

Zonas potenciales para agregados naturales en los alrededores de Medellín, Colombia

M. Maya Sánchez

INGEOMINAS, Diagonal 53, 34-53, Bogotá, Colombia.
E-mail: mmaya@ingeomin.gov.co

RESUMEN

Este trabajo representa el primer paso del Servicio Geológico de Colombia - INGEOMINAS en la elaboración de la cartografía sistemática de materiales de construcción, correspondiendo a la fase de Reconocimiento dentro del Estudio Geológico, de acuerdo a los lineamientos del Marco internacional de las Naciones Unidas para la clasificación de reservas y recursos. El estudio realizado en las planchas geológicas 130 (Santa Fe de Antioquia), 146 (Medellín Occidental) y 166 (Jericó), 6000 km² a escala 1:100 000, comprende el análisis de las unidades de roca respecto a la caracterización litológica, localización y comportamiento físico y químico para ser utilizadas como fuentes de agregados naturales – arenas, gravas y piedra triturada, en la elaboración de concreto de cemento portland, mampostería, pavimentos de concreto y pavimentos de asfalto, agregados livianos para el uso en concretos ligeros y arcillas estructurales para la elaboración de tejas, ladrillos y adoquines. La potencialidad de las unidades de rocas se presenta en función de la distribución, composición litológica y calidad física y química de los materiales que las componen. La presentación de los mapas se hace en formato digital en el ambiente de Arc-View. Paralelamente, se hace una síntesis de la normatividad existente en Colombia sobre estas materias primas.

Palabras clave: agregados, áridos, ingeniería geológica, industria extractiva, materiales de construcción.

Potential zones for natural aggregates in the environs of Medellin, Colombia

ABSTRACT

This work represents the first step of the Geological Survey of Colombia - INGEOMINAS in the elaboration of the systematic digital cartography of construction materials, corresponding to the phase of Reconnaissance within the Geological Study, according to the lineaments of United Nations international Framework for the classification of reserves and resources. The study made in geologic plates 130 (Santa Fe de Antioquia), 146 (Western Medellin) and 166 (Jericó), 6000 Km² on scale 1:100 000, includes the analysis of the rock units with respect to the lithological characterization, location and physical and chemical behavior to be used like natural aggregate sources - sands, gravel and crushed stone, in the elaboration of concrete of cement portland, masonry mortar, pavements of concrete and asphalt pavements, light aggregates for the use in light concrete and structural clays for the elaboration of roofing tiles, bricks and paving stones. The potentiality of the rock units appears based on the distribution, lithological composition and physical and chemical quality of the materials that compose them. The presentation of the maps becomes in digital format in Arc-View. Parallely, a synthesis becomes of the existing standards in Colombia on these raw materials.

Key words: aggregates, construction materials, extractive Industry, geological engineering.

Introducción

Los materiales de la construcción deben ser considerados recursos de la comunidad pues son fundamentales para el desarrollo de cualquier sociedad y constituyen materias primas esenciales para la construcción de nuestras casas, carreteras, puentes, edificios de oficinas, fábricas, aeropuertos, etc. Las comunidades modernas requieren grandes cantidades de arena, grava, roca para triturado y arcillas estructurales. Aunque son recursos fácilmente localizables, su disponibilidad se ve restringida por varios factores. En primer lugar, existen problemas técnicos. Los yacimientos de materiales de construcción de buena calidad no siempre se encuentran cerca de los

sitios donde son necesarios. En segundo término, hay una presión creciente sobre la competencia de los usos del suelo. La extracción de los materiales de construcción es frecuentemente restringida, y en algunos casos, prohibida. Para asegurar la disponibilidad de nuestras futuras necesidades de construcción y edificación, es esencial identificar los recursos potenciales de materiales de construcción (Whitehouse *et al.*, 1996).

Los materiales de la construcción son materias primas de alta potencialidad, factor determinado por la demanda nacional y por la oferta interna. El INGEOMINAS, como Servicio Geológico Nacional, ha iniciado un programa encaminado a ampliar el conocimiento de estos recursos. El Programa de

INGEOMINAS, Exploración y Evaluación de Recursos Minerales pretende poner a disposición del sector minero nacional e internacional y a las entidades territoriales información básica para la promoción de la explotación de estos recursos y para el ordenamiento territorial.

Alcance y propósito del estudio

El objetivo principal del estudio es la delimitación de zonas potenciales para materiales de construcción, en este caso agregados, en los alrededores de Medellín en su sector occidental. Para esto se ha hecho una caracterización litológica, física y química de las unidades de roca presentes en el área representando los resultados en los términos de la distribución y la calidad de los agregados naturales y las arcillas estructurales.

Los objetivos específicos son:

- Elaborar un mapa a escala 1:100.000 que muestre los recursos existentes y potenciales de materiales de construcción, presentados en tres planchas.
- Identificar las zonas potenciales con base en el conocimiento geológico de las unidades de roca que afloran en los alrededores de Medellín, en su distribución y su calidad física y química.
- Difundir la información sobre zonas potenciales ante las autoridades estatales, sectores de planeación y la industria.
- Ayudar a evitar la esterilización de los recursos naturales para la industria de la construcción.

Localización

El área de estudio está ubicada en la Cordillera Central de Colombia, en el sector occidental de Medellín, que corresponde a las planchas 130 – Santa Fe de Antioquía, 146 – Medellín Occidental y 166 – Jericó, a escala 1: 100.000, (Fig. 1) comprendiendo las poblaciones de Amagá, Andes, Angelópolis, Anzá, Belmira, Bolombolo, Ebéjico, Entrerrios, Fredonia, Heliconia, Jardín, Jericó, La Pintada, Liborina, Palermo, Pueblo Rico, San Pedro, Santa Fe de Antioquía, Sopetrán, Tarso, Titiribí y Venecia.

Método de trabajo

Este trabajo ha sido elaborado siguiendo los conceptos de Langer y Knepper (1995), Mathers *et al.* (2000)

y Harrison and Bloodworth (1994), para la definición del reconocimiento geológico regional de materiales de construcción, evaluación de campo y caracterización en el laboratorio. El trabajo de Langer y Knepper (1995) encamina al geólogo hacia observaciones de campo, resume relaciones entre las propiedades geológicas de las rocas y las arenas y gravas y su probable desempeño como un agregado, y proporciona al geólogo información sobre las propiedades específicas físicas y químicas que son importantes para la calidad del agregado.

