

# 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-alcaldas 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 fenocrystal 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 Tineo, 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-

rica rica en fenocristales de feldespato y anfíboles, riolitas con textura porfídica rica en fenocristales de plagioclasas, basaltos, gabros y rocas ultrabásicas metamorizadas. 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 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-queratofidos (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-Viruet 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 copiaron toda la información existente hasta la fecha. En dicho informe concluyeron que la mayor parte del proyecto está subyacente 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 Tiro. 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 Geográfica (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 Serveis Científics 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  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$  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  $\pm 1.5\%$  relativo para concentraciones del orden de 10% en peso; la precisión en la medición de la concentración de Zr es mejor de  $\pm 4\%$  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  $\text{HNO}_3 + \text{HF}$  de ~100 mg de muestra pulverizada en bombas de Teflón a ~180°C y 200psi durante 30 minutos, evaporación y secado y posterior disolución en 100 ml de  $\text{HNO}_3$  al 4%; la precisión es mejor de  $\pm 2\%$  y  $\pm 5\%$  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 Científics i Tecnològics (Universitat 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 conteo de 10 segundos por elemento. La rutina a utilizar para el análisis de haluros ha sido 15 kV y 6 nA. Normas y líneas utilizadas para los análisis han sido: diópsido ( $\text{SiK}\alpha$ ), rutilo ( $\text{TiK}\alpha$ ),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sintético ( $\text{AlK}\alpha$ ), pirita ( $\text{FeK}\alpha$ ), rhodoni-te ( $\text{MnK}\alpha$ ), periclasa ( $\text{MgK}\alpha$ ), albita ( $\text{NaK}\alpha$ ), wollasto-

nita ( $\text{CaK}\alpha$ ), ortoclasa ( $\text{KK}\alpha$ ), blenda ( $\text{ZnK}\alpha$ ), fluorita ( $\text{FK}\alpha$ ) y  $\text{AgCl}$  ( $\text{ClK}\alpha$ ).

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 (tetraédrica) 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 piroclastos 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 autoclasticos 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 basalitos. 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 porfírica, 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 hacia 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 crystal lithic 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 (feldespato) 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 (feldespato) 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 pálido.

### **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 amigdaloides 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 fuerte 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 hacia 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 hacia 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 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 serpentización; 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, boninitica 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 southern 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: Unpublished Internal Report GOLD FIELDS-GOLDQUEST.

- Escuder-Virujete, 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, República 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 H<sub>2</sub>O-undersaturated 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, Manitoba Geological Survey, p. 54 – 73.
- Gill, R, 2010. *Igneous Rocks and Processes*. Chichester, West 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 underlying 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 the Tiro 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). *Bulletin de la Société Géologique 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 sustainable 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