



## “Exploración regional de rocas ornamentales entre el Municipio de Valledupar y las inspecciones de Patillal y Badillo - Departamento del Cesar- Colombia”

Luis Enrique Bernal Vargas;  
lbernal@ingeminas.gov.co

### RESUMEN

Utilizando técnicas apropiadas de cartografía geológica y selección de áreas promisorias, se identificaron 3 sectores con rocas graníticas de potencial ornamental: Patillal, La Socola y Las Palomas; sectores que fueron muestreados y caracterizados sus materiales con fines ornamentales.

Los resultados de campo y los análisis de laboratorio efectuados confirman la bondad de las rocas graníticas con buen brillo y comportamiento al corte, buena permeabilidad aparente, dureza (6,5–7) e indicadores físico-mecánicos que los definen de condiciones similares a los granitos que se comercializan mundialmente y de aceptación en el mercado para su aplicación en pisos, mesones, muros, industria lapidaria, elementos decorativos y artesanales. En estos sectores se recomienda continuar con el proceso exploratorio de pre-factibilidad y viabilidad técnico económica.

**Palabras claves:** Roca Ornamental, Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia, áreas potenciales, granitos.

### ABSTRACT

Using appropriate geologic cartography techniques and selection of the promissory areas, 3 sectors were identified with granitic rocks of ornamental potential: Patillal, Socola and Palomas; the sampling areas and characterized their materials with ornamental purpose.

The results of field and the actual laboratory analyses confirm the kindness of the granitic rocks with good shine and behavior to the cut, good apparent permeability and hardness (6,5.–7) and the physical-mechanics indicators that define them from similar conditions to the granites that are marketed worldwide and of acceptance in the market for their application in floors, taverns, walls, lapidary industry, ornamental and handmade elements. Sectors where it is recommended to continue with the exploratory process of pre-feasibility and technician - economic viability.

Key words: Granites, ornamental rock, potential áreas, Sierra Nevada of Santa Marta, Valledupar.

## 1. INTRODUCCIÓN

Un planteamiento de aceptación universal asegura que el crecimiento de la economía depende en gran parte de la producción de más y mejores bienes y servicios cuya fuente son los recursos naturales; sin embargo estos son cada vez inferiores a las necesidades del mercado.

Esta exploración regional de rocas ornamentales en el Departamento del Cesar (Colombia) estuvo dirigida a identificar la existencia del recurso e iniciar uno de los eslabones de una cadena productiva como son las Rocas Ornamentales, las cuales manejan importantes mercados a nivel mundial y que para nuestro entorno nacional no ha tenido la trascendencia requerida, dada la potencialidad del recurso y la estratégica ubicación geográfica de Colombia en el entorno mundial para el manejo del mercado. A nivel regional, el proyecto impulsa la apertura de un panorama de nuevas fuentes de inversión que contribuyan a la diversificación de la minería en departamentos tradicionalmente carboníferos como son el Cesar y la Guajira y, por ende, a proponer otras oportunidades para la planeación del desarrollo regional y el mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes (Gobernación del Cesar 2001).

Rocas Ornamentales, como producto industrial, son consideradas todas aquellas rocas que después de un proceso de elaboración son aptas para ser utilizadas como materiales nobles de construcción, elementos de ornamentación, arte funerario y escultórico, objetos artísticos y variados, conservando íntegramente su composición, textura y características físico-químicas (López et al, (1996)). Actualmente estos recursos minerales están agrupados bajo el marco conceptual de la industria de los materiales de la construcción; industria de gran importancia para la economía mundial y el desarrollo nacional, que de acuerdo con datos de la Naciones Unidas representa un promedio entre el 10% y

12% del PIB mundial. Además, del impacto directo sobre el empleo, influye en el comportamiento macroeconómico de todos los países del mundo. En los países industrializados, la construcción aporta en promedio el 60% de la formación bruta de capital fijo (Alfonso, 2001).

### 1.1. Localización

El área está ubicada al noroccidente del Departamento del Cesar, entre el municipio de Valledupar por el sur y aproximadamente los límites departamentales del Cesar y la Guajira, por el norte. (IGAC, 1975; Tabla 1 ; Figura 1).

El área tiene una extensión de 382,5 km<sup>2</sup>, es atravesada por una importante red fluvial como son los ríos Guatapuri, San Francisco y Badillo y es cruzada de sur a norte por la troncal Bosconia-Valledupar-Riohacha, que

Tabla 1. Vértices del área. Coordenadas origen Bogotá. Fuente IGAC (1975)

Punto	Coordenada	
	X	Y
A	1.652.000	1.091.000
B	1.665.000	1.108.000
C	1.680.000	1.108.000
D	1.680.000	1.091.000

bordea el piedemonte de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM), desde donde se desprenden carretables que permiten la interconexión con las actuales vías férreas de la región y poblaciones como Los Corazones, Patillal, Atanques, Badillo y Las Juntas, entre otras.

### 1.2 Metodología

La técnica de investigación utilizada para la prospección y exploración regional a escalas 1:50.000 y 1:25.000 se resume en la Figura 2.