Mathers *et al.* (2000) presentan un esquema para realizar la exploración y evaluación de campo de

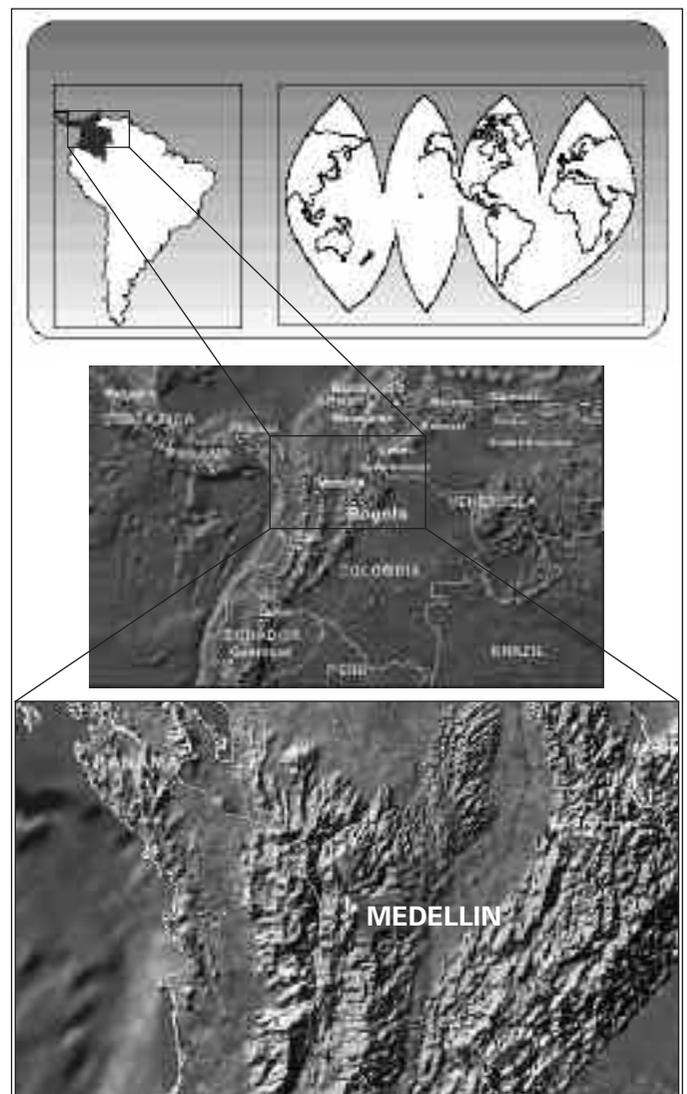


Fig.1. Localización de las planchas 130, 146 y 166 (Escala 1:100.000) en la Cordillera Central de Colombia
Fig.1. Location of the sheets 130, 146 and 166 (Scale 1:100.000) in the Central Range of Colombia

rocas volcánicas para ser utilizadas como materiales de construcción teniendo en cuenta, además, las consideraciones sobre pruebas de laboratorio, usos finales y aplicaciones de los productos.

Harrison y Bloodworth (1994) presentan la situación general sobre los tipos de ensayos necesarios para la caracterización de materias primas para agregados naturales.

El mapa de las "Zonas potenciales para materiales de construcción en los alrededores de Medellín" está estructurado con los conceptos de Langer *et al.* (1997) de acuerdo al cual, la clave de la cartografía de fuentes potenciales de agregados es la comprensión de la geología de la región. Esto incluye geología del Cuaternario para los depósitos de arena y grava, estratigrafía, origen e historia geológica de la región para la piedra triturada y la subsiguiente meteorización o alteración de los depósitos de arena y grava o las fuentes potenciales de macizos rocosos para piedra triturada. El Mapa de zonas potenciales de materiales de construcción está construido con base en la distribución litológica y la calidad del agregado. La calidad está determinada por sus propiedades físicas y químicas, y es una combinación de estos dos parámetros.

La calidad física se define como satisfactoria, aceptable o pobre, y la calidad química se define como inofensiva o potencialmente nociva (Langer y Knepper, 1995). Estos parámetros se han corroborado o desvirtuado, de manera regional, con ensayos físicos y químicos en muestras de material de la unidad de roca, y con la situación especial regional, tal como meteorización extensiva o cizallamiento de las rocas, con el objeto de dar una visión regional de sus características.

El proceso para realizar la cartografía de agregados naturales y arcillas estructurales, a escala 1:100.000, ha utilizado los siguientes pasos que se adecuan a los estándares del INGEOMINAS para la exploración de recursos minerales:

- *Compilación de información:* Compilación de la información sobre los trabajos hechos en la región por las instituciones estatales, universidades, corporaciones regionales y las entidades privadas que agremien a las empresas privadas del sector de los materiales de construcción, además de las empresas privadas que tengan información disponible.
- *Levantamiento de información en el campo:* Se hace en dos etapas. Primero se visitan las minas, canteras y graveras más importantes, en términos de producción que correspondan a diferentes tipos de roca, con el objeto de observar directamente las características geológicas

de las explotaciones. En la segunda etapa se hacen recorridos de campo para tomar datos y muestras de material en las unidades de roca de cada plancha geológica, a escala 1:100.000.

- *Ensayos de laboratorio:* Realización de ensayos físicos y químicos a las muestras de material tomadas en campo. Los resultados de los ensayos ayudan a complementar, de manera inicial, la calidad física y química de las potenciales materias primas.
- *Procesamiento de información:* Interpretación de los resultados de laboratorio y preparación del reporte con una síntesis de la información sobre los diversos componentes del mapa y una descripción de la distribución y la calidad de los agregados naturales y las arcillas estructurales.
- *Estructuración informática del producto:* Almacenamiento de datos, edición de informes y mapas en Arc-View, elaboración de bases de datos y gestión de la información.

Zonas potenciales para arenas y gravas

Las zonas potenciales para arenas y gravas han sido clasificadas de acuerdo a su génesis y su calidad física y química ha sido tratada en cada uno de ellos. Para estos materiales se tienen los siguientes tipos de depósitos con información preliminar disponible:

Depósitos no consolidados de arenas y gravas

Corresponde a los depósitos cuaternarios que se presentan, principalmente, asociados a los ríos y corrientes de agua que cruzan la región. Generalmente, se trata de terrazas aluviales, llanuras de inundación y los cauces de las corrientes de agua. Los ensayos realizados son los siguientes: Granulometría, Material que pasa malla No. 200, Peso específico aparente, Absorción, Desgaste en la máquina de Los Ángeles y Terrones de arcilla y partículas deleznable. Los depósitos se han clasificado por sectores geográficos, de la siguiente manera:

- *Depósitos del Sector Santa Fe de Antioquia-Sopetrán.* Se encuentra relacionado con el Río Cauca y sus afluentes, los ríos Aurrá y Tonusco, y las quebradas La Seca y La Sopetrana, entre otras. Esta zona contiene extensos depósitos de arenas y gravas relacionados a terrazas aluviales, llanuras de inundación y cauces del río (aluviones recientes) y a depósitos de derrubio.
- *Depósitos del Sector de Bolombolo.* Se relacionan

con el Río Cauca y sus afluentes, el Río San Juan (Antioquía) y la Quebrada Sinifaná. Esta zona contiene importantes depósitos de arenas y gravas relacionados a llanuras de inundación y cauces del río (aluviones recientes).

- *Depósitos del Sector de San Pedro-Belmira* que corresponde a varias terrazas aluviales localizadas en las márgenes del Río Chico, entre las poblaciones de San Pedro y Belmira.
- *Depósitos del Valle de Aburrá*. Este sector está conformado por terrazas aluviales y demás depósitos asociados al Río Medellín y a la zona del Valle del Aburrá, en la cual se hace una extensiva explotación de agregados naturales, especialmente en su sector norte. Todo el material empleado en la fabricación de concreto del Área Metropolitana de Medellín proviene, en gran parte, de los depósitos de arena y grava de este sector, además de buena parte de las mezclas asfálticas.
- *Otros Depósitos sin Información Disponible*

De otro lado, empleando el Método de 50 cantos (Langer y Lindsey, 1999), consistente en la recolección de 50 cantos que tenga tamaños entre 40 y 19,5 mm (1 1/2" y 3/4"), se hizo el análisis con base en los parámetros de litología, angulosidad y forma. En la Fig. 2 se puede observar la composición litológica general de las distintas unidades de roca.

