



# **DISEÑO DE UN PROGRAMA DE TRABAJOS Y OBRAS (PTO) MODELO PARA LA EXTRACCIÓN DE ARCILLA EN LA CANTERA EL CIELO - JURISDICCIÓN DEL CORREGIMIENTO DE VALENCIA DE JESÚS**

**Jhoan Alberto Navarro Torres, Washington Rozo Moscoso, Luisa Fernanda León Díaz, Julián Eduardo Rozo Guzmán**

**Fundación Universitaria del Área Andina  
Valledupar, Colombia**

## **Resumen**

En el siguiente trabajo se presentan los principales resultados obtenidos en el desarrollo de un PTO (Programa de Trabajo y Obras) piloto como apoyo a la minería artesanal (explotación de arcilla y producción de ladrillos) y de hecho en el municipio de Valledupar – caso mina El Cielo en jurisdicción del corregimiento de Valencia de Jesús, gracias al trabajo mancomunado de la academia (semillero de investigación universitarios) y la mano de obra de las empresas. De esta manera este proyecto se presenta como una iniciativa que posee trascendencia y continuidad debido a sus características, debido a que en estas empresas pequeñas y cooperativas de trabajo comunitario, la mano de obra es meramente artesanal y los procesos de extracción no van de acuerdo a los avances tecnológicos en el área de la minería; en definitiva el fin de este proyecto conllevó al aumento de las reservas y la utilización de nuevas tecnologías para la extracción de arcilla en los próximos cinco años la cantera el Cielo, además de que se presenta como una iniciativa a las cuales las mineras aledañas y con las mismas características se podrían apoyar.

**Palabras clave:** minería artesanal; tecnologías mineras; cantera; arcilla

## ***Abstract***

*In the following work presents the main results obtained in the development of a pilot PTO (Work and Works Program) as support to the artisanal mining (clay exploitation and*

*brick production) in the municipality of Valledupar - case Mina El Cielo in jurisdiction of the village of Valencia de Jesús, thanks to the joint work of the academy (university research nursery) and the workforce of the companies. In this way, this project is presented as an initiative that has transcendence and continuity due to its characteristics, because in these small enterprises and cooperatives of community work, the workforce is merely handmade and the extraction processes don't go according to technological advances in the area of mining. The end of this project led to the increase of reserves and the use of new technologies for the extraction of clay in the next five years in El Cielo Quarry, as well as being presented as an initiative to which the nearby mining and the same features could be supported.*

**Keywords:** *artisanal mining; mining technologies; quarry; clay*

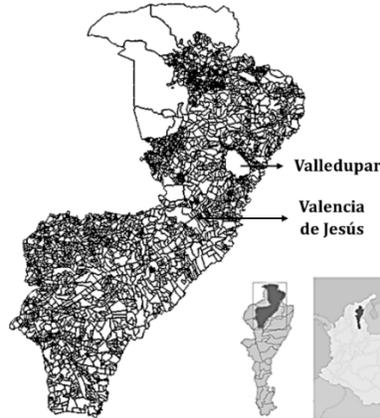
## 1. Introducción

La mina el cielo es una de las minas cooperativas de trabajo comunitario más representativas, se encuentra ubicada en el corregimiento de Valencia de Jesús municipio de Valledupar, es el sustento económico de la comunidad aledaña a la misma la cual se dedica a la minería artesanal de extracción de arcilla para la fabricación de ladrillo. Esta cantera emplea técnicas de extracción de materia prima muy rudimentarias (extracción de arcilla, mezclado, moldeo, secado, cocción), por los implementos mineros que se utilizan (Palas, Picos, entre otras herramientas de agricultura), es así como finalmente nace la industria ladrillera.

Para ello su sistema o método de explotación debe estar acorde a los equipos mineros utilizados en la actualidad, esta mina cuenta con un PTO (Plan de Trabajos y Obras) aprobado, el cual fue entregado a la comunidad por parte de la Asociación Colombiana de ingenieros en Minas contratada por la gobernación, sin embargo dicho PTO no considera las actuales técnicas de explotación minera; en la actualidad la tecnología permite optimizar estos métodos no convencionales de explotación, llegando a conseguir mejores resultados de manera eficiente, confiable y sostenible tanto económica como ambientalmente.