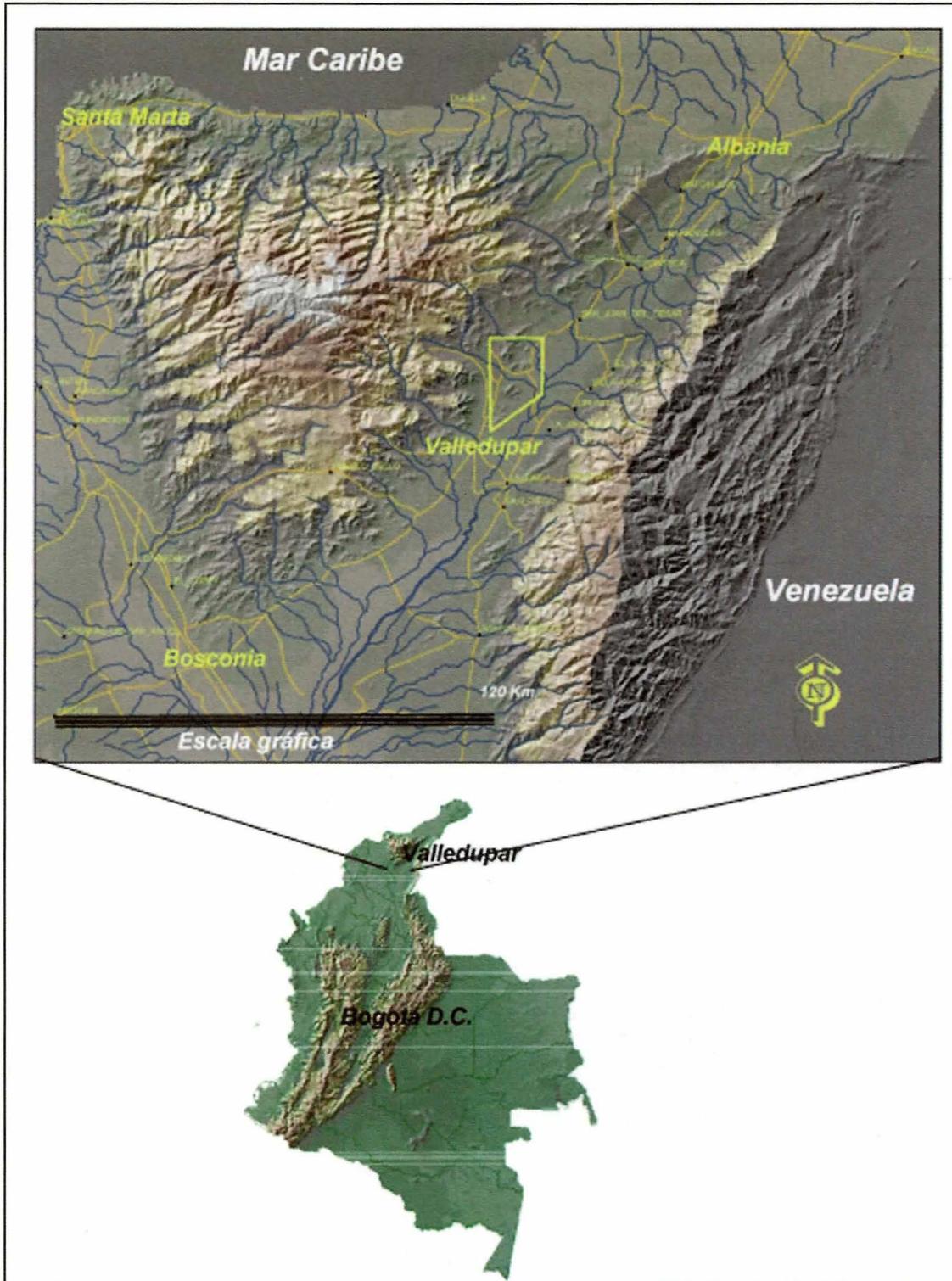


Figura 1. Localización del área

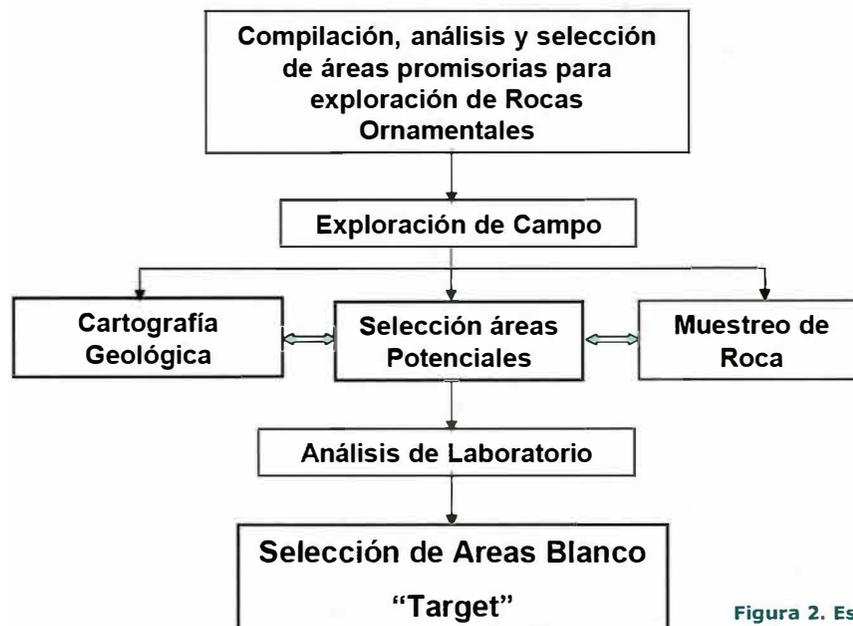


Figura 2. Esquema metodológico

Paralelamente con la cartografía geológica, se hace énfasis en la toma sistemática de datos para definir las principales familias de diaclasas, su espaciamiento, rugosidad, apertura, continuidad y la densidad del fracturamiento (**Jv**) (González, 2002); el resultado es la preselección de sectores apropiados con potencial del recurso ornamental. Es importante aclarar que unidades consideradas en la priorización inicial con potencial alto, al verificar el estado de diaclasamiento, no ofrecían en campo ninguna aptitud ornamental. Por lo tanto, el grado y densidad de diaclasamiento que definen los posibles tamaños de los bloques que conforman el macizo rocoso y la proyección de uso se analizan según las técnicas existentes como la proyección estereográfica, los diagramas rosa y la utilización del parámetro Jv.

En donde:

$$(1) \mathbf{Jv} = \frac{\Sigma \text{No de discontinuidades}}{\text{Longitud de medida}}$$

Una vez preseleccionados los sitios se inicia la valoración integral de los parámetros establecidos en la Tabla 2, los cuales afinan los criterios de selección y canterabilidad (sitio de probable explotación de roca) a tenerse en cuenta para la valoración de los sitios de interés ornamental, en donde "Cada parámetro se valora según una escala  $V_i$  de 0 a 9 (siendo 0 el mejor valor y 9 el de peor calidad), de acuerdo con el grado de importancia que se tiene en cada área. Este valor, a su vez, viene afectado por un coeficiente  $K_i$  que depende de la importancia o peso relativo que se concede a dicho parámetro en la valoración de las áreas y que es fijo para todas ellas" Muñoz et al, (1989 a-b).

La valoración **V** se estima según:

$$(2) \mathbf{V} = \frac{\Sigma K_i * V_i}{V_{\max} * n_i} * 100$$

$V_i$  = valoración del parámetro estudiado

$K_i$  = Coeficiente corrector

$V_{\max} = 9 * \Sigma K_i / n_i$ , que para la evaluación es una constante de valor  $9 * 55/10 = 49,5$

**Tabla 2. Valoración de área**

TABLA 2. VALORACION DE AREA																
Características de Afloramiento (morfología, recubrimiento, vegetación, etc.)				Recubrimiento: < 3 m, Vegetación monte bajo 3 m, Vegetación monte alto												
Litología																
Criterios de Valoración (V1)				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Coef. Ki	Valor K1V1	Observaciones
CRITERIOS DE SELECCIÓN PREVIA	Topografía													3		
	Accesos													6		
	Alteraciones a escala del yacimiento													7		
	Facturación, diaclasado, posibilidad Extracción y tamaño de bloques													8		
CRITERIOS DE CANTERABILIDAD PREVIA	Oxidación													10		
	Discontinuidades (Gabarros, diques, Enclaves, bandeados, filones, etc.)													9		
	Tamaño del Yacimiento													2		
	Impacto ambiental													4		
	Existencia de canteras o minas													5		
	Infraestructura industrial													1		
<b>Valoración K1V1</b>	<b>Area</b>	TOTAL K1V1														

Fuente: Manual de rocas ornamentales

En cada uno de los sitio seleccionados se efectúa el muestreo de bloques de roca de aproximadamente 70x70x70 cm de lado, de los cuales se elaboran las respectivas tablas y probetas para los análisis físicos y comportamiento geomecánico que soportan la calidad de las rocas. Además, se efectúa el muestreo de material alterado y suelo para determinación de minerales de neoformación de tipo arcilloso con la técnica de Difracción de Rayos X (DRX).

Los análisis que principalmente soportan las primeras fases de una exploración regional con fines ornamentales son:

- Difracción de Rayos X : Define los minerales neoformados por la acción de los agentes meteorizantes (Thorez, 2005) y su incidencia en la calidad de roca.

- Petrográfico: contribuye en la definición de la homogeneidad, el grado de deterioro medio y actual, la porosidad, las discontinuidades, fisuras, rellenos, cuyas características influyen el comportamiento del material en su fase de utilización y condicionan su evolución en el transcurso del tiempo (Williams, Turner & Gilbert, 1979; Streckeisen, 1974 y Travis, 1955).

