

ZONIFICACIÓN DE APTITUD DE MATERIALES PÉTREOS EN EL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO PARA USOS EN CONSTRUCCIÓN. Fase 1

ZONING SUITABILITY OF STONE MATERIALS IN THE DEPARTMENT OF QUINDÍO FOR CONSTRUCTION USES. Phase 1

Carlos Arturo García Ocampo^{1*}, Armando Espinosa Baquero², Yvonne Merino Peña³

^{1y2} Centro de Estudios e Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, Grupo TEFRA,
Universidad del Quindío,

³ Facultad de Ingeniería de la Universidad de Ibagué.

*Correspondencia del Autor: Carlos Arturo García Ocampo. Email: cacivil_uq@uniquindio.edu.co

RESUMEN

Este artículo representa un primer acercamiento al proceso de zonificación del potencial de materiales para la construcción, como contribución a la identificación de las fuentes de material de cantera en el Departamento del Quindío. En este trabajo se determinó la aptitud de materiales pétreos, particularmente para usos en la construcción de vías. El análisis se realizó con base en el cumplimiento de los requerimientos de calidad exigidos por la normativa actual colombiana, principalmente la norma INVIAS. La información en la que se basa el análisis de aptitud de los materiales pétreos fue obtenida del Proyecto SUB09-25 de INGEOMINAS (hoy Servicio Geológico Colombiano, SGC), asociado a la división de Minerales Industriales y Materiales de Construcción, en el que se extrajeron muestras de roca de la zona montañosa del Quindío y se sometieron a ensayos de laboratorio para su posterior caracterización. Como producto final se presenta un mapa SIG con la zonificación de las unidades geológicas en el Departamento del Quindío aptas para la explotación de agregados para la construcción de vías.

Palabras clave: Zonificación, Materiales pétreos, Caracterización geomecánica, Normas de calidad, Exploración en cantera.

Cómo citar:

García *et al.* (2017) ZONIFICACIÓN DE APTITUD DE MATERIALES PÉTREOS EN EL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO PARA USOS EN CONSTRUCCIÓN. Fase 1. Revista de Investigaciones de la Universidad del Quindío. Vol 29, pp.28-37.

Información del artículo:
Recibido: 17 marzo 2017; Aceptado: 19 febrero 2018

Revista de Investigaciones de la Universidad del Quindío,
29(1). pp 28-37; 2017.

ISSN: 1794-631X (impreso) ISSN: 2500-5782 (en línea)

Esta obra está bajo una licencia Creative Commons Atribución-
NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional.



ABSTRACT

This article represents a first approach to the zoning process of the suitability of materials for construction as a contribution to the identification of sources of quarry material in the Department of Quindío. In this project was determined particularly the aptitude of stone materials for road construction uses. The analysis was carried out based on compliance with the quality requirements demanded by current Colombian regulations, mainly the INVÍAS standard. The information in which the analysis of aptitude of the stone materials is based was obtained from the SUB09-25 Project of INGEOMINAS (today Colombian Geological Service, SGC), associated to the Division of Industrial Minerals and Construction Materials, in which they were extracted rock samples from the mountainous area of Quindío and were subjected to laboratory tests for further characterization. As a final product it presents a SIG map with the zoning of the geological units in the Department of Quindío suitable for the exploitation of aggregates for the construction of roads.

Key Words: Zoning, Stony materials, Geomechanical characterization, Quality standards, Quarry exploration.

INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN

En Colombia, los agregados para la construcción se obtienen de canteras o ríos que ya han sido explotados y por ello se conoce, de forma empírica, su potencialidad. A nivel nacional se ha realizado un reducido número de estudios en los que se identifica y demuestra técnicamente la potencialidad de los materiales del territorio colombiano para la extracción de agregados para construcción, con el fin de planificar mejor los usos del suelo, teniendo en cuenta sus propiedades y aptitudes; los pocos estudios existentes de zonificación de potencial de materiales son de carácter local. Aunado a esto, las técnicas de extracción de materiales pétreos para usos de ingeniería, que en la zona corresponden a fuentes de material de río, a un futuro mediano, podrán generar graves problemas de tipo ambiental, ya que estas se agotan; además que, desde ahora se afectan las condiciones naturales de los ríos al modificar su contenido de grava y arena con fines antrópicos. Por esta razón, se hace necesario recurrir a otras fuentes de material para agregado como los macizos rocosos, que por sus adecuadas propiedades mecánicas resultan ser una alternativa atractiva para la ingeniería.