Los depósitos no consolidados y estratificados

presentan un grado de redondez que indica un predominio muy marcado de los cantos subredondeados y redondeados (Fig. 3). La medida de la Forma (Índice de aplanamiento y alargamiento) indica que los depósitos contienen partículas planas desde un 4% hasta un 18% (Fig. 4), lo cual indica buenas condiciones para los valores menores de 15%, de acuerdo a la norma colombiana de INVIAS. No se encontraron partículas elongadas. El Grado de redondez ha sido estimado por comparación visual con estándares (Pettijohn, 1975). La Forma ha sido determinada por la medida de las dimensiones larga (A), intermedia (B) y corta (C), con $A > B > C$ (Krumbein, 1941; ASTM, 1993).

Depósitos estratificados de arenas y gravas

Corresponde a rocas sedimentarias, que en los casos en que presenta meteorización y liberación de sus partículas, podrían ser potencialmente utilizados como agregados finos y gruesos, sin un proceso extensivo de preparación del material. Hacen parte de estos depósitos potenciales las formaciones Combia y Amagá.

En las figuras 5 a 10 se pueden ver los resultados de ensayos comparados hechos a material proveniente de los depósitos no consolidados y depósitos estratificados con potencialidad para ser utilizados

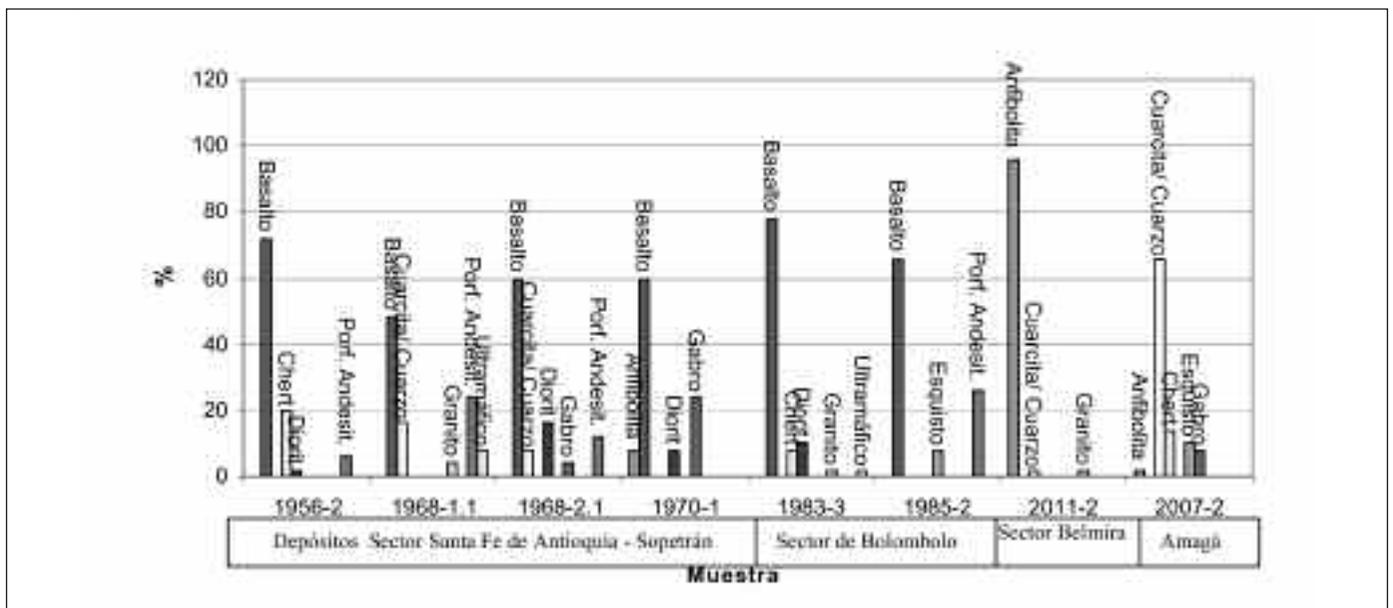


Fig. 2. Composición litológica de los depósitos no consolidados y estratificados de arena y grava (Método de los 50 cantos; Langer y Lindsey, 1999)
 Fig. 2. Lithologic composition of the non consolidated and estratificated deposits of sand and gravel (method of the 50 pebbles; Langer and Lindsay, 1999)

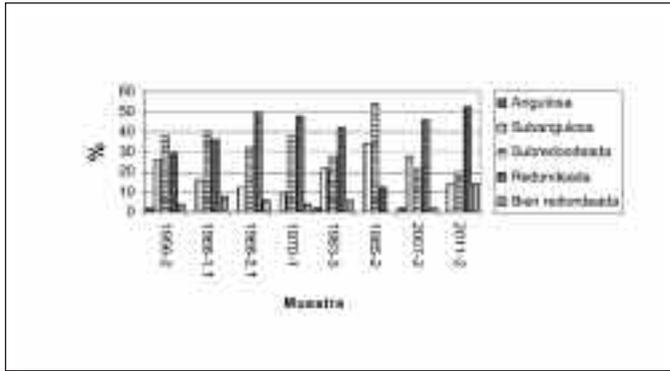


Fig. 3. Medida del grado de redondez de los cantos (40 y 19,5 mm; 1 1/2" y 3/4") en los depósitos no consolidados y estratificados de arena y grava

Fig. 3. Measure of the roundness of particle (40 and 19,5 mm; 1 1/2" and 3/4") in the non consolidated and stratified deposits of sand and gravel

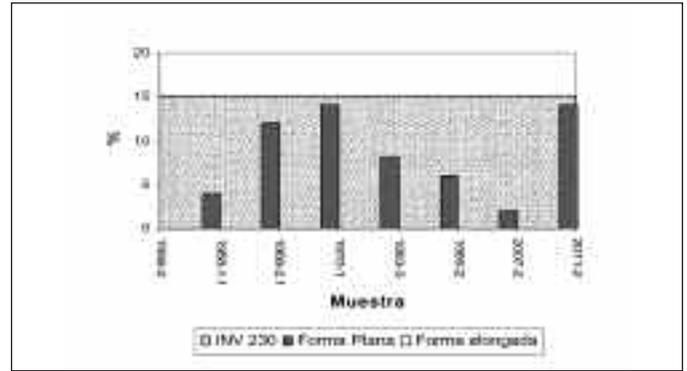


Fig. 4. Medida de la forma de los cantos (40 y 19,5 mm; 1 1/2" y 3/4") en los depósitos no consolidados y estratificados de arena y grava Fig. 4. Measure of the partycle shape (40 and 19,5 mm; 1 1/2" and 3/4") in the non consolidated and stratified deposits of sand and gravel

como arenas y gravas y su ubicación respecto a los requerimientos de NTC e INVIAS.

Depósitos en macizos arenosos

Son acumulaciones de arenas que se han formado en el nivel V del perfil de meteorización, correspondiente al nivel llamado "Fuerte meteorización, en rocas ígneas del tipo "granito" o metamórficas de origen ígneo. Estos depósitos se presentan en las unidades de roca llamadas Stock de Amagá (granodiorita), Neis de la Miel (ortografito) y Batolito Antioqueño (Tonalita), en los cuales se han formado extensiones importantes de material explotado como "areneras". En las figuras 11 a 16 se pueden ver los resultados de ensayos hechos a material proveniente de los depósitos no consolidados y depósitos de macizos arenosos con potencialidad para ser utilizados como arenas finas y su ubicación respecto a los requerimientos de la normatividad Colombiana (NTC e INVIAS).