- Metalográfico: Este análisis determina la presencia de sulfuros, óxidos e hidróxidos de hierro (Ramdohr, 1980) y contribuye en la definición de la alteración y oxidación que presentan los materiales, cuya determinación se apoya en las técnica de análisis de secciones delgadas pulidas y la Difracción de Rayos X (DRX).

- Homogeneidad: Se estudian los cambios litológicos, variaciones de color y tamaño de grano, presencia y distribución de fenocristales.

tales, gabarros, diques, venas y cavidades rellenas de cristales.

- Calidad de la roca: Este parámetro se evalúa sobre la SD utilizada en el análisis petrográfico, con base en los criterios de alterabilidad y la calidad mecánica de la roca, según:

- El deterioro mineralógico medio de cada fase mineral, calculado mediante la fórmula

$$(3) D_m = \frac{V_i * n_i}{n}$$

$V_i$  = Grado de alteración tomado de la tabla de Ordaz-Esbert

$n_i$  = Numero de granos con alteración  $V_i$

$n$  = numero total de granos de la fase mineral X estudiada

- El deterioro mineral de la roca ( $D_m$ ) evalúa integralmente la roca en su conjunto, cuyo valor se obtiene ponderando el deterioro mineralógico medio de cada fase con su abundancia relativa en la roca ( $P_x$ ).

$$(4) D_x = \frac{D * P_x}{100} \%$$

- Deterioro actual de la roca ( $D_a$ ), considera el deterioro mineralógico ya conocido y la oxidación del granito.

$$(5) D_a = \frac{D * K_m + O_x * K_x}{K_m + K_x}$$

Siendo  $k_m$  y  $K_x$  coeficientes de ponderación de valor 1 y 3 respectivamente, según, Lopez et al (1996).

La valoración cualitativa del deterioro actual se efectúa con base en la **Tabla 3**.

- Fracturamiento: Es uno de los factores de mayor peso en la evaluación del recurso y su explotación, de su densidad y tipo depende la posibilidad de la extracción de bloques comerciales. Parámetro que es evaluado se-

gún el programa propuesto por Reiter & Acs (2003), y la medida del  $J_v$  de la fórmula (1).

- Brillo y color: Parámetros empíricos y subjetivos, pero decisivos, impuestos por los criterios del productor, que definen la aceptabilidad o rechazo del producto en el merca-

**Tabla 3. Valoración del Deterioro actual ( $D_a$ )**

$D_a$	Valoración
0-1	Muy bajo
1-2	Bajo
2-3	Medio
3-4	Alto

do. Por criterios geológicos se recomienda la utilización de la tabla de colores de Munsell (1991).

- Análisis geomecánicos: Estos ensayos se efectúan según las Normas internacionales ISO, debidamente acreditadas por los países especialmente productores, con procedimientos y especificaciones definidas por la ASTM, DIN, BSI, AENOR y UNE (22-170 a 179) entre otras, cuyos análisis están dirigidos a conocer el comportamiento de los materiales ante la heterogeneidad de utilización. Entre ellos se destacan la porosidad abierta, densidad aparente, coeficiente de absorción de agua por capilaridad, porosidad abierta, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, resistencia al choque, resistencia al desgaste por rozamiento, coeficiente de resistencia al agua por capilaridad, resistencia a las heladas, módulo elástico, micro dureza Knoop y absorción de agua a presión atmosférica.

## 2. RESULTADOS

Con la información, obtenida en la fotointerpretación geológica más el análisis de la compilación de la información bibliográfica y cartográfica disponible, se evaluaron las condiciones estructurales, las características lito-

lógicas de cada una de las unidades geológicas, el color de las rocas y textura así como las restricciones ambientales de parques naturales y reservas indígenas, cuyo resultado permitió la Categorización de Unidades Promisorias (Tabla 4), a tenerse en cuenta en la etapa de exploración de campo, donde se resaltan 4 unidades roca con prioridad alta, 9 con prioridad media y 2 con prioridad baja.

Con esta información, se planificó la iniciación de las actividades de prospección y exploración geológica, con énfasis en la definición de las condiciones estructurales que presentan las unidades, la selección de los sitios de interés ornamental, la toma de muestras y la respectiva caracterización de los materiales seleccionados.

## 2.1 PROSPECCIÓN GEOLÓGICA

El corredor de interés definido para la prospección y exploración de campo, es dominado por rocas ígneas plutónicas félsicas a intermedias, efusivas, piroclásticas y sedimentarias del Mesozoico, intrusivos del Cretácico-paleógeno (?) y depósitos cuaternarios (**Figura 3**).

De las anteriores unidades se destacan por su composición, texturas, colores y condiciones estructurales, con potencialidad como roca ornamental las siguientes unidades:

### 2.1.1 Batolito de Patillal (Jcm- Jgr; 170±11 m.a)

Rocas de edad jurásica que toman su nombre del corregimiento de Patillal y junto con el Batolito de Pueblo Bello son considerados como una sola unidad con sus variaciones faciales desde granodioritas a granitos, de edad contemporánea y relaciones intrusivas con las rocas volcánicas (Tschanz et al. 1969).

Dentro del área presenta sus mejores afloramientos siguiendo los cauces de los arroyos Grande, la Malena y el río Badillo, con una composición predo-

minante granítica de colores gris crema a rosados dependiendo del contenido de feldespato potásico (microclina), es rico en cuarzo hialino de tamaño medio a grueso y como minerales accesorios biotita de tamaño fino a medio y hornblenda. La textura predominante es fanerítica gruesa a muy gruesa, equigranular y homogénea y en menor proporción porfírica. Estas rocas presentan sectores con alto contenido de xenolitos de sienitas y monzonitas, gabarros de color verde ligeramente redondeados que van desapareciendo gradualmente dentro de la roca original.

Microscópicamente, presentan una textura holocristalina muy gruesa a gruesa, equigranular homogénea, masiva, con cuarzo, ortoclasa, plagioclasa, anfíboles, biotita y magnetita en intercrecimiento con ilmenita.

Dentro de esta unidad, por su textura, composición, color y grado de fracturamiento se evaluaron cinco sitios, en donde se seleccionaron dos de interés ornamental, definidos como Patillal y La Socola.

### 2.1.2 Pórfido de las Palomas (TKg ?)

Esta unidad se observa al norte de la Inspección de Badillo, tomando la vía principal que comunica los municipios de Valledupar (Departamento del Cesar) con San Juan del Cesar, Departamento de la Guajira), antes del cruce del puente de la quebrada Las Palomas. Presenta una morfología relativamente ondulada, cubierta por una vegetación densa de arbustos de baja altura y ratrojos (**Figura 4**).