La optimización de las explotaciones mineras a cielo abierto (diseño de un PTO modelo), es en la actualidad, una herramienta que le permite a las diferentes empresas explotadoras de los recursos minerales aumentar la vida de sus diferentes proyectos mineros, explotar recursos minerales de menor tenor, incrementar las reservas probadas del mineral de interés, obtener utilidades mayores, entre otros (Franco, *et al.*, 2010).

## 2. Localización de la Mina El Cielo



Fuente: OAPM, 2016

El área de contrato de concesión 0164-20 se encuentra ubicada en el municipio de Valledupar en el corregimiento de Valencia de Jesús, el área se accede por la vía que de Valledupar conduce a Bosconia, el área es de 55 hectáreas.

## 3. Metodología

La finalidad de este proyecto es la optimización del proceso de extracción de la arcilla, por medio de la ejecución de software que permita obtención de la planeación de la mina EL CIELO estableciendo una secuencia de extracción y una máxima producción para los próximos 5 años (que se proyecte a largo plazo).

### 4.1. Diseño metodológico

Para el desarrollo del proyecto se hace necesario pasar por las siguientes fases o etapas:

- ✓ **Fase 1:** Revisión General, en donde se realiza la revisión teórica y exhaustiva del tema de investigación.
- ✓ **Fase 2:** Trabajo Preliminar, corresponde a una revisión de vértices y linderos del área de concesión para garantizar toda el área de la mina dentro de los planos finales, geología de la zona y realización de la topografía.
- ✓ **Fase 3:** Planeamiento Minero, Se realiza el procesamiento de puntos de control, procesamiento de nube de puntos, generación de modelo de superficie, generación de curvas de nivel y diseños y secuencia de bancos de extracción.
- ✓ **Fase 4:** Ajustes finales y publicación de resultados.

## 5. Geología Regional

### 5.1. Rocas Metamórficas

Las rocas metamórficas se encuentran distribuidas alrededor de la SNSM (*Sierra Nevada de Santa Marta*). Están representadas principalmente por las unidades Granulita de los Mangos y Neis de los Muchachitos como se muestra en la tabla siguiente. Ambas incluyen unidades que presentan varios tipos, y facies de metamorfismo; corresponden a un metamorfismo de alto grado. Estas unidades son representadas en el mapa geológico como una misma unidad con características metamórficas similares, incluyendo la edad.

EDAD	UNIDAD LITOLÓGICA	UNIDAD LITOLÓGICA	UNIDAD LITOLÓGICA
Precámbrico- Paleozoico Tardío o Mesozoico	Neis de los Muchachitos (Nm)	Neis de los Muchachitos (PRnm)	Neis de los Muchachitos (Pzm)
Proterozoico	Granulita de los Mangos (PEg)	Granulita de los Mangos (PEgm)	Granulita de los Mangos (PEm)

Fuente: Colmenares, *et al.*, 2007.

La Granulita de Los Mangos, es la única unidad metamórfica que aflora en la plancha 34, es la más antigua y se ubica al noreste de la plancha. Las rocas metamórficas en su mayoría constituyen el basamento de la Sierra Nevada de Santa Marta, rocas de un alto grado de metamorfismo cubren extensas áreas en la zona y partes del sur de la Guajira, cuyas rocas varían en facies y grado de metamorfismo Tschanz, *et al.* (1969) y Colmenares, *et al.* (2007) datan las unidades desde el precámbrico (542 Ma) hasta el cenozoico (65.5 Ma). El Neis de los Muchachitos descritas por Tschanz, *et al.* (1969), se ubica cerca de región Nevada, en los alrededores del pico El Guardián, Colmenares, *et al.* (2007) define esta unidad, originada por unidades vulcano-sedimentaria afectada por episodios de metamorfismo regional y eventos de tipo metasomático con sobreimposición de pulsos metamórficos.

