo de investigación

El tipo de investigación que se realizó fue la exploratoria y la descriptiva. Según el autor (G. Arias, 2012) la investigación exploratoria es aquella que se efectúa sobre un tema u objeto desconocido o poco estudiado, por lo que sus resultados constituyen una visión aproximada de dicho objeto, es decir, un nivel superficial de conocimientos.

Según el autor (Fidias, 2012) la investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su

estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere.

Enfoque de la investigación

La investigación tiene un enfoque mixto. (Johnson & Onwuegbuzie, 2004) Definieron los diseños mixtos como el tipo de estudio donde el investigador mezcla o combina técnicas de investigación, métodos, enfoques, conceptos o lenguaje cuantitativo o cualitativo en un sólo estudio

Técnicas e instrumentos

Las técnicas que se utilizaron en esta investigación fueron: Análisis geológico y geomorfológico del karst, aplicación del método geofísico H/V (Tromino) para delimitar áreas de estructuras kársticas, la observación y reconocimiento de campo. El análisis geológico y geomorfológico se realizó tomando como base la memoria geológica y geomorfológica correspondiente al área de estudio.

El método geofísico H/V se realizó con el Tromino, el cual, es un instrumento sin cables externos, muy pequeño tamaño (10 x 14 x 8 cm), peso muy ligero (~ 1 kg), (ver en anexos), con un consumo muy bajo: alimentado por 2 baterías AA estándar (1,5 V); diseñado para logra el reconocimiento de la respuesta dinámica de subsuelos (frecuencias de resonancia, rigidez del subsuelo, etc.). El reconocimiento de campo se realizó mediante visitas en el área de interés.

Procedimientos

1) Se llenó un formulario para solicitud del tema de investigación.
2) Elaboración del instrumento
3) Se solicitó una carta al decano de la facultad para las visitas de campo
4) Se llevó a cabo un estudio general de la zona mediante la revisión de literatura, visitas de campo, análisis geológico y geomorfológico,
5) Con el uso del método geofísico HV (Tromino) se delimitaron las áreas de estructuras kársticas.
6) Se aplicaron los instrumentos de recolección y análisis de datos obtenidos.
7) Se presentó un informe de los resultados obtenidos de la investigación, los cuales serán instrumento base para la toma de decisiones en la zona de estudios y como referencia en casos similares.
8) Se elaboraron matas del área de estudio
9) Se analizó de manera macroscópica el suelo

Análisis de datos

Utilizando la memoria geológica y geomorfológica se realizó un análisis detallado de las estructuras kársticas presentes en la zona y como estas influyen en el acuífero. Para el análisis de los registros y la obtención de las frecuencias H/V se utilizó preferentemente el programa GeoPsy, software de código abierto para la investigación y aplicación geofísica.

A modo de comparación, se utilizó también el programa Grilla, nativo de Micromed Tromino, para

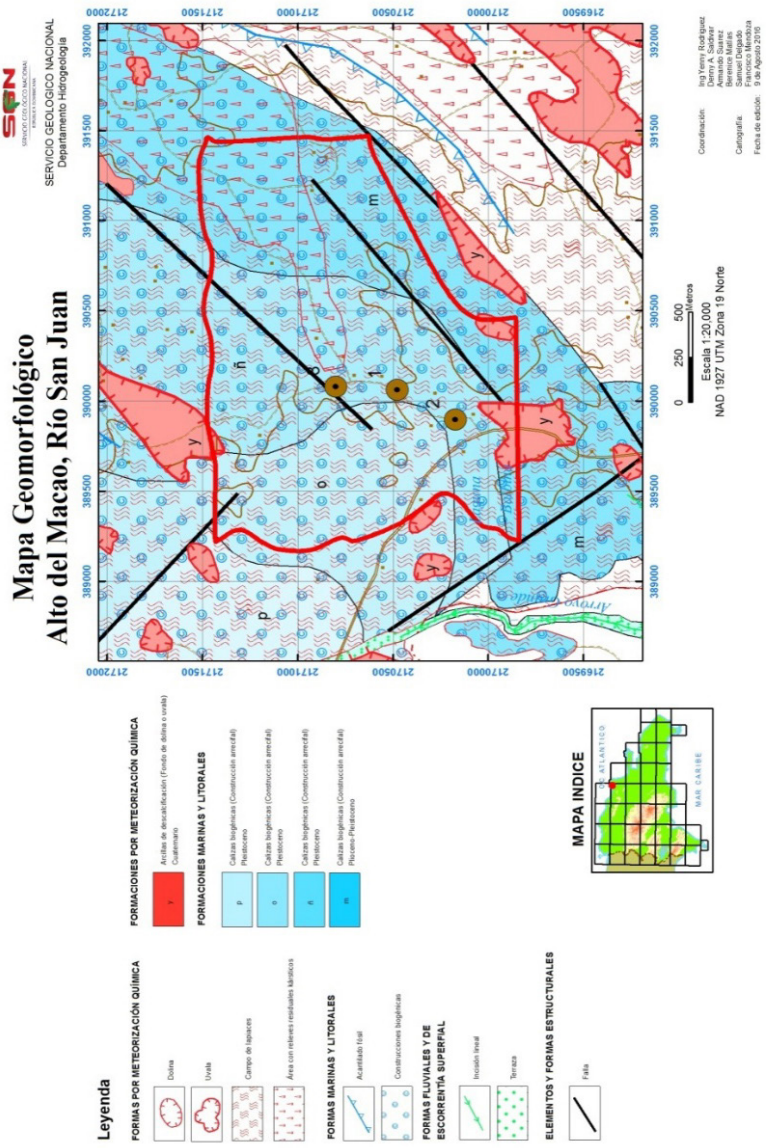
el análisis de los registros y la obtención de los valores. Durante el análisis GeoPsy se calculó la razón espectral. El proceso incluye: segmentación del registro completo en ventanas de 120 segundos, aplicación de ventana y suavizamiento del espectro de Fourier.

Posteriormente se busca y se anota de forma automática la frecuencia para el máximo valor de H/V en una ventana de 0.1 a 20 Hz (esto quiere decir que no se consideran en la selección valores de frecuencia menores que 0.1 Hz o mayores que 20 Hz).

PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en el proceso de investigación a través de mapas y figuras, tomando en cuenta cada una de las variables e indicadores involucrados en la misma.

Mapa 2: Geomorfológico



Fuente: Mapa Geomorfológico escala 1:100,000, Servicio Geológico Nacional, 2010.

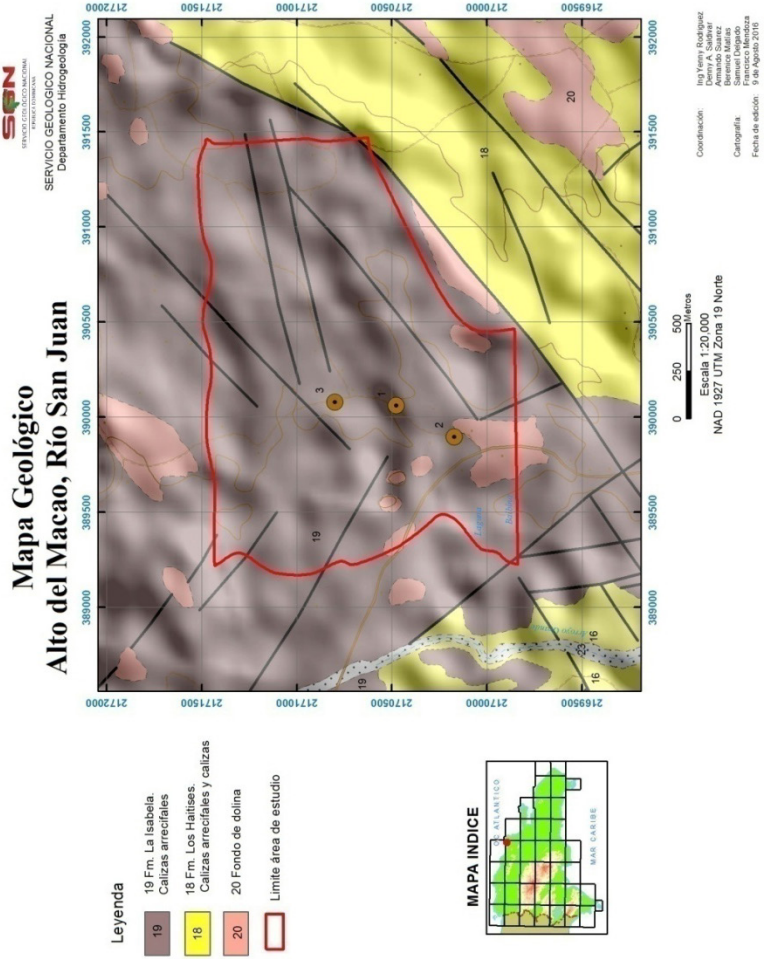
El mapa geomorfológico presenta los puntos tomados en campo, las formaciones kársticas, las fallas que afectan el área, entre otros.

Las calizas biogénicas representan una parte importante de las calizas en general. Deben su origen a la formación de conchas, caparazones y esqueletos duros por parte de diversos organismos animales y vegetales (algas, foraminíferos, corales, moluscos, caracoles, etc.) y a su posterior sedimentación (Otto & B., 1985).

Los fondos de dolinas se asocian a los afloramientos calizos de las formaciones La Isabela y Los Haitises, localizados en el sector nororiental, adquiriendo un desarrollo especial en los niveles superiores del Promontorio de Cabrera. Corresponden a arcillas rojas de aspecto masivo, producto de la descalcificación de los materiales calcáreos por la acción de procesos kársticos, generalmente en relación con dolinas y úvalas, aunque en algunos lugares del promontorio la alteración se ha producido sin relación con este tipo de formas y sí a favor de superficies. Su espesor varía considerablemente en función de la efectividad de los procesos de disolución, pudiendo superar los 3 m.

Estructura Geológica

Mapa 3: Geológico



Fuente: Mapa Geológico escala 1:50,000, Servicio Geológico Nacional, 2010.

El Mapa geológico presenta el conjunto de fallas predominantes en la zona y las formaciones que la conforman. En el Mioceno Superior-Pleistoceno tuvo lugar la sedimentación, principalmente carbonatada, de las formaciones Los Haitises y La Isabela, también fracturadas por la tectónica de desgarres sinistros. La deformación por fracturación continúa hasta la actualidad, dando lugar a la elevación del complejo en una culminación antiformal de escala kilométrica.

Caliza

Las calizas arrecifales y calizas presentes en el área de estudio corresponden a las formaciones la Isabela y los Haitises. Las calizas arrecifales y calizas fracturadas son de permeabilidad muy alta por karstificación. Las calizas arrecifales presentan un alto contenido de algas y corales.

Extensión

Para delimitar el área kárstica se empleó el método geofísico H/V (Tromino). Se realizaron tres mediciones de microvibraciones de 20 minutos cada una, en el paraje Alto de Macao, municipio Río San Juan, (ver imágenes en anexos). Para la toma de datos en terreno, el Tromino fue orientado según el norte magnético utilizando la brújula y la ubicación de cada punto fue controlada por un GPS. Se realizaron tres puntos de medición los cuales fueron ubicados en línea recta a unos 380 metros aproximadamente.

En las figuran siguientes se presentan los datos obtenidos en cada punto con sus respectivas coordenadas.

Long: 390108

Lat: 2170555

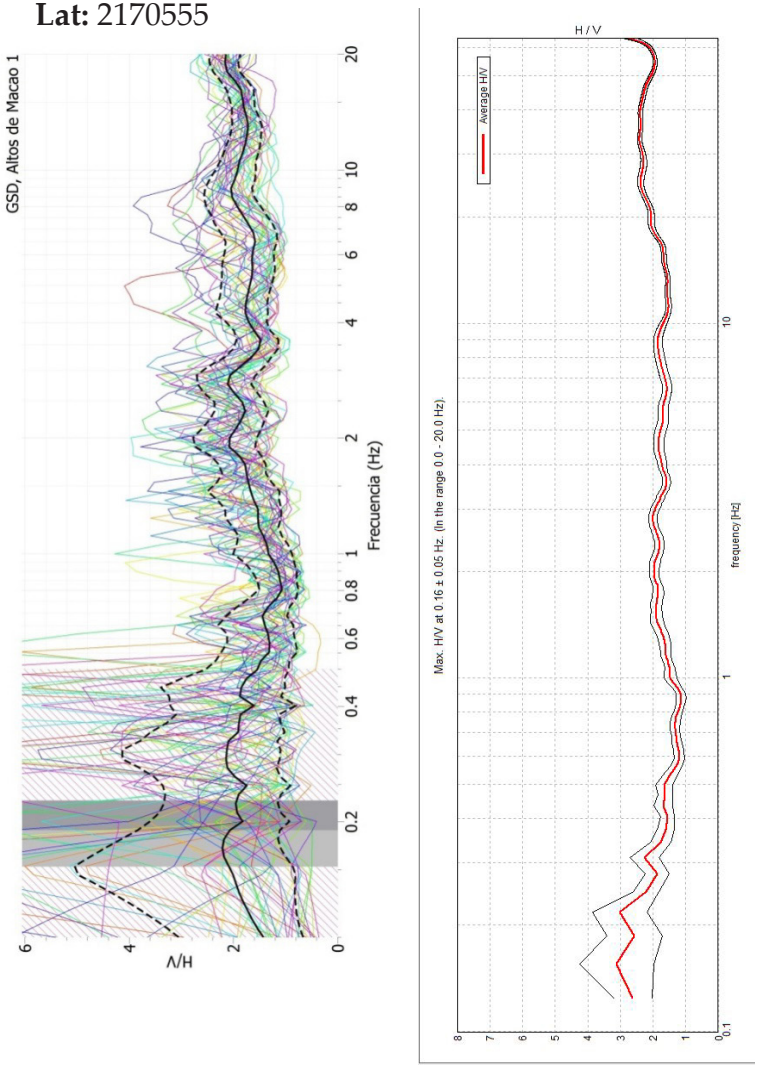


Figura 1: Curvas H/V obtenidas en el punto 1. Esta figura presenta la frecuencia y amplificación de las ondas en el subsuelo, los picos de onda se presentan de forma homogénea. Las ondas de mayor elevación fueron producidas por ruidos de vehículos y por personas.

Long: 389943

Lat: 2170251

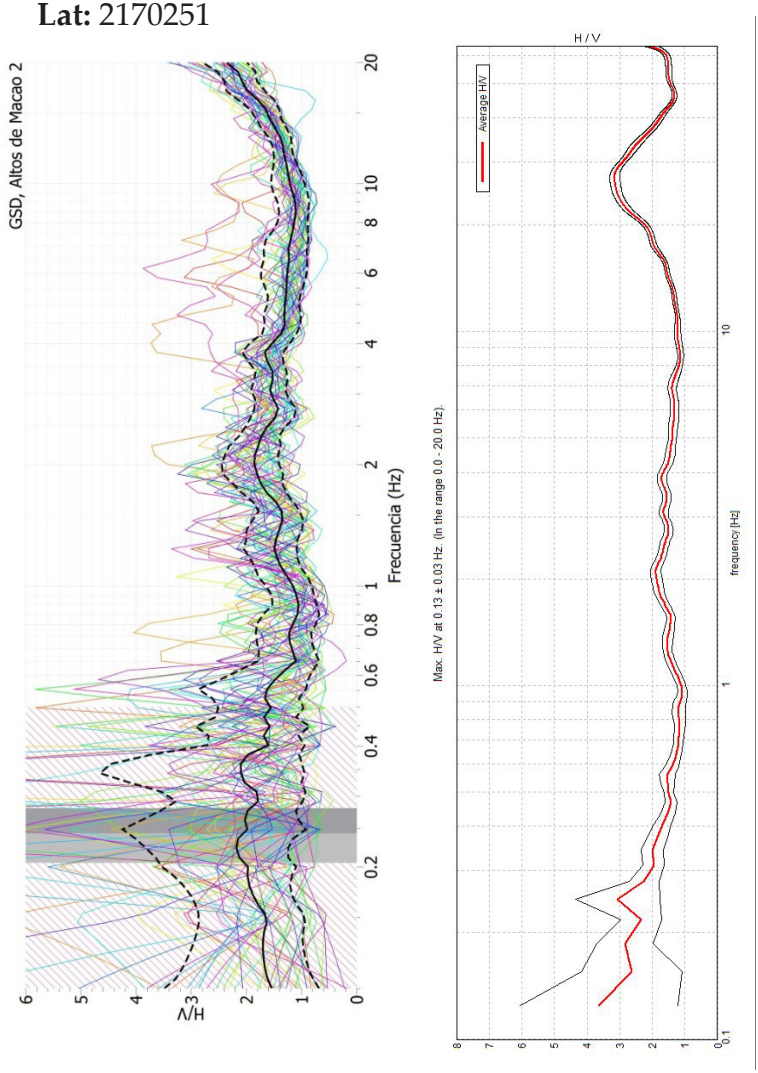


Figura 2: Curvas H/V obtenidas en el punto 2. En este punto las ondas son menos homogéneas debido a la interrupción de onda producida por personas, el pico más elevado fue producido por el paso de un vehículo en el tiempo de 14 a 20 minutos.

Long: 390127

Lat: 2170879

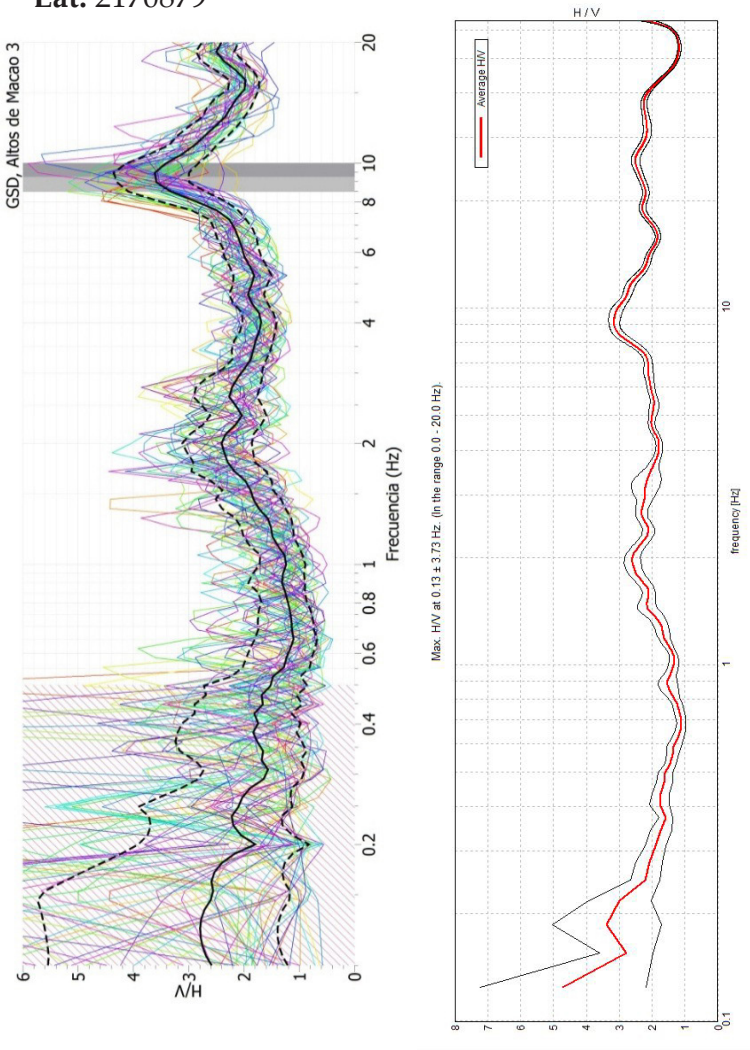
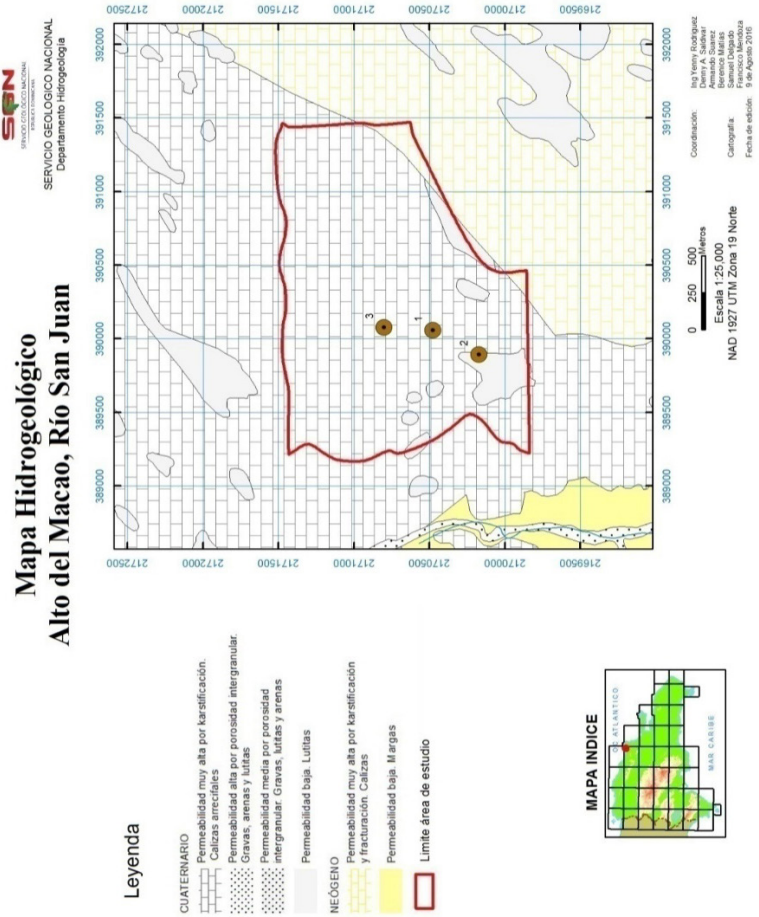


Figura 3: Curvas H/V obtenidas en el punto 3. En este punto las longitudes de ondas fueron afectadas por el fuerte viento, ocasionado por una onda tropical. El pico más alto fue producido por el ruido de una sierra eléctrica, en tiempo de 8 a 10 minutos.