Por relaciones de campo se observa que estas rocas intruyen una secuencia sedimentaria calcárea comparativamente equivalente a la Formación Cogollo de edad Cretácico superior. Macroscópicamente son de color gris verdoso de aspecto volcánico efusivo y brechoide, texturalmente heterogénea con fragmentos porfíricos gris claros de plagioclasas y xenolitos de calizas (figura 4), que permiten considerarlas como un evento posterior que afecta la secuencia calcárea que la supraya-

Tabla 4. Categorización de unidades litológicas con potencial para Ro			
EDAD	UNIDAD ESTRATIGRAFICA	CARACTERÍSTICAS GENERALES	PRIORIDAD
TRIÁSICO-JURÁSICO	Formación Los Indios (Trpi)	"cuarcita" de grano grueso a medio, de color gris a gris oscuro, alternando con lutitas, localmente calcáreas	*
	Formación Corual (Trpc)	Basaltos negros a grises oscuros en la base; diabasas con intercalaciones de limolitas negras; lutitas intercaladas con capas de chert suprayacidas por rocas volcánicas.	**
	Formación Guatapuri (Trg)	basaltos porfíricos, basaltos andesíticos, andesitas, volcánicos piroclásticos, keratófidos, espilitas y ocasionalmente brechas y conglomerados con cantos subangulares. Todo el conjunto presenta colores de gris verdoso a gris claro que por meteorización se tornan anaranjados a rojizos	**
	Rocas Volcánicas e hipoabisales (Trs)	Rocas basálticas de color gris marrón, carmelito y menos común verde oscuro.	**
	Pórfidos Keratófidos Verdes (Trp)	Pórfido andesíticos gris verdoso a verde oscuro con fenocristales de epidota color verde claro y plagioclasa; esporádicamente fragmentos pequeños de rocas volcánicas afaníticas con pirta diseminada.	*
	Ignimbrita de Caja de Ahorros (Jca)	Ignimbritas de color gris, café verdosas, con abundantes bandas paralelas de colores claros.	***
	Ignimbrita de Los Clavos (Jlc)	Brecha volcánica piroclástica, de color negro a gris oscuro; constituida por cristales, fragmentos de cristales, fragmentos de rocas volcánicas y tobas; los fragmentos más comunes son autolitos negros	**
	Cuarzomonzonita de Patillal (Jcm)	Brecha piroclástica, negra a gris oscura; los fragmentos más comunes son autolitos negros.	***
	Plutón de Nueva Lucha (Jnl)	Se caracteriza por su color rosado (feldespato) y el contenido variable de cuarzo.	**
CRETÁCICO	Vitrófiro Riolíptico Negro (Jvr)	Rocas de apariencia gabroica, gris oscuras, cortada por diques de rocas graníticas	**
	Riodacita de Los Tábanos (Jt)	Roca negra, vítrea a semivítrea.	***
	La Riolita del Golero (Kg)	Riolitas a traquitas de color rosado a lila, en la parte basal presenta localmente líneas de flujo, cada una de diferente color y textura. En la parte alta, la unidad presenta microgranitos de color rosado a salmón. Felsitas afaníticas con bandas de flujo, de color rosado claro, salmón, lila o gris rojizo.	**
	Pórfidos graníticos hipobisales cretácicos (Kp)	Granito porfírico o riolita porfírica grises a marrón pálido	**
	Grupo Cogollo (K1)	caliza arcillosas de color gris claro, en bancos delgados a medios, algunos presentan abundantes fósiles de bivalvos, atravesados por venillas de calcita.	**

PRIORIDAD (Color-Textura y tectónica)	
R	Alta ***
A	Media **
V	Baja *

Fuente de información Geologica: Tschantz et al, (1969)

“Exploración regional de Rocas Ornamentales entre el Municipio de Valledupar y las inspecciones de Patilla y Badillo - Departamento del Cesar- Colombia”