Zonas potenciales para piedra triturada

Zonas potenciales para material potencial para piedra triturada han sido determinadas de acuerdo la génesis geológica, la calidad física y química las unidades de roca, teniendo en cuenta además, las consideraciones regionales de variación litológica y presencia de meteorización. Las anotaciones relacionadas a la descripción petrográfica de unidades de roca se presentan de acuerdo a la compilación hecha en el

"Mapa Geológico del Departamento de Antioquía. Geología, Recursos Minerales y Amenazas potenciales" de González (1996) y otros autores.

Rocas ígneas

Material satisfactorio – nocivo AA (álcali – sílice)

Estos materiales corresponden a rocas con calidad física satisfactoria y calidad química potencialmente nociva principalmente por la presencia sílice que puede reaccionar con los álcalis del cemento (Tabla 1). Estos materiales se encuentran en las unidades rocosas denominadas Rocas Hipoabisales Porfídicas, las cuales son pórfidos andesíticos micáceos (con calidad química nociva también por la presencia importante de micas, o sea partículas livianas), y hornbléndicos, andesitas augíticas porfídicas, y los pórfidos dacíticos que son regularmente una facies gradacional de cuerpos andesíticos.

Material aceptable – nocivo AA (álcali – sílice)

Estos materiales corresponden a rocas con calidad física aceptable y calidad química nociva principalmente por la presencia de sílice que puede reaccionar con los álcalis del cemento (Tabla 1). Estos materiales se encuentran en las unidades rocosas denominadas Basaltos de Barroso, Complejo Quebradagrande y Formación Combia, compuestas en general por lavas de basaltos toleíticos, silos y diques doleríticos (dia-

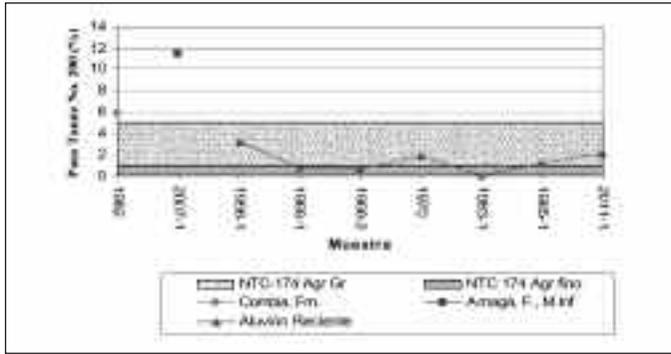


Fig. 5. Localización de los resultados del ensayo Pasa tamiz No. 200 en depósitos de arenas y gravas de acuerdo a la norma colombiana NTC 174

Fig. 5. Over 200 mesh screen tests in sand and gravel deposits according to the NTC 174 Colombian standard

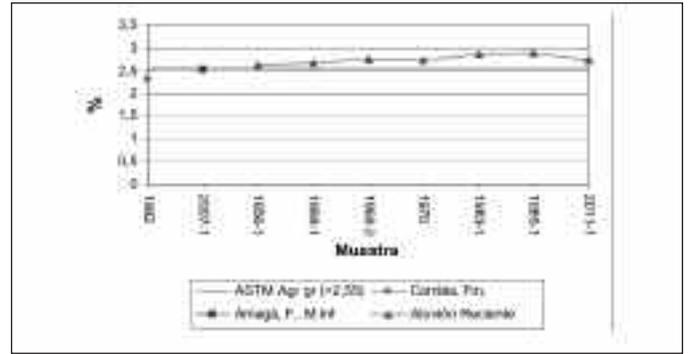


Fig. 6. Localización del peso específico aparente de arenas y gravas de acuerdo a ASTM para agregados gruesos

Fig. 6. Apparent weight of sands and gravels according to ASTM standard for specific coarse aggregates

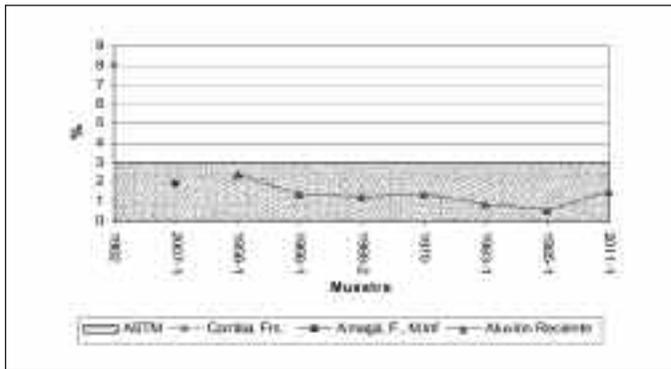


Fig. 7. Localización de los datos de absorción en depósitos de arenas y gravas de acuerdo a la especificación para agregados gruesos (ASTM)

Fig. 7. Absorption test results from sand and gravel deposits following ASTM standard for coarse aggregates

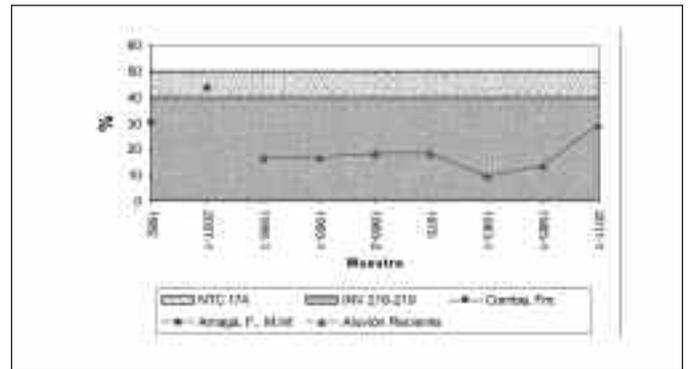


Fig. 8. Localización de los datos de desgaste en la máquina de Los Ángeles en depósitos de arenas y gravas de acuerdo a la especificación para agregados gruesos (NTC e INV)

Fig. 8. Los Angeles test results from sand and gravel deposits according to NTC and INV standard for coarse aggregates

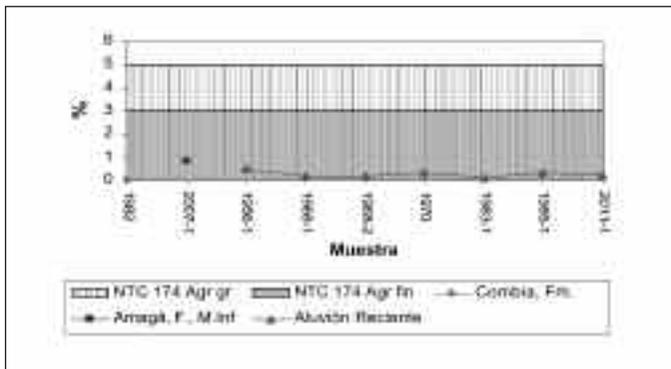


Fig. 9. Localización de los datos de terrones de arcilla y partículas deleznales en depósitos de arenas y gravas de acuerdo a la especificación para agregados gruesos

Fig. 9. Clay lumps and soft particles test of sand and gravel deposits according to NTC standard for coarse sand aggregates