Suelo

Mapa 4: Hidrogeológico



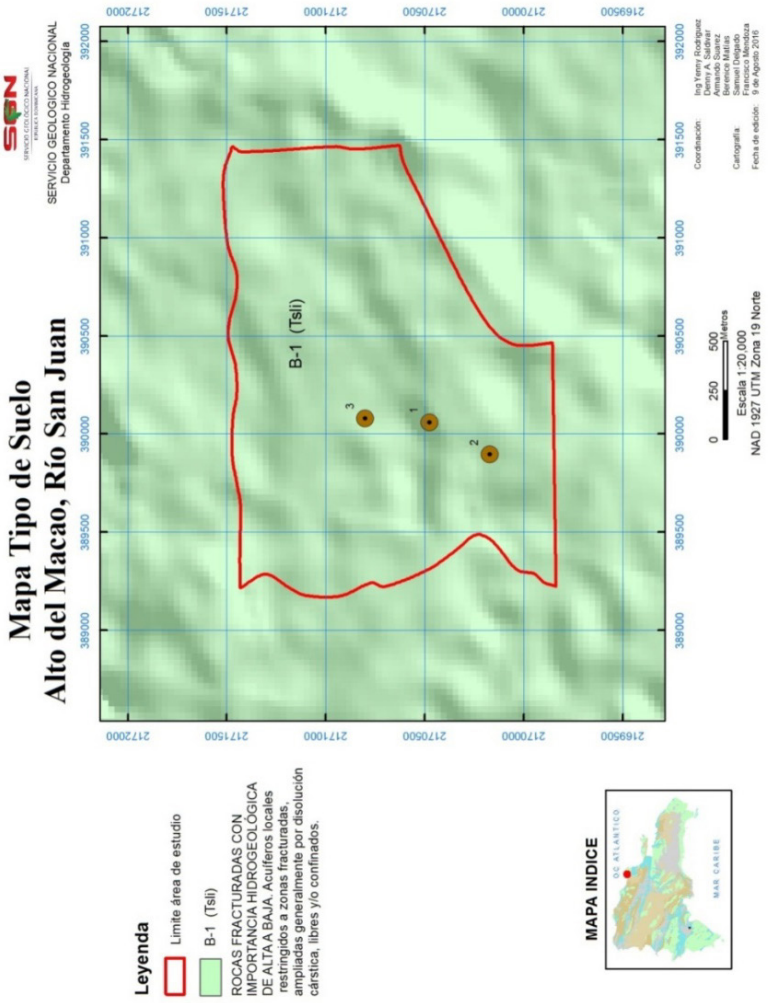
Fuente: Mapa Geológico escala 1:50,000, Servicio Geológico Nacional, 2010.

El mapa hidrogeológico presenta el grado de permeabilidad de acuerdo al tipo de litología del suelo. El área de estudio está constituida por formaciones del cuaternario de permeabilidad muy alta por karstificación. Calizas arrecifales (puntos 1 y 3) en su mayor parte, con algunas intercalaciones de permeabilidad baja. Lutitas (punto 2).

El tipo de suelo predominante es el B-1 (ver mapa 4), formado por Rocas Fracturadas con importancia hidrogeológica de alta a baja. Acuíferos locales restringidos a zonas fracturadas, ampliadas generalmente por disolución kárstica, libres y/o confinados.

En el mapa de tipo de suelo y mapa de uso de suelo, que se presentan a continuación, podremos ver los puntos tomados en campo con las informaciones correspondientes de acuerdo al tipo de mapa.

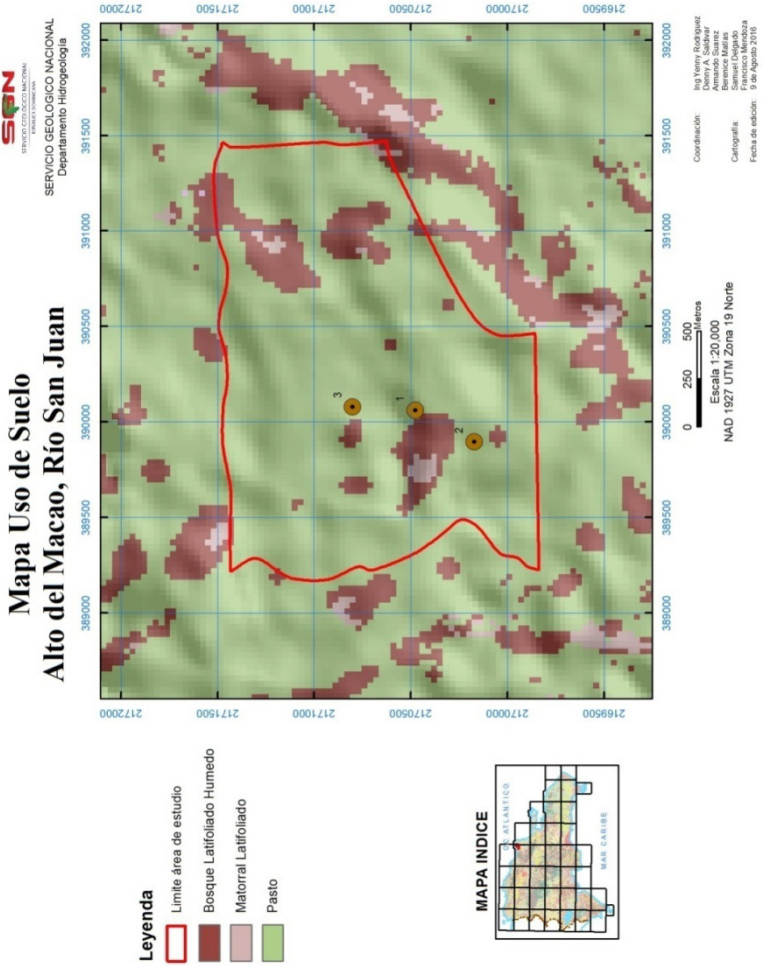
Mapa 5: Tipo de suelo



Fuente: Mapa de Usos y Cobertura del Suelo, Ministerio de Medio Ambiente, 2012.

El mapa de tipo de suelo presenta zona de rocas fracturadas con importancia hidrogeológica de alta a baja, las fracturas están siendo ampliadas por la disolución kárstica.

Mapa 6: Uso de Suelo



La zona se encuentra cubierta por bosques latifoliados húmedos, matorral latifoliado y pasto.

Análisis de los Resultados

En este último aspecto se analizan los resultados obtenidos. Este análisis se logró de acuerdo a los resultados cualitativos presentado en el capítulo anterior, con el propósito de dar respuestas a las preguntas de investigación sobre la caracterización kárstica y exploración hidrogeológica de pozos para el abastecimiento agropecuario, municipio de Río San Juan.

Karst

El área de estudio corresponde a un terreno totalmente kárstico formado por calizas arrecifales y calizas (ver mapa geomorfológico), las mismas han dado lugar a tres tipos de estructuras kársticas principales:

Dolinas: formas más comunes en los sistemas kársticos. Se forman aisladas o en grupos, en general son pequeñas de forma circular o elíptica, más anchas que profundas. Se forman por disolución o colapsamiento y por la existencia de fracturas que se entrecruzan en el interior de la roca, apareciendo un punto de absorción para captar agua. (Aguilar & Francisco, 2013).

Uvalas: depresión de planta irregular, formada por la unión de dos o más dolinas; representa un estadio avanzado en el desarrollo del karst (Aguilar Duarte, Bautista, E. Mendoza, & Delgado, 2013); al igual que las dolinas, se encuentran rellenas de arcilla. En el mapa geomorfológico se puede observar como la uvala presente en nuestra área de estudio está siendo afec-

tada por una falla la cual está en dirección Noroeste-Suroeste.

Lapiaz: es una consecuencia del modelado kárstico. Se trata de una superficie formada por surcos o acanaladuras de distinto tamaño (más o menos profundas). Se produce por la disolución superficial de la caliza afectada por agua de escorrentía o almacenada superficialmente en puntos donde la micro topografía permite una mejor retención o canalización del agua o la humedad. (Martín Martín, 2011).

Estructura geológica.

En el paraje Alto de Macao predominan dos formaciones geológicas: **Formación La Isabela. Calizas arrecifales. Pleistoceno:** Constituyen seis de las siete plataformas calcáreas escalonadas inferiores del Promontorio de Cabrera, dispuestas concéntricamente entre la Fm Los Haitises y la línea de costa (Servicio Geológico Nacional, 2010). (Ver mapa geológico).

Formación Los Haitises. Calizas y calizas arrecifales. Plioceno Superior Pleistoceno Inferior: Se trata del conjunto calcáreo que constituye los peculiares afloramientos de morfología kárstica que culminan el Promontorio de Cabrera, así como los de pequeñas áreas al oeste y sur de Río San Juan. En función de la diferente intensidad de la karstificación, configura desde planicies carbonatadas con un extenso lapiaz hasta un denso entramado de depresiones (dolinas y úvalas) y pronunciados montículos (hums o haitises) (Servicio Geológico Nacional, 2010).

El área en estudio está siendo afectada por múltiples fallas en dirección NE-SW, las cuales posiblemen-

te incidan en el acuífero y en la formación de nuevas estructuras kársticas, pero en el ámbito regional más amplio está afectado por la falla San Rafael la cual se encuentra próxima al promontorio de cabrera.

Caliza

El área se encuentra enmarcada casi en su totalidad por calizas arrecifales de permeabilidad muy alta. Esta caliza se encuentra compuesta por gran porcentaje de algas y corales. Por efecto de disolución esta ha dado lugar a múltiples formas kársticas, dolinas, uvalas y lapiaz.

Extensión

Los puntos analizados con el método geofísico H/V (Tromino) dieron como resultado lo siguiente: Curvas H/V obtenidas en el punto 1: ausencia de pico de resonancia. Ver figura 1. Curvas H/V obtenidas en el punto 2: resonancia baja, picos poco marcados. Ver figura2. Curvas H/V obtenidas en el punto 3: baja resonancia. Ver figura 3. Las figuras indicaron que no hay amplificación debido a la poca frecuencia en el suelo, por dicha razón, no se puedo llegar a delimitar el tope de la estructura kárstica.

Suelo

Alto de Macao está conformado principalmente por la formación La Isabela y formación Los Haitises, (ver mapa hidrogeológico) en dichas formaciones predominan los siguientes tipos de suelos: **Suelos de grava:** suelos compuestos por partículas rocosas de tamaño

comprendido entre 2 y 64 mm. Suelos de permeabilidad alta por porosidad intergranular. (Trateco). **Suelos arenosos:** suelos formados principalmente por arena. La arena son partículas pequeñas de roca de carácter silicio con un diámetro entre 0,02 y 2 mm. (Badillo & Rodriguez, 2005). Suelos de permeabilidad alta por porosidad intergranular.

Suelos lutíticos: suelos compuestos por partículas del tamaño de la arcilla y del limo (González A. M.). Son suelos de permeabilidad media por porosidad intergranular. **Suelos margosos:** suelos compuestos de arcilla, limo y arena con abundante cantidad de materia vegetal descompuesta. (Badillo & Rodriguez, 2005). Estos suelos son de permeabilidad baja. **Calizas arrecifales:** rocas compuestas por exoesqueletos de invertebrados marinos sedentarios como los corales, moluscos, briozoos, equinodermos, y además algas calcáreas (Barredo, 2005). Presentan permeabilidad muy alta por karstificación. **E**s una zona de rocas fracturadas con importancia hidrogeológica de alta a baja: acuíferos locales restringidos a zonas fracturadas ampliados generalmente por disolución kárstica, libres y/o confinados. (Ver mapa de tipos de suelo).

Conclusiones

Analizados los datos de la investigación titulada: Caracterización Kárstica y Exploración Hidrogeológica de Pozos para el Abastecimiento Agropecuario, Municipio de Río San Juan, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

Se determinó la presencia de múltiples dolinas y uvalas, están compuestas de rellenos residuales, se ubi-

can como puntos de inundación, sirviendo estas como lagunas temporales en los meses más lluvioso del año y otras permanentes en las estaciones seca, lo que corrobora que estén en un área almacenadora de agua.

Se determinó que el área está delimitada estructuralmente por diversas fallas; la gran mayoría están alineadas en dirección noroeste-suroeste. Influyendo de forma directa en el acuífero. Estas fallas posen fisuras y grietas que sirven como vía para que el agua se infiltre con mayor facilidad en la roca, acelerando el proceso de disolución y contribuyendo con esto a la formación de nuevas estructuras kársticas.

Se comprobó que el basamento está compuesto de calizas biogénicas con contenido de algas y corales, por lo que se pudo concluir que esta área estuvo inundada por aguas somera en el pasado. Se determinó que la karstificación se extiende de manera superficial en todo el perímetro del área de acuerdo a las manifestaciones presente, en cambio a profundidad no se pudo delimitar la estructura. El método geofísico H/V no permitió dar con precisión los límites de la estructura kárstica, debido a la poca frecuencia en el suelo, no hay amplificación. Se determinó que el suelo está compuesto por arena, grava, lutita, margas y caliza, la permeabilidad de estos suelos varía dependiendo de su porosidad intergranular de muy alta, media y baja, debido al proceso de karstificación.

Referencias

Aguilar Duarte, Y., Bautista, F., E. Mendoza, M., & Delgado, C. (2013). Vulneravilidad Y Riesgo de Contaminación de Acuíferos Kárstico. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 16, 243-263.

Aguilar, Y. D., & Francisco, M. B. (2013). Tropical and Subtropical Agroecosystems. En VULNERABILIDAD Y RIESGO DE CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS KÁRSTICOS (págs. 243-263). Mérida, Yucatán, México: Universidad Autónoma de Yucatán.

Angelone, S. (2007). Geología Y Geotécnia (segunda edición ed.).

Badillo, J., & Rodríguez, R. (2005). Mecánica de Suelo Tomo I. Limusa.

Barredo, S. (2005). Rocas Sedimentaria.

Beck, B., & Herring, J. (2001). Geotechnical and Environmental Applications of Karst Geology and Hydrology. (J. H. B.F. Beck, Ed.) Tokyo, Japon: CRC Press.

Cooper, A., Farrant, A., & Palmer, A. (2007). Actividad Karstica.

Custodio, J. (2007). Los acuíferos costeros (Vol. 23). España.

Díaz, F. d., & Cámara, R. A. (3,4 y 5 de julio de 2003). KARST TROPICAL DE COLINAS, TIPOLOGÍA Y EVOLUCIÓN EN EL PLIOCUATERNARIO. Oviedo, Asturia.

Draper, G. (1992). Caribbean Geology. (T. A. Jackson, Ed.) La India.

EPTISA. (Noviembre de 2004). INFORME DE LA UNIDAD HIDROGEOLÓGICA DE LOS HAITISES.

Eptiza. (2014). Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana. Santo Domingo, República Dominicana.

Fernández, R. R., Baquero, J. C., Lorca, D. F., & Verdejo Serrano, J. S. (1986). ACUÍFEROS KÁRSTICOS COSTEROS.

Fernandez, R., & Baquero, J. (2000). Acuífero Kárstico Costeros.

Fidias, G. A. (2012). Caracas, República Bolivariana de Venezuela: Episteme.

G. Arias, F. (2012). El proyecto de Investigación: Introducción a la investigación científica (6ta ed.). Caracas, República Bolivariana de Venezuela: Episteme.

Galán, C. (1991). Dissolution and karst development in siliceous and carbonate rocks: a comparative study. MUNIBE, Nº 43 .

Geyer. (2007). Karst Aquifers - Characterization and Engineering. Serbia: Zoran Stevanovic.

Gonzales, C. (1997). ACUIFEROS: FUENTES DE AGUA PARA TODOS. Puerto Rico.

Gonzales, R. A. (2010). The karst of Los Haitises National Park (Dominican Republic).

González, A. M. (s.f.). Recuperado el 04 de Agosto de 2016, de http://gaia.geologia.uson.mx/academicos/amontijo/detriticas/lutitas.htm

González, C., & Walker, d. C. (2011). Manejo y protección de zonas de recarga hídrica y fuentes de agua para consumo humano en la subcuenca del rio Zarati. Costa Rica.

Göppert, & Godscheider. (2008). Karst Aquifers - Characterization and Engineering. (Z. Stenovic, Ed.) Belgara, Serbia.

Hernández, C. J. (2001). Rocas calizas. Universidad Tecnológica de la Mixteca.

INGE-MISA. (1995). ESTUDIO NEOTECTONICO DE LA HOJA DE CULLARBAZA.

Instituto Geológico y Minero de España. (2009). Las aguas subterráneas Un recurso natural del subsuelo (4º Edición ed.).

J, R., & M, H. (1987). Modern Structural Geology. Academic Press, London, 2.

JARAMILLO, D. F. (2002). INTRODUCCIÓN A LA CIENCIA DEL SUELO.Medellin, Colombia.

Johnson, R. B., & Onwuegbuzie, A. J. (2004). A Research Paradigm Whose Time Has Come. American Educational Research Association, 33 (7), 17.

Jorge Oyarzún M, G. D. (2009). Léxico sobre procesos y estructuras geológicas. Chile.

Martín Martín, J. (07 de 09 de 2011). Blog de Geografía del profesor Juan Martín Martín. Recuperado el 11 de 07 de 2016, de http://blogdegeografiadejuan. blogspot.com/2011/10/modelado-carstico-el-lapiaz-o-lenar.html

Martins, F., & Palella, S. S. (2010). Metodología de la investigación cualitativa (2a. ed. ed.). Caracas; Venezuela.

Núñez, A. J. (1988). Cuba.

Ordoñez, J. J. (2011). Cartilla Tecnicas: Aguas Subterraneas-Acuíferos. Foro Peruano para el Agua—GWP Perú .

Otto, L., & B., K. (1985). Prontuario del cemento. Kohlhaas, B.

Rodríguez, H. M., & Febrillet, J. F. (2006). Potencial hidrogeológico de la República Dominicana. Boletín Geológico y Minero, 187-200.

Servicio Geológico Nacional. (2010). Hoja Geológica a escala 1:50.000 de Río San Juan (6174-I). Santo Domingo.

Servicio Geológico Nacional. (2010). Hoja Geológica a escala 1:50.000 de Río San Juan (6174-I). República Dominicana.

Servicio Geológico Nacional. (2010). Informe Geomorfológico y de Procesos Activos susceptibles de constituir Riesgo Geológico; Hoja a escala 1:100.000 de Salcedo (6174). Santo Domingo.

Servicio Geológico Nacional. (2010). Memoria Geológica Río San Juan (6174-I). Río San Juan, República Dominicana.

SGN. (2010). Hoja Geológica a escala 1:50.000 de Río San Juan (6174-I). República Dominicana.

SGN. (2010). Hoja Geológica a escala 1:50.000 de Río San Juan (6174-I). Santo Domingo, R.D.