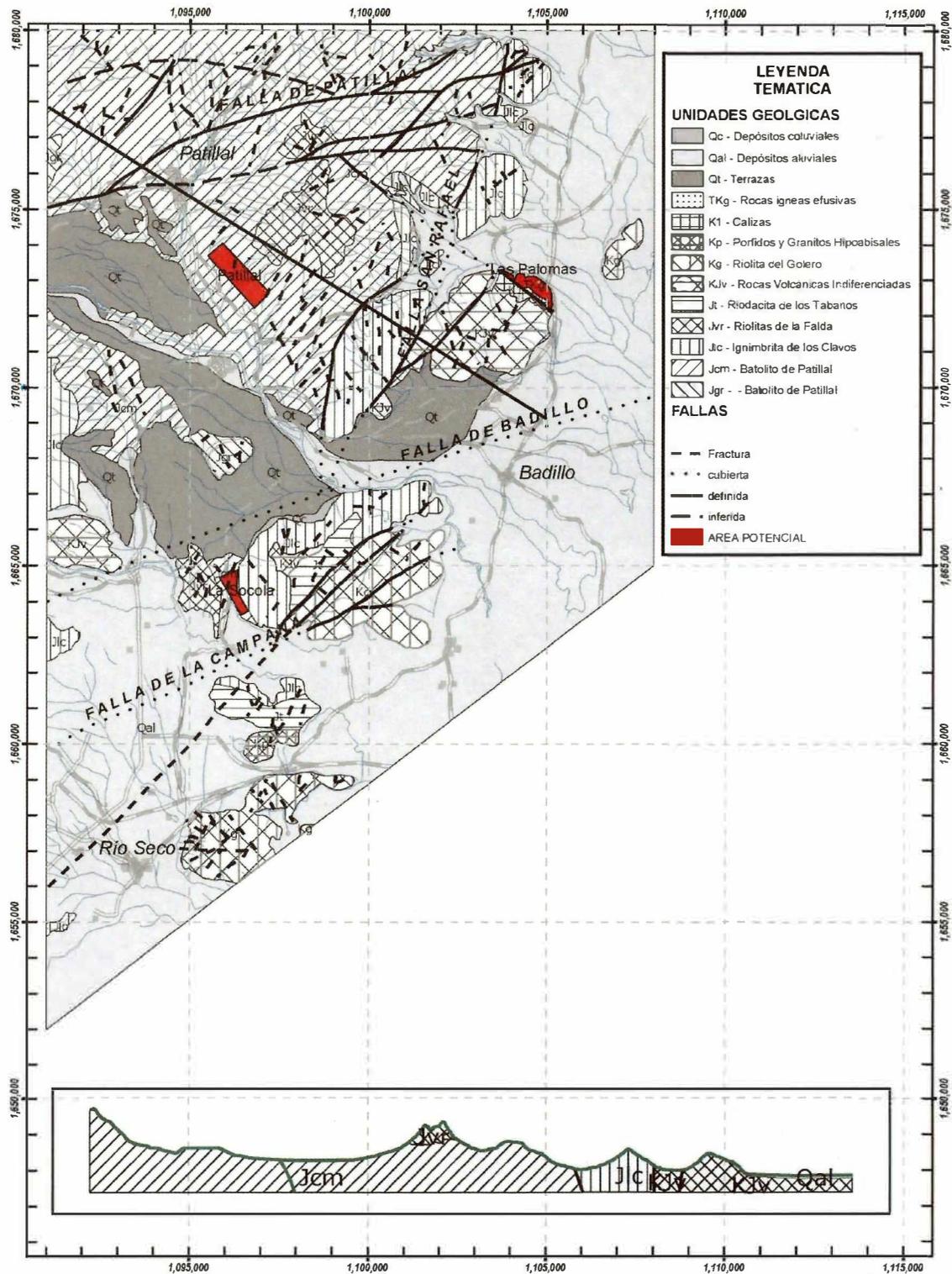


Figura 3. Mapa geológico y selección de áreas blanco para exploración detallada

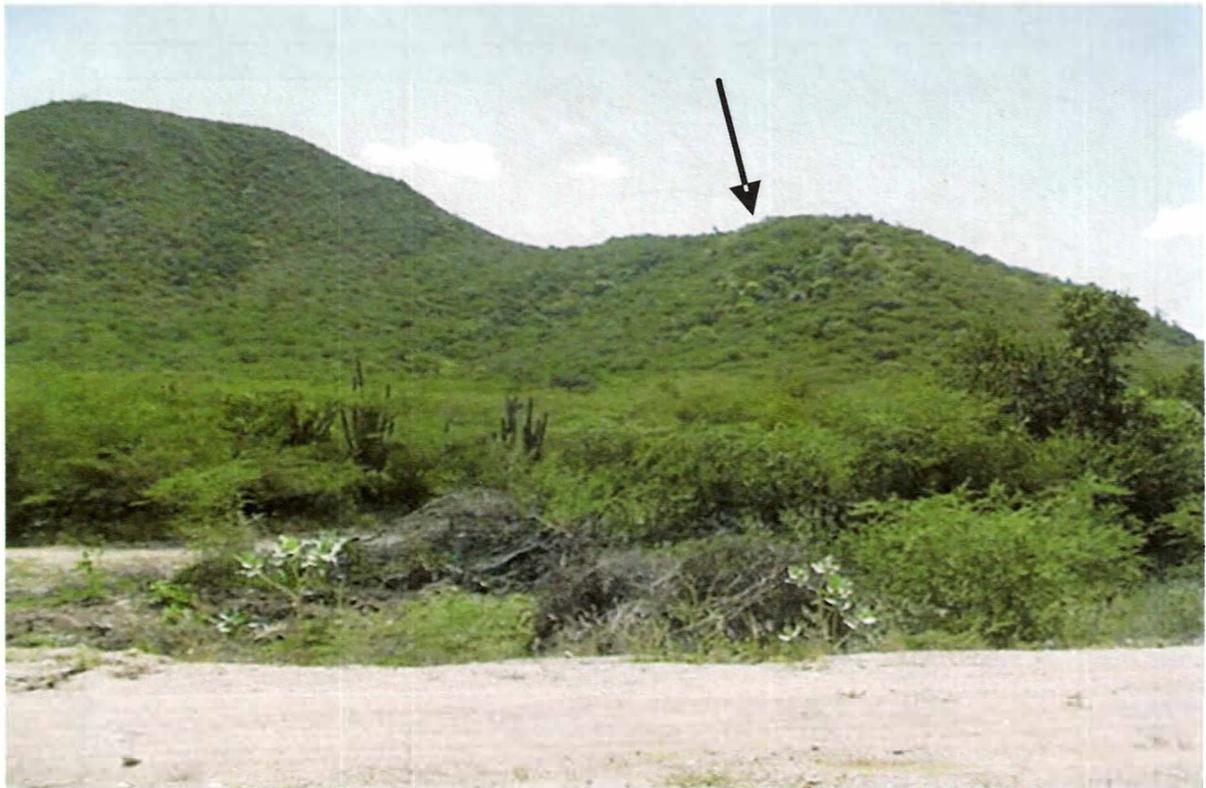


Figura 4. Morfología y vegetación predominante del Porfido Andesítico Las Palomas, intruyendo la secuencia cretácica del Grupo Cogollo (arriba). Xenolitos centimétricos de calizas dentro del

ce, de relaciones diferentes a la unidad cartografiada y descrita por Tschanz et al (1969) como Riolita del Golero, redefinida en este trabajo, y para este sector, como Porfido de las Palomas de edad Cretácico superior - Paleógeno inferior (?).

Estas rocas al microscopio presentan textura porfirítica, con fenocristales distribuidos en una matriz de tendencia fluidal traquítica; con luz reflejada se observa desarrollo de cristales pequeños de magnetita y trazas de calcopirita y pirita.

*Existen fragmentos aglutinados por relleno de recristalización hidrotermal en venas de fracción milimétrica a centimétrica, con estructura bandeada verde oscura con clorita, calcita y cuarzo blanco a incoloro con manchas de tonalidades verdes por epidotización y cloritización, Figura 5.*

Por su color, brillo, textura y facilidad de acceso esta unidad es considerada de interés como roca ornamental; sin embargo, los xenolitos de composición calcárea, disminuyen su carácter promisorio, pero por su color y brillo determinado, se ha considerado como un blanco de exploración.

### 2.1.3 Tectónica

Dentro del contexto de las rocas ornamentales, las condiciones estructurales que presentan las rocas consideradas de interés, es uno de los factores determinantes para definir su potencialidad. Por lo tanto, se hace un esbozo del marco tectónico regional de la Sierra Nevada de Santa Marta y se enfatiza en las condiciones estructurales del área de interés, cuya interpretación es fundamentada en los trabajos realizados por autores como Raasvelt (1956), Doolan & MacDonald (1976), Tschanz et al (1969 y 1974), Duque (1980), Ujueta (1994), Forero (1990), Ujueta & Llínás (1990), Taboada et al (2000), Cediél et al (2003), Orozco y Osorio, (2004) y el recono-

cimiento de campo efectuado en el desarrollo del trabajo.

La Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM), macizo aislado del cinturón andino colombiano de forma triangular, en donde se encuentran las máximas alturas del relieve colombiano, es una provincia geomorfológica compleja y tectónicamente activa, delimitada al suroeste por la Falla Santa Marta-Bucaramanga de rumbo sinistral e inversa; al norte por la Falla de Oca de rumbo dextral y por el sureste por el lineamiento tectónico del Cesar- Ranchería. En la SNSM son evidentes tres orogénesis con sucesos de metamorfismo, adosamientos de materiales alóctonos, eventos magmáticos, sedimentación y procesos denudativos intensos, que han permitido subdividirla estructuralmente en tres subprovincias, con basamentos metamórficos característicos de edades diferentes, claramente delimitadas y definidas como Santa Marta, Arco de Sevilla y Sierra Nevada, (Tschanz et al. 1974).

La subprovincia de la Sierra Nevada, en donde se ubica el proyecto, tiene un basamento de granulitas del Precámbrico (1400 m. a), las cuales probablemente hicieron parte del sector noroccidental del Escudo de Guyana, desgarrado quizás durante el Precámbrico superior y separadas de los esquistos del Precámbrico superior (Serranía del Perijá), por el lineamiento del Cesar, de rumbo Noreste, cubierto bajo los depósitos recientes del actual valle del Cesar – Ranchería.

Autores como Audemard (2002) y Cediél et al (2003) confirman las condiciones alóctonas de la SNSM y sugieren que el desplazamiento del bloque Maracaibo del cual hace parte la Sierra Nevada, son producto de la tectónica de placas en el Bloque Norte de Sur América y su levantamiento actual está relacionado con la colisión del arco de Panamá, (Placa Pacífica), con el Norte de Sur América.