### 4.1. Rocas Ígneas

Las rocas ígneas son el tipo de rocas que ocupan mayor área en la Sierra Nevada de Santa Marta; fundamentalmente en la región sur de la SNSM. Las rocas ígneas intrusivas se hallan más ampliamente distribuidas, comprenden las rocas intrusivas que forman los batolitos más notorios y presentan de edades Paleozoica, Mesozoica y Cenozoica; las rocas volcánicas y vulcanoclásticas tienen edad Mesozoica y se encuentran especialmente hacia los piedemontes nororiental, oriental y sur de la SNSM. Las principales unidades litológicas correspondientes a rocas ígneas de la SNSM son representadas en la siguiente tabla.

EDAD	UNIDAD LITOLÓGICA	UNIDAD LITOLÓGICA	UNIDAD LITOLÓGICA
Jurásico Temprano- Jurásico Medio	Granito Leucocrático de grano fino (Jgr)	Granitoides de la Sierra Nevada de Santa Marta (Jgr)	Batolito de Pueblo Bello y Patillal (Jpbp)
	Granito Leucocrático Miarolítico (Jg)		
	Cuarzomonzonita y Granodiorita (Jcm)		
Jurásico Medio	Batolito de Aracataca (Jar)	Granitoides de la Sierra Nevada de Santa Marta (Jgr)	Cinturon Central de Batolitos Jurasicos- Batolito de Aracataca (Jar)
Jurásico Medio	Batolito de Atanques (Ja)	Batolito de Atánquez (Ja)	Batolito de Atánquez (Ja)
Jurásico Superior	Plutón Nueva Lucha (Jnl)	Plutón Nueva Lucha (Jnl)	Plutón Nueva Lucha (Jnl)
Jurásico medio- Cretácico inferior	Riolita del Golero (Klg)	Riolita del Golero (Klrg)	Riolita de Golero (Jg)

Fuente: Colmenares, *et al.*, 2007.

Un alto porcentaje de la plancha 34 está caracterizado por rocas ígneas intrusivas y extrusivas, entre los que se mencionan los Pórfidos Keratófíricos triásicos que intruyen sedimentos triásicos descritos por Tschanz, *et al.* (1969). Colmenares, *et al.* (2007) y Tschanz, *et al.* (1969) relacionan su génesis a un vulcanismo ocurrido hacia el triásico superior (199 Ma) y jurásico (145 Ma). Los Granitoides de la Sierra Nevada de Santa Marta (Jgr) en un comienzo fueron descritos por Tschanz, *et al.* (1969) datado según el autor una edad Jurásica (199 Ma – 145 Ma); los granitoides son una variedad de rocas intrusivas félsicas más abundantes en la corteza continental, tienen su origen en el enfriamiento y solidificación de un magma ácido debajo de la corteza, Dalla Salda, *et al.* (1993) propone un ambiente tectónico de emplazamiento en las regiones del arco volcánico y sin-colisionar (López, *et al.*, 1996), González, *et al.* (1985) determinó una edad entre el ordovícico medio (471 Ma) y el silúrico (443 Ma), lo que serían casi 300 millones de años de diferencia a lo propuesto por Tschanz, *et al.* (1969). El Batolito de Atánquez (Ja) descrito por Tschanz, *et al.* (1969), está localizado al noroccidente de Valledupar, entre los ríos Candela y El Portero, la formación del batolito de Atanquez es un extenso cuerpo plutónico de textura fanerítica, originado por el enfriamiento de un magma de composición ácida (Colmenares *et al.*, 2007), datado por Tschanz, *et al.* (1969), en el jurásico (199 Ma aproximadamente), Volcánico ignimbrítico (Jvi) descritos por Tschanz, *et al.* (1969), en el cual son agrupados 6 unidades con origen volcánico de edad tentativa Jurásico medio (171 Ma - 161 Ma), su génesis se deben a la sedimentación de corrientes de materiales volcánicos, son rocas caracterizadas por su mala selección, textura afanítica y presencia de vidrio volcánico. Volcánico riolítico (JKvr), descritos por Tschanz, *et al.* (1969) citado en Colmenares, *et al.* (2007), los cuales agrupan unidades de origen volcánico, que deben su génesis a la vesiculación del magma del granito porfírico y otro de origen vulcano-sedimentario, de edades que van del Jurásico al Cretácico.