SGN. (1990). Hoja nnnmmm. Santo Domingo, República Dominicana.

Trateco. (s.f.). Recuperado el 04 de Agosto de 2016, de http://www.trateco.net/caracteristicas_grava.html

Tupak, R. O. (2010). Fundamentos y métodos de la. Managua, Nicaragua.

Vélez, M. V., & Vásquez, L. M. Métodos para determinar la recarga en acuíferos .

Viviroli, D., & Weingartner, R. (2004). The hydrlogical significanse of mountains: from regional to global scale. Hydrology & Earth System sciences, 1016-1029.

PETROGRAFÍA, GEOQUÍMICA Y DATACIÓN U-PB EN ZIRCONES DE DOMOS RIODACITICOS ENCAJANTES DEL DEPÓSITO ROMERO E IMPLICACIONES METALOGENÉTICAS

Albert Joan Belén Manzueta

Resumen

Este trabajo se centró en la caracterización petrológica y la datación de los domos riodaciticos que se encuentran en la serie encajante del depósito de Romero. El hallazgo del depósito Romero evidencia la existencia de depósitos minerales tipo VMS en la Formación Tireo, el cual puede ser tomado como referencia a lo hora de realizar exploraciones en dicha formación geológica. Debido a que la Formación Tireo presenta una variada asociación magmática, esta Formación es un elemento vital para entender las fuentes de los magmas y los procesos petrogenéticos en la zona de subducción en el arco de Isla Caribeño durante el Cretácico. Dentro de los resultados encontrados en esta investigación se demostró que: En la Formación Tireo se han descrito diferentes litologías que gradúan de composiciones félsicas a máficas. La mayor parte de estas rocas han sufrido diferentes procesos de alteraciones las cuales se pudieron evidenciar mediantes los estudios petrográficos y geoquímicos. Tomando en consideración los resultados de las dataciones muestran que la mayor parte de las poblaciones de zircones analizados no se corresponden

con los inicios de formación del arco de isla caribeño, por lo que son considerados heredados y solamente una población de zircones arrojó una edad que podría ser la edad de cristalización de las rocas (115.8 ± 10 Ma). Parte de las rocas de la Formación Tireo pudieron haberse formado durante el nacimiento del arco de isla caribeño, por lo que es probable que el depósito xiv Romero, ya descrito como tipo (VMS), sea equivalente temporal a depósito alojados en el primitivo arco-isla (principalmente la Formación Maimón).

Palabras Claves: Formación Tireo, petrológica, datación de los domos riodaciticos, formación geológica, subducción, Cretácico, zircones, litologías, composiciones félsicas a máficas, volcaniclásticas, mineralización, cristalización de las rocas, asociación magmática, medición elemental o isotópica .

ABSTRACT:

This work focused on the petrographic characterization and dating of the rhodacitic domes that are in the encaustic series of the deposit of Romero. The finding of the Romero deposit evidences the existence of VMS mineral deposits in the Tireo Formation, which can be taken as reference when performing explorations in this geological formation. Because the Tireo Formation presents a varied magmatic association, this Formation is a vital element to understand the sources of the magmas and petrogenetic processes in the zone of subduction in the arc of Caribbean Island during the Cretaceous. Among the results found in this research it was demonstrated that: In the Tireo Formation, different lithologies have been described that graduate from felsic to mafic compositions. Most of these rocks have undergone different processes of alterations that

could be evidenced by the petrographic and geochemical studies. Taking into consideration the results of the dating shows that the majority of the populations of zircons analyzed do not correspond to the beginnings of formation of the arch of Caribbean island, reason why they are considered inherited and only a population of zircons showed an age that could Be the age of crystallization of the rocks (115.8 ± 10 Ma). Some of the rocks of the Tireo Formation may have formed during the birth of the arch of the Caribbean island, so it is probable that the deposit xiv Romero, already described as type (VMS), is temporary equivalent to deposit housed in the primitive arch- Island (mainly the Maimón Formation).

Keywords: Formation Tireo, petrological, dating of the domes riodaciticos, geological formation, subduction, Cretaceous, zircons, lithologies, felsic to mafic compositions, volcaniclastics, mineralization, crystallization of rocks, magmatic association, elemental or isotopic measurement.

Introducción

El estudio propuesto estuvo centrado en la caracterización petrológica y datación mediante U/Pb en zircón de las riodacitas y andesitas de la serie encajante de la mineralización metálica del depósito Romero (Distrito Las Tres Palmas, San Juan, República Dominicana) así como su correlación espacial y temporal con ésta. La consecución de este proyecto supondría un avance muy significativo en el entendimiento de la metalogenia asociada a magmatismo de arcos-islas intraoceánicos, muy especialmente para las unidades volcánicas y volcaniclásticas del Cretácico Superior de

las Antillas Mayores en general y de Hispaniola (mayormente agrupadas en el Grupo Tireo) en particular; subordinadamente, el constreñimiento de edades de los cuerpos intrusivos y extrusivos de la Formación Tireo en la Cordillera Central Dominicana busca complementar el conocimiento actual sobre la evolución del magmatismo del arco-isla, respondiendo algunas cuestiones polémicas todavía no bien resueltas por el mundo académico.

De gran importancia también es su potencial uso como herramienta de prospección para depósitos metálicos en la región, mejorando las posibilidades de éxito de las mismas y por tanto suponiendo un impacto positivo directo en la economía del país. Existen varios trabajos relacionados con el tema de dataciones y caracterizaciones tanto petrográficas como petrológicas en la Cordillera Central, pero para los fines de esta investigación solo se toman aquellos que se consideran con mayor relevancia y que le darán peso a la investigación, atendiendo principalmente a su calidad y pertinencia.

Dataciones radiométricas de mineralizaciones y alteraciones hidrotermales han sido realizadas para el depósito de Pueblo Viejo. Kesler et al (1981) apuntaba una edad de la mineralización de entre 130 y 110 Ma en base a la similitud de los ratios de los isótopos de Pb de la galena, la enargita y la pirita con los de las rocas encajantes de la Formación Los Ranchos. Arribas et al. (2011) reportó edades 40Ar/39Ar de alunitas comprendiendo un rango de 40 Ma (de 80 Ma a 40 Ma) concluyendo que esto era el resultado de una historia termal compleja de la región de Pueblo Viejo. Mueller et al. (2008) explicó años antes esta misma observación y la

atribuyó al enterramiento del distrito bajo la peridotita de Loma Caribe durante la obducción de esta en el Cretácico superior.

La datación de un dique andesítico inter- mineral (coetáneo con la mineralización; Nelson, 2000) por Kesler et al. (2005b) reportó una edad de U/Pb de 109.6 ± 0.6 Ma. Kirk et al. (2014) recientemente publicó edades de mineralización de isócrona de Re/Os de 111.9 ± 3.7 Ma a partir de concentrados de pirita. Pero más recientemente Nelson et al., 2015 publicó edades de mineralización del distrito Pueblo Viejo mediante la datación Re-Os en molibdenita de unos 111.5 ± 0.4 Ma, lo cual apunta a una edad de mineralización del Distrito Pueblo Viejo en el Cretácico inferior.

Los primeros modelos que tuvieron en cuenta la tectónica de placas en esta área fueron publicados en los años 1970-80 (Bracey and Vogt, 1970; Malfait y Dinkelman, 1972; Iturralde-Vinent, 1975; Ladd, 1976; Mattson, 1979; Maurrasse, 1981; Walper, 1982; Pindell and Dewey, 1982). Los datos y las ideas de estos trabajos fueron recopilados, complementados y discutidos en artículos posteriores tales como Draper y Lewis (1989), Donelly et al., (1990), Lewis y Draper (1991) y Pindell y Barrett (1990).

Estos autores sugirieron una subducción temprana de la Placa del Caribe por debajo de la Placa Norteamericana, formando las Proto-Antillas Mayores. La complejidad de la geología, particularmente en la parte central de la Isla la Española, sugirió que el modelo de un único arco podía ser demasiado simplificado para los estadios iniciales y que la evolución temprana pudo involucrar sutura de dos arcos: un proto-arco de las Antillas Mayores del Cretácico Inferior formado

por subducción desde el sur y una inversión de polaridad posterior durante el Cretácico Superior (Kerr et al., 1999 y sus referencias).

La Formación Tireo se encuentra bordeada por dos sistemas o zonas de cizalla de primer orden: la zona de falla de la Hispaniola y la Zona de falla San Juan-Restauración (Lewis et al., 1991; Escuder Viruete et al., 2008). (Ver anexo, Fig. 1). El Proyecto Romero se encuentra en la Provincia de San Juan, República Dominicana, en las Antillas Mayores del Mar Caribe, a unos 165 km al Noroeste de la ciudad capital de Santo Domingo.

Las mineralizaciones del Proyecto Romero se localizan en el lado Sur de la Cordillera Central, en la Formación Tireo, mayormente de edad Cretácico Superior. La Formación Tireo tiene una extensión de 290 km de largo y un espesor promedio de 3 km, donde podemos encontrar una secuencia de rocas volcánicas, sub-volcánicas y volcano-sedimentarias relacionadas con el arco de isla (Lewis et al., 1991).

Metodología

Este aspecto contiene las informaciones del diseño, tipo de estudio, la instrumentación y los componentes básicos del procedimiento metodológico utilizado en la investigación titulada: Petrografía, geoquímica y datación U-Pb en zircones de domos riodacíticos encajantes del depósito de Romero (Distrito Las Tres Palmas, San Juan, República Dominicana): implicaciones metalogenéticas.

Diseño de investigación

En el desarrollo de esta investigación no se manipularon variables independientes para observar sus efectos sobre variables dependientes en una situación de control, por lo que la investigación es de diseño no experimental (Hernández, et al., 2010). El tipo de investigación que se utilizó es exploratorio, debido a que en el área de estudio no existen datos preexistentes sobre dataciones de los domos riodacíticos encajantes en el depósito Romero. Para cumplir con los objetivos de esta investigación las variables fueron medidas y descritas en función de las características geológicas, petrológicas, texturales y 29 mineralógicas presentes en los afloramientos rocosos así como también en el análisis de los sondeos brindados por la Compañía Goldquest; por este motivo el enfoque apropiado para obtener la correcta interpretación y recolección de los datos es el enfoque mixto.

Taylor y Bogdan (1987), se refieren al enfoque cualitativo como un modo de encarar el mundo empírico, señalan que en su más amplio sentido es la investigación que produce datos descriptivos. El enfoque cuantitativo usa la recolección de datos para probar hipótesis con base en la mediación numérica y el análisis estadístico para establecer patrones de comportamiento en las mismas (Hernández et al., 2003). De acuerdo a las conceptualizaciones mostradas por los autores anteriormente mostrados el enfoque de esta investigación es mixto.

Métodos

En el presente trabajo se aplicó el método deductivo, ya que el método deductivo crea teorías a partir de la observación de los hechos, mediante la generalización del comportamiento observado; donde se desarrolla una especie de generalización, sin que por medio de la lógica pueda conseguir una demostración de las citadas teorías o conjunto de conclusiones (Behar, 2008).

Se seleccionó el método de investigación deductivo debido a lo planteado por Behar en el 2008, porque en este proyecto de investigación se estudiarán a detalle los procesos de Formación del depósito Romero mediante los rasgos geológicos, geoquímicos y 30 correlacionales del mismo, es decir analizando los elementos de la formación para llegar a un concepto o teoría siguiendo un proceso analítico.

Metodología analítica

Las técnicas e instrumentos utilizados en la investigación fueron: equipos de campo tales como, piqueta, GPS, brújula, escalimetro, lupa, rayador, fotografías satelitales, software informático aplicado a la geología para la creación de mapas geológicos (mapinfo). Las técnicas analíticas geoquímicas que se desarrollaron, son las siguientes:

Fase I, estudio mineralógico y textural mediante microscopía óptica de luz transmitida y reflejada y microscopía electrónica de barrido con analizador de energías (SEM-EDS) a partir de secciones delgadas pulidas.

Estudio de la geoquímica mineral mediante microsonda electrónica (EMPA). Estudio de la geoquímica de roca total mediante fluorescencia de Rayos X (XRF) para elementos mayores y Zr e ICP-MS para elementos traza.

Fase II

Procesamiento para concentración de zircones: trituración y molienda de la roca. Tamizaje por debajo de 125 μm y separación de fracciones de <50 μm, 50-75 μm y 75-100 μm. Separación magnética mediante uso del separador electromagnético Frantz en diversas fracciones a campos magnéticos crecientes. Concentración con hidroseparador de las fracciones no magnéticas para la obtención de concentrados de minerales pesados no 31 magnéticos. Disolución/digestión mediante un combinado de ácidos de silicatos, carbonatos y demás fases para la obtención de concentrado final de zircones. Identificación y caracterización morfológica de los zircones mediante microscopía electrónica de barrido con analizador de energía (SEM-EDS).

Fase III

Caracterización textural de zonaciones químicas e inclusiones minerales en los cristales de zircón mediante estudios con electrones retrodispersados (SEM-BSE-EDS) y catodoluminiscencia. Datación radiométrica absoluta mediante U/Pb.

Muestras de estudio

En el cuadro 1 (ver anexos), se presentan las muestras a las cuales se les realizaron los estudios de laboratorio, estas fueron anteriormente tomadas en campo y son las que se llevaron hacia Barcelona para su posterior análisis. **Muestra**	**Fuente**	**UTM**	**Fm**	**Descripción**

E			**N**		
Imperial-1	Afloramiento	260112	2110117	Tireo	Feldspar porphyry (felds-hormblende-sporadic quartz eye phenocrysts)
Imperial-2	Afloramiento	258402	2112190	Tireo	Feldspar porphyry (~Equigranular texture (felds-hormblende-sporadic quartz eye)
Romero-1	Sondeo	258587	2116026	Tireo	LTP-110 (162.51 - 167.01 mts)
Romero-2	Sondeo	258587	2116026	Tireo	LTP-110 (287.25 - 291.73 mts)
Romero-3	Sondeo	258520	2115942	Tireo	LTP-113 (537.33 - 541.74 mts) / Lower andesite
Rhyolite (Romero)	Afloramiento	258953	2115793	Tireo	Feldspar - Qtz porphyritic, flow banding; some disseminated magnetite

Estas muestras fueron tomadas tanto de afloramientos de rocas, como de sondeos que fueron recuperados por la compañía minera Goldquest y que fueron brindadas para fines de este estudio. En ella se resalta dónde se tomaron, así como también sus coordenadas geografía y una pequeña descripción macroscópica de sus componentes minerales, texturales y estructurales. Estas muestras se encuentran distribuidas en el mapa de la fig 2 (ver anexos), el cual fue realizado utilizando como base la hoja geológica de Arroyo Limón cuadrante 5973-III. Las muestras fueron tomadas en Tireo superior en donde predominan mayormente rocas riodaciticas y andesiticas de composición acidas a intermedias.

TÉCNICAS

Microscopía óptica de luz transmitida y reflejada

Las muestras se cortaron en secciones con el fin de elegir las más representativas, de acuerdo con el contenido mineralógico y textural. A partir de esta selección inicial, las secciones delgadas pulidas se realizaron en el "Servei de Lamina Prima" de la Universidad de Barcelona.

Las Secciones delgadas fueron utilizadas para estudios texturales y mineralógicos utilizando un microscopio óptico con luz transmitida (minerales transparentes) y luz reflejada (principalmente, minerales opacos). Se seleccionaron especímenes interesantes y representativos para su posterior análisis de microscopía electrónica de barrido (SEM). (Ver anexos, figura 3).

Microscopía electrónica de barrido con analizador de energías (SEM-EDS)

El estudio con SEM-EDS se llevó a cabo usando un equipo Quanta 200 FEI, XTE 325/D8395 equipado con un sistema de microanálisis de dispersión de energías INCA Energy 250 operando a 20kV y una corriente de haz de 1nA en los Serveis Científics i Tecnològics de la Universidad de Barcelona. (Ver anexos, figura 4).

Estudio de la geoquímica mineral mediante microsonda electrónica (EMP).

Composiciones químicas minerales se obtuvieron utilizando una microsonda de electrones con longitud de onda de la espectrometría dispersiva (EPMA-WDS). Los análisis se obtuvieron en el "Serveis Científicos i Tecnològics" (Universidad de Barcelona), utilizando una microsonda de cuatro canales Cameca SX50 electrones (EMP) con longitud de onda de la espectrometría dispersiva (WDS). Los análisis se realizó en el voltaje de aceleración de 20 kV, 20 de corriente del haz nA, diámetro del haz 2 micras y contar el tiempo de 10 segundos por elemento. La rutina a utilizada para el análisis de haluros será 15 kV y 6 nA. Normas y líneas utilizadas para los análisis fueron: diópsido (SiKα), rutilo (TiKα), Al2O3 sintético (AlKα), pirita (FeKα), rhodonite (MnKα), periclasa (MgKα), albita (NaKα), wollastonita (CaKα), ortoclasa (KKα), blenda (ZnKα), fluorita (FKα) y AgCl (ClKα). (Ver anexos, figura 5).

Estudio de la geoquímica de roca total mediante fluorescencia de rayos X (XRF) e ICP-MS.

Las muestras fueron analizadas para geoquímica de roca total. Estas fueron pulverizadas en un molino de anillos de carburo de tungsteno previa separación de vetas hidrotermales. Las concentraciones de los elementos mayores y el Zr se determinaron en perlas de fusión a partir de ~0.6 g de muestra pulverizada diluida en 6 g de Li2B4O7 mediante un equipo de fluorescencia de rayos X Philips Magix Pro (PW-2440) en el Centro de Instrumentación Científica de la Universidad de Granada (CIC-UGR). La precisión es mejor de ±1.5% relativo para concentraciones del orden de 10% en peso; la precisión en la medición de la concentración de Zr es mejor de ±4% relativo para concentraciones de 100 ppm.

Los elementos trazas fueron determinados en el CIC-UGR por medio de espectrometría ICP-MS tras una digestión ácida con HNO3+HF de ~100 mg de muestra pulverizada en bombas de Teflón a ~180ºC y 200psi durante 30 minutos, evaporación y secado y posterior disolución en 100 ml de HNO3 al 4%; la precisión es mejor de ±2% y ±5% relativo para concentraciones de 50 y 5 ppm, respectivamente.

Datación U/Pb en zircones

Separación de zircones

Una vez seleccionadas las muestras óptimas para datación, se comenzó al procesamiento para concentración de zircones: grandes cantidades de muestra (>4kg) se trituraron y molieron. Posteriormente fueron tamizadas por debajo de 125 μm y se separaron frac-

ciones de <53 μm, 53-75 μm y 75-125 μm. A continuación se comenzó con la separación magnética mediante uso del separador electromagnético Frantz en 35 diversas fracciones a campos magnéticos crecientes y a la concentración con hidroseparador de las fracciones no magnéticas para la obtención de concentrados de minerales pesados no magnéticos.

Finalmente, se llevaron a cabo la disolución/digestión mediante un combinado de ácidos de silicatos, carbonatos y demás fases para la obtención de concentrado final de zircones. Con el concentrado de zircones se procedió a la identificación y caracterización morfológica de los cristales mediante microscopía electrónica de barrido con analizador de energía (SEM- EDS). Las zonaciones químicas e inclusiones minerales en los cristales de zircón se realizaron mediante estudios con electrones retrodispersados (SEM-BSE-EDS) y catodoluminiscencia. El proceso se muestra en más detalle a continuación: Se procesaron un total de 5 muestras rocosas obtenidas en las visitas de campo previas a la realización de esta investigación. Estas muestras fueron tomadas teniendo un cuidado riguroso para evitar la contaminación de las mismas. El procesado se desarrolló en los laboratorios de la Universidad de Barcelona. El proceso a seguir básicamente incluye:

1- Trituración de las muestras de un diámetro de 30-40cm en trituradoras de mandíbula de tamaños de quijada decrecientes.

2- Molienda de las muestras en un molino de anillas Retsch de acero.

3- Tamizado en húmedo con torre de tamices de malla 125μm, 100μm, 75μm, 50μm y 30μm. Secado en estufa a 50 ºC.

4- Separación magnética usando un separador electromagnético Frantz Se aplicaron voltajes crecientes de 3.5V, 23.9V, 34.1V y 106.6V.

5- Concentración de minerales densos a partir del concentrado no magnético mediante hidroseparación (HS11).

6- Disolución/digestión, mediante un combinado de ácidos, de silicatos, carbonatos y demás fases para la obtención de concentrado final de zircones.

7- Separado manual (*handpicking*) de los zircones mediante lupa binocular.

8- Caracterización textural de zonaciones químicas e inclusiones minerales en los cristales de zircón mediante estudios con electrones retrodispersados (SEM-BSE-EDS) y catodoluminiscencia.

Datación U/Pb de zircones

La datación U-Pb en los zircones recuperados de las muestras se realizó utilizando la técnica de ablación laser. La ventaja de ésta técnica es su alta precisión y rapidez en la medición elemental o isotópica .

Análisis de datos

El análisis de los datos geoquímicos en este caso se realizó mediante softwares especializados comúnmente usados por muchas de las compañías mineras y universidades. La realización de los trabajos analíticos se realizó en los laboratorios de la Universidad de Barcelona y Granada desde el 25 de enero del 2016 y culminó el 27 de marzo del mismo año. En estas fe-

chas se efectuó el viaje del sustentante a los centros de estudios superiores ya mencionados para el análisis de las muestras, por lo que, durante el desarrollo de los análisis de las muestras se procedió directamente a la realización de los trabajos para la entrega de tesis. La interpretación de cada una de las muestras representadas en gráficas, tablas y diagramas, se desarrollaron mediantes reuniones de los miembros que conforman la investigación (sustentante y asesor) en donde se presentaron, evaluaron y discutieron los resultados preliminares.

Análisis de los Resultados

Como se puede observar la mayor parte de las edades son anteriores a las propuestas por Escuder-Viruete et al. (2007b) para el inicio de depositación de la secuencia basal de la Formación Tireo hace unos 90 Ma (Aptiense- Turoniense, i.e. ca. 120-90 Ma). Inclusive muchas de estas edades son anteriores al inicio de la subducción en el Caribe hace unos 135 Ma (es decir, en el Neocomiense; Rojas-Agramonte et al., 2011). Como se observa 5 de las poblaciones de zircones analizados denotan edades anteriores al inicio de subducción, por lo que serán considerados en adelante como heredados (es decir, no se corresponden con la edad de cristalización magmática de las rocas volcánicas que las encajan). Tomando en consideración la muestra Romero 1 (Grupo 2), si se obtienen edades de cristalización magmática de la roca (115.8 ± 10 Ma) ubicándola en el Cretácico Inferior.

Zircones heredados en las Antillas Mayores

El zircón es un mineral accesorio, común en rocas continentales, que puede retener información geoquímica primaria, soportando ambientes de meteorización, transporte sedimentario, y metamorfismo de alto grado (Proenza et al., 2014). El zircón es un mineral que puede soportar grandes temperaturas antes de llegar a su punto de fusión y puede sobrevivir como un mineral heredado en rocas ígneas. Anteriormente se han publicado varios artículos sobre zircones heredados en el área de Caribe (Proenza et al.2014; Rojas-Agramonte et al., 2016), en los cuales se han encontrado zircones en los cuerpos ofiolíticos en Cuba con edades muy anteriores a los inicios de la subducción en el Caribe e incluso anteriores a la formación del arco de isla Caribeño.

En estos trabajos se han datado zircones heredados recuperados de cuerpos graníticos de ~536–268 Ma, los cuales son interpretados como sedimentos que fueron envueltos y subducidos conteniendo zircones preexistentes y que posteriormente dieron lugar a esos cuerpos graníticos (Rojas-Agramonte et al., 2016). Estas edades propuestas anteriormente engloban las edades de zircones heredados encontradas en la Formación Tireo. Análisis de dataciones U-Pb realizadas a 4 zircones del depósito de cromititas La Mercedita en Cuba (Proenza et al., 2014), arrojaron edades bordeando el Carbonifero-Permiano (289 ± 9 Ma to 310 ± 10 Ma) las cuales coinciden con gran parte de los zircones heredados encontrados en esta investigación.

Como se puede constatar, tanto las dataciones realizadas en los depósitos ofiolíticos en Cuba como los resultados de las dataciones recientemente realizadas

en la Formación Tireo, tienen una cierta relación con las edades que arrojan los zircones, por lo que se puede inferir que la procedencia de los zircones que dieron origen a las anfibolitas del Este de Cuba, son los mismos en comparación con los zircones heredados de la Formación Tireo, los cuales pudieron ser originados por la subducción de sedimentos preexistentes conteniendo zircones y posterior fusión parcial de estos sedimentos en la zona de supra-subducción dando origen a nuevas rocas volcánicas y volcanosedimentarias.

Cristalización magmática de las rocas encajantes de mineralizaciones VMS en Tireo

Se han realizado varios trabajos sobre el quimismo y geocronología de las rocas de la Formación Tireo. Las primeras edades sobre estas rocas fueron propuestas por Lewis et al. (1991), quienes asignan una edad en base a microfósiles para la secuencia volcánica inferior de 112–99 Ma (es decir, Cretácico inferior). En este mismo trabajo se realizaron dataciones para las secuencias volcánicas superiores, asignando una edad de 81.2±8.2 Ma (es decir, Cretácico superior).

Más recientemente, Escuder-Viruete et al. (2007b) establecieron a partir de análisis fosilíferos y de isótopos radiométricos (U/Pb y 40Ar/39Ar) que la secuencia basal de la Formación Tireo, de afinidad toleítica, empezó a depositarse antes de aproximadamente unos 90 Ma (Aptiense- Turoniense, i.e. ca. 120-90 Ma). Estos autores también consideran que la secuencia volcánica superior, compuesta mayormente por adakitas, andesitas ricas en Mg y basaltos enriquecidos en Nb empezaría a depositarse en el límite Turoniense-Coniaciense (ca. 90 Ma) y continuaría hasta el Campaniense (ca. 83

to 71 Ma). Tomando en consideración la segunda población de zircones de la muestra ROMERO 1 (115.8 ± 10 Ma), se puede observar que coincide con las edades de depositación de la secuencia basal de la Formación Tireo propuesta por Escuder-Viruete et al. (2007b).

En la Formación Los Ranchos se han realizado dataciones tanto de las mineralizaciones como de las rocas que las encajan. Recientemente Nelson et al. (2015) publicó edades de mineralización del distrito Pueblo Viejo mediante la datación Re-Os en molibdenita de unos 111.5 ± 0.4 Ma, lo cual apunta a una edad de mineralización 65 del Distrito Pueblo Viejo en el Cretácico inferior. Esta edad indicaría que las mineralizaciones serían coetáneas al volcanismo que originó las rocas que las encajan (Formación Los Ranchos), demostrándose que magmas de afinidad toleítica también pueden originar depósitos epitermales de clase mundial (Escuder-Viruete et al., 2006).

La Formación Maimón, la cual se caracteriza por alojar diversos cuerpos de sulfuros masivos volcanogénicos (VMS) de entre los que destaca el depósito actualmente en explotación de Cerro de Maimón. Esta formación geológica representa una de las unidades más primitivas dentro del arco-isla Circum-Caribeño (Lewis and Draper, 1991), pero hasta la fecha nunca han sido datadas las rocas de esta Formación aunque. No obstante se estima que esta se formó durante el nacimiento del arco de isla Caribeño hace unos (◎125 Ma; Torró et al., 2016).

Las rocas de la Formación Tireo se formaron en un contexto de arco de isla intraoceánico. Estas rocas de la Formación Tireo parecen haberse formado durante el nacimiento del arco de isla caribeño, por lo que es

probable que el depósito Romero ya descrito como tipo (VMS) podría ser equivalentes temporales a depósitos VMS encajados en la Formación Maimón y se formara en condiciones de ante arco asociados al inicio del arco de isla Caribeño.

Conclusiones

En la Formación Tireo se han descrito diferentes litologías que gradúan de composiciones félsicas a máficas. La mayor parte de estas rocas han sufrido diferentes procesos de alteraciones las cuales se pudieron evidenciar mediantes los estudios petrográficos y geoquímicos.

Tomando en consideración los resultados de las dataciones U/Pb, la mayor parte de las poblaciones de zircones analizados son considerados heredados y solamente una población de zircones arroja una edad que podría ser la edad de cristalización de las rocas (115.8 ± 10 Ma).

Las rocas de la Formación Tireo parecen haberse formado durante el nacimiento del arco de isla caribeño, por lo que es probable que el depósito Romero ya descrito como tipo (VMS) podría ser equivalente a depósitos VMS alojados en la Formación Maimón.

Referencias

Amarante, J. A., Jimenez., J., and, J. F., (1989), Geology, hydrothermal alteration, and geochemistry of epitermal Au-Ag mineralisation in the Restauracion área, Dominican Republic, in Barker, L., ed., Transactions of the 11th Caribbean Geologi-

cal Conference, Barbados, 1986: St. Michael, Barbados, Energy and Natural Resources Division, p. 1-15, 26.

Arribas, A., Arribas, I., Draper, G., Hall, C., Kesler, S.E., McEwan, C., Muntean, J.L., (2011): 40Ar/39Ar dating of alunite from the Pueblo Viejo Gold-Silver District, Dominican Republic. Economic Geology 106, 1059-1070.

Behar D., (2008): Introducción a la Metodología de la Investigación, Editorial Shalom. P.40.

Bienvenu, P., Bougault, H., Joron, J.L., Treuil, M., Demitriev, L., (1990). REE/non REE element hygromagmaphile element fractionation. Chemical Geology 82, 1–14.

Bracey, D.R., and Vogt, P.R., (1970): Plate tectonics in the Hispaniola area.Geological Society of America Bulletin 81, 2855 – 2860.

Castro, A., (2015): petrografía de rocas ígneas y metamórficas, primera edición, ediciones digitales, P. 21-202.

Chelle-Michou, C., Chiaradia, M., Ovtcharova, M., Ulianov, A., Wotzlaw, J.F., (2014): Zircon petrochronology reveals the temporal link between porphyry systems and the magmatic evolution of their hidden plutonic roots (the Eocene Coroccohuayco deposit, Peru). Lithos 198, 129-140.

Chiaradia, M., Merino, D., Spikings, R., (2009): Rapid transition to long lived deep Crustalmagmatic maturation and the formation of giant porphyry- related mineralization (Yanacocha, Peru): Earth and Planetary Science Letters 288, 505-515.

Dana, E. S., and C. S. Hurlbut, (1962). "Manual de Mineralogía". Ed. Reverté, Barcelona.

Defant, M.J., and Drummond, M.S., 1990, Derivation of some modern arcmagmas by melting of young subducted lithosphere: Nature, v. 347, p.662–665.

Donelly, T.W., (1994) The Caribbean sea floor. In: Donovan, S.K., and Jackson, T.A. (eds.), Caribbean Geology: An Introduction. U.W.I. Publ Assoc, Kingston, p. 41 – 64.

Donnelly, T.W.; Beets, D.; Carr, M.J.; Jackson, T.; Klaver, G.; Lewis, J.; Maury, R.; Schellenkens, H.; Smith, A.L.; Wadge, G., and Westercamp, D., (1990) History and tectonic setting of Caribbean magmatism. In: Dengo, G., Case, J. (eds.), The Caribbean Region. Vol. H. The Geology of North America. Geological Society of America, 339 – 374.

Draper, G., and Lewis, J.F., (1989): Petrology and structural development of the Duarte complex, central Dominican Republic: A preliminary account and some tectonic implications. In: Transactions, 11th Caribbean Geological Conference, Cartagena, Colombia, 1983, p. 103 – 112edición, Mc Graw Hill, p. 188.

Escuder-Viruete, J., Díaz de Neira, A., Hernáiz Huerta, P.P., Monthel, J., García Senz, J., Joubert, M., Lopera, E., Ullrich, T., Friedman, R., Mortensen, J., Pérez-Estaún, A., (2006). Magmatic relationships and ages of Caribbean island-arc tholeiites, boninites and related felsic rocks, Dominican Republic. Lithos, 90, 161-186.

Espaillat, J., (2013): Potencial mineral de la Formación Tireo, República Dominicana.

Programa de resúmenes y ponencias del 2º Congreso Dominicano de Geología, p. 44.

Farré de Pablo, J., (2014): Petrology and geochemistry of the Maimón Formation (Dominican Republic): geodynamic and metalogenetic implications. Tesis de Final de Grado, Universitat de Barcelona, Barcelona, 177pp.

Foster M.D. (1962) Interpretation of the composition and a classification of the chlorites. Geol. Surv. Prof. Pap. 414-A.

Franz G, Liebscher A (2004) Physical and chemical properties of the epidote minerals–an introduction. Rev Mineral Geochem 56:1-82.

Garritz R., Andoni; Gasque S., Laura; Martínez V., Ana Química Universitaria, 1ª edición; Pearson Prentice-Hall: México, 2005; p. 162-165.

Groves, D.I., Vielreicher, R.M., Goldfarb, R.J. & Condie, K.C. 2005b. Controls on the heterogeneous distribution of mineral deposits through time. In: McDonald, I., 70

Noyce, A.J., Butler, I.B., Herrington, R.J. & Polya, D.A. (eds) Mineral Deposits and Earth Evolution. Geological Society, London, Special Publications, 248, 71–101.

Hastie, A. R., Kerr, A. C., Pearce, J. A. & Mitchell, S. F. (2007). Classification of altered volcanic island arc rocks using immobile trace elements: development of the Th Co discrimination diagram. Journal of Petrology 48, 2341–2357.

Iturralde Vinent, (1975): Problems in the application of modern tectonic hypotheses to Cuba and the Caribbean region. American Associaton of Petroleum Geologists Bulletin 59, 838– 855.

Kerr, A.C., Iturralde Vinent, M.A., Saunders, A.D., Babbs, T.L., Tarney, J., 1(999): A new plate tectonic model of the Caribbean: Implications from a

geochemical reconnaissance of Cuban Mesozoic volcanic rocks. Geological Society of America Bulletin, 111, 1581 – 1599.

Kesler, S.E., Campbell, I.H., Smith, C.N., Hall, C.M., Allen, C.M. (2005b): Age of the Pueblo Viejo Gold-Silver Deposit and Its Significance to Models for High-Sulfidation Epithermal Mineralization. Economic Geology 100, 253-272.

Kirk, J.D., Ruíz, J., Kesler, S.E., Simon, A., Muntean, and J.L., (2014☺ Re-Os age of the Pueblo Viejo epithermal deposit, Dominican Republic. Economic Geology 109, 503-512.

Leterrier, J., Maury, R. C., Thonon, P., Girard, D., and Marehal, M. (1982) Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinities of paleo-volcanic series. Earth. Planet. Sci. Lett., 59, 139-54.

Lewis, J.F., and Draper, G., (1991): Geology and tectonic evolution of the northern Caribbean margin. In: Dengo, G., and Case J.E., eds, The Caribbean region: Boulder, Colorado, Geological Society of America, The Geology of North America H, 77 – 140.

Losert, J., (1973). Genesis of copper mineralization and associated alterations in the Jurassic volcanics rocks of Buena Esperanza mining area. Publicación Nº40, Depto. de Geología, Univ. De Chile, Santiago, 104 p.

Marchesi, C.; Garrido, C.J.; Bosch, D.; Proenza, J.A.; Gervilla, F.; Monié, P., and Rodríguez-Vega, A., (2007) Geochemistry of Cretaceous Magmatism in Eastern Cuba: Recycling of North America continental sediments and implications for subduction polarity in the Greater Antilles Paleo-arc. Journal ofPetrology, v. 48, p. 1813 – 1840

Mattson, P.H., (1979): Subduction, buoyant braking, flipping and strike-slip faulting in the northern Caribbean. Journal of Geology 87, 293 – 304.

Maurrasse, (1981): Relations between the geologic setting of Hispaniola and the evolution of the Caribbean. In: Transactions de ler colloque sur la Géologie d'Haïti, Port-au-Prince, Haití, Le Natal, S.A., 245 – 264.

Melgarejo, J. C., Proenza, J. A., Gali, S., & Llovet, X., (2010). Técnicas de Caracterización mineral y su implicación en exploración y explotación minera. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 62(1), 1-23.

Nelson, C.E., Stein, H., Dominguez, H., Carrasco, C., Barrie, T., Torró, L., and Proenza, J., (2015): Re-Os dating of molybdenite from the Pueblo Viejo Au-Ag-Cu and Douvray Cu-Au districts, Hispaniola. Economic Geology, v. 110, pp. 1101–1110.

Pearce, J.A. (1983). The role of sub-continental lithosphere in magma genesis at destructive plate margins. En: Hawkesworth, C.J., Norry M.J. (Eds.). Continental Basalts and Mantle Xenoliths. Nantwich, Shiva, 230-249.

Peccerillo, A. & Taylor, S. R. (1976). Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. Contributions to Mineralogy and Petrology 58, 63–81.

Pérez, O., Ortega, C., Solari, L. A., & Gómez, A., (2010). Aplicaciones del sistema LA-ICPMS del centro de geociencias de la UNAM. Simposio de Metrología.

Piercey, S.J., (2009): Lithogeochemistry of volcanic rocks associated with volcanogenic massive sulfide (VMS) deposits and applications to exploration.

In: Cousens, B.L., Piercey S.J. (eds) Subaqueous volcanism and mineralization. Mineral Deposits Division-Volcanology and Igneous Petrology Division, Geological Association of Canada, Short Course Notes 19, p. 15 – 40.

Rollinson H.R., (1992), another look at the constant sum problem in geochemistry. Mineral mag. 56, 469-475.

Román-Alday MC, Torró L, Proenza JA, Melgarejo JC, Romero J, Amarante A, Espaillat J, Nelson C (2015) The Romero Cu-Au-Zn deposits, Cordillera Central, Dominican Republic: Preliminary data on the mineralogy and geochemistry of mineralization.

Mineral resources in a sustainable world; Proceedings 13th SGA Biennial Meeting, 5, 2087-2090.

Shervais, J.W., (1982): Ti-V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas. Earth and Planetary Sciencce Letters 59: p. 101 – 118

Sillitoe, R.H., Hannington, M.D. and Thompson, J.F., (1996). High sulfidation deposits in the volcanogenic massive sulfide environment. Economic Geology, V. 91, pp. 204-212.

Sun, S.S. and McDonough, W.F. (1989). Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes. In: Magmatism in the ocean basins. Saunders, A.D. and Norry, M.J. (Editors), Geological Society of London, London. 42: 313-345.

Tarbuck, E y F. Lutges. (1999). "ciencias de la tierra" una introducción a la geologia física. Ediciones Prentice Hall, Madrid.

Taylor, S y Bogdan, R., (1987): Introducción a los métodos cualitativos, Primera edición, Ediciones Paidós, P. 7.

Toscano, M., Pascual, E., Nesbitt, R.W., Almodóvar, G.R., Sáez, R., Donaire, T., (2013): Geochemical discrimination of hydrothermal and igneous zircon in the Iberian Pyrite Belt, Spain. Ore Geology Reviews 56, 301-311.

Vassallo, L.F. (2008) "Yacimientos Minerales Metálicos" 4ª edición. Versión OnLine,Bol-e. Centro de Geociencias, UNAM. Querétaro, México Velilla, N., & Jimenez, J., (2004). "Óptica mineral": una herramienta Informática para el estudio de los minerales en el microscopio. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 57-61.

Von Quadt, A., Erni, M., Martinek, K., Moll, M., Peytcheva, and Heinrich, C.A., (2011): Zircon crystallization and the lifetimes of ore-forming magmatic-hydrothermal systems.

Walper, J.L., (1982): Geologic evolution of the Greater Antilles. In: Transactions, 9th Caribbean Geological Conference, Santo Domingo, Dominican Republic, 1980, 13 – 21.

Winchester, J.A., and Floyd, P.A., (1977): Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. Chemical Geology 20, p. 325 – 343.

Winter, J.D. (2010): An introduction to igneous and metamorphic petrology. Prentice hall, New York.

MÉTODOS Y TÉCNICAS DE VOLADURA EN ROCAS DEL YACIMIENTO PUEBLO VIEJO

Roberto Francisco Marte Reinoso
Roque Sierra Carbajal
Joel Muñoz Salazar

Resumen

El objetivo de la presente investigación es evaluar todos los métodos y técnicas de voladura en rocas utilizadas en el yacimiento Pueblo Viejo. Para hacer posible esto se hizo un levantamiento geológico, estructural e hidrogeológico, de los datos de control de dilución del departamento de geología, se identificó los tipos de diseños, se evaluó resultados, valorar todos los costos y comprobar cumplimiento de procedimientos. Como variables estudiadas en esta investigación están datos geológicos, estructurales e hidrogeológicos, control de dilución, planificación minera, factores de diseño de la voladura, resultados de la voladura, costo de voladura y seguridad en las voladuras. El diseño que se utilizó en esta investigación es el no experimental con un enfoque cuantitativo. El tipo de investigación es exploratorio y descriptivo. La técnica e instrumento fue la observación mediante la utilización de una ficha de observación para hacer las anotaciones de campo para llegar a los análisis de los resultados. Esta ficha fue evaluada y aprobada por mano de expertos del mundo de los explosivos, la geología e ingeniería de mina.Las varia-

bles geología, estructuras e hidrogeología, así como control de dilución son tomadas en cuenta individualmente previa al diseño de la voladura. Los factores de diseño presentan variabilidad en los patrones, mas no para las recetas explosivas y que los mismos son amarrados de forma simple para la generación del movimiento debido a las condiciones favorable del terreno. El indicador calidad de taco es inadecuado dentro del proceso de voladura. Las planificaciones conforme a las voladuras son ejecutadas de acuerdo a las prioridades de ultimo momentos, las disponibilidad de equipo y personal más otros factores externos que incida en el cambio, atraso y /o adelantos de las voladuras contenida en el plan semanal. Como parte de la evaluación de los resultados se identifican posibles TQs y rompimiento trasero, dirección del movimiento y fragmentos, la forma de pila y nivel de piso post voladura, de igual forma los protocolos por parte de la seguridad preventiva y patrimonial son eficiente no deja fuera ningún indicador que pudiese ser de importación.

Palabras Claves: Voladura en Rocas del Yacimiento, levantamiento geológico, dinamitas gelatinosas, minas a cielo abierto, piso post voladura, hidrogeología, temperatura de pozo, dosificación de explosivo, aseslitologías, fallas significativas, foliaciones, alteración de la roca, dirección de la voladura, reporte de vibraciones, seguridad perimetral, fragmentación, control de dilución.

ABSTRACT

The objective of the present investigation is to evaluate all methods and techniques of rock blasting used in the Pueblo Viejo field. To make possible this, a geological, structural and hydrogeological survey

of the geology department's dilution control data was done, the types of designs were identified, results were evaluated, all costs were assessed and compliance was checked. As variables studied in this research are geological, structural and hydrogeological data, dilution control, mining planning, blasting design factors, blast results, cost of blasting and safety in blasting. The design that was used in this research is the non-experimental one with a quantitative approach. The type of research is exploratory and descriptive. The technique and instrument was the observation through the use of an observation sheet to make the field annotations to arrive at the analysis of the results. This sheet was evaluated and approved by expert hand of the world of explosives, geology and mine engineering. Variables geology, structures and hydrogeology as well as dilution control are taken into account individually prior to blasting design. The design factors present variability in the patterns, but not for the explosive recipes and that they are simply tied for the generation of movement due to the favorable conditions of the terrain. The taco quality indicator is inadequate within the blasting process. Blasting schedules are executed according to the priorities of last moments, the availability of equipment and personnel plus other external factors that affect the change, delay and / or breakthroughs contained in the weekly plan. As part of the evaluation of the results are identified possible TQs and rear rupture, direction of movement and fragments, pile form and level of post blasting floor, likewise the protocols by the preventive and patrimonial security are efficient does not leave Outside any indicator that could be of import.

Keywords: Blasting in rock deposits, geological survey, gelatinous dynamite, open pit mines, post blast floor, hydrogeology, well temperature, explosive dosage, aseslitologies, significant faults, foliations, rock alteration, direction of blasting, Vibration reporting, perimeter security, fragmentation, dilution control.

INTRODUCCIÓN

Los explosivos comerciales empleados en minería, construcción civil, construcción de túneles y otras aplicaciones específicas similares han ejercido una enorme influencia en la historia del mundo. Una buena parte del progreso que se ha dado en el estándar de vida del ser humano común y corriente, se puede relacionar de alguna manera a los resultados obtenidos a través del empleo de explosivos en las obras de infraestructura (caminos, túneles, redes de abastecimiento de agua, vías férreas y otros) los cuales habría sido imposible desarrollar sin la ayuda de los explosivos. (ISEE, 2008).

El uso de explosivos en minería y construcción data de 1627. Desde esta fecha 1865, el explosivo utilizado era la pólvora negra; este es un explosivo muy diferente a los que se utilizan hoy en día. En 1865 Alfredo Nobel inventó, en Suecia, la dinamita sobre la base de la nitroglicerina. (Konya, 1998). Más tarde, en 1866, inventó las dinamitas gelatinosas. Estos nuevos productos eran más energéticos que la pólvora negra y se utilizaban de diferente manera, ya que no había necesidad de confinar el explosivo para obtener buenos resultados, como en el caso de la pólvora negra. Desde 1867 hasta la mitad de los años 1950, la dinamita se convirtió en el caballo de batalla de la industria de los explosivos. (Ibídem).

A mitad de los años 50, apareció en el mercado un nuevo producto llamado ANFO (AmmoniumNitrate - Fuel oil), nitrato de amonio y diesel. Este producto es 2 mucho más económico que la dinamita y hoy en día es la base de la industria de explosivos a nivel mundial, ya que aproximadamente el 80% del explosivo utilizado es ANFO (Konya, 1998). Los nuevos explosivos que aparecieron en escena durante las décadas de 1960 y 1970, llamados suspensiones o hidrogeles han reemplazado a la dinamita en casi todos los campos de aplicación. A finales de los años 70, se obtuvo una variante de los hidrogeles llamados emulsiones, que salieron al mercado. Estas emulsiones son simples de fabricar y se pueden aplicar de igual manera que los hidrogeles. (Ibídem).

Los explosivos comerciales actualmente se dividen en tres grandes categorías: iniciadores, altos explosivos y agentes de voladuras. (Ibídem). En los antecedentes académicos se conoce que el yacimiento Monte Negro, Moore y Monte Oculto está estructurado por alto contenido de sílice, azufre y pirita condición esta que hace las rocas más densas y por consiguientes este sitio necesitó de diseños de voladuras más enfocados en obtener una adecuada fragmentación de las técnicas de voladuras empleadas, deben ser específicas a la dureza de la rocas y la demás condiciones presentada por el banco perforado. (Castellanos, 2016).

Otro estudio realizado en el Instituto tecnológico Bombay, Powai, Mubai en la india se encontró que: Badal Kumar Kujur realizo el estudio "Vibraciones en minas a cielo abierto", llegando a las siguientes conclusiones: Se realizaron diferentes análisis de datos de vibración (VPP) de varias voladuras. Se encontró que

la VPP (velocidad de detonación), para las 3 diferentes voladuras varía en relación a la cantidad de carga por retardo asociada por la voladura. Los resultados muestran estos límites en la tabla 1 y 2. Colocar una determinada cantidad de carga por retardo podría ser determinante en un pozo de voladura para mantener la VVP y la sobre presión de aire generada por la voladura en los límites determinados por la DGMS. La tabla 6 muestra las cantidades de carga por retardo recomendada de forma segura para mantener los niveles de vibración bajo los límites (5 mm/seg). Los niveles de vibración encontrados fueron 5 mm/seg que son los limites, cuando la cantidad de carga recomendada por retardo son usada en la voladura, los valores de sobrepresión de aire grabado fueron entre 114 y 127.6 dB, como se debe mantener en los límites de forma segura.

METODOLOGÍA

Una vez abierto este nuevo capítulo sobre la metodología que se usó, se ha de saber que los objetivos propuestos para el desarrollo de esta investigación solo pudieron ser cumplidos mediante la realización del trabajo de campo, y la manipulación de los datos obtenidos. En esta parte se describe el diseño y el tipo de estudio, la población a la que se va a atender, los instrumentos: validez y confiabilidad y los procedimientos que se realizarán apegado al cronograma de actividades. Todo esto con el fin de presentar los datos con la mayor coherencia posible y así dar las respuestas correspondientes a las preguntas planteada en esta investigación.

Diseño, enfoque y tipo de investigación

Para esta tesis el diseño de investigación, el cual se ha optado es el no experimental, pues las observaciones de campo se limitaron al objeto de estudio, en donde las variables y otros efectos no modifican su contenido. Según Hernández (2006), el diseño no experimental es cualquier investigación que se realiza sin manipular en forma deliberada ninguna variable, es por ello que este diseño de investigación es el que mejor se adapta al trabajo de investigación presente.

Con respecto al enfoque para esta investigación se ha considerado como cuantitativo de acuerdo con Hernández et al., (2006) dice, que este enfoque utiliza la recolección de datos para tratar de probar una hipótesis con base en la medición numérica y análisis estadístico y a su vez establecer patrones de comportamiento y probar teorías. Este enfoque tiene como objetivo explicar los fenómenos físicos, por 33 interesarse en las causas que los originan (principio de verificación) y apoyarse en técnicas estadísticas para el procesamiento de la información, la cual obtiene a través de métodos empíricos. (Aguilar Herrera, 2013).

Siguiendo con el tipo de investigación para esta tesis se ha seleccionado la exploratoria y descriptiva respectivamente, atendiendo a la primera, Arias Odón (1999) establece: la investigación exploratoria es aquella que se efectúa sobre un tema u objeto desconocido o que se ha estudiado poco, por lo que no se logra tener con certeza los resultados sobre dicho objeto, es decir, que solo se adquiere un nivel superficial de conocimientos. También Hernández et al. (2006) identifica el segundo diciendo: "la investigación descriptiva busca especificar propiedades, características y atributos im-

portantes de cualquier fenómeno que se analice". Describe tendencias de un grupo o población.

Técnicas e instrumentos de investigación

La técnica más adecuada para este trabajo de investigación es la observación de acuerdo con la definición de Postic y De Ketele (1988) que dicen que es como una lectura lógica de las formas, ya que se establece una relación concreta e intensiva entre el investigador y el objeto observado con el propósito de obtener la mayor información posible sobre el área de estudio. Para toda técnica de investigación ha de seleccionarse un instrumento por el cual se puedan registrar los datos de manera confiable y aledera. Así que la fichas de observación ha sido las usadas mediante el llenado o cotejo de informaciones obtenidas en campo.

La estructura con la cual contó la ficha de observación fue en base a las variables propuestas, en esta considerada: el diseño de malla, dilución del mineral, profundidad, diámetro y temperatura de pozo, dosificación de explosivo, presencia de agua y aseslitologías, presencia de fallas significativas, foliaciones, alteración de la roca, dirección de la voladura, reporte de vibraciones, seguridad perimetral, fragmentación

de la roca después de volada y otras eventualidades de importancia en caso de presentarse y no estar contemplado en el instrumento.

Como una forma de comparar los resultados y eventualidades de la ficha de observación llenada durante el desarrollo de la voladura se asistió a las reuniones de evaluación de voladura del personal de mina y contratistas involucrados. Mediante una libreta

de trabajo se recogió todo lo abordado de más importancia y relevancia para la presente tesis.

Validez y confiabilidad del instrumento

La elaboración del instrumento que se usó debe responder a los parámetros preestablecidos para cada una de los aspectos considerados en la ficha de observación con el fin de avalar la eficiencia y cumplir con los estándares más exigente por parte de las ramas ingenieriles relacionada al área que se va a estudiar. Para tal propósito la ficha fue revisada por mano de expertos del mundo de los explosivos, la voladura y la geología. Se entiende que involucrando estas grandes áreas del saber no quedó al margen ningún dato de importancia que no esté contenido en este instrumento.

Las pruebas pilotos para las fichas de observación no se consideró ser realizada puesto que para cada voladura los resultados son diferentes, y no es parte representativa del todo puesto que las condiciones ambientales del subsuelo tuvo un comportamiento desigual conforme a los avances en el plan de minado.

Población y muestra

Debido a no tener un número significativo de muestra a la cual se le pudiesen realizar de manera independiente pruebas particulares atendiendo a cada variable en cuestión se ha determinado que la totalidad de las muestras fue la población a estudiar.

Reconocimiento de campo

Una vez obtenidas todas las informaciones de interés para esta investigación se procedió a realizar visitas a campo en los diferentes open pits del yacimiento Pueblo Viejo, en dicha visita o reconocimiento de campo se identificó las zonas más adecuadas para la realización del estudio. Previa la obtención del plan semanal, el mismo va acorde a las planificaciones de largo y corto plazo, los cuales procuran los avances mineros y movimientos de rocas llevado a cabo por la empresa Pueblo Viejo Dominicana Corporations (PVDC).

Levantamiento de datos geológicos, estructurales e hidrogeológicos

Para poder realizar esta tarea se partió de los datos previos de mapeo y los modelos geológicos realizados por la empresa, el cual sirvió de base para quienes sustentan esta investigación. La finalidad en general fue contar con mapas a detalle o escalas que acilitaron el trabajo y la compresión total de las áreas de estudios. Los mapas generados fueron entendiendo a la litología, alteración, estructuras y de niveles piezómetro, los cuales muestras las características del subsuelo a ser volado. Estos se elaborararon mediante sistemas de Información Geográficos (Volcán, y ArcGis) contando con las últimas informaciones sobre el estado de los pits en el yacimiento Pueblo Viejo.

Litologías y alteración

Se identificaron los diferentes materiales geológicos preestablecidos y clasificado por la empresa, fue con-

firmado por medio de muestra de mano hecha al tipo general de roca a que pertenecen. El yacimiento Pueblo Viejo presenta una clasificación grupal de rocas. El grado de alteración hidrotermal propio del yacimiento se obtiene a partir de la utilización de espectroscopia portátil PIMA, todos estos datos se generan mediante las perforaciones para exploración realizado por cada 2mts de profundidad. Mediante las visitas a campo se confirmó que los modelos litológicos y alteración coincide perfectamente con las muestras de manos recolectada de las áreas a volar.

Estructuras e hidrogeología

En cuanto a las estructuras geológicas, esencialmente las fallas fueron levantadas, conforme a los datos del Departamento de Geotecnia en los pits Moore, Monte Negro 37 y Monte Oculto a escala 1:5,000. Otras como los niveles de fracturación, contactos y orientaciones preferenciales de la estratificaciones existentes fueron tomadas, esencialmente aquellas considerada de importancia y que pudieron afectar significativamente la voladura como son las fallas de más de 20 mts, la dirección de los estratos y foliaciones en taludes en frente a las mallas de voladuras, medidas conbrújulas Brunton y puntos GPS.

Los niveles piezómetros fueron suministrado por el Departamento de Hidrogeología, en donde se pudo identificar las aguas freáticas mediante pozos localizado en los diferentes pits. Estas mediciones son llevadas a cobo tomando en cuenta el procedimiento de medición de piezómetros y sondeos el cual muestra la metodología para la adecuada medición de los nive-

les freáticos en el área de la mina; en este se realizan las lecturas correspondientes de cada pozo luego la información obtenida es registrada en la base de datos habilitada para el monitoreo de piezómetros y pozos subterráneos y finalmente se interpretan los datos y se realiza un mapa piezómetrico.

Control de dilución

Actualmente Drill & Blast basa sus diseños para el control de dilución con un predictivo preliminar que se realiza en estimación de recursos por del Departamento de Geología. Una vez comparado el preliminar y el definitivo, se consideró tomar como base el predictivo final (polígonos con la distribución geométrica de leyes clasificadas). Se determinó que los movimientos realizados corresponden a favorecer la disposición final del material mineralizado para el control de dilución. Los datos que proporcionaron los polígonos son las clasificaciones atendiendo a sus leyes y lastoneladas de rocas que lo contiene. La escala para esta representación de este mapa es de 1:1200. (Verfig.16). La mineralización es calculada mediante la estimación con avanzados softwarecomo Volcán que relaciona las leyes de acuerdo al pozo más cercano en una malla para la perforación de exploración de 15 X 10mts; separación por cada pozo. Durante el proceso de perforación son recolectadas las muestras cada 2mts y las mismas son enviadas a laboratorio, el cual idéntica los gramos de oro, plata, cobre, zinc, azufre y carbón. Todos estos datos son procesados dando como resultado polígonos caracterizados como alta (H1, H2), media (M1, M2, M3) y baja (L1, L2, L3) ley, además de lo que es considerado como Waste (W1, W2). Se verificaron las condiciones

del terreno, el cual se determinó tanto por los mapas topográficos como visita en campo si las mallas tenían cara libre o eran para voladura de apertura o zanjas, he independientemente de eso observar la factibilidad de moverlo a zona preferenciales.

Planificación minera

Mina operaciones cuenta con dos departamentos que se dedican a la planificación de la mina, pues como tales están el departamento de planificación a largo plazo y el departamento de planificación a corto plazo. El departamento de Drill &Blast también realiza sus planificación de voladuras en base a las planificaciones anteriores. Se comprobó la dependencia de estas planificaciones y la dinámica de trabajo en la ejecución, comunicación y proyección conforme a los avances mineros.

Factores diseño de voladura

Drill & Blast realiza su diseño a partir de los polígonos de generales de los avance de minas, estos son llevado a sub polígonos, en los cuales son diseñadas las mallas de perforación para su posterior voladura. Generalmente una malla de voladura contieneun promedio de unos 100 pozos, el cual varía entre 60 y 200 pozos por malla. Mediante software comoVulcan para la realización del BlastPlan y ShotPlus para el amarre o timing ambos a escala entre 1:400-1:800. En un diseño de voladura la carga específica por detonador es necesario tomarla en cuenta, para reducir las vibraciones, adema el taco y material de taco, tamaño adecuado etc. recordando que el éxito de una voladura depende de

la perforación en un 70%, esta debe revisarse minuciosamente para que todos los factores de diseño puedan aplicarse de forma segura y así mantener resultados óptimos, esto ayuda a mantener estándares exigido por la empresa estos resultados son casi siempre comparados a nivel nacional o internacional.

Resultado y evaluación de voladura

Los resultados de las voladuras se enmarcan en el contexto de post voladuras, en donde se evaluó la dimensión de los fragmentos de roca tomando en cuenta que a la trituradora de mineral deben de llegar fragmentos menores a 1m3. La medición de aquellos bloques de rocas más grandes se hizo en el campo, mediante la utilización de cita métrica para corroborar su dimensión. Mediante fotos con escala humanas se estimó el abultamiento o esponjamiento de la forma de pilas, así como la dirección resultante de acuerdo al amarre o timing y la posibilidad de rompimientos traseros.

Las vibraciones producidas por la explosión o detonación de la voladura, las cuales viajan a través de los diferentes materiales cercanos a la mina y fuera de estas en forma de ondas, se enfatizaron en las que causan un mayor daño como son las ondas superficiales. Se superviso la puesta de sismógrafos dentro de las instalaciones de PVDC, como forma de monitorear los taludes, las presas de colas o infraestructuras cernas, se analizaron los reportes obtenidos como son la intensidad de ondas, longitudes de onda, amplitud y duración. Una ficha de observación se llenó por cada voladura para dar respuesta a esta variable y todos sus

indicadores, en las cuales se asentaron las incidencias de las voladuras y post voladuras.

Costos de voladura

Se ha calculado una parte importante de todas las muestra para obtener una referencia de los costos en base al explosivo usado, accesorios, material de taco y metro de perforación. Estos datos fueron comparados con un valor que indica el costo del material de mina que fue volado. Otros costos fueron considerados, pero por su complejidad o porque son datos confidenciales no pudieron ser reflejados dentro del cálculo, como es el costo de horas-hombres, contratos con empresas externas, custodias y técnicos y otros relacionados al costo total o real.

Seguridad en las voladuras

Los aspectos de seguridad de voladura comprendido en el procedimiento de voladuras vigente que entre otro comprende los siguientes: planos de ubicación de las 42 voladuras, vías de accesos al perímetro de la voladura, ubicación de los puntos de loqueos, sistemas de comunicación, equipos, personas y materiales usados, reunión pre-voladura y post-voladura fueron evaluados para avalar el fiel su cumplimiento. Cabe mencionar que el tema de seguridad en las voladuras es un tema de alta importancia en la empresa, en vista que afecta a gran parte de la operación y participan los departamentos más importantes del proyecto. Por tal razón se ha de identificar debilidades que pueden ser mejoradas o reforzadas por quienes sustentan este estudio, si se presentase.

De acuerdo a las muestras procedentes en este depósito para la geología no hay muchas variaciones, pues en cuanto a la litología y a la alteración en la zona las rocas tanto en el modelo como los reconocimientos de campo coincide en que son LA, Cover y LA,0x (Ver fig. 08). Sus alteraciones son Ch-Ill-Sm, Qtz-Al-DK y Qtz-Pyr-

Dk para Monte Oculto (Ver fig. 07). Para la parte hidrogeológica del depósito Monte Oculto fase A los datos de los niveles piezómetro recolectado en un pozo se encuentran perforaciones en el nivel 410 hacia el 400 y según la zona los niveles friáticos son inferiores al 380 por tal razón los barrenos perforados en este nivel no tienen agua freática. (Ver fig. 52).

Los polígonos delimitados para el control de dilución cuentan con diferentes leyes, las cuales son nombradas atendiendo a su clasificación (Ver foto 01). La ley de mineral en las mallas (Ver fig. 16 al 23) las geometrías de mineralizaciones varían en proporción y posición en toda la mallas siendo un total de 40057 Tns para H1, 43026Tns para M2, 4374Tns para M3, 121256Tn para L2, 30385Tn para L3, 12265Tn para W2.

Análisis de Resultados

En este capítulo se presentan los análisis de los datos obtenidos en la investigación realizada, con el objetivo de evaluar los diferentes métodos y técnicas utilizadas en las voladuras realizadas en el yacimiento de Pueblo Viejo y así dar respuesta a las preguntas de investigación que se presentan en el planteamiento del problema. Para tales fines la reflexión se fundamentó en la ficha de observación para poder llegar a las conclusiones y recomendaciones.

¿Son los aspectos geológicos, estructurales e hidrogeológicos tomados en cuenta para el diseño de voladura?

En general la variable geología, estructuras e hidrogeología son tomada en cuenta de manera individual, entre todos sus indicadores la litología he considerada con mayor énfasis para el diseño de la voladura y la misma es tratada otorgándole una competencia de acuerdo al modelo de bloque de dureza y al proceso de perforación en campo, las alteraciones del modelo geológico podrían proporcionar gran información sobre el estado de las rocas a ser voladas si a esta se le dieran un tratamiento más preciso.

En muchas de las zonas, las informaciones previas que han sido levantadas por los departamentos de Geología (sección mapeo) y Geotecnia cercana al área a volar no son proporcionada con antelación para el banco a proyectar y así poder ajustar el diseño, como lo ocurrido con la malla MO160B006 la cual es cortada por una falla, de igual forma la hidrogeología de los niveles piezómetros de los diferentes pozos de los pits para el diseño de la voladura es considerado mediante 58 revisión previa al carguío por parte de contratista y así preponderar las mezclas ya sea en ANFO como emulsión.

¿Los aspectos que se están considerando están logrando un control de dilución en estas voladuras?

El control de dilución los indicadores de topografía y condiciones del terreno más la mineralización son tomando en cuenta, mediante la utilización de un predictivo, el cual es considerado en el diseño de las vola-

duras y así forzar el movimiento buscando zonas preferenciales para mover las leyes minerales atendiendo a las formas geométricas de los polígonos clasificado con la leyes preestablecidas.

¿Las voladuras programadas en las planificaciones se están cumpliendo?

Según las gráficas generadas de las voladuras planificadas muestra una variación de acuerdo a la cantidad de voladuras planificadas versus las cantidades ejecutadas cada día solo tres días se cumplió con lo planificado. Las voladuras planificadas versus las voladuras ejecutadas conforme a la planificación cada día, cuatro fueron las cumplidas con el plan. Las voladuras que fueron ejecutadas sin estar planificada para el día que se realizaron, estas variaciones en las ejecuciones se deben a las disponibilidades de los equipos de perforación, condiciones del terreno y prioridades de última hora.

La importancia en que las voladuras sean programadas se hace en base a los avances propuesto por planificación a largo plazo, los cuales buscan las mejores leyes y la forma de minado por planificación a corto plazo, que atendiendo a la disponibilidad de espacio, tiempo y equipos procura llevar mineral a los stop piles, alimentación a planta y relleno para caminos de accesos y para las presas de cola localizada en PVDC.

¿Los criterios que se están considerando en el diseño de la voladura son los más adecuados dadas las condiciones y características de la mina?

Los criterios que se están considerando para el diseño de la voladura están dando resultado de acuerdo a los requerimientos por parte de quienes reciben el producto final de las voladuras y los involucrados durante todo el proceso de entrega y despacho. Es importante destacar que los criterios tomado para esta investigación están contenido como indicadores dentro de la variable factores de diseños en voladuras y que los mismo de manera general son los más adecuado, tal el caso de los patrones de diseño (bordo-espaciamiento), diámetro de perforación, sub-barrenación y altura de banco. Otros indicadores como las condiciones de pozos, tipo de explosivos y la calidad de taco debieron de tener un mejor tratamiento, pues este último presentó inconveniente de campo durante su carga y detonación Todos estos aspectos impactan significativamente la eficiencia de una voladura y al tratarse de manera conjunta garantiza buenos resultados.

¿Han sido los resultados de las voladuras los esperados, atendiendo al producto final para entregar y condiciones del terreno post-voladura?

El departamento a cargo de evaluar los resultados de las voladuras cuenta con un software para medir la fragmentación, el cual es utilizado para definir los patrones (Burden-espaciamiento) con una frecuencia de medición anual o cuando los patrones presenten dificultad en el fragmentado de las rocas. De acuerdo con esto, cada voladura es observada la fragmentación

de manera visual al igual que quienes sustentan esta investigación y ha sido clasificada en la ficha de evaluación como fragmentación requerida, aceptable o no cumplida. El fin es cumplir con los 60 requerimientos de planta; de que los fragmentos sean menores a 1mts3 con un porcentaje de permisibilidad prestablecido.

Se entiende que la disposición del material resultante de la voladura ha cumplido con forma, tamaño y niveles de esponjamiento en casi todas las muestras. Asegurando el minado con las palas y cargadores sea el más adecuando atendiendo a las condiciones del terreno. Esto es posible a la dirección del movimiento, el cual se diseña mediante softwares para forzar que al material dirigirse a un lugar preferencial conforme a los amarres o timing elaborado.

Aunque para ningunas de las muestras hubo registro de TQs, ya que este trabajo de investigación limita su estudio a las voladuras de producción de mineral, las demás realizadas como en el caso de las calizas en Quemados donde se presentaron tiros quedados. Con esta información externa al estudio no se puede dejar de interpretar, atendiendo a que las condiciones son similares (agentes explosivos, diseños), que puede presentarse TQs, puesto que se utilizan los mismos patrones tanto para mineral como no mineral y algunos móvil que pudieron haber generado como el taco o fallas de terrenos. Por la naturaleza de algunos de los pits en su composición litológica vs alteración, las condiciones de piso no son un problema constante, pues para el caso de Moore en donde muchas de sus zona son rocas sedimentarias (VKSI, SKM, VS; Nivel 160) son suaves, las máquinas pueden fácilmente nivelar el piso sin ningún tipo de complicaciones si quedase parte de

las rocas sin ser afectadas por el explosivo. Independientemente de la generalidad hubo un caso para la muestra MO160B008 donde quedaron rocas sin quebrar, llamados "duros", estos cuerpos suelen ser materiales rocosos. Para estas eventualidades siempre a de necesitarse voladuras secundarias.

Los rompimientos hacia atrás o traseros causados por la acumulación de la energía incrementada en la dirección opuesta, puede deberse a varios motivos tales como fallas geológicas localizada a los pie de taludes, ausencia de precorte y/o zonas buffer, mal diseño de malla, primera fila de pozo con burden mayor al espaciamiento, cantidad excesiva de explosivo y secuencia de tiempos muy cortos o amarres inadecuados. Todas estos se previeron para que no se produjera tal indicador, los mismo fueron tomado en cuenta dentro de los BlastPlan y Timing. Una cantidad excesiva de explosivo, alta dureza de la roca y una baja densidad, determinan la presencia de fragmentos volados durante la detonación de la voladura. Fue posible observar en los video sproyección de rocas en el aire, pero estas nunca superaron su rango establecido (300Mts equipos y 500Mts personas).

¿Cuál es el costos de la voladura atendiendo a la perforación, explosivos, accesorios y taco, personal y equipos, servicio y custodia?

Los costos obtenidos para la esta variable las cuales reflejan los gastos parciales solo para los indicadores de perforación, explosivo y taco, los demás como el caso de personal, equipo, servicio y custodia no se pudo tener accesos puesto que eran datos confidencia-

les de la empresa. Por lo tanto esta pregunta de investigación queda inconclusa debido a que no todos los indicadores han sido tratados de forma exacta.

¿Fueron aplicados los reglamentos de seguridad de acuerdo a la necesidad del procedimiento de voladura?

Los procedimientos dispuestos por las empresas en materia de seguridad son respetados y cumplido en su generalidad, pues los avisos y reuniones con antelación 62 de tiempo, demarcaciones, despeje y bloqueos; solo algunos casos aislado de menor relevancia como disposiciones de letreros y conos a una distancia menor a la especificada y justificada por malas condiciones de terreno.

Conclusiones

Las variables geología, estructura e hidrogeología, son consideradas y tratada para el diseño de las voladuras de forma separada y así ajustar las cargas y diseño previendo factores en el terreno que pudiesen afectar el producto final a entregar. El departamento de Drill & Blast toma en consideración el predictivo de leyes minerales elaborado por el departamento de geología, con la finalidad de oriental los movimientos hacia zonas preferenciales y así aprovechar las leyes de una manera más eficiente. Los patrones de diseño varían de acuerdo al terreno para ser volado y los amarres son realizados de manera simple por las condiciones favorables. Solo las recetas explosivas son las mismas y esta no varía 30/70 y 70/30, esto pudiese incidir en los resultados finales de las voladuras como la

fragmentación y la forma de pila. Otros condicionantes para esta presente diferenciaciones del material son la baja calidad de taco y las rocas fragmentas en piso que origina la pérdida de energía.

El plan semanal elaborado por Drill&Blast depende de la planificación a largo plazo (avance de los pits) vs corto plazo (movimiento de equipos, materiales y capacidad de acopio) hacen que éste respondan a las demandas, ajustando las voladuras de acuerdo a las perforadoras disponibles y la cantidad de posos prestablecido con la contratista ORICA. Drill&Blast concluye los resultados obtenidos de las voladuras en base a la visita luego de la detonación por parte de un supervisor y la contratista ORICA como los: posibles TQs y rompimiento trasero. De manera visual es observada la fragmentación, dirección del movimiento y fragmentos volados mediantes los 64 videos generados de las voladuras. Otras evaluaciones posteriores son la forma de pila y nivel de piso post voladura.

Los protocolos por parte de la seguridad física son eficiente no deja fuera ningún indicador que pudiese ser de importación para la seguridad, pues el mismo procura salvaguardar la persona en primer lugar y luego daños a equipos e instalaciones cercana. La supervisión para el aseguramiento de la seguridad y la mala comunicación radial en campo provocaron que algunos de los indicadores presenten dificultades de cumplimiento.

Para otros estudios posteriores a esta investigación ha de servir de base para la evaluación de voladuras controladas, con el fin de eficientizar la producción de mineral en minas a cielo abierto. Además que cada una de las variables o indicador pudiese ser estudiada a

profundidad y así tener un conocimiento más amplio sobre la influencia de estos con las voladuras.

Referencias

Aguilar Herrera, F. M., (2013), Métodos y Técnicas de investigación Cualitativa y Cuantitativa en Geografía. Paradigma: Revista de investigación educativa. (No 33), 79-89.

Arias Odón, F., (1999), El Proyecto de Investigación, Caracas: episteme Bowin, c. (1960): geology of central DominicanRepublic. Ph. D. Thesis, Princeton University. Princeton, new jersey, 211 p.

Exsa; (2013); Manual práctico de voladura; edicion especial; Peru. García, E 2014. Optimización del sistema de explotación utilizado en la mina liga de oro.

Hernández, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P., (2006). Metodología de la investigación. México: McGraw Hill.

Hernández, Y;(2015); Procedimiento despeje, voladura y pos-voladura; Pueblo Viejo Dominicana Corporation; República Dominicana.

Kumar, B (2010). Blast vibration studies in surface mines. Llera, J; Jimeno C; Ortiz, F; López, E 1987. Manual de perforación y voladura de rocas; España.

Nelson, C.E., (2000), Volcanic domes and gold mineralization in the Pueblo Viejo district, Dominican Republic: MineraliumDeposita, v. 35, p. 511–525.

Placer Dome Inc. filing (2005) "Pueblo Viejo Project, Province of Sanchez Ramirez, Dominican Republic 43-101 Technical Report and Qualified Person's Review", AMEC, 26 October,.

PROINTEC (1999), Memoria acompañante del mapa geológico de la República Dominicana escala 1:50.000 HATILLO (6172-I).

Ruiz, J: A, (1997). Partial privatization of Rosario Dominicana: mining, Environment and Nature-Possibilities and Compatibilities (in Spanish). Santo Domingo, March 7 A seminar Sponsored by CEDEMPRESA and the law firm of Russin, Vecchi, and Heredia Bonetti.

Smith, H.A., Stephenson, P.R., Butcher, M.G., Carr, C.A., (2008). Pueblo Viejo Gold Project, Dominican Republic. Technical report p

ANÁLISIS DE RIESGOS GEOLÓGICOS EN LA PROVINCIA SÁNCHEZ RAMÍREZ: IMPLICACIONES PARA LA GESTIÓN DE RIESGOS

Dainel Antonio Burgos Paula
José Emmanuel Solano Mieses
Luismeldi María Martínez María

Resumen

Esta Investigación se realizó con el objetivo de analizar los riesgos geológicos en la Provincia Sánchez Ramírez y las implicaciones en la gestión de riesgos que estos presentan. El diseño desarrollado fue el no experimental, con un enfoque mixto. De acuerdo a la investigación, las conclusiones a las que se llegó fueron las siguientes: Se identificó que los eventos naturales que han causados daños y pérdidas en el área de estudio históricamente son: los sistemas frontales, lluvias intensa, tormenta tropical, vaguada, ondas tropicales y huracanes. Las amenazas geológicas en la Provincia Sánchez Ramírez de acuerdo a los resultados presentan un índice alto y muy alto como su mayor porcentaje de amenaza, lo que determina el carácter significativo de ciertos eventos naturales y procesos geológicos en la Provincia. El riesgo geológico en la Provincia Sánchez Ramírez corresponde a un índice bajo seguido de un moderado, lo que indica que desde el punto espacial en la Provincia sólo el 18.58 % de las personas se ven afectadas en el contexto social, material y ambiental. Sin

embargo hay que destacar que el análisis de la exposición se tomó desde el punto de vista humano, por lo que los recursos y servicios se pueden ver afectados en una proporción mayor a lo reflejado en la investigación. La Provincia posee un muy alto índice de vulnerabilidad, lo que deja en evidencia que ante la ocurrencia de un fenómeno de una intensidad determinada los daños y pérdidas en la Provincia serian considerables. Los riesgos geológicos en la Provincia Sánchez Ramírez como: inundaciones, expansión del suelo, deslizamientos, karstificación, erosión del suelo, escorrentía superficial y actividad geotectónica son los que representan una amenaza directa para la población. Donde, de acuerdo al índice del riesgo, los de muy alto índice son zonas críticas amenazadas con inundaciones a gran velocidad establecidas sobre áreas inundables, con viviendas de materiales precarios en mal estado de construcción y procesos activos acelerados. Aquellas que presentan índice moderado son zonas donde las inundaciones son esporádicas y lentas predominadas por viviendas en buen estado o estado regular, las cuales cuentan con facilidad de acceso para la atención de emergencias, han sido consideradas aptas para el uso humano.

Palabras Claves: Riesgos geológicos, gestión de riesgos**,** erosión del suelo, escorrentía superficial, actividad geotectónica, análisis de riesgo.

ABSTRACT:

This research was carried out with the objective of analyzing the geological risks in the Sánchez Ramírez Province and the implications in the risk management presented by them. The design developed was non-experimental, with a mixed approach. According to the investigation, the conclusions reached were as fol-

lows: It was identified that the natural events that have caused damages and losses in the area of study historically are: frontal systems, intense rains, tropical storm, trough, waves Tropical and hurricanes. The geological threats in the Sánchez Ramírez Province according to the results present a high and very high index as their greater percentage of threat, which determines the significant character of certain natural events and geological processes in the Province. The geological risk in the Sánchez Ramírez Province corresponds to a low index followed by a moderate one, which indicates that from the spatial point in the Province only 18.58% of the people are affected in the social, material and environmental context. However, it should be noted that the analysis of the exposure was taken from the human point of view, so that resources and services can be affected in a greater proportion than reflected in the research. The Province possesses a very high vulnerability index, which makes it evident that in the event of a phenomenon of a certain intensity the damages and losses in the Province would be considerable. The geological risks in the Sánchez Ramírez Province such as: floods, soil expansion, landslides, karstification, soil erosion, surface runoff and geotectonic activity are those that represent a direct threat to the population. Where, according to the index of risk, the very high indexes are critical areas threatened with high-speed flooding established on floodable areas, housing poorly constructed precarious materials and accelerated active processes. Those with a moderate index are areas where sporadic and slow floods are predominant for homes in good condition or regular state, which have easy access for emergency care, have been considered suitable for human use.

Keywords: Geological hazards, risk management, soil erosion, surface runoff, geotectonic activity, risk analysis.

Introducción

En una revisión exhaustiva de investigaciones previas sobre Análisis de Riesgos Geológicos en la Provincia Sánchez Ramírez con Implicaciones para la Gestión de Riesgos, en la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO), se pudo constatar, que no existen estudios realizados sobre, Análisis de riesgos geológicos en la Provincia Sánchez Ramírez, sin embargo en la República Dominicana se han elaborado diferentes trabajos sobre la Gestión de Riesgos de los cuales se han tomado en cuenta por su calidad y pertinencia los siguientes.

La Dirección General de Ordenamiento y Desarrollo Territorial (DGODT), a través del Programa de Prevención de Desastres y Gestión de Riesgos (1708/OC-DR), realizó Dominicana 2012: Desafíos un estudio titulado "Indicadores de la Gestión de Riesgos de Desastres en República pendientes y Acciones para el Avance", con el objetivo de identificar los vacíos y debilidades en el sistema de Gestión de Riesgos, en este estudio se plantea que la República Dominicana cuenta con un amplio marco legislativo, documentos, estudios e informes de diversa calidad que abordan la temática de amenazas naturales, desastres, vulnerabilidad y riesgos.

En 2011 la Comisión Nacional de Emergencias de la República Dominicana presentó, el Plan Nacional de Gestión Integral del Riesgos de Desastres "Proyecto Mejora de la Capacidad Institucional y de Gestión de

Riesgos Socio-Ambientales en la República Dominicana", el cual tuvo como propósito el fortalecimiento de las capacidades de la República Dominicana, de manera que este documento se plasmó en la Estrategia Nacional de Desarrollo 2010-2030 para que pudieran lograr y proveer al país la capacidad de incrementar los niveles de protección y seguridad de la vida, los bienes y medios de vida de la ciudadanía ante fenómenos naturales y antrópicos con potencialidad de causar desastres.

La Unión Europea realizó en la República Dominicana en 2009 un Análisis de Riesgos de Desastres y Vulnerabilidades en la República Dominicana, este informe tuvo como objetivo, aportar información relevante que les permita identificar y priorizar líneas de acción y ámbitos geográficos para la ejecución efectiva de sus acciones, en el cual se llegó a las siguientes conclusiones:

- Las instituciones nacionales y de cooperación que trabajan en el tema de la Gestión del Riesgo en la República Dominicana presentan importantes limitaciones a la hora de seleccionar, clasificar, coordinar, elaborar y compartir la información disponible. En la actualidad, el proceso de transformar la información en conocimiento se torna muy complejo, siendo necesaria la recopilación y sistematización de experiencias y herramientas desarrolladas así como la creación de portales especializados.
- Las estadísticas disponibles muestran fuertes debilidades que afectan la adecuada información, al carecer de registros estadísticos actuales y fidedignos. Esta situación afecta seriamente cualquier proceso de planificación que se haga a nivel del gobierno,

de otras instituciones y organismos nacionales e internacionales, quienes se han basado en criterios aleatorios y reactivos para establecer la priorización geográfica y temática de sus actividades.

- El flujo de información se evidencia ineficiente, también existe un limitado trabajo conjunto entre los sistemas nacionales y el resto de actores vinculados a la Gestión de Riesgos que permita saber y conocer quiénes trabajan en qué temas, coordinar esfuerzos y trasladar los resultados de éstos a un plano más local y comunitario transformando la información en conocimiento. Muchos proyectos o iniciativas no consideran el trabajo conjunto con las autoridades locales o grupos de base y se demuestra una amplia descoordinación interinstitucional, que repercute en esfuerzos como también experiencias aisladas y poco eficientes. Para garantizar la participación activa de la población deben crearse estructuras locales de consulta y consenso lo que permitirá que se desarrolle su capacidad para determinar las necesidades propias, con criterios, conocimiento y soluciones locales.
- Las metodologías existentes para el análisis del riesgos en los proyectos son escasas y poseen un grado de desarrollo insuficiente, lo cual dificulta su comprensión y aplicación práctica; los instrumentos metodológicos disponibles se han concentrado prioritariamente en el estudio de las amenazas, siendo muy escasas la información y las metodologías analíticas relacionadas con los factores de vulnerabilidad y capacidad, con lo que la información disponible sobre el riesgos frente a desastres sigue siendo deficiente y escasamente concuerda con las

necesidades de los tomadores de decisiones.

- La Gestión de los Riesgos tiene, entre sus razones y fundamentos, el hecho evidenciado de que, en caso de cualquier tipo de desastre, quienes reaccionan en primer lugar y conocen mejor sus amenazas son los pobladores y autoridades locales. Es por ello que los actores institucionales y los organismos de cooperación deben concertar esfuerzos para la gestión local del riesgo y canalización local de sus acciones. Es, por tanto, necesario fomentar la organización comunitaria a través de redes, contrapartes locales, etc., ya que un problema que evidencian las organizaciones internacionales es la falta de contrapartes locales con capacidad para gestionar proyectos. Los municipios deben incorporar partidas presupuestarias que incluyan la gestión de los riesgos, de manera transversal a través de proyectos específicos, a fin de reducir la vulnerabilidad y asegurar las acciones de respuesta a las emergencias.
- La capacitación local en todos los aspectos de la gestión de los riesgos, el fortalecimiento de las capacidades técnicas sectoriales en el ámbito local, sobre todo aquellas en que los municipios tienen responsabilidades y autoridad (servicios básicos, infraestructura, vialidad, administración de recursos) permitirían determinar y dar seguimiento a las amenazas, la vulnerabilidad y la zonificación de las áreas peligrosas. Los productos (mapas, etc.) debieran reflejar los escenarios y mecanismos con que cuentan las comunidades para enfrentar las amenazas, lo cual constituiría una herramienta analítica primaria para concebir y desarrollar, dentro el proceso estratégico de desarrollo regional, Provincial y

municipal, el análisis del riesgo y un plan de acción para su reducción.

- Los escenarios de riesgos no son estáticos, no permanecen estables en el tiempo, son dinámicos, esto hace que sean trabajados desde una perspectiva de "multiamenaza" y "multiriesgos. Por lo tanto, los mapas de riesgos deben de estar siempre en constante actualización, deben reflejar la realidad y por ello existe la necesidad de mantener un monitoreo permanente de las condiciones de riesgos de los territorios y producir la cartografía resultante de forma continua.

El informe nacional sobre el progreso en la implementación del Marco de Acción de Hyogo en la República Dominicana del 2008, que identifica que existe un avance mínimo y limitado en los aspectos evaluados, indicando que:

- Se necesita una estrategia nacional de desarrollo que incluya políticas para la reducción de riesgos ante los desastres y sus respectivos instrumentos.
- La creación y fortalecimiento de instituciones, mecanismos, y capacidades a todo nivel, en particular en el ámbito comunitario, que puedan contribuir de manera sistemática a aumentar la resiliencia ante las amenazas.
- En la fase de reconstrucción de las comunidades damnificadas, la incorporación sistemática de los criterios de reducción del riesgos en el diseño y en la ejecución de los programas de preparación para situaciones de emergencia, respuesta y recuperación.

Revisión de literatura

En el presente capítulo se presenta la plataforma teórica a ser utilizada para la investigación, donde se tomó como parámetros las variables de la investigación, en las generalidades de la gestión de riesgos. Tomando en cuenta que el propósito de la investigación es un análisis de riesgos geológicos en la Provincia Sánchez Ramírez con Implicaciones para la gestión de riesgos.

Catálogo de evento

El objetivo del Catálogo es hacer una síntesis del historial de los eventos ocurridos y determinar las causas, mostrando las áreas afectadas según la información levantada y una breve cuantificación de los daños y pérdidas. Para la elaboración de este se toman en consideración el levantamiento de información con lo que se confecciona un catálogo de los eventos ocurridos por municipios donde se reflejarán los siguientes datos:

- Año: En que ocurrió el evento
- Día: Día y mes en que ocurrió el evento
- Evento Natural: Tipo de evento que ocurrió, inundación, deslizamiento, incendio, etc.
- Causas: Saber a qué razones dinámicas responde los eventos en el sitio
- Área afectada: Espacio físico que ha sido afectado debido a la ocurrencia del evento, se especifica el paraje o barrio afectado en detalle dentro del municipio.

– Daños y Pérdidas: Tener un resumen de las pérdidas económicas de los diversos sectores afectados por el evento, así como cantidad de personas fallecidas; en cuanto a daños tener cantidad de personas evacuadas, viviendas e infraestructuras severamente afectadas, etc.

Amenazas

El término amenaza se refiere a un peligro latente que representa la probable manifestación de un fenómeno físico de origen natural, socio-natural o antropogénico, que se anticipa puede producir efectos adversos, disrupción, daños y pérdidas en las personas, la producción, la infraestructura, la propiedad, los bienes y servicios y el medio ambiente. Constituye un factor de riesgo físico externo a un elemento o grupo de elementos sociales expuestos, que se expresa como la probabilidad de que un fenómeno se presente con una cierta intensidad, en un sitio especifico y dentro de un periodo de tiempo definido. (Lavell, 2003).

La variedad de amenazas que potencialmente enfrenta la sociedad es muy amplia y tiende a aumentar constantemente, pueden estar asociadas a la dinámica del medio natural, o ser el resultado de la interrelación del medio físico con el social.

Estos tipos de amenazas pueden ampliarse a través de múltiples tipos específicos y además complicarse por posibles efectos de concatenación, que sirven para crear amenazas complejas, por ejemplo la amenaza sísmica o la asociada a huracanes puede concatenarse y ser detonante en un tiempo y espacio particular de la ruptura de presas, deslizamientos e inundaciones. No

puede existir amenaza sin la existencia de una sociedad vulnerable y viceversa. (Foschiatti, 2007)

Según Herrero (2014) las amenazas pueden tener diferentes orígenes:

Amenazas naturales: estas son provocadas por fenómenos de la naturaleza. En su mayoría no interviene la mano del hombre. Se pueden diferenciar entre amenazas geológicas (terremotos, tsunamis, volcanes, deslizamientos, etc.) e hidrometeorológicas (huracanes, tormentas tropicales, inundaciones, sequias, etc.)

Amenazas antrópicas o tecnológicas: el desastre tecnológico se define como una situación derivada de un accidente en el que se involucran sustancias químicas peligrosas o equipos peligrosos; que causan daño al ambiente, a la salud, al componente socioeconómico y a la infraestructura productiva de una nación o bien de un sistema, estos daños de tal magnitud que excedan de la capacidad de respuesta del componente afectado.

Evaluación de amenaza y elaboración del Mapa de Amenazas

Según Herrero (2014), para poder evaluar una amenaza es necesario cuantificar la probabilidad de que se presente un evento de una u otra intensidad durante un periodo de exposición. Sería necesario contar con la información, lo más completa posible, acerca del número de eventos que hay ocurrido en el pasado y acerca de la intensidad que tuvieron los mismos. Este tipo de evaluación es realizada por instituciones técnicas y científicas relacionadas con campos afines a la geología, la hidrogeología y los procesos tectónicos.

Fases de la evaluación de amenaza y elaboración del Mapa de Amenazas

De acuerdo a la "Guía Metodológica para la Elaboración de los Mapas de Riesgos" presentada en el 2010 por el Servicio Geológico Nacional de la República Dominicana, plantea una metodología que consiste en realizar la evaluación de la amenaza y la elaboración del Mapa de Amenazas en dos fases, con los siguientes pasos a seguir:

Fase 1

Levantamiento de información en gabinete, que comprende las siguientes actividades:

- Levantamiento de los eventos que han afectado a los municipios, de tipo hidrometeoro- lógicos, inundaciones, deslizamientos, hundimientos, efectos de la tectónica, acción eólica, contaminación, etc.
- Levantamiento de la cartografía existente de la región
- Trabajos de fotointerpretación de las fotos aéreas y las imágenes satelitales que permitan tener una visión de conjunto de la problemática.
- Construcción de una Base de Datos preliminar con base en la información disponible levantada

Preparación de las bases planimétricas que servirán de soporte para la elaboración de los diferentes mapas, esta fase comprende:

- Elaboración de las bases planimétricas que incluye la información correspondiente a las carreteras, caminos, red hidrográfica, curvas de nivel, poblados, límites municipales de secciones y parajes.

- Elaboración del Modelo Digital del Terreno, tomando el MDT de Aster con resolución cada 30 metros.
- Selección de las escalas para los mapas donde se tomarán en cuenta las escalas 1:25,000 para el municipio.

Revisar el historial de los fenómenos catastróficos ocurridos a través del tiempo que han afectado a cada uno de los municipios:

- Elaboración del Catálogo de los eventos que han afectado a los Municipios.

Fase 2

Trabajos de Campo donde se realizarán las siguientes actividades:

- Recorridos de campo en los cuales se tomarán puntos de observación en el terreno fundamentalmente puntos críticos, que son aquellas áreas que han sido afectadas de manera severa por los eventos ocurridos. Estos puntos son georreferenciados con GPS
- Levantamiento fotográfico de los puntos levantados
- Llenado de los borradores de las fichas técnicas en el campo (Peligrosidad y Vulnerabilidad)
- Construcción de la Base de Datos Preliminar de la Peligrosidad

Delimitación en el terreno de la peligrosidad o amenazas:

Antes se deberá hacer referencia a los tipos de peligros o amenazas que se van a caracterizar, estas de forma general se agrupan en los siguientes grupos:

Naturales: Ciclones tropicales, intensas lluvias, tormentas locales severas, penetraciones del mar, deslizamientos de tierra, sismos, intensas sequías e incendios en áreas rurales.

Tecnológicos. Accidentes catastróficos de transporte (marítimo, aéreo y terrestre), accidentes con sustancias peligrosas, explosiones de gran magnitud, derrames de hidrocarburos, incendios de grandes proporciones en instalaciones industriales y edificaciones sociales, derrumbes de edificaciones, ruptura de obras hidráulicas

Sanitarios: Enfermedades epidemias y plagas.

Esta fase asume en principio la evaluación de las amenazas apoyada en diversas informaciones tales como: inventarios de fenómenos realizados de forma directa mediante observaciones y mediciones de campo, análisis y revisión de información científica disponible (mapas, fotos aéreas, informes, etc), con el fin de localizar la posible ubicación y severidad de los fenómenos naturales que resulten peligrosos, así como, la probabilidad de que ocurran en un tiempo y área específica.

Para la determinación de la amenaza se consideran tres objetivos: Causa, Probabilidad y Severidad. (SGN, 2010)

Actividades para la realización del análisis de amenazas

De acuerdo con la Guía Metodológica para la Elaboración de los Mapas de Riesgos, del SGN (2010), para la realización del análisis de amenaza se desarrollarán las siguientes actividades:

- Levantamiento de puntos críticos en el terreno con la ayuda de las fichas técnicas
- Delimitación de las áreas inundables, definiendo las morfologías vinculadas a las mismas
- Delimitación de las áreas afectadas por deslizamiento, hundimientos, definiendo la ubicación de los mismos en el terreno mediante la georreferenciación.
- Reconocimiento de fallas en el terreno que afecten el terreno, etc.
- Elaboración de fichas técnicas sobre las amenazas levantadas.

Exposición

La exposición es otro de los elementos fundamentales para el análisis de riesgos de una determinada zona. En gestión de riesgos al referirse a exposición, específicamente trata de aquellos elementos que quedan expuestos ante algún tipo de amenaza. Según la Guía Metodológica para la Elaboración de los Mapas de Riesgos del SGN de la República Dominica (2010) define elementos expuestos como: "el contexto social, material y ambiental representado por las personas y por los recursos y servicios que pueden verse afectados con la ocurrencia de un evento peligroso". Corresponden a las actividades humanas, todas las obras realizadas por el hombre, tales como edificaciones, líneas vitales o infraestructura, centros de producción, servicios, la gente que los utiliza y el medio ambiente.

Para la evaluación de la exposición no existe un número de indicadores determinados, de tal manera

se toman los indicadores pertinentes según las condiciones y características del municipio afectado por el evento.

Vulnerabilidad

El conocimiento de las vulnerabilidades para el análisis en la gestión de riesgos es uno de los factores más importante para lograr reducir pérdidas anticipadas ya sean humanas o económicas ocasionadas por algún desastre natural. Según González, Ferrer, Ortoño, Oteo (2002) definen vulnerabilidad como: "el grado de daños o pérdidas potenciales en un elemento o conjunto de elementos como consecuencia de la ocurrencia de un fenómeno de intensidad determinada".

La vulnerabilidad (V) representa el porcentaje, respecto al total expuesto, de víctimas mortales o de pérdidas de bienes materiales provocadas por un determinado evento. Este en todo momento dependerá de dos factores fundamentales, de las características del elemento considerado y de la intensidad del fenómeno que afecta a dicho elemento. En ningún momento se suele considerar su valor económico. Suele evaluarse en porcentaje siendo 0 % sin daño alguno y 100 % pérdida total.

Metodología

La presente investigación estuvo fundamentada bajo los criterios del Manual de Investigación de la UTECO y el Reglamento de Trabajo de Grado, por tanto este capítulo, se orienta a desglosar los componentes metodológicos entre ellos: diseño y tipo de investigación, enfoque de la investigación, instrumento, procedimientos y análisis de datos.

Diseño y tipo de estudio

La investigación se correspondió con un diseño no experimental, del **tipo descriptivo** ya que "únicamente pretendió medir o recoger información de manera independiente o conjunta" sobre las variables para el análisis de los riegos geológicos que influyen en la Provincia Sánchez Ramírez, a la vez permitió obtener información actualizada que evidencia la situación actual del área de estudio, al mismo tiempo es de **corte transversal**, puesto que se recolectaron datos en un solo momento, en un tiempo único y **prospectivo** puesto que los resultados se emplearan a futuro para la toma de decisiones por parte de la autoridades municipales de Sánchez Ramírez. (Hernández, 2006)

Enfoque de la investigación

Partiendo de lo planteado por Hernández (2006), el enfoque de la investigación es mixto, ya que "implicó un proceso de recolección, análisis y vinculación de datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio o una serie de investigaciones para responder al planteamiento del problema".

Por otra parte, de acuerdo con el concepto de Grajale, T. (2000) esta investigación es aplicada, teniendo en cuenta que su propósito es aportar la información actualizada en riesgos geológicos (amenaza, exposición y vulnerabilidad) para la de gestión de riesgos en la Provincia Sánchez Ramírez.

Descripción y Validación del Instrumento

Para levantar los datos referentes a riesgos geológicos en la Provincia Sánchez Ramírez, se elaboraron

fichas técnicas que recogen datos de peligrosidad, aspectos geológicos, geomorfológicos, geotécnicos y procesos activos, como también una entrevista compuesta de tres (3) preguntas abiertas para la variable gestión de riesgo.

Para su validación se presentó a diversos profesionales del área de investigación y a otros profesionales de las especialidades de la geología, quienes realizaron las sugerencias para adecuarlas a los objetivos e indicadores. Se realizó una prueba piloto, en el municipio de Villa La Mata para comprobar la interpretación del mismo.

Procedimientos de investigación

Para desarrollar la presente investigación se asumieron tres Fase:

Fase I: Es el momento donde se levantaron datos básicos e informaciones de diversos materiales relacionados con la gestión de riesgos y el área de estudio, de manera tal que contribuyeran al análisis de riesgos geológicos, para lo cual se desarrollaron los siguientes pasos:

1- Solicitud del título de investigación al Comité de Investigaciones

2- Consultas de informes técnicos y publicaciones variadas que aportaron datos y conceptos importantes para el desarrollo del trabajo y la formulación de la propuesta de investigación;

3- Formulación de la propuesta de investigación

4- Elaboración del instrumento;

5- Validación del instrumento

6- Solicitud al Decano de la Facultad de una carta de presentación para visitas al campo e instituciones;

7- Se realizaron visitas a la Defensa Civil para recolección de información sobre eventos naturales que han causado daños y pérdidas en la Provincia Sánchez Ramírez

8- Visita al campo;

Fase II: Una vez levantada toda la información de campo y/o de gabinete se procedió a la revisión de toda la data que sirvió de base para la elaboración del catálogo de eventos y las matrices (ver anexo 4), las cuales se confeccionaron de acuerdo a la guía metodológica para la elaboración de los mapas de riesgos, información levanta en el campo y el censo nacional 2010

Para las causas naturales que pueden condicionar los procesos geológicos, se reconocieron **las siguientes, a las cuales se les asignó una ponderación de acuerdo al grado de importancia:**

Análisis y presentación de datos

Se elaboraron matrices compuestas por indicadores que se reflejaron en una hoja de Excel del software Microsoft Office 2013, esta información generó cuadros de índices y gráficas de barras, en base a la amenaza, exposición, vulnerabilidad y el riesgo geológico, asignándole la categoría según el umbral.

Análisis de los Resultados

En este capítulo se analizan los resultados recopilados. Este análisis se logró en base a los resultados cuantitativos y cualitativos presentados en el capítulo

anterior, con el propósito de dar respuestas a las preguntas de investigación sobre el Análisis de Riesgos Geológicos de la Provincia Sánchez Ramírez.

Catálogo de eventos

De acuerdo con los eventos registrados en el catálogo de la Provincia Sánchez Ramírez, desde 1978 hasta junio 2016 los que más afectan son los sistemas frontales, estos debido a las grandes precipitaciones que registran en el territorio son el factor principal para activar los procesos geológicos que representan riesgos a la población.

Amenazas geológicas

Para el análisis y evaluación de las amenazas de la Provincia Sánchez Ramírez se tuvo en cuenta las características geomorfológicas y los proceso activos del área de estudio. En el análisis de los aspectos geomorfológicos en la amenaza del riesgo geológico, se basó en el trabajo de campo y en el análisis de las bases cartográficas de mapas geomorfológicos y procesos activos de la Provincia Sánchez Ramírez.

En las amenazas geológicas para la provincia Sánchez Ramírez se destacó un índice alto de posible ocurrencia. Los procesos activos que han sido considerados amenazas en este estudio de los diferentes parajes son: inundación, inundación por encharcamiento, erosión fluvial, escorrentía superficial, Karstificación, actividad neotectonica, deslizamiento y derrumbes, los cuales representan un peligro, ya que, 212 de los 339 parajes de la Provincia oscilan entre los índice alto y

muy alto con respecto a las amenazas, donde 123 tiene un índice alto y 89 muy alto, de acuerdo con Lavaell (2003) esto constituyen un factor de riesgo físico externo a un elemento o grupo de elementos sociales expuestos, que se expresa como la probabilidad de que un fenómeno se presente con una cierta intensidad, en sitios específicos y dentro de un periodo de tiempo definido. El municipio de la Provincia Sánchez Ramírez con mayor índice de amenaza es Cevico

Exposición a riesgos geológicos

El objetivo de evaluar la exposición para la Provincia Sánchez Ramírez, es cuantificar y cualificar desde el punto de vista espacial aquellos elementos que se ven afectados con la ocurrencia de cualquier evento natural y las consecuencias de dicho evento ante la población. Según el resultado de la investigación con relación a la variable de exposición se presenta la provincia Sánchez Ramírez, con un bajo índice respecto a esta variable, que se observan en los 4 municipios que conforman esta provincia.

Los municipios de la provincia Sánchez Ramírez, presentan índices bajos de exposición como su mayor porcentaje ante los indicadores de población, vivienda, bienes del hogar, vías, actividad productiva y vegetación. Sin embargo el indicador salud tiene un índice de exposición moderado lo que se puede traducir como un ligero problema de respuesta ante algún evento. Hay que destacar que el Municipio de Fantino por sus condiciones geomorfológicas y poco grado de pendiente (ver anexo 6), se encuentra en un área de inundación,

lo cual aunque no se ha registrado ningún evento de inundación en los últimos años, existen parajes donde deben considerarse como zonas críticas de alto riesgo y no permitir la expansión humana hacia territorios identificados de alta exposición.

Finalmente, al analizar los indicadores de la variable, sobre la exposición de la provincia Sánchez Ramírez, los resultados corresponden con lo que expresa el Servicio Geológico Nacional de la República Dominicana (2010) que en el contexto social, material y ambiental representado por las personas y por los recursos y servicios se pueden ver afectados con la ocurrencia de un evento peligroso.