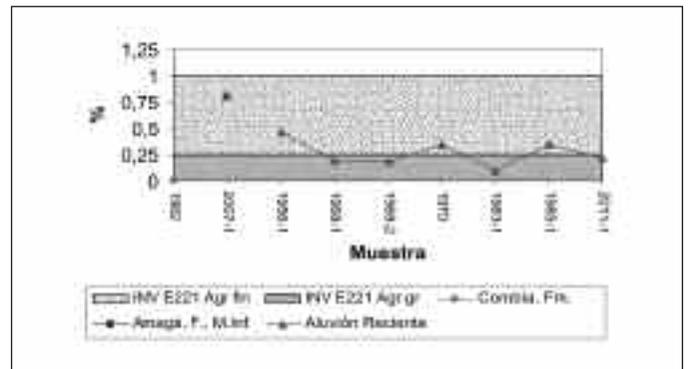


Fig. 10. Localización de los datos de terrones de arcilla y partículas deleznales en depósitos de arenas y gravas de acuerdo a la especificación para agregados gruesos

Fig. 10. Clay lumps and soft particles test of sand and gravel deposits according to INV standard for coarse sand aggregates

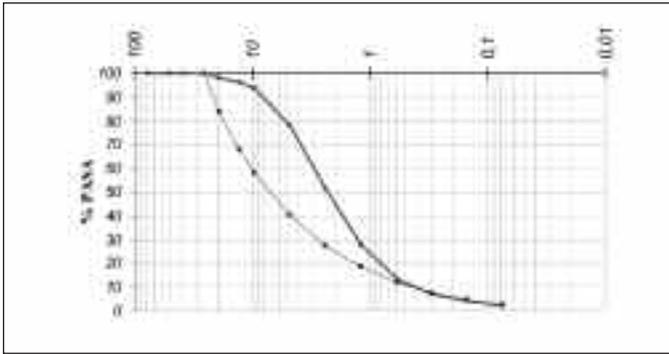


Fig. 11. Distribución granulométrica del depósito macizo arenoso en el Stock de Amagá de acuerdo al rango Fuller de 1"
 Fig. 11. Grain size distribution of the sand massif deposits in the Agama Stock following the Fuller rank of 1"

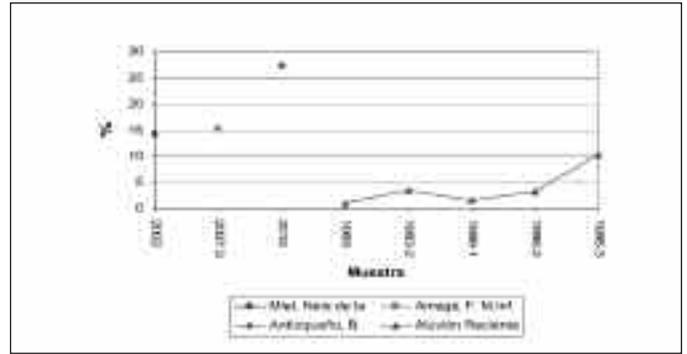


Fig. 12. Localización de los datos del ensayo Pasa Malla No. 200 en Depósitos no consolidados de arenas y en Depósitos de macizos arenosos con material potencial para mampostería
 Fig. 12. Over 200 mesh test results in unconsolidated deposits of sands and in sand massifs with potential masonry material

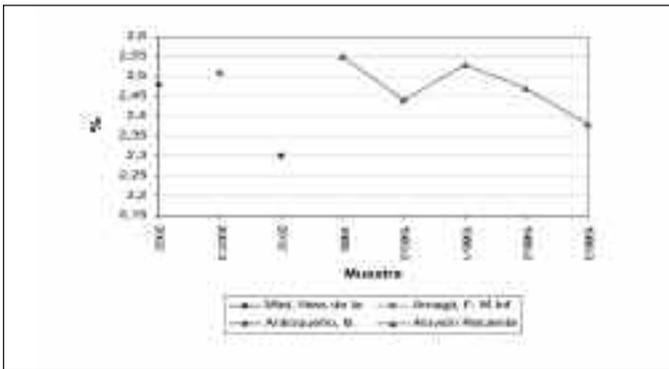


Fig. 13. Localización de los datos del ensayo Peso Específico SSS en depósitos no consolidados de arenas y en Depósitos de macizos arenosos
 Fig. 13. SSS Specific weight results of unconsolidated sands and in sand massif deposits

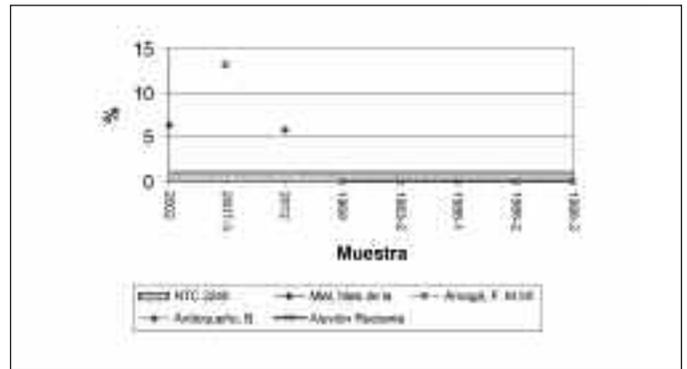


Fig. 14. Localización de los datos del ensayo Terrones de arcilla y partículas deleznable en Depósitos no consolidados de arenas y macizos arenosos
 Fig. 14. Clay lumps and soft particles test on inconsolidated deposits of sands and sand massifs

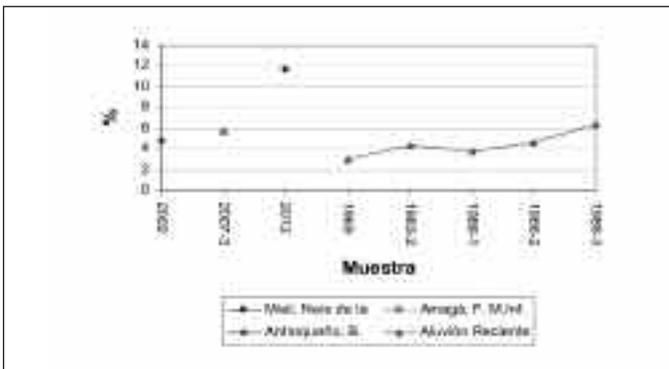


Fig. 15. Localización de los datos del ensayo Absorción en Depósitos no consolidados de arenas y en Depósitos de macizos arenosos con material potencial para mampostería
 Fig. 15. Absorption tests on unconsolidated sands deposits and sand massifs deposits with potential masonry material

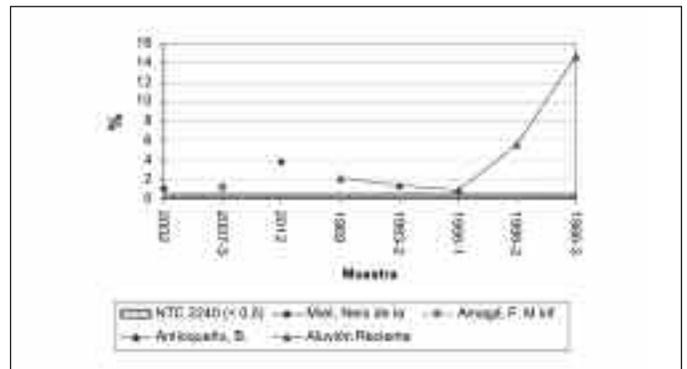


Fig. 16. Localización de los resultados del ensayo Partículas livianas en los depósitos no consolidados de arenas y en depósitos de macizos arenosos
 Fig. 16. Light particles test on unconsolidated sand deposits and sand massifs deposits

basas), a veces con estructuras planas por efectos de la milonización, andesitas, brechas, conglomerados, areniscas conglomeráticas y chert.