#### 4.1. Rocas Sedimentarias

En la SNSM afloran rocas sedimentarias con edades que varían desde el Paleozoico hasta el Cuaternario que conforman las partes planas al sur y occidente de la SNSM

(Colmenares, *et al.*, 2007). Las principales unidades de rocas sedimentarias correspondientes a la SNSM son representadas en la tabla siguiente.

EDAD	UNIDAD LITOLOGICA	UNIDAD LITOLOGICA	UNIDAD LITOLOGICA
<b>Cretácico</b>	Grupo Cogollo (K1)	Grupo Cogollo (K1c)	Calizas y Shales cretácicas indiferenciadas (Kcsi)
<b>Cretácico Temprano</b>	Formación Rio Negro (Krn)	Formación Rio Negro (K2)	Formación Rio Negro (Krn)
<b>Triásico Temprano- Jurásico Temprano</b>	Formación Guatapurí (TRg)	Formación Guatapurí (Tg)	Formación Guatapurí (TJg)
<b>Pérmico Tardío- Triásico</b>	Formación Corual (TRPc)	Formación Corual(Tc)	Formación Corual (PTc)
<b>Pérmico Tardío- Triásico Temprano</b>	Formación los Indios (TRPi)	Formación los Indios (TPc)	Formación los Indios (PTi)

Fuente: Colmenares, *et al.*, 2007.

Las rocas sedimentarias que afloran en la Sierra Nevada de Santa Marta conforman las partes planas al suroccidente de ella, con edades que varían desde el Paleozoico (299 Ma) hasta el Cuaternario (1.8 Ma) (Colmenares, *et al.*, 2007), entre ellas las más importantes son Formación Guatapurí (Tg) definida por Tschanz, *et al.* (1969), ubicándola sobre la parte media del río Guatapurí esta formación debe su origen a procesos eruptivos lávicos de composición acida e intermedia y flujos piroclásticos asociados de edad Jurásica; y Formación Corual (PTc) definida también por Tschanz, *et al.* (1969) con afloramiento ubicados al sur de Atanquez y a lo largo de algunas corrientes al occidente de Valledupar, su ambiente de formación corresponde al volcano-sedimentario de edad Pérmico superior o Triásico inferior (Arias, *et al.*, 1999). En la Serranía del Perijá y la región norte de la cordillera Oriental abundan las rocas sedimentarias, entre ellas se pueden diferenciar las formaciones de mayor importancia en la Serranía del Perijá que son Grupo Cachiri (PZc) definido por Liddle, *et al.* (1943); Formación la Quinta (Jq) definida por Kündig (1938) citado por Forero (1972); Formación Rio Negro (K1r) definida por Hedberg, *et al.* (1937); Grupo Cogollo (K1c) y Formación la Luna (K2l) descritas por Garner (1926) en donde se considerada que las facies de esta última formación son heterócronas (2008); Formación Molino (K2m) definida por Gandolfi en Tschanz, *et al.* (1969); Formación Barco (E1b) descrita por Notestein, *et al.* (1944); Formación Cuesta (N1c) introducida por García (1990) y citada por Rojas, *et al.* (2014) y la Formación Zambrano (N2z) definida por Weiske (1990) citado por Colmenares, *et al.* (2007).