Los límites tectónicos activos de la SNSM en regímenes transpresivos como el de la Falla de Oca, de tendencia predominante E-W y la

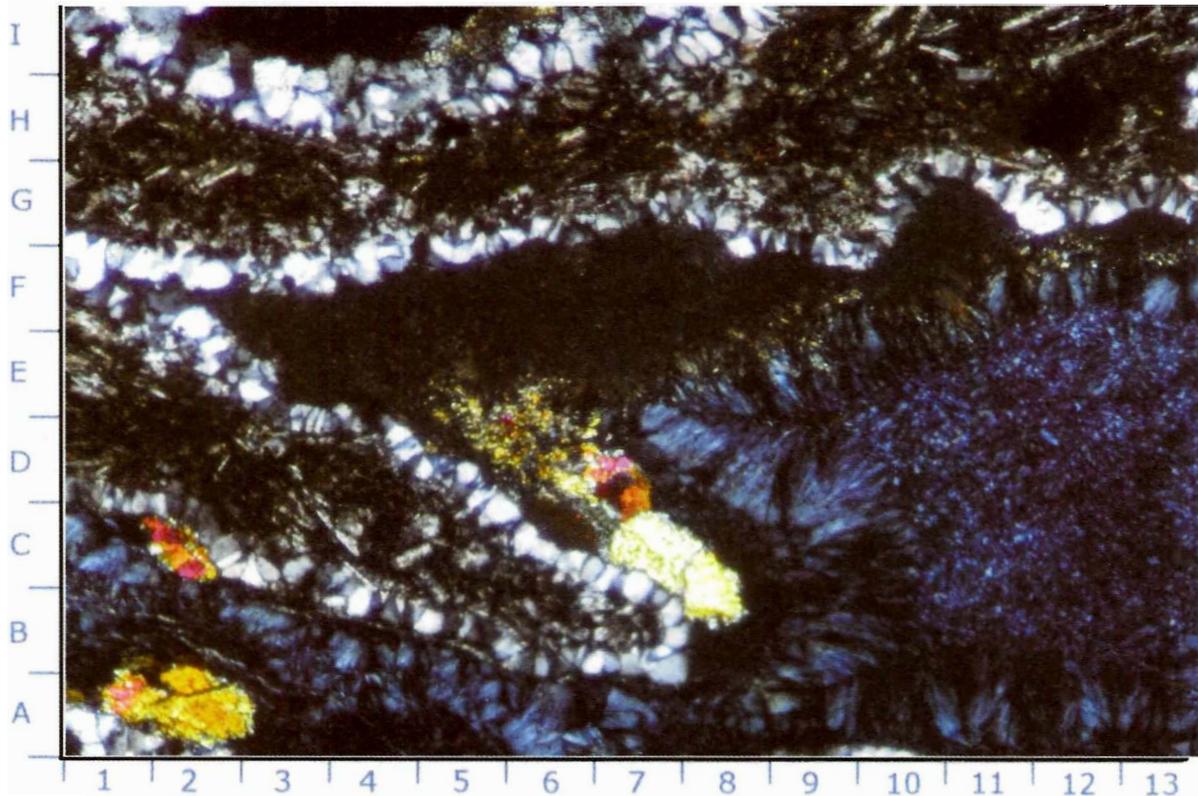


Figura 5. Amígdalas con clorita (C11), epidota (D6), bordeadas de calcedonia (F2). Matriz (G2) microcristalina pseudotaxítica en flujo envolviendo las amígdalas y fenocristales mayores de epidota (A2-Clinzoisita). Nícoles X, 4X,

Falla Santa Marta-Bucaramanga de dirección NW-SE, evidencian la deformación continental al norte de Colombia y son responsables de buena parte de la intensa deformación que han sufrido las rocas que componen el macizo de la SNSM, (Orozco y Osorio, (2004)).

A nivel regional el mapa de vectores de desplazamiento relativos de placas (Trenkamp et al., 2002), muestra que el Bloque Maracaibo se desplaza en dirección NNW lo cual genera campos de esfuerzos locales en dirección SE a NW facilitando la reactivación de los segmentos curvos a manera de fallas inversas, una de de las cuales es la falla de Badillo que se inicia en la falla Santa Marta-Bucaramanga, desde cerca de la población de Purificación, sur de Aracataca, y cruza cerca de la población de Badillo y se infiere que se intercepta con el lineamiento del Cesar (Figura 3).

A partir de la falla inversa de Badillo de dirección SW-NE, cubierta dentro del área por los depósitos torrenciales del cuaternario (Qt), provenientes de la SNSM, se desprenden fallas locales como La Campana, San Rafael, La Colorada y Patillal. Existen fallas menores como la falla de las Palomas de Rumbo SE-NW que evidencian un sistema deformativo de bloques con rampas laterales y frentes de cabalgamiento, cuyos limites son fallas de rumbo NNE y NNW de expresiones morfológicas características y el alto fracturamiento que presentan las rocas afectadas por su desplazamiento.

El análisis del fracturamiento regional muestran dos grandes sistemas de diaclasas: el primero con azimut entre 20-30° relacionado al mecanismo de la cizalla principal de la Falla Badillo en posición sintético y el otro sistema

antitético 320-330° con buzamientos mayores a 70°, formando entre ellos ángulos agudos de aprox. 60°, en una simetría triclinica, típica de diaclasamiento por cizalla.

## 2.2 DEFINICIÓN DE ÁREAS DE INTERÉS

Efectuada la categorización de la Tabla (4) y la prospección geológica de campo, se seleccionaron los sectores con menor grado de fracturamiento, en donde se evaluó el  $J_v$  (fórmula 1), cuyos valores  $\leq 2,2$  (Tabla 5) permitieron seleccionar 7 sitios a los que se les efectuó la valorización de los parámetros definidos a nivel de exploración regional (Tabla 2), de los cuales 3 fueron definidos como áreas favorables: Patillal, La Socola y Las Palomas (Tabla 6). cuyos valores son comparados con la Tabla (7) del Manual de Rocas Ornamentales, (1996) y definidos como aceptables

En cada una de las localidades anteriormente seleccionadas, se efectuó una exploración geológica de mayor detalle y la toma de medidas del diaclasamiento para identificar el número de familias, espaciamientos y su continuidad, parámetros que corroboran la potencialidad de cada una de las áreas seleccionadas, condicionan el tamaño de los bloques a extraer y desde luego limitan su uso. Además, fueron objeto de un muestreo de roca para análisis de tipo industrial para la elaboración de las secciones delgadas pulidas (SDP), probetas y tabletas para los respectivos análisis petrográficos y metalográfico, brillo, color y la caracterización geomecánica, (Figura 6).

A las SDP se les efectuó el análisis petrográfico y metalográfico para definir el grado de deformación de la roca, su estado de oxidación y el deterioro actual. Además se efectuó el muestreo de material meteorizado para los análisis de los minerales de neoformación por meteorización utilizando la técnica DRX. (Thorez, 2005), cuyos resultados se resumen en la Tabla (8).

Las tabletas fueron enviadas a los laboratorios de Adalid Ltda en Bogotá para la determinación del brillo, color, dureza, comportamiento del material al cortado de las tabletas y a INTROMAC de España las probetas para efectuar los análisis de comportamiento geomecánico. Los resultados se presentan en la Tabla (8).

La Tabla 9, compara los valores exigidos para granitos por las normas vs los resultados obtenidos en cada uno de los sitios seleccionados, evidenciando la calidad que presentan las rocas, su color, permeabilidad, calidad de brillo y dureza, que permiten considerarlos de buenas expectativas de comercialización, tanto en el mercado nacional como internacional; dependiendo de la ubicación de los sectores que permitan extracciones de bloques de 2 m<sup>3</sup>.

## 3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las rocas identificadas dentro del área son Ígneas plutónicas, hipoabisales, efusivas y piroclásticas, denominadas Batolito de Patillal (Jcm), Ignimbrita de Los Clavos (Jlc), Riolita de La Falda (Jvr), Riodacita de Los Tábanos (Jt), rocas volcánicas indiferenciadas (KJv), Riolita del Golero (Kg) y Pórfidos graníticos hipoabisales (Kp), de edad Jurásico y Cretácico, (Tschanz et al. 1969) y se identificaron 2 unidades que afloran en el sector, como son las Calizas (K1) al Parecer equivalentes al Grupo Cogollo y el porfido intrusivo de las Palomas (TKp).

Las unidades geológicas con potencial como roca ornamental son el Batolito de Patillal (Jcm) y el Porfido Intrusivo de las Palomas (TKp), sobre los cuales se ubican los blancos de exploración de Patillal (110 Ha), La Socola (35,5 Ha) y las Palomas (46,6 Ha).

**Tabla 5. Tamaño orientativo del bloque en función del parámetro  $J_v$**

Fuente: Manual de Rocas Ornamentales, (1996)

<b>PARAMETRO <math>J_v</math></b>	<b>TAMAÑO ORIENTATIVO DEL BLOQUE</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
$\leq 1,7$	Grande	Bloque Comercial Bloque no Comercial
1,7	Optimo	
2,2	Aceptable	
$\geq 2,2$	No aceptable	

Fuente: Manual de Rocas Ornamentales, (1996)

**Tabla 6. Selección de áreas favorables para caracterización de Rocas Ornamentales.**

Fuente: Manual de Rocas Ornamentales (1996)

<b>Clasificación</b>	<b>I. de Valoración</b>	<b>Patillal</b>	<b>La Socola</b>	<b>Palomas</b>
Muy Buena	0-20			
Buena	20-40			
Aceptable	40-60	<b>50</b>	<b>52,4</b>	<b>46,8</b>
Mala	60-80			
Muy Mala	80-100			

**Tabla 7. Comparación de los índices de Valoración Vs áreas seleccionadas.**

<b>Parámetros</b>	<b>Constante (K)</b>	<b>Las palomas (Vi)</b>	<b>La Socola (Vi)</b>	<b>Patillal (Vi)</b>
Topografía	3	2	6	6
Accesos	6	2	5	5
Alteración	7	4	3	3
Fracturas	8	5	7	6
Oxidación	10	6	2	2
Gabarros - xenolitos	9	4	7	7
T. del Yacimiento.	2	3	5	5
Impacto Ambiental	4	3	5	4
Exist. de canteras	5	6	4	4
Infr. Industrial	1	4	4	4
V. del Área KiVi		234	262	250
Total KiVi x 0.202		46.8	52.4	50



**Figura 6. Tamaño de un bloque de granito requerido para efectuar los análisis de caracterización geomecánica del material. Sitio de muestreo, cerro de Las Palomas.**

El fracturamiento regional muestra dos sistemas de diaclasas, la primera con azimut entre 20°-30° relacionado al mecanismo de la cizalla principal de la Falla Badillo en posición sintético y el otro sistema antitético 320-330° con buzamientos mayores a 70°, formando entre ellos ángulos agudos de aprox. 60°, en una simetría triclinica, típica de diaclasamiento por cizalla.

La Falla de Badillo es el principal rasgo tectónico regional en arco de tipo inverso, la cual se inicia sobre la Falla Santa Marta-Bucaramanga, y se infiere que se intercepta con el lineamiento del Cesar; es un rasgo regional que evidencia el desplazamiento de la SNSM en Dirección NNW asociada al Bloque Maracaibo, como respuesta a la acción de las placas de Nazca, el arco de Panamá y la placa de Suramérica.

De los 382,5 Km<sup>2</sup> explorados, solamente el 0.49% muestra condiciones aceptables, dado el alto grado de fracturamiento que presentan las rocas, posiblemente reflejando la actividad tectónica que ha sufrido la SNSM a través del tiempo geológico.

Los análisis de la mineralogía de arcillas muestran, que a pesar de ser una muestra de roca superficial de amplia composición (granitos a andesitas basálticas), el mineral neoforado por meteorización es de composición caolinítica, relativamente estable, condiciones que favorecen la estabilidad del brillo y color de los materiales para uso ornamental.

Las áreas identificadas como blancos de exploración se caracterizan por ser rocas ígneas de brillos y colores atractivos para el mercado, de permeabilidad y dureza buena, con características geomecánicas buenas, infraestruc-

**Tabla 8. Muestra las características físico-mecánicas de los blancos de exploración de Patillal, La Socola y Las Palomas, Departamento del Cesar.**

CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES			
PARAMETROS	PATILLAL	SOCOLA	PALOMAS
			
Jv	1,5	1,5	1,4
Minerales de Arcilla	Caolinita	Caol + Illita	Caol + Illita
Calidad del Brillo	Buena	muy Buena	Regular
Color	Rosado Grisáceo	Rosado Naranja	Verde Amarillo
Dureza	6	7	6
Clasif. Petrográfica	Granito Hornblendico	Granito Porf., biot.	Brecha And.a Basaltica
Clasif. Metalográfica	Magnetita Titanifera	Ilmenita	Mag. titanifera, Calcpy
º Oxidación	1-Baja	1-Baja	2- Medio
Deterioro Medio (Dm)	2,6	1,73	2,08
Deterioro Actual (Da)	1,4	1,8	2,3
COMP. GEOMECANICO			
Tamaño de grano	Fino	Fino	Fino
Porosidad Abierta	1%	2.6%	1.3%
Densidad Aparente (Kg/m3)	2600	2520	2680
Resistencia al desg. por rosamiento (mm)	3,3	3,05	1.72
Resit a la Compresión (Mpa)	154	190	190
Rsist.,a la Flexión (Mpa)	14,6	16,9	21,5
Microdureza Knoop (Mpa)	2478	7905	1542
Resistencia al Choque (cm)	37,5	45	49
Resistencia a las Heladas (%)	0,056 Perd de M	0,32	0
Absorción de agua a P. Atm. (%)	0,2	0,7	0,3
Calidad de la Roca	Buena	Muy Buena	Buena
			
RECURSOS (Mm3)	70,3	17,6	25,3

tura vial y eléctrica muy buenas, las cuales dada la variedad de colores incentivan continuar con la siguiente fase de exploración.

Las recursos geológicos inferidas son del orden de: 70,3 millones de m<sup>3</sup> para Patillal; 25,3 millones de m<sup>3</sup> para Las Palomas y 17,6 millones de m<sup>3</sup> para La Socola.

Se recomienda, como actividad inicial para continuar con el proceso exploratorio, la elaboración de trincheras para la toma de datos estructurales de diaclasamiento y la medida del parámetro Jv que permite definir con mayor precisión el tamaño de los bloques que se pueden extraer y las alternativas de uso del material.

Se plantea una metodología para iniciar el proceso de exploración regional de rocas ornamentales, fundamentada en la información técnica que utilizan los principales productores, adecuada a las condiciones de nuestro entorno, la cual nos permite definir blancos de exploración o “Targets” para continuar con el proceso de exploración detallada hasta la apertura de canteras, el cual en el futuro debe normalizarse para que se constituya en un estándar de acreditación para Colombia de los Materiales de la Construcción como son las Rocas Ornamentales.

**Tabla 9. Cuadro comparativo de los valores exigidos por las normas para Granitos Vs los valores obtenidos en las muestras de Patillal, La Socola y las Palomas.**

Parámetro Mecánico	Valores Exigidos por la Norma	Valores Obtenidos			Calidad de la Roca		
		Patillal	La socola	Palomas	Patillal	La socola	Palomas
							
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	≥ 2,5 (ASTM)	2,52	2,52	2,68	Aceptable	Aceptable	Buena
Modulo heladicidad (% en peso)	0,04 (N.T.E)	0,056	0,032	0.000	Regular	Buena	Muy Buena
Resistencia a la Compresión (N/mm <sup>2</sup> )	133 (ASTM)	190	190	196	Buena	Buena	Muy Buena
Coefficiente de resistencia al desgaste por Rozamiento (mm)	1,3 (N.T.E)	3,05	3,05	1.72	Muy Buena	Muy Buena	Muy Buena
Resistencia a la flexión (N/mm <sup>2</sup> )	> 10 (ASTM)	16,9	16,9	21,5	Muy Buena	Muy Buena	Muy Buena

Fuente: Lorenz & Gwosdz (2003); Aenor (2000) e Intromac (2005)

## BIBLIOGRAFÍA

- Aenor (2000). Asociación Española de Normalización. Granitos Ornamentales. Madrid.
- Alfonso, R., Rafael., 2001. Proyecto Piedras Ornamentales en la Sierra Nevada de Santa Marta-Republica de Colombia. Bogotá, UPME: pag.167.
- Audemard, F., y Audemard, F. A. (2002). "Estructure of the Merida Andes, Venezuela: relation with the South America-Caribbean Geodynamic interaction." *Tectonophysics* **345**(1-4): 299-327.
- Cediel, F., et al. 2003. "Tectonic assembly of the northern Anden Block." *AAPG Memoir* 79: 815-848.
- Dooland, B. L., & Mcdonald, W.D. (1976). "Estructure and metamorphism of the Santa Marta area, Colombia." *Memoria Primer Congreso Colombiano de Geología*: p 187-216.
- Duque-Caro, H. 1980. "Geotectonica y evolución de la región noroccidental de Colombia." *Boletín Geologico* 23(3): 5-37.
- Duque-Caro, H. 1979. "Major structural element and evolution of Northwestern Colombia." *AAPG Memoir* 29: 329-351.
- Edwards, A. 1954. *Textures of the Ore Minerals and their Significance*. Melbourne, Australian Institute of Mining and Metallurgy.
- Forero S., A. 1990. "The basement of the Eastern Cordillera, Colombia: An allochthonous terrane in northwestern South America." *Juornal of South America Earth Sciences* **3**(2/3): 141-151.
- Gobernación del Departamento del Cesar (2001). *Plan de Desarrollo Departamental 2001-2003*. Valledupar, Gobernación del Cesar.
- González de Vallejo, L., et al 2002. *Ingeniería Geológica*. Madrid, España., Prentice Hall.
- IGAC. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 1975. *Planchas Cartográficas*. Bogotá, IGAC: Planchas 27 II A, B, C, D., 27 IV A.
- IGAC, I. G. A. C. 1990. *Cuadrangulo C-12 Lineas de vuelo*. Décadas del 50 al 74 y del 80 al 90. Bogotá.
- Intromac 2005. Instituto Tecnológico de Rocas Ornamentales y Materiales de Construcción de España. *Resultados de analisis de Laboratorio de caracterización geomecanica*.
- Julivert, M. e. a. 1968. *Lexique Stratigraphique International, americque Latine Colombia Premiere Parte*. Paris, Francia., Centre National de la Recherche Scientifique. 5, (4a), Colombie, .
- López J. C. et al 1996. *Manual de rocas Ornamentales*. Madrid, Graficos Arias Montano, S. A. Mostoles.
- Lorenz, W., & Gwosdz, W 2003. *Manual on the Geological-technical Assessment of Mineral Construction Material*. Hannover, Thomas Schubert.
- Lucchessy, D. 1973. *Esayos Mecánicos de los Materiales Metalicos*. Barcelona, Editorial Labor S.A.
- Ministerio de Minas y Energía 2001. Ley 685 de 2001 "Código de Minas", Unidad de Planeación Minero Energética.
- Munsell, S. (1991). *Rock Color Chart*, Geological Society of America.
- Muñoz P. et al 1989a. *Metodología de investigación de piedras naturales: granitos*. Madrid, Rock-maquinas, tercer trimestre.
- Muñoz P. et al 1989b. *La investigación de Rocas Ornamentales en el I.T.G.E., Roc-maquina*, 4to trimestre.

- Orozco. L & Osorio J 2004. Propuesta de definición de provincias sismotectónicas y modelo de bloques de deformación actual para Colombia. Bogotá, Ingeominas, informe interno: 168.
- Ramdohr, P. 1980. The ore minerals and their intergrowths. Oxford, United Kingdom, Pergamon Press.
- Rasveldt, H. C. 1956. "Fallas de rumbo en el Nordeste de Colombia." Revista del Petroleo **I**: 19-26.
- Reiter F. and Acs P. 2003. Tectonics FP, version 1,62.
- Rodriguez Arias., L. 2005. Informe técnico interno. Bogota, Gerente Adalit Ltda.
- Streckeisen, A. 1974. "Classification and Nomenclature of Plutonic Rocks." Geologische Rundschau 63(2): 773-786.
- Streckeisen, A. L. 1967a. "Classification and nomenclature of igneous rocks (final report of an inquiry)." Neues Jahrbuch fuer Mineralogie. Abhandlungen 107(2): 144-214.  
Modal composition as basis for classification-nomenclature scheme, color-index variation, literature review
- Taboada., A., et al. 2000. "Geodynamics of the northern Andes: Subductions and intra-continental deformation (Colombia)." Tectonics Vol. 19: p. 787 - 813.
- Thorez J. 1976. Practical Clay identification of Clay Minerals. Belgique.
- Travis, R. B. 1955. Classification of Rocks. Colorado, Quarterly of the Colorado school of Mine.
- Thorez J. 2005. XRD analysis of clay minerals. Universidad de Lieja. 2a Theory; 2b Practical exercises. Lieja, Belgica.
- Trenkamp R. et al 2002. "Wide plate margin deformation, southern Central America and northwestern South America; CASA GPS." Journal of South American Earth Sciences Vol 15(2): 157-171.
- Tschanz C. H. et al 1969. Mapa Geológico de reconocimiento de la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía del Perijá. Escala 1:200.000. Ingeominas, tomos I-II. Informe interno 1829. Bogotá, Ingeominas: 285.
- Tschanz C. M. et al. 1974. "Geologic evolution of the Sierra Nevada de Santa Marta, Northeastern Colombia." Geological Society of America Bulletin 85: 273 - 284.
- Ujueta, G. 1994. Modelo de desplazamiento entre la Cordillera Oriental de Colombia y los Andes de Merida. Revista Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Bogotá. V:19 No 72: p 5-27.
- Ujueta G. & Llinas R. 1990. Reconocimiento Geológico de la parte más septentrional de la Serranía del Perija. Geología Colombiana. Bogotá. No 17: p 197-209.
- Upme-Ingeominas-Minercol 2000. Minerales Estrategicos para el Desarrollo de Colombia -MEDC2000. Bogotá, UPME
- Williams, H., Turner, F., Gilbert Ch 1979. Petrografia. Mexico, Compañía editorial continental S.A.