Material aceptable – nocivo PL (partículas livianas)

Estos materiales corresponden a rocas con calidad física aceptable y calidad química nociva principalmente por la presencia de partículas livianas. Estos materiales se encuentran en las unidades rocosas denominadas Batolito Antioqueño, Stock de Altavista, Stock de Cambumbia, Diorita de Heliconia, Diorita de Pueblito, Batolito de Sabanalarga, Ultramáfico (de Ebéjico) y Dunitas de Medellín, que comprenden rocas tipo tonalita, diorita y dunita.

Rocas metamórficas

Material pobre – inofensivo

Estos materiales corresponden a rocas con calidad física pobre y calidad química inofensiva. Están representados por las unidades de roca denominadas Gabro de Romeral y Gabro de Hispania.

Material aceptable – nocivo AA-PL

Estos materiales corresponden a rocas con calidad física aceptable y calidad química nociva por poten-

cialidad con la reacción Álcali-Sílica y por la presencia de partículas livianas. Están representados por las unidades de roca denominadas Neis de Palmitas (granito a granodiorita) y las Granulitas y migmatitas de El Retiro. La Fig. 17 presenta los resultados del ensayo de desgaste en la Máquina de Los Ángeles hechos a material proveniente de las unidades de rocas ígneas y metamórficas con potencialidad para ser utilizados como piedra triturada.

Zonas potenciales para agregados livianos

Los materiales muestreados para valorar la potencialidad de uso como agregados livianos fueron tomados exclusivamente en rocas metamórficas tipo esquistos y metasedimentos, los cuales son muy abundantes en la región. Actualmente, no hay un uso importante de este tipo de agregados naturales, sin embargo, algunas empresas han manifestado el interés en conocer más sobre estas materias primas. Las unidades de roca con potencialidad para suministrar materias primas, tipo agregados livianos, son las rocas metamórficas del Complejo Cajamarca, Complejo Arquía y las Metasedimentitas de Sinifaná, compuestas por esquistos cuarzo sericiticos de bajo a medio grado metamórfico, intercalados con cuarcitas y localmente con mármoles, neises aluminicos de medio grado y algunos cuerpos generalmente lenticulares, de anfibolitas. Los resultados de los ensayos físicos y químicos realizados en estos materiales se pueden ver en la Tabla 2.

Muestra	Unidad de Roca	Álcali – Agregado		
		Concentración Sílice (Sc) (mmol/l)	Reducción alcalinidad de (Rc) (mmol/l)	Potencialidad
1977	Andesit. Hb. Pórfido	82,6	75	Si
1981	Hb Porfid, Andesita	77,8	96	No
1979	Barroso, Basaltos	86,4	-	?
1987	Barroso, Basaltos	33	40,5	Si
1954	Q/grande, Complejo	84,2	72	Si
1967	Q/grande, Complejo	78,8	181	No
1991	Combia, Formación	138,8	106	Si
1992	Combia, Formación	115,2	145,5	No

Tabla 1. Resultados de los ensayos químicos realizados en muestras de roca ígnea para piedra triturada
 Table 1. Chemical analysis on sample of igneous rocks for crushed stone

Los materiales de este grupo no presentaron indicios de contaminación por materia orgánica, según la prueba del colorimétrico (< 3, empresas concreteras), el color obtenido no fue más oscuro que el normal de referencia. Los contenidos de terrones de arcilla y partículas deleznablees fueron < 3 %, cumpliendo con el requisito especificado (< 2%, NTC 4045).

Las muestras 1960, 1965 y 1978 presentaron una pérdida por ignición de desde 6,34 a 15,11% superior al límite permitido (< 5%, NTC 4045), por lo tanto no cumplen con el requisito especificado. Todas las muestras cumplen con la especificación para el ensayo de manchas pues se obtuvieron contenidos inferiores al 1,5 mg por cada 200 g de muestra de Fe₂O₃ (NTC 4045).

Discusión final y conclusiones

Este trabajo constituye el primer intento del INGEO-MINAS para iniciar un proceso sistemático de cartografía de materiales de construcción a escala regio-

nal, 1:100.000, con el objeto de poner a disposición del sector privado y público la información básica para la promoción de la explotación de estos recursos y para el ordenamiento territorial. Por lo tanto, esta investigación corresponde a la fase de Reconocimiento, primera del Estudio Geológico, que a su vez, es la primera etapa de una evaluación minera, de acuerdo al Marco Internacional de las Naciones Unidas para la clasificación de reservas/recursos (UN, 1996).

Los materiales con potencialidad para ser utilizados como arenas y gravas han sido diferenciados, y preliminarmente caracterizados, en tres grandes grupos así: depósitos no consolidados, depósitos estratificados y depósitos de macizos arenosos. Los depósitos no consolidados corresponden a materiales aluviales bien sea de terrazas o de cauces de río, asociados, principalmente, a los ríos Cauca, San Juan y Medellín, particularmente en los sectores de Santa Fe de Antioquía-Sopetrán y Bolombolo-La Pintada y Valle de Aburrá. Otros depósitos de material no consolidado se encuentran asociados a las partes más

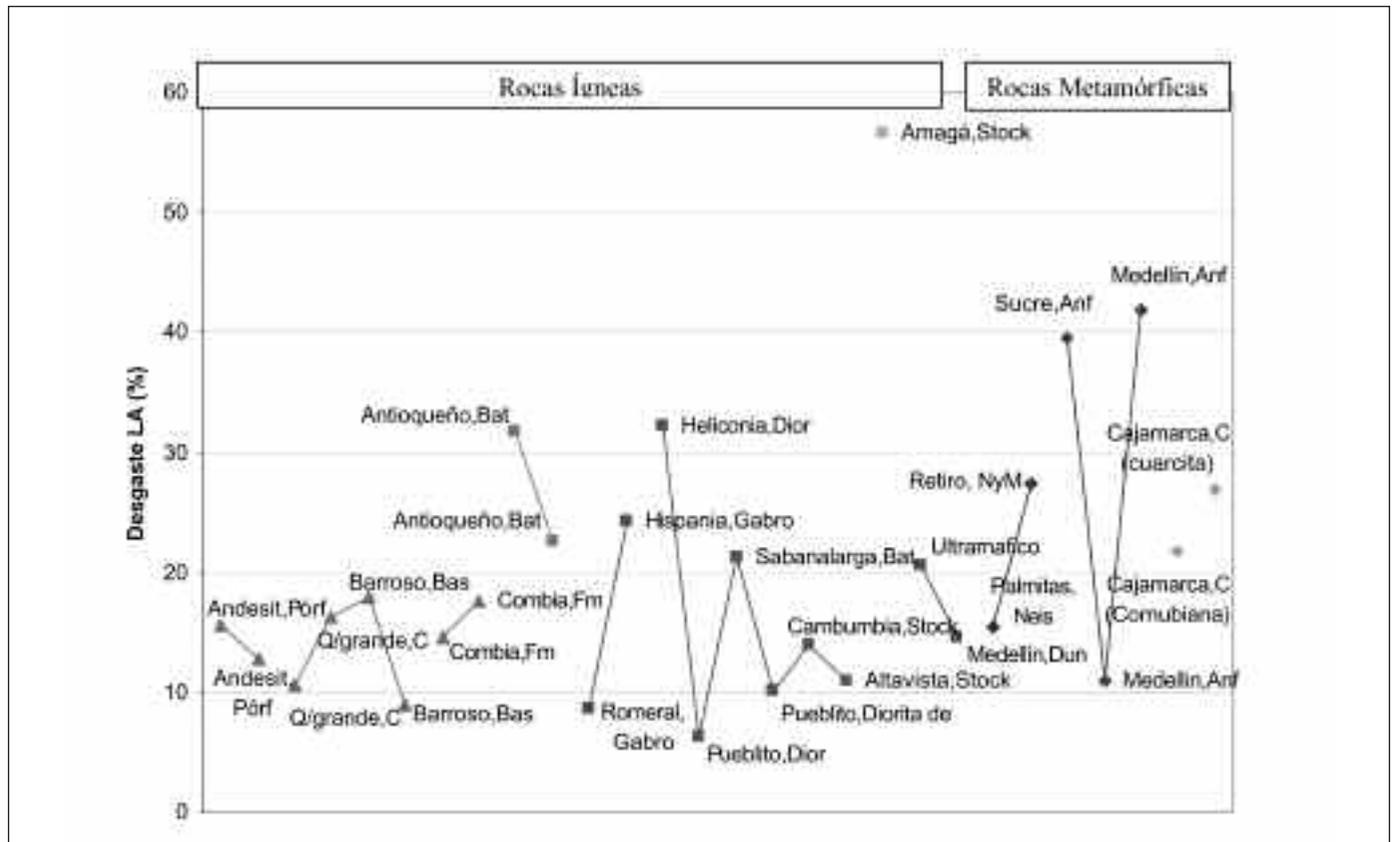


Fig. 17. Valores del desgaste en la Máquina de Los Ángeles en materiales para agregados naturales, tipo piedra triturada. Desgaste máquina de Los Ángeles menor que 50% para la norma NTC 174, y menor que 40% para la norma de INVIAS
 Fig. 17. Los Ángeles test results from crushed rock aggregates. Under 50% according to NTC 174 standard and under 40% according to INVIAS standard

Muestra	Unidad de Roca	Terrones Arcilla Partículas Deleznables (%)	Materia orgánica (Colorimetría)	Pérdida por Ignición (%)	Manchas
MMS 1963	Cajamarca, Complejo	0,04	0	1,58	0,2
MMS 1965	Cajamarca, Complejo	0,4	0	15,11	0,56
MMS 1978	Arquíá, Complejo; Esquistos de Sabaletas	0,1	0	9,39	0,2
MMS 2014	Cajamarca, C; Esquisto con andalucita	0,2	0	3,25	0,46
MMS 1960	Metasedimentitas de Sinifaná	0,9	0	6,34	1,1

2,62 Valor aceptable; 10,44 Valor no aceptable

Tabla 2 - Resultados de los ensayos físicos y químicos a rocas metamórficas como material potencial para agregado liviano
 Table 2 - Chemical and physical test results from metamorphic rocks with potential use on light aggregate

altas de las cuencas de estos ríos, siendo en ocasiones, importantes respecto a su potencial como agregado natural. La fabricación de concreto premezclado y mezclas bituminosas para concreto asfáltico en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá tiene como fuente principal de agregados con características redondeadas los materiales provenientes de los depósitos aluviales de este sector. Sin embargo, empieza a ser inquietante la competencia del uso de suelo en donde los terrenos podrían tomar mayor valor como asentamientos para infraestructura industrial en lugar de extracción de materiales. El conocimiento de nuevas fuentes permite dirigir la atención hacia el aseguramiento en el futuro de estas materias primas para la industria de la construcción.

En el sector de Bolombolo, en las desembocaduras del Río San Juan y la Quebrada Sinifaná se localizan depósitos de arena y grava con buenas especificaciones respecto al material que pasa el tamiz número 200, absorción y peso específico aparente. El desgaste por abrasión es bajo según la Máquina de los Ángeles y el contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables es inferior al máximo permitido, por lo tanto son considerados como buenos materiales para la fabricación de concretos y capas de rodadura. La composición litológica de estos materiales corresponde principalmente a material volcánico, tipo basalto y andesita y a pórfidos andesíticos, con formas redondeadas y subredondeadas, principalmente. Se recomienda a los industriales y usuarios de estos materiales hacer la inspección para determinar la potencialidad de la reacción álcali-sílice de estos agregados.

El sector de San Pedro-Belmira cuenta con varios depósitos, tipo terrazas aluviales, con cantidades importantes de arenas y gravas ubicados a lo largo del Río Chico que representan la principal fuente de agregados naturales para esta región, con caracterís-

ticas de material granular redondeado. La composición litológica corresponde casi completamente a material de anfíbolita con formas redondeadas y subredondeadas. Los ensayos en una muestra de estos depósitos presentan valores aceptados para las especificaciones de material pasa malla 200, peso específico aparente y absorción. El desgaste por abrasión en la máquina de los Ángeles es aceptable, aunque superior a los demás materiales ensayados en otros aluviones de diferente composición (anfíbolita) y su contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables está por debajo del máximo permitido. Sin embargo debería ser combinado con un material arenoso para poder obtener mortero o pasta en el momento de producir mezclas de concreto.

La Formación Combia posee niveles de roca que podría proveer material granular tipo arena y grava en algunos casos. El material está compuesto principalmente por cantos redondeados a subredondeados de rocas porfídicas, areniscas y arcillolitas en matriz arenosa, con alto contenido de granos finos de cuarzo. Los ensayos en una muestra indican un ajuste cercano a una franja granulométrica de Fuller y una distribución de tamaños homogénea, y aunque el porcentaje de material que pasó el tamiz número 200 es superior al permitido, cumplió con los requisitos de desgaste en la máquina de los Ángeles y terrones de arcilla y partículas deleznables. El ensayo Álcali-agregado dio un resultado negativo para la reacción, por lo tanto se podría usar en la producción de concreto, teniendo en cuenta la limitación del tamaño máximo, que puede impedir el acomodamiento del concreto en el entramado del refuerzo. De todas maneras, es importante indicar que existen cantos de andesitas, las cuales son rocas con contenidos de sílice amorfa que podría reaccionar con los álcalis del cemento. Una muestra de esta misma formación contenida en la parte volcánica dio positivo para la reac-

ción álcali-sílice. Por lo tanto, se recomienda hacer una mayor caracterización a estos materiales, especialmente para esta reacción.

Una fuente de agregados finos (arenas) que se emplea en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá es la zona de meteorización de las rocas "graníticas". El Batolito Antioqueño, el Stock de Amagá y el Stock de Altavista son cuerpos graníticos (en sentido industrial) que han generado un perfil de meteorización extensivo en donde se han formado depósitos de arenas; en el caso del Stock de Altavista se ha llegado a explotar todo el nivel meteorizado y actualmente se encuentra en explotación la roca fresca como material para piedra triturada. En general, estas arenas tienen un contenido de partículas livianas, representadas por micas, cercano o superior al permitido para la elaboración de concretos y para el uso como agregados de mampostería.

Es de resaltar la importancia que tiene la inspección de los materiales para determinar la posibilidad de reacción positiva del álcali-sílice en el concreto de cemento portland debido a que gran parte de los materiales rodados, arenas y gravas, que hacen parte de los depósitos no consolidados de los sectores del Valle de Aburrá, Santa Fe de Antioquía-Sopetrán y Bolombolo están constituidos por basaltos y andesitas, y como se ha dicho, éstas últimas rocas pueden ser nocivas para esta reacción.