#### 4.1. Depósitos Cuaternarios

Regionalmente los depósitos cuaternarios presentes en la Sierra Nevada de Santa Marta y sus estribaciones son de diversas clases y se encuentran asociados según su origen a diferentes zonas topográficas y geomorfológicas, dentro de un sistema orogénico complejo y único en su tipo. Depósitos recientes y de gran extensión se ubican hacia la zona occidental y suroriental de la plancha 34, sobresaliendo los

abanicos aluviales, terrazas y llanuras aluviales, asociados a las principales corrientes de la zona. Los depósitos del cuaternarios son característicos en las tres regiones del Departamento del Cesar entre los que encontramos Terrazas ( $Qt$ ), Abanicos Aluviales ( $Qcal$ ) entre los que se destacan el abanico de Valledupar en la SNSM, el abanico de Manaure y el abanico de la Jagua de Ibirico en la Serranía del Perijá y el abanico de Pailitas en la región norte de la Cordillera Oriental, en estos depósitos recientes sobresalen de igual manera las Morrenas ( $Qm$ ) las cuales solo se encuentran en la zonas más altas de la Sierra Nevada de Santa Marta, los Depósitos de Pendientes ( $Qp$ ) que se localizan en Media Luna y el Desastre, Llanuras Aluviales ( $Qlla$ ) ubicado entre Valledupar y Bosconia, El Paso, La Loma, La Jagua de Ibirico y entre el norte y sur de Pailitas; los aluviones recientes ( $Qal$ ) y los depósitos fluviolacustres que están ubicados principalmente al noroccidente de Chiriguaná y al occidente del municipio de San Alberto (Armenta, *et al.*, 2009).

### 5.1.1. Terrazas Aluviales ( $Qt$ )

Armenta, *et al.* (2009) en un informe de publicado por CORPOCESAR (*Corporación Autónoma Regional del Cesar*) y el IDEAM (*Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*), describen que este depósito se ubican en la cartografía geológica de la SNSM principalmente en la esquina noreste, en el sector de los ríos Carrizal, Camarones y Tapias y en una franja paralela al flanco oriental de la SNSM, que conforma el amplio valle del río Cesar y sus tributarios; están constituidos por capas delgadas de arenas líticas amarillas, grano grueso a medio, con estratificación cruzada en artesa y capas gruesas canaliformes de conglomerados clastosoportados, polimígticos, angulares a subredondeados, muy mal seleccionados, en capas de 1 a 20 cm de espesor.

### 5.1.2. Depósitos Cuaternarios Abanicos Aluviales ( $Qcal$ )

Según Armenta, *et al.* (2009) estos depósitos representan una disminución repentina en el poder de transporte de una corriente de agua, sobresaturada de sedimentos y escombros de muy diversos tamaños, a medida que pasa de un gradiente abrupto a uno suave; al reducir la velocidad, la corriente comienza rápidamente a vaciar su carga. El Abanico Aluvial de Valledupar ( $Qcal$ ) se originó por la meteorización física y química de rocas preexistentes en la Sierra Nevada de Santa Marta, las cuales fueron transportadas y depositadas gradiente abajo por las corrientes de agua que disminuyeron su energía repentinamente debido al cambio de las pendientes de abruptas a suaves del terreno orrenas y fluvioglaciares ( $Qm$ ).

### 5.1.3. Abanicos y Gravas ( $Qg$ )

Estos depósitos constituyen una franja de depósitos de frente de montaña con dirección NESW, paralela al piedemonte del flanco oriental de la SNSM, desde el sur del río Guatapurí hasta inmediaciones del río Ranchería, están formados principalmente por gravas redondeadas a subredondeadas y bloques de hasta 1 metro de diámetro, derivadas de rocas como granulitas, neises, dioritas, tonalitas y gabros en matriz

arenosa y por depósitos caóticos mal seleccionados producto de flujos súbitos de materiales por inestabilidad de taludes topográficos (Armenta and Cañas 2009).