Vulnerabilidad

Relacionado a la variable de vulnerabilidad de la Provincia Sánchez Ramírez, se presentan los resultados de acuerdo al grado de daños o pérdidas potenciales en un elemento o conjunto de elementos como consecuencia de la ocurrencia de un fenómeno de intensidad determinada, según González et al (2002).

De acuerdo a los indicadores evaluados para la variable en la Provincia, se registra un índice muy alto de vulnerabilidad para todo el territorio, en el mismo orden también se presenta el índice para los cuatro municipios de forma individual donde se observa que todos tienen un índice de vulnerabilidad muy alto.

Por otro lado, si se observan los indicadores de forma individual para los municipios se muestra que tanto la economía como los servicios sanitarios son los dos elementos que se encuentran más vulnerables ante cualquier evento natural.

Riesgos geológicos

De acuerdo a los resultados de la variable riesgo geológico en la Provincia Sánchez Ramírez, se destaca que el índice con mayor porcentaje corresponde a moderado lo que clasifica la Provincia dentro de un marco donde la mayoría de los eventos que suceden no ocasionan lesiones graves a personas, donde la agricultura se puede ver afectada ocasionalmente, las infraestructuras en su mayor porcentaje sufren daños mínimos y las actividades productivas rara vez se pueden ver interrumpidas por algún evento natural. Sin embargo a pesar que en la Provincia el mayor índice de riesgo geológico es moderado, existen lugares donde el nivel de amenaza, exposición y vulnerabilidad son muy alto, lo que se traduce como un riesgo latente ante eventos de diferentes magnitudes como: inundaciones, expansión del suelo, deslizamientos, karstificación, erosión del suelo, escorrentía superficial y a actividad neotectonica como se pueden identificar en la hoja de procesos activos San Francisco de Macorís 6173.

En el municipio de Cotuí, la mayor amenaza ante la población son las inundaciones, lo cual las hojas geomorfológica y de procesos activos de San Francisco de Macorís 6173 indican que una tercera parte del territorio se encuentra sobre una llanura inundación compuesta por arenas y limos. Por otro lado, en el distrito municipal de Platanal según las hojas ya mencionadas se observan procesos activos de karstificación causando depresiones por disolución y actividad neotectonica. La exposición es relativamente baja debido a que las zonas que presentan estos procesos son aquellas donde existen menor cantidad de asentamientos humanos. No obstante debido a las ocupaciones actuales

realizadas por la población en terrenos considerados de alto riesgo, el índice de exposición ante las amenazas geológicas podría aumentar.

Para el Municipio de Villa La Mata, los únicos procesos que representan riesgos geológicos son los relacionados con las inundaciones, como escorrentía superficial y erosión fluvial. Sin embargo, en el paraje La Piedra, el cauce del rio está sufriendo una fuerte erosión lateral (ver anexo 5) dejando vulnerables a los habitantes de esta comunidad. No obstante, otro foco de inundación es el canal de riego agrícola de Villa La Mata (el canal mayor), el cual ha registrado inundaciones en la zona, inducidas por el mal manejo de las aguas de dicho canal y no por algún evento natural.

En cuanto al Municipio de Cevicos, los procesos que representan riesgos geológicos son la karstificación, actividad neotectonica y la erosión fluvial, de manera mínima se presenta la inundación tal y como muestra el mapa de procesos activos del mismo (ver anexos 6), los procesos que más afectan en esta parte de la Provincia Sánchez Ramírez que presentan mayor índice de riegos son la karstificación y la erosión intensa. De acuerdo a la hoja de procesos activos San Francisco de Macorís 6173 se localizan depresiones por disolución, donde se evidenció la existencia de un deslizamiento como consecuencia de este proceso.

Los asentamientos humanos que están en zonas de karstificación en el Municipio de Cevicos no tienen una gran concentración, están de manera dispersa.

Finalmente, en el Municipio de Fantino, se presenta la inundación como factor de riesgo geológico con una valoración Muy Alta, ya que prácticamente se encuen-

tra en una llanura de inundación compuesta de arcillas y limos. Esta situación constituye la base para que este evento represente la mayor amenaza para la provincia, pues está atravesada por importantes ríos como el Cuaya, Piedra, Bejuqito, Yuna, Camú, Yujo, Sin, Maguaca, Gurabo, Herradura, Duey, Cevicos, Batero, Blanco, Payabo, entre otros arroyos no menos importantes en el tema de la inundación (ver anexo 7), colaborando esto con las inundaciones en la Provincia.

Gestión de riesgos

Relacionado con la pregunta ¿Qué capacidad tienen los organismos de rescate para mitigar los riesgos geológicos en la Provincia Sánchez Ramírez? Sobre los planes de mitigación ante los riesgos geológicos de acuerdo con las autoridades existen medidas, leyes y normas que se pueden aplicar y poner en práctica para mitigar los riesgos, pero estas por falta de voluntad, equipos e instrumentos no se realizan en su totalidad. Lo que dificulta a los organismos pertinentes a hacer sus funciones correctamente.

Con relación a la pregunta ¿En la actualidad existe un plan de prevención de riesgos geológicos para acontecimientos de desastre en la Provincia Sánchez Ramírez? En relación a la prevención, si existe un plan, pero es del año 2006 lo que resulta difícil su aplicación actualmente debido al rápido crecimiento de la población y que los parámetros tomados para este plan no comprende todos los aspectos necesarios para un adecuado plan preventivo.

De acuerdo a la pregunta ¿Cuáles son los factores que se han tomado en cuenta para la elaboración del

plan de gestión de riesgo? Sobre la planificación del plan, se tomaron en cuenta diversos factores basado en la vulnerabilidad humana como primer parámetro, sin embargo otros factores importantes como los estructurales, sociales y económicos no se agregaron a esta planificación lo que no ayuda a apreciar de forma real las necesidades de la población.

Conclusiones

Analizados los datos de la investigación titulada: Análisis de Riesgos Geológicos en la Provincia Sánchez Ramírez: Implicación para la Gestión de Riesgo, se ha llegado a las siguientes conclusiones: Se identificó que los eventos naturales que han causados daños y pérdidas en el área de estudio históricamente son; los sistemas frontales, lluvias intensa, tormenta tropical, vaguada, ondas tropicales y huracanes. Siendo de este grupo las vaguadas y ondas tropicales las que más afectan la Provincia.

Por otro lado, se evaluó que las amenazas geológicas en la Provincia Sánchez Ramírez de acuerdo a los resultados presentan un índice alto y muy alto como su mayor porcentaje de amenaza, lo que determina el carácter significativo de ciertos eventos naturales y procesos geológicos en la Provincia. Se evaluó, la exposición de la Provincia Sánchez Ramírez ante riesgo geológico. Y de acuerdo con los resultados el índice predominante es bajo seguido de un índice moderado, lo que indica que desde el punto espacial en la Provincia sólo el 18.58 % de las personas se ven afectadas en el contexto social, material y ambiental. Sin embargo hay que destacar que el análisis de la exposición se

tomó desde el punto de vista humano, por lo que los recursos y servicios se pueden ver afectados en una proporción mayor a lo reflejado en la investigación.

Se evaluó el índice de vulnerabilidad en cada uno de los municipios de la Provincia, destacando las diferentes vulnerabilidades como: vulnerabilidad humana, social, económica, estructural, física funcional, sanitaria y ambiental. Según los resultados de estas, la Provincia posee un muy alto índice de vulnerabilidad, lo que deja en evidencia que ante la ocurrencia de un fenómeno de una intensidad determinada los daños y pérdidas en la Provincia serían considerables. Se identificaron los riesgos geológicos en la Provincia Sánchez Ramírez como: inundaciones, expansión del suelo, deslizamientos, karstificación, erosión del suelo, escorrentía superficial y actividad neotectonica. Donde de acuerdo al índice del riesgo se concluyó que los de muy alto índice son zonas críticas amenazadas con inundaciones a gran velocidad establecidas sobre áreas inundables, con viviendas de materiales precarios en mal estado de construcción y procesos activos acelerados. Donde la población es de bajo recursos económicos y se encuentra en zonas no recomendadas para la expansión humana.

Las zonas identificadas con índice alto, de igual forma son consideradas críticas y presentan inundaciones lentas que perduran por varios días influenciadas por la expansión de los suelos, donde predominan las viviendas de materiales precarios que van desde mal hasta regular estado de construcción y los servicios básicos están cubiertos parcialmente. Aquellas que arrojaron índice moderado son zonas donde las inundaciones son esporádicas y lentas predominadas por vivien-

das en buen estado o estado regular, las cuales cuentan con facilidad de acceso para la atención de emergencias, han sido consideradas apta para el uso humano. En cuanto a las zonas identificadas con índice bajo, son terrenos compactos con poca pendiente, donde no se conoce registro de inundaciones ni de ningún otro proceso geológico que ponga el riesgo la población.

Con la producción de los mapas temáticos de la Provincia Sánchez Ramírez, han quedado zonificadas las áreas susceptibles a: amenazas, exposición, vulnerabilidad y riesgo geológico. Por otro lado, también han quedado identificados los centros de emergencia y respuesta ante un desastre natural. Se determinó que aunque en la Provincia los organismos cuentan con las capacidades para la mitigación de riesgos geológicos, a falta de un plan de gestión de riesgos con información actualizada y los factores adecuados a tomar en cuenta, esto dificulta la gestión, y más aún con el rápido crecimiento de la población. Lo que implica que el análisis de gestión de riesgo geológico de la Provincia Sánchez Ramírez, debe ser un eje estratégico al momento de trazar políticas, medidas y normas de planificación para el territorio. Con la inclusión de estudios de calidad sobre las condiciones de los municipios que contemplen las amenazas naturales, así como las vulnerabilidades, exposición y riesgos de cada unidad política-administrativa, como entes cambiantes en el tiempo.

Recomendaciones

Se recomienda que en aquellas zonas identificadas en el mapa como de muy alto riesgo, se controle el crecimiento urbanístico y de ser posible aquellas muy ex-

puestas y vulnerables se prohíba la expansión urbana en esta zona. De igual forma, priorizar acciones y medidas de prevención y mitigación ante desastres mediante educación y capacitación de la población.

Impulsar el crecimiento urbanístico sobre las zonas que presentan los mejores niveles de capacidad y seguridad física ante las amenazas como presentan los índices bajos y moderados mostrados en los mapas generados en este trabajo. Se recomienda a las autoridades y entes competentes actualizar el plan de gestión de riesgos para la Provincia Sánchez Ramírez, tomando como fuente de información el presente estudio

Referencias Bibliográficas

Ayala Carcedo Francisco y Olcina Cantos Javiery Jorge (2007), "Riesgos Naturales", Editorial Ariel, S. A., España.

Blasco M, Josefa E., y Pérez T, José A., (2007). "Metodologías de investigación en las ciencias de la actividad física y el deporte". España: Editorial Club Universitario. ECU.

Braja M. Das, (2011). "Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones", 7ª ed. Cengage Learning. México

Busso, Gustavo. (2002). "Vulnerabilidad Sociodemográfica en Nicaragua: un desafío para el crecmiento económico y la reducción de la pobreza". Vol. 29 of Serie Población y desarrollo. United Nations Publications, Santiago de Chile, agosto.

Cámara Minera Petrolera de la República Dominicana (2005): Desastres naturales y emergencias. Conferencia presentada en el Seminario Internacional.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL (2004). República Dominicana: Evaluación de los daños ocasionados por las inundaciones en las cuencas Yaque del norte y Yuna.

Comisión Nacional de Emergencias República Dominicana presento, Plan Nacional de Gestión Integral del Riesgos de Desastres, (2011). "Proyecto mejora de la Capacidad Institucional y de Gestión de Riesgos Socio-ambientales en la República Dominicana.

Delanoy, Ramon A. (2010). "Aspectos de Sismología Dominicana"

Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente Secretaría Ejecutiva para Asuntos Económicos y Sociales Organización de los Estados Americanos, (1991), "Desastres, Planificación y Desarrollo: Manejo de Amenazas Naturales para Reducir los Daños", Washington, D.C.

Díaz, J. (2000). Planificación. Recuperado de http://www.osman.es/ficha/13609

Dirección General de Ordenamiento y Desarrollo Territorial (DGODT), 2012. "Indicadores de la Gestión de Riesgos de Desastres en República Dominicana: Desafíos pendientes y Acciones para el Avance"

Draper, P., Lewis J.F., (1991) Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola. Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper 262.

EIRD, Estrategia Internacional para la Reducción de Desastre, (2008). Informe Nacional sobre el Progreso en la Implementación del Marco de Acción de Hyogo, República Dominicana.

EPTISA (2004). Informe de la unidad hidrogeológica del Valle del Cibao. Programa SYSMIN, 327 p

Foschiatti, Ana H. (2007). "Aportes Conceptuales y Empíricos de la Vulnerabilidad Global". Corrientes, Universidad Nacional del Nordeste, República Argentina.

Fundación Vasca para la Seguridad Agroalimentaria ELIKA (2005), "Que es la Evaluación de Riesgos"

García Martínez, Alfonso, Sáez Carreras, Juan y Escarbajal de Haro Andrés, (2000). "Educación para la salud: la apuesta por la calidad de vida". ARÁN Ediciones, S.A. Madrid

González, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., y Oteo, C. (2002). "Ingeniería Geología" Pearson Educación, Madrid.

Grajales T. Tevni, (2000), Tipos de Investigación, Recuperado de http://tgrajales.net/investipos.pdf

Hernández S., R., Fernández C., C. y Baptista L., P. (2006). "Metodología de la investigación" 4ª ed. México: Editorial McGraw-Hill.

Herrero Velasco, María del C. (2014). "Emergencias Sanitarias y Dispositivos de Riesgos Previsible". IC Editorial

Instituto Geológico y Minero De España (1988), Riesgos Geológicos y Geología Ambiental, IGME, Madrid.

Instituto Internacional de Agricultura Tropical, IITA (2000). "Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos": Nigeria

Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. INETER, (2001). "Vulnerabilidad Física y Vulnerabilidad Funcional" Nicargua. Consultado en marzo 7, 2016, de http://webserver2.ineter.gob.ni/sis/vulne/cali/6.2-vulnerabilidad.htm

José Daniel Brea y Francisco Balocchi (2011). Procesos de Erosión Vol. 2. Casilla de correo. Uruguay.

Lavell, A. (1996) "Degradación ambiental, riesgos y desastre urbano. Problemas y conceptos: hacia la definición de una agenda de investigación". En Ciudades en Riesgos: Degradación Ambiental, Riesgos Urbanos y Desastres. María Augusta Fernández (Compiladora). Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres (La Red).

Lavell, A., (2003). La gestión local del riesgo: nociones y precisiones en torno al concepto y la práctica. Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPREDENAC), PNUD. Guatemala.

Lewis J.F., Escuder Viruete J., Hernaiz Huerta P.P., Gutierrez G., Draper G., Pérez-Estaún A. (2002): Subdivisión Geoquímica del Arco Isla Circum-Caribeño, Cordillera Central Dominicana: implicaciones para la formación, acrecion y crecimiento cortical en un ambiente intraoceánico. Evolución geológica del margen norte de la Placa del Caribe, República Dominicana. Acta Geologica Hispanica. v. 37

Lewis, J.F., Amarante, A., Bloise, G., Jiménez G., J.G. y Dominguez, H.D. (1991): Lithology and stratigraphy of upper Cretaceous volcanic, and volcanoclastic rocks of Tireo Group, Dominican Republic, and correlations with the Mássif du Nord in Haiti. En: Geologic and tectonic development of the North América-Caribbean plate boundary in Hispaniola (Mann, P., Draper, G. Y Lewis, J.F., Eds.), Geological Society of América Special Paper, 262 p

Ley No. 147-02. Gestión de Riesgos. Congreso Nacional. Santo Domingo, República Dominicana. Año 2002

Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo y Oficina Nacional de Estadísticas ONE, (2010), IX Censo Nacional de Población y Vivienda; Características de la Vivienda y del Hogar, Vol. II, Repúblican Dominicana.

Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo y Oficina Nacional de Estadísticas ONE, (2010), IX Censo Nacional de Población y Vivienda Características Demográficas Básicas, Vol. III, Repúblican Dominicana.

Montgomery, H., Pessagno, E.A. y Pindell, J.L. (1994): A 195 Ma Terrane in a 165 Ma sea: Pacific Origin of the Caribbean Plate: GSA Today, 1(1): 1-6

Muñoz, Santiago J. (s.f). Cartografía Geotematica en República Dominicana. Servicio Geológico Nacional (SGN). Recuperado de http://www.sgn.gov.do/pdf/Cartografia_Geotematica.pdf

Oficina de Desarrollo Humano, (2013). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Mapa De Desarrollo Humano De La República Dominicana.

Pan American Health Org. Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de salud, *OPS. Serie Mitigacion de Desastres*, Washington, D.C

Programa de Desarrollo Geológico Minero SYSMIN, (1998) Proyecto D: Prevención de Riesgos Geológicos (Riesgos Sísmicos), Mapa temáticos: zonificación tectónica, Convención LOME IV. República Dominicana

Proyecto Esfera, (2004). Humanitarian Charter and Minimum Standards in Disaster Response. Oxfam. Suiza: (s.f.). Consultado en marzo 7, 2016, de http://hum.unne.edu.ar/revistas/geoweb/Geo2/contenid/vulner7.htm#18

Ramírez, Celedonio (1994). "Introducción a la Metafísica y Teoría de la Inteligencia". Vol. 3. EUNED, Costa Rica.

Ramos, M. (2005), "Metodología para la evaluación de una política de gestión de riesgos ante desastres naturales y antrópicos". Publicación del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo CYTED. Córdoba, Argentina.

Real Academia Española, [on line], consulta [5 de abril de 2016], en la world wide web: http://www.rae.es

Servicio Geológico Nacional SGN, (2010). Guía Metodológica para la Elaboración de los Mapas de Riesgos. República Dominicana

Servicio Geológico Nacional SGN, Hojas geológica Cotuí 6173-II escala 1:50,000, Mapa de Procesos Activos de San Francisco de Macorís 6173 escala 1:100, Hoja geomorfológica 6173 escala 1:100 de San Francisco de Macorís, República Dominicana

SODOGEO (2005): Deslizamientos en Sánchez. Recuperado de http://www.sodogeo.org/detalle_articulos.asp?codid=1

Unidad Ejecutora Sectorial del Subprograma de prevención de desastres, (2001). "Plan Nacional de Gestión de Riesgos" Santo Domingo, República Dominicana.

Unión Europea, (2009) "Análisis de Riesgos de Desastres y Vulnerabilidades en la República Dominicana"

United Nations, (2007). "Guía de Elaboración de Estadísticas sobre el Empleo del Tiempo: Para Medir el Trabajo Remunerado y no Remunerado". Estados Unidos.

Esta séptima edición de **REVISTA CIENTÍFICA EL CAPACHO (Versión Especial)** de la UTECO, consta de 1,000 ejemplares y se terminó de imprimir en el mes de junio de 2017, en los talleres gráficos de **Impresos Norte del Jaya, S.R.L.,** en San Francisco de Macorís, República Dominicana.

Misión

La Universidad Tecnológica del Cibao Oriental, ITECO, es una universidad pública, de vocación comunitaria, fundada para coadyuvar al progreso económico y social de la Provincia Sánchez Ramírez, la Región y el País, a través de la docencia, la investigación, y la extensión.

Visión

Ser Universidad de prestigio nacional, con proyección internacional; de programas académicos pertinentes reconocidos por su calidad. De carácter democrático, de espíritu crítico y constructivo. Promotora de cambios en el entorno, propulsora de valores. Comprometida con el desarrollo humano, la cultura, el servicio, la investigación, la protección del medio ambiente, el uso racional de la tecnología, la ciencia y la comunicación en beneficio de la Sociedad Dominicana. Lugar de concertación, análisis y búsqueda de soluciones a los problemas comunitarios y nacionales.

Valores

- La objetividad en el trabajo y el rigor en el quehacer científico.
- La excelencia en el trabajo académico y la generosidad en el servicio a la sociedad.
- La pluralidad en el campo ideológico, político y religioso, dentro de un marco de estricto apartidismo institucional.
- La tolerancia y el respeto al ser humano.
- La libertad de investigación y expresión.
- La inserción crítica del trabajo académico en la realidad social.

Universidad Tecnológica del Cibao Oriental, UTECO.
Av. Universitaria No. 100, Cotuí, Prov. Sánchez Ramírez
República Dominicana • Tel.: 809-585-2291 • Fax: 809-240-0603
E-mail: iteco@claro.net.do • website: http://www.iteco.edu.do