Las fuentes potenciales para piedra triturada provenientes de rocas ígneas contienen materiales con calidad física satisfactoria, aceptable y pobre, y con calidad química generalmente nociva por la presencia importante de partículas livianas o por la posibilidad de la reacción positiva álcali-sílice, y otras pocas con calidad química inofensiva. Se han hecho cuatro divisiones combinando estas calidades, de tal forma que se tienen materiales satisfactorios – nocivos por álcali-sílice (rocas hipoabisales), aceptables – nocivos por álcali-sílice (Basaltos de Barroso, sección volcánica del Complejo Quebradagrande y la sección volcánica de la Formación Combia), aceptables – nocivos por partículas livianas (Batolito Antioqueño, Stock de Altavista, Stock de Cambumbia, Diorita de Heliconia, Diorita de Pueblito, Batolito de Sabanalarga, Ultramáfico de Ebéjico y Dunitas de Medellín) y materiales pobres – inofensivos (Gabro de Romeral y Gabro de Hispania). Esta clasificación se ha hecho de una manera preliminar considerando la necesidad de hacer una mayor caracterización con un muestreo superior al realizado en este trabajo.

Las fuentes potenciales para piedra triturada provenientes de rocas metamórficas contienen materiales con calidad aceptable – nociva por la reacción álcali-sílice y partículas livianas, y materiales con cali-

dad pobre – nociva por partículas livianas. El primer grupo incluye las rocas del Neis de Palmitas y las Granulitas y migmatitas de El Retiro, y en el segundo grupo las Anfibolitas de Medellín y las Anfibolitas de Sucre. Las anfibolitas tienen una estructura planar o bandeada que podría implicar fragilidad. Las rocas metamórficas del Complejo Cajamarca y las Metasedimentitas de Sinifaná no han sido consideradas como material apto para el uso como agregados naturales por su estructura esquistosa, o sea su disposición de minerales hojosos en planos y la gran cantidad de material micáceo en su composición.

El análisis hecho para las rocas con potencialidad para ser utilizadas como piedra triturada indican que todas las rocas tienen un peso específico entre 2,06 y 2,95 g/cm³, a excepción de muestras de roca de los gabros de Romeral e Hispania, Anfibolitas de Medellín y Sucre, una muestra de los Basaltos de Barroso y las dioritas de Pueblito. Estas rocas podrían ser consideradas como agregados pesados. Los valores de absorción indican que todos los materiales muestreados cumplen con la especificación requerida. Todos los materiales tienen una absorción menor que 1% a excepción de los pórfidos andesíticos, un basalto de la Formación Combia, el Stock de Amagá y los neises de Palmitas y de El Retiro con un valor entre 1,0 y 2,4 g/cm³. Los valores del desgaste en la máquina de los Ángeles indican valores entre 5 y 20% para todas las rocas volcánicas de Barroso, Quebradagrande y los Pórfidos andesíticos, dioritas de Altavista, Pueblito y Sabanalarga, las rocas ultramáficas duníticas de Medellín, el Neis de Palmitas y una muestra de la Anfibolita de Medellín. Valores entre 20 y 35% para las rocas del Batolito Antioqueño, el Gabro de Hispania, los Neises de El Retiro, las cuarcitas del Complejo Cajamarca y las cornubianas de este mismo Complejo. Los valores superiores al 40% están representados por la Anfibolita de Medellín, Anfibolita de Sucre y el Stock de Amagá.

Varias unidades fueron ensayadas para determinar la potencial reactividad de sus componentes con los álcalis del cemento portland. Este muestreo, como en general, se hizo de una manera muy regional, esto es, muy pocas muestras por plancha. Los resultados muestran una reactividad positiva Quebradagrande (unidad volcánica), Pórfidos andesíticos hornbléndicos, Basaltos de Barroso y Formación Combia (tobas soldadas). Los resultados fueron negativos para una muestra de las siguientes unidades: Formación Combia (Unidad de conglomerados), Complejo Cajamarca (cuarcitas), Complejo Quebradagrande (unidad volcánica), Pórfidos andesíticos hornbléndicos, Formación Combia (Basaltos) y Neises y Migmatitas del Retiro. Debe ampliarse el

muestreo para conseguir caracterizar mejor las unidades respecto a la reactividad álcali-sílice.

La búsqueda de materiales con potencialidad como agregados livianos se debería dirigir hacia las rocas esquistosas del Complejo Cajamarca, Complejo Arquía, y a las Metasedimentitas de Sinifaná. Los ensayos preliminares realizados en algunas muestras indican que cumplen con varios de los requisitos exigidos por la normatividad colombiana, entre otros, el contenido de materia orgánica, contenido de terrones de arcilla y partículas deleznableles y especificación para manchas. Los valores por pérdida de ignición fueron superiores a los permitidos. El uso de agregados livianos es muy escaso en la industria de materiales de construcción en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y este trabajo pretende dar unas primeras luces sobre la búsqueda de estas materias primas en la región.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el Fondo Nacional de Regalías del Estado Colombiano y realizado por el Programa "Exploración y Evaluación de los Recursos Minerales" del Servicio Geológico Colombiano, INGEOMINAS.

Referencias

ASTM, 1993. *Designation D 2488-93 - Standard practice for*

- description and identification of Soils (Visual-Manual Procedure)*, 225-234.
- González, H. 1996. Mapa geológico del Departamento de Antioquia. Escala 1:400.000. INGEOMINAS, 220.
- Harrison, D.J. and Bloodworth, A.J. 1994. Industrial Minerals Laboratory Manual Construction Materials. *British Geological Survey, Technical Report WG/94/12. Mineralogy and Petrology Series*. 100 pp.
- Krumbein, W.C. 1941. Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Petrology*. 11(2), 64-72.
- Langer, W and Lindsey, D. 1999. Preliminary Report on deposit models for sand and gravel in the Cache la Poudre River Valley. *U.S. Geological Survey, OFR 99-587*.
- Langer, W.H. and Knepper, D.H. 1995. Geologic Characterization of Natural Aggregate – A Field Geologist's Guide to Natural Aggregate Resource Assessment. *U.S. Geological Survey, OFR 95-582*. 32.
- Langer, W.H., Green, G.N., Knepper, D.H., Lindsey, D.A., Moore, D.W, Nealee, L.D. and Reed Jr., J.C. 1997. *Distribution and Quality of Potential Sources of Aggregate Infrastructure Resources Project Area, Colorado - Wyoming. Scale 1:500.000. OFR 97-477*.
- Mathers, S.J., Harrison, D.J., Mitchell, C.J. and Evans, E.J. 2000. Exploration, evaluation & testing of volcanic raw materials for use in construction. *British Geological Survey*, 116.
- Pettijohn, F.J., 1975. *Sedimentary rocks* (3rd ed.). Harper and Row Ed., 628 pp. New York.
- UN. 1996. Marco Internacional de las Naciones Unidas para la Clasificación de Reservas/Recursos. *United Nations*, 77-98.
- Whitehouse, J., Lishmund, S., Paterson, I., Oakes, G., Gilligan, L. and Stewart, R. 1996. *Construction Materials. Geological Survey of New South Wales*, 20. Sydney.

Recibido: Junio 2005

Aceptado: Junio 2006