#### **5.1.4. Aluviones recientes (Qal)**

Constituidos principalmente por dos franjas regionales que se ubican, una en la parte occidental de la SNSM, entre el piedemonte y el litoral Caribe, comprendiendo desde el municipio de Bosconia hasta Santa Marta, con aporte de sedimentos de los ríos Fundación, Ariguaní, Sevilla, Orihueca, Frío y Córdoba; y la segunda paralela al flanco norte de la sierra, comprendiendo desde el municipio de Guachaca hasta las inmediaciones de los caseríos de Monguí y Villa Martin, con aporte de sedimentos de los ríos Piedras, Mendiguaca, Guachaca, Buritaca, Don Diego y Palomino. En el sector Santa Marta – Ciénaga, están caracterizados como depósitos de topografía suave y baja no consolidados, de arenas, gravas y guijarros en matriz lodosa, amarillo ocre, mal seleccionados, con cantos ígneos con plagioclasa, mica, cuarzo y fragmentos de rocas del batolito central. En general estos depósitos contienen gravas hasta bloques de rocas metamórficas, ígneasplutónicas y volcánicas, en menor proporción sedimentarias, registrando la erosión de todas las unidades geológicas de la SNSM.

## **6. Resultados**

### **6.1. Propiedades de la Arcilla**

Según sus propiedades físicas, geológicamente es establecido que la arcilla es un tipo de suelo, que granulométricamente tiene tamaños de grano inferior a 2mm derivado de rocas sedimentarias, en la mayor parte de los casos de origen detrítico, con características físicas y químicas bien definidas.

### **6.2. Cristalquímica de las arcillas**

La cristalquímica es la parte de la mineralogía que se encarga de relacionar la estructura cristalina de los minerales con la composición química que estos poseen y las propiedades que de ello se derivan. Las arcillas pertenecen a una clase particular de minerales denominados silicatos. Los silicatos son, desde un punto de vista práctico, el conjunto de minerales de mayor importancia de la naturaleza puesto que constituyen el 25 % de los minerales conocidos y cerca del 40 % de los más corrientes. Si se hace un promedio del porcentaje en peso de los principales elementos de la corteza terrestre vemos que el 46.6 % es oxígeno, el 27.72 % silicio, el 8.13 % aluminio, el 5.0 % hierro, el 3.63 % calcio, el 2.83 % sodio, el 2.59 % potasio y el 2.09 % magnesio, es decir que las arcillas están hechas de los mismos elementos químicos que la propia corteza terrestre. Ello es lógico pues las arcillas no son más que una de las etapas en el devenir de los elementos a lo largo de los ciclos geológicos.

#### 4.1. Columna #1

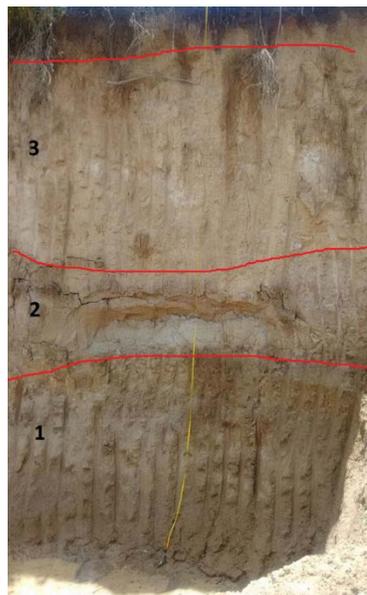
Geológicamente la columna estratigráfica se describe de base a techo con una primera capa de material arcilloso (1) con un espesor de 1m de color pardo claro, con presencia de minerales ferrosos como pirita, no presenta estructuras sedimentarias. Como segunda capa (2), se encuentra un suelo arcilloso de color parduzco claro en algunas partes más claras, con granos de arena media aprox de 2 a 3 cm de composición ácida, con un espesor de 1.80cm. Luego, tenemos un suelo arenoso (3) con un color grisáceo de un espesor de 60cm con minerales de cuarzo y óxidos de hierro, afectado en gran parte por la vegetación de la zona, notándose raíces.