El estudio de potencialidad de zonas rocosas aptas para explotación de material de construcción depende de múltiples variables que determinan, en conjunto, la disponibilidad de los materiales requeridos como las condiciones climáticas del lugar de explotación, las vías de acceso, los métodos de explotación, los efectos sociales, etc, con el fin de encontrar sitios legal y técnicamente adecuados para la extracción de roca. Entre 1996 y 1998 se realizaron en la Universidad del

Quindío trabajos de evaluación del potencial de materiales de construcción en el Departamento del Quindío en sitios específicos, haciendo la caracterización física y mecánica de los materiales y comparándolas con las normativas de la época; a partir de los resultados obtenidos, se identificaron algunos de los depósitos de material existentes y seleccionados los de interés constructivo, para hacer su debida caracterización y descubrir los posibles usos para los cuales el material era apto; de igual forma, para la región se realizó un estudio de exploración semidetallada del material de arrastre (Espinosa, 2002).

La zonificación de la aptitud de materiales en el departamento para usos en vías se analiza evaluando la calidad de las muestras de roca extraídas de diferentes formaciones geológicas en el Quindío, de acuerdo a la norma I.N.V. E. -2013, Sección 200 de “Agregados Pétreos” (INVÍAS, 2013); muestras que se sometieron a diferentes ensayos de laboratorio para realizar una adecuada caracterización de las rocas. La información de dicha caracterización se obtiene de los resultados del Convenio entre INGEOMINAS y la Universidad del Quindío, en el que se desarrolló esta labor.

La caracterización de materiales naturales de origen rocoso conlleva a la adquisición de una herramienta de decisión para el manejo de la explotación de los mismos, controlando ciertos parámetros, definidas por las Especificaciones para Materiales de Carreteras (INVÍAS, 2013), Capítulo 300 “Disposiciones Generales para la Ejecución de Afirmados, Subba-

ses Granulares y Bases Granulares Estabilizadas”, Capítulo 400 “Requisitos de los agregados pétreos para tratamientos, lechadas y mezclas bituminosas para Niveles de tránsito NT1, NT2 y NT3, respectivamente”, además del Artículo 500 que presenta “las disposiciones generales especificaciones a seguir por los materiales utilizados para Pavimento de Concreto Hidráulico” y su análoga o equivalente NTC 174 del ICONTEC, de las “Especificaciones de los Agregados para Concreto”.

Al determinar las zonas potenciales para explotación de material para agregado en el Departamento del Quindío, es posible obtener beneficios de tipo tanto científico, como técnico y económico, dadas las condiciones actuales sobre las cuales se realiza este proceso de explotación. A nivel científico se puede contar con la *caracterización de las rocas en el Quindío*, a partir del proceso de análisis de algunas muestras pétreas representativas de las unidades geológicas presentes en el territorio; información que puede ser útil para futuros estudios relacionados. Además, la extracción de material debe realizarse conforme a ciertas normas que protegen el medio ambiente y la planeación de un territorio, las cuales deben cumplirse en su totalidad como primer paso. Por ello, a nivel técnico, las entidades tomadoras de decisión contarán con un instrumento que les permitirá establecer criterios para la planificación del uso del suelo, teniendo en cuenta el impacto ambiental esperado con el desarrollo de este tipo de explotación en cada zona de la región, sumando a esto que la explotación en río que se lleva a cabo comúnmente representa un terrible daño ambiental y que las rocas definitivamente poseen mejores propiedades mecánicas.

Finalmente, en la parte económica, las empresas inversionistas tendrán a disposición los mapas de zonas potenciales para explotación de agregados, una guía que asegura la factibilidad de tales proyectos de inversión, lo que demuestra la relevancia de este estudio al ser totalmente pertinente con las necesidades actuales de la región; dado que pretende conformar una herramienta bastante útil en muchos aspectos humanos fundamentales, razón por la cual este no debe ser trivial.