#### 4.1. Columna #2

En la columna se observa de base a techo, una primera capa (1) de arcilla limosa de color pardo con presencia de óxido de hierro, manifiesto en minerales como pirita y calcopirita, en algunas partes más oscuro por humedad, en la capa (2) se presenta un suelo arcilloso arenoso con resequedad que está expuesto a altas temperaturas, un color blanco, por minerales de calcopirita, y una pequeña sedimentación por carga dejando secuelas de tracción, y por último, un suelo arcilloso limoso, de color parduzco claro en algunas partes con presencia de caolinita y con alguna presencia de bioturbación.



Columna 1



Columna 2



Columna 3

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2. Columna #3

De base a techo, (1) se describe un suelo arenoso, con distribución de granos normal, presencia de caolinita en algunas partes, tamaño de grano de 2 a 3cm de color parduzco claro, (2) Luego un suelo más oscuro de arcilla limosa, con plasticidad alta, sin presencia

de estructuras sedimentarias, por ultimo (3) Un suelo arcilloso de color pardo claro, en algunas partes oscuro, con presencia de minerales de óxido de hierro.

## 7. Conclusiones

Una de las principales ventajas de la planeación minera es la visión a futuro de la producción de una mina, proyectar dicha producción establece la vida útil del yacimiento correlacionada con la cantidad de material explotable que brinda beneficios a las empresas. Esta primera parte del trabajo, con la geología regional se aumentaron las reservas minerales de arcilla, en la actualidad solo se puede explotar hasta los 2 metros de profundidad, con el estudio a profundidad de las columnas estratigráficas se evidenció la presencia de material explotable a profundidades de 7 metros, de esta manera se hace necesario los trabajos posteriores para completar el PTO de dicha cantera.

El apoyo de la academia a estas pequeñas empresas mineras es de gran importancia, cuando se trabaja en casos reales y en los que su impacto sea, de igual manera trascendental en la medida que se obtengan resultados pertinentes. Además por parte de la academia estas empresas surgen como una oportunidad en que los estudiantes puedan desarrollar trabajos de campo para el desarrollo profesional de los mismos.

## 8. Bibliografía

- Arias, A., and Morales, C. J. (1999). Mapa geológico generalizado del Departamento del Cesar. Memoria explicativa. Bogotá D.C.: INGEOMINAS.
- Armenta, J. and Cañas, H. (2009). Evaluación del potencial del agua subterránea en los municipios de Curumaní, Pailitas, Tamalameque, Pelaya, La Gloria, Gamarra, Aguachica, Río de Oro, San Martín y San Alberto, Departamento del Cesar. Valledupar: Corporación Autónoma Regional del Cesar; Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Colmenares, F., Mesa, A., Roncancio, J., Arcniegas, E., Pedraza, P., Cardona, A. Romero, Astrid; Silva, C., Alvarado, S., Romero, O. and Vargas, A. (2007). Geología de las planchas 11, 12, 13, 14, 18, 19, 20, 21, 25, 26, 27, 33 y 34. Proyecto: "Evolución Geohistórica de la Sierra Nevada de Santa Marta". Memoria explícita. Bogotá D.C.: Instituto Colombiano de Geología y Minería.
- Cuéllar, M., López, J., Osorio, J. and Carrillo, E. (2012). Análisis estructural del segmento Bucaramanga del sistema de fallas de Bucaramanga (SFB) entre los municipios de Pailitas y Curumaní, Cesar – Colombia. Boletín de Geología 34(2), pp. 73–101.
- Dalla Salda, L., Varela, R. and Cingolani, C. (1993). Sobre la colisión de Laurentia-Sudamérica y el orógeno famatiniano. 12° Congreso Geológico Argentino, (págs. 358-366). Mendoza.
- Forero, A. (1972). Estratigrafía del Precretáceo en el flanco occidental de la Serranía de Perijá. Geología colombiana, 7, pp. 7–78.

- Franco, G., Branch, J. and Jaramillo, P. (2012). Planeamiento de Minas a Cielo Abierto Mediante Optimización Estocástica. *Boletín de Ciencias de la Tierra* (31), pp. 107–113.
- García, C. (1990). Proyecto Cesar - Ranchería [Informe Final, tomo IV Integración. Tomo V Prospectos]. Bogotá D.C.: Ecopetrol.
- Garner, A. H. (1926). Suggested nomenclature and correlation of geological formations in Venezuela. *Amer. Inst. Min. Metall. Eng.*, pp. 677–684.
- González, R., Cabrera, M., Bortolotti, P., Cuenya, M., Omil, M., Moyano, R., and Ojeda, J. (1985). La actividad eruptiva en Sierras Pampeanas. Esquematización petrográfica y temporal. *Acta Geol. Lilloana* 16(2), pp. 289–318.
- Hedberg, H. D. and Sass, L. C. (1937). Synopsis of the geologic formations of the western part of the Maracaibo Basin, Venezuela. *Bol. Geol. Min.* 1(2-4), pp. 71–112.
- Künding, E. (1938). The Pre-cretaceous rocks of the Central Venezuelan Andes with some remarks about the tectonics. *Serv. Tecn. Min. Geol. Venezuela. Bol. Geol. Min.* 2(2-4), pp. 21-43.
- Liddle, R. A., Harris, G. D., and W., W. J. (1943). The Río Cachimí section in the Sierra de Perijá, Venezuela. *Bulletin of American Paleontologist* 27(108), pp. 273–375.
- López, J. P., and Toselli, A. J. (1996). Petrología y geoquímica de los Granitoides Peraluminicos de la Faja Tipa, en el borde occidental de Gondwana, sistema de Famatina, Argentina. *Estudios Geol.* 52, pp. 97–102.
- Notestein, F. B., Hubman, C. W., and Bowler, J. W. (1944). Geology of the Barco Concession, Republic of Colombia, South America. *The Geological Society of America* 55(10), pp. 1165–1216.
- Rojas, E., Fortich, M. and Pavajeau, H. (2014). Determinación del origen y la composición de las aguas termales ubicadas en los municipios de Becerril (Cesar) y Ciénaga (Magdalena), Colombia. *Ingenium* 8(21), pp. 35–42.
- Tschanz, C., Jimeno, A. and Cruz, J. (1969). Geology of the Sierra Nevada de Santa Marta area, Colombia. Informe interno 1829. Preliminary report, 288. Bogotá D.C.: INGEOMINAS.
- UNal. (2008). Inventario, interpretación y evaluación integral de la información geológica, geofísica y geoquímica del Bloque Soapaga. Bogotá D.C.: ANH: Agencia Nacional de Hidrocarburos.
- Weiske, F. (1938). Estudio sobre las condiciones geológicas de la Hoya del río Magdalena. *Serv. Gel. Nal. CEGOC* 4(1), pp. 22–35.

### Sobre los autores

- **Jhoan A. Navarro Torres:** Ingeniero de Minas de la Fundación Universitaria del Área Andina, Sede Valledupar, Joven Investigador del SENA y COLCIENCIAS. [jnavarro14@estudiantes.areandina.edu.co](mailto:jnavarro14@estudiantes.areandina.edu.co) – [jhnavarro@areandina.edu.co](mailto:jhnavarro@areandina.edu.co)
- **Washington Roza Moscoso:** Estudiante de octavo semestre de ingeniería de Minas de la Fundación Universitaria del Área Andina, Sede Valledupar, Semillero Planing and Desing. [warozo@areandina.edu.co](mailto:warozo@areandina.edu.co)
- **Luisa F. León Díaz:** Estudiante de décimo semestre de ingeniería geológica de la Fundación Universitaria del Área Andina, Sede Valledupar, Semillero Planing and Desing. [luleon5@areandina.edu.co](mailto:luleon5@areandina.edu.co)

- **Julián E. Rozo Guzmán:** Estudiante de décimo semestre de ingeniería geológica de la Fundación Universitaria del Área Andina, Sede Valledupar, Semillero Planing and Desing. [jurozo@estudiantes.areandina.edu.co](mailto:jurozo@estudiantes.areandina.edu.co)

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2017 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)