PROPÓSITO DEL ESTUDIO

Como se ha manifestado, el estudio de zonificación del potencial de materiales para la construcción, se

convierte en una contribución a la identificación de las fuentes de material de cantera en el Departamento del Quindío y en este se definen sus usos específicos de obras de infraestructura civil, en particular para la construcción de carreteras. A parte de entregar un primer plano de localización de fuentes de extracción potenciales, genera una metodología que será complementada a futuro a fin de dar cobertura a toda la región y dejando como resultado una cartografía temática tipo SIG. Para obtener los mapas del Departamento del Quindío con las zonas aptas para la explotación de agregado para la construcción, se estudiaron los materiales provenientes de rocas, representados por un conjunto de muestras pétreas extraídas de las diferentes formaciones geológicas presentes en el departamento. Para ello se realizó la caracterización de las muestras mediante ensayos de laboratorio en los que se determinaron las propiedades que permiten definir el comportamiento de la roca ante agentes mecánicos, físicos y químicos con los que se encuentra en contacto en una obra de ingeniería.

Finalmente, se identificaron los principales usos para los cuales se destinan los materiales explotados en el Departamento, teniendo en cuenta la demanda actual de material para agregado en la región. Los principales usos de los materiales definidos para el estudio son:

Pavimentos

- *Subbases granulares*: Para su elaboración se requieren agregados Pasa Tamiz 50,0 mm (2”) \approx 100% hasta Pasa Tamiz 0,075 mm (No. 200) \approx 2-15%, además de las propiedades físicas y químicas exigidos por la normativa (INV. Art. 320 - 13).

- *Bases granulares*: Para su elaboración se requieren agregados Pasa Tamiz 37,5 mm (1½”) \approx 100% hasta Pasa Tamiz 0,075 mm (No. 200) \approx 0-9% para Bases Granulares de gradación gruesa, y Pasa Tamiz 37,5 mm (1½”) \approx 100% hasta Pasa Tamiz 0,075 mm (No. 200) \approx 5-15% para Bases Granulares de gradación fina, y ciertas propiedades físicas y químicas exigidos por la normativa (INV. Art. 330 - 13).

- *Afirmados*: Para su elaboración se requieren agregados tamaños que varían entre Pasa Tamiz 37,5 mm (1½”) \approx 100% hasta Pasa Tamiz 0,075 mm (No. 200) \approx 10-20% y algunas propiedades físicas y químicas exigidas por la normativa (INV. Art. 313 - 13).

Concretos

• *Concreto asfáltico*: Para su elaboración se requieren agregados con muy buenas gradaciones y ciertas propiedades físicas y químicas. Los Requisitos para agregados pétreos usados en tratamientos, lechadas y mezclas bituminosas para Niveles de tránsito NT1, NT2 y NT3, respectivamente, se definen en el Art. 400, INV-13.

• *Concreto hidráulico para pavimentos*: Para su elaboración se requieren agregados con tamaños especiales y muy buenas propiedades químicas y mecánicas exigidas por la normativa. Las disposiciones generales a seguir por los materiales utilizados para “Pavimento de Concreto Hidráulico” están definidas por el Art. 500, INV-13 y su análoga o equivalente NTC 174 del ICONTEC, de las “Especificaciones de los Agregados para Concreto”.

DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA

Para evaluar la aptitud de una formación geológica, primero fue necesario analizar la aptitud de cada muestra en particular, para lo que se realizaron las siguientes etapas:

• *Definición de usos para el análisis y recopilación de la norma necesaria para el análisis*: Los agregados pétreos deben estar acordes a las especificaciones de las entidades del orden nacional encargadas de ejercer el control de uso como materiales de construcción, tales como: Especificaciones que tienen el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), I.N.V. E. -2013 (INVÍAS, 2013; INVÍAS, 2013), y normas análogas (ICONTEC, 2000).

• *Recopilación de resultados de ensayos de laboratorio*: la información base para evaluar la calidad de cada muestra se tomó de los ensayos geomecánicos desarrollados dentro del Proyecto.

• *Análisis de los resultados según requerimientos de la norma*: para la evaluación de calidad de cada muestra se elaboraron hojas de cálculo en Excel, en las que se comparan las propiedades del material, con el rango de valores permitido por la especificación para esas propiedades.

• *Obtención de tablas de aptitud de los materiales*: se definieron los códigos **1** y **0**, representando el “cum-

plimiento de la especificación” o el “no cumplimiento de la especificación”, respectivamente, como se muestra en la Tabla N° 2. En la última fila, se define la aptitud de la muestra para cada uso en construcción; para ello se estableció la siguiente condición: “Si los resultados de ensayos geomecánicos cumplen con la **totalidad** de las especificaciones de calidad, la muestra puede calificarse como **Apta = 1**; de lo contrario, se califica como **No Apta=0**”.

• Finalmente, se obtuvo el *cuadro resumen de la aptitud* de todas las muestras de material rocoso con respecto a cada uso, con un total de 100 muestras (Tabla N° 3). De este conjunto se tomaron las muestras que se encontraban dentro del Departamento del Quindío para realizar la zonificación de la aptitud únicamente para el departamento, tal como se propuso inicialmente en los objetivos de este trabajo.

• La *zonificación de aptitud de materiales pétreos* para la construcción se desarrolló con la ayuda del software ArcGis 9.3 (S. F, ESRI), herramienta que facilitó el mapeo de las unidades geológicas aptas para la explotación de agregado para obras civiles. Para evaluar la potencialidad de las unidades geológicas, se calculó el porcentaje de muestras, en cada unidad, que cumplió con todas las especificaciones de calidad para cada uso Figura N° 1 y se establecieron tres (3) rangos de cumplimiento para cada formación, como se muestra en la Tabla N° 1. Se partió de la cartografía y descripción de la geología de la zona del Mapa Geológico Generalizado del Quindío (González H. E., 1991) y (González & Núñez, 1991), así como el reciente estudio de exploración realizado por el Instituto en la región (Palomino, Rodríguez, & Castiblanco, 2010):

Tabla N° 1. Definición de rangos de aptitud según el porcentaje de cumplimiento de las formaciones geológicas*

Porcentaje de Muestras de una Formación, Aptas para Uso en Construcción	Calificación de la Formación para Explotación de Material para Agregado*
0% - 33.33%	<i>No Apta</i>
33.33% - 66.66%	<i>Medianamente Apta</i>
66.66% - 100%	<i>Apta</i>

*Se debe aclarar que esta calificación se basa únicamente en la calidad del material. Aún no se han tenido en cuenta otros aspectos que intervienen en la determinación de las zonas potenciales.

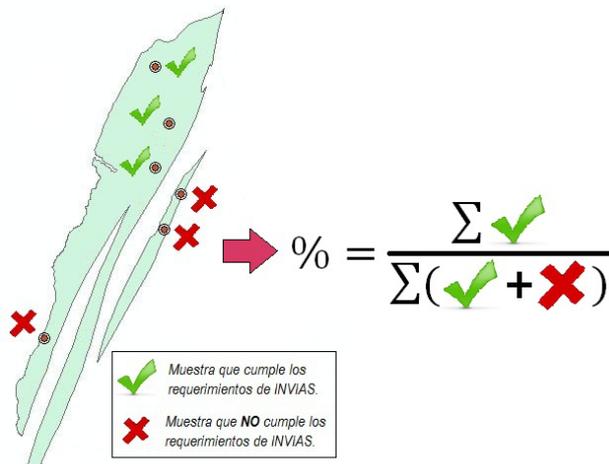


Figura N° 1. Representación gráfica de la metodología de análisis para determinar y zonificar la aptitud de una unidad geológica.

Por último, con la ayuda del software ArcGis 9.3 se asignaron diferentes colores a los rangos de cumplimiento de aptitud.

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Con la aplicación de la metodología aquí presentada, se obtuvieron 12 mapas de zonificación: uno para cada nivel de tránsito de un determinado uso. Para efectos de simplificación gráfica, se unificaron los mapas de un mismo uso, en los que se obtenían las mismas zonas de aptitud, logrando así crear seis (6) mapas definitivos de aptitud de materiales pétreos para el Departamento del Quindío (Universidad del Quindío - Ingeominas, 2011) y (Merino Peña, 2011). El *Mapa de Aptitud para Concreto Hidráulico para Pavimentos* se muestra en la Figura N° 4.

Adicionalmente, se analizaron las áreas obtenidas las cuales incluyeron algunos factores que intervienen en la potencialidad de una zona, como la accesibilidad al lugar de explotación, de acuerdo con la existencia y estado de la red vial que allí llega, lo cual representa un valor agregado al momento de planear proyectos de inversión por parte de las empresas interesadas en aprovechar la potencialidad del material que se encuentra en dicha zona. Los costos de inversión en infraestructura, ya que el valor del transporte de material aumenta a medida que las distancias a las cabeceras municipales son mayores; este es el principal factor del precio, ya que las canteras deben estar ubicadas lo más cerca posible del mercado (Maya, 2003), así como el costo de construcción también aumenta

con las condiciones del terreno.

Como resumen final se presentan las áreas más representativas aptas para todos los usos en construcción:

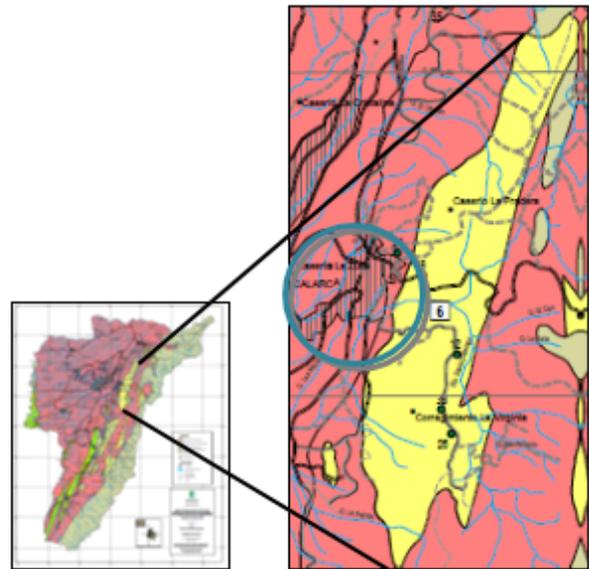


Figura N° 2. Área 6 representativa del material apto para usos en construcción de vías (Municipio señalado: Calarcá).

El área marcada con el número 6 (Figura N° 2) corresponde a una zona de la formación geológica *Kvc* (Rocas Volcánicas), en la que se encuentran rocas volcánicas, de composición basáltica, de la que se espera un buen comportamiento mecánico, buena durabilidad y estabilidad química. Además, la textura de la roca volcánica es ideal ante los efectos de los esfuerzos y el desgaste (Espinosa, 2002). El material que allí se encuentra se calificó como *Medianamente Apto* para la construcción, lo que quiere decir que en ciertas zonas se puede encontrar agregado con buena calidad, pero no garantiza esta calidad sobre toda la zona.

La accesibilidad al lugar es buena, por la existencia de vías pavimentadas al área de interés; y los costos de inversión en infraestructura son aproximadamente normales, por encontrarse ubicada muy cerca del municipio de Calarcá, segundo en importancia del Quindío. Esto indica que en el área No.6 es posible acceder fácilmente a materiales de construcción para infraestructura y además transportar el material que extraería, por su cercanía a las cabeceras municipales y la existencia de vías en condiciones adecuadas, convirtiéndose en un sitio potencialmente explotable.

El área marcada con el número 11 (Figura N° 3), también corresponde a la formación geológica *Kvc*

(Rocas Volcánicas). El material que allí se encuentra también se calificó como **Medianamente Apto** para la construcción, lo que quiere decir que en ciertas zonas se puede encontrar agregado con buena calidad, pero no garantiza esta calidad sobre toda la zona.

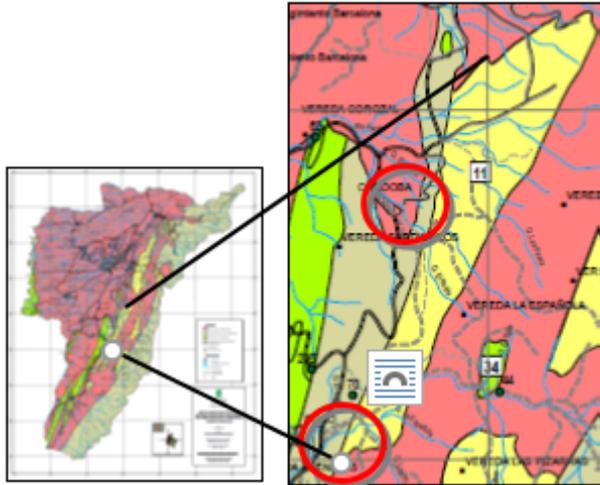


Figura N° 3. Área 6 representativa del material apto para usos en construcción de vías (Municipios señalados: Córdoba y Pijao).

La accesibilidad al lugar es aceptable, encontrando vías sin pavimentar al área de interés; y los costos de inversión en infraestructura son aproximadamente normales, por encontrarse cercana a dos cabeceras municipales: Pijao y Córdoba, aunque tienen un comercio pobre. Esto indica que en el área No.11 es posible acceder fácilmente a materiales de construcción para infraestructura por su cercanía a los municipios, pero el transporte del material a extraer es limitado, dadas las condiciones de las vías; convirtiéndose en un sitio no recomendable para explotación de materiales pétreos.

DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

- Si se desea explotar material como agregado para la construcción de bases granulares en el Departamento del Quindío, las zonas en los alrededores de los municipios de Calarcá, Pijao y Córdoba, y que corresponden a la formación geológica **Kvc** (Rocas Volcánicas), representan una fuente de material **Medianamente Apto** para dicho uso. Es decir, en esas áreas es posible encontrar algunos sitios donde la roca cumpla con los requerimientos de calidad exigidos por la norma INVIAS. Además, son áreas con facilidad de acceso y adquisición de recursos para posibles inversiones, por

encontrarse cerca a las cabeceras municipales mencionadas.

- La zona cercana a la vereda el Alambrado correspondiente a la formación **Tmp** (Formación la Paila), representa la mejor fuente de material pétreo para uso en bases granulares, ya que se espera que en cualquier lugar de esta, se encuentre **Material Apto** para este uso. Además, la accesibilidad al lugar favorece la potencialidad de la zona.

- Para la explotación de material como agregado para la construcción de subbases granulares, pavimentos de concreto hidráulico y/o afirmados con niveles de tránsito NT1 en el Departamento del Quindío, las zonas en los alrededores de los municipios de Calarcá, Pijao y Córdoba, y que corresponden a la formación geológica **Kvc** (Rocas Volcánicas), representan una fuente de **Material Medianamente Apto** para dicho uso. Es decir, en esas áreas es posible encontrar algunos sitios donde la roca cumpla con los requerimientos de calidad exigidos por la norma INVIAS. Además, son áreas con facilidad de acceso y adquisición de recursos para posibles inversiones, por encontrarse cerca a las cabeceras municipales mencionadas.

- Por su parte, las zonas: cercana a la vereda el Alambrado correspondiente a la formación **Tmp** (Formación la Paila) y la zona que abarca la extensión entre los municipios de Génova, Pijao y Córdoba, correspondiente a la formación **Kiea + Kies** (Complejo Arquía), representan las mejores opciones como fuente de material pétreo para uso en subbases granulares, pavimentos de concreto hidráulico y/o afirmados con niveles de tránsito NT1, ya que se espera que en cualquier lugar de ellas, se encuentre **Material Apto** para este uso. La zona del Alambrado se ve favorecida en cuanto a potencialidad por la fácil accesibilidad al lugar, mientras que la zona de cordillera es de difícil acceso, pero se encuentra sobre tres cabeceras municipales ya mencionadas, lo que favorece las posibles inversiones.

- Para el uso del material como agregado para la construcción de mezclas asfálticas en el Departamento del Quindío, la zona que abarca la extensión entre los municipios de Génova, Pijao y Córdoba, correspondiente a la formación **Kiea + Kies** (Complejo Arquía), representa una fuente de **Material Medianamente Apto** para dicho uso. Es decir, en esas áreas es posible encontrar algunos sitios donde la roca cumpla

con los requerimientos de calidad exigidos por la norma INVIAS. Sin embargo, la zona de cordillera es de difícil acceso, pero se encuentra sobre tres cabeceras municipales ya mencionadas, lo que favorece las posibles inversiones en cuanto a accesibilidad a recursos de construcción. En realidad, la caracterización de los materiales pétreos obtenida en este estudio, no mostró satisfacer la calidad requerida por la normativa para el uso de agregados en mezclas asfálticas.

- Si se desea explotar material como agregado para la construcción de afirmados con niveles de tránsito NT2 en el Departamento del Quindío, las zonas en los alrededores de los municipios de Calarcá, Pijao y Córdoba, y que corresponden a la formación geológica **Kvc** (Rocas Volcánicas) y la zona que abarca la extensión entre los municipios de Génova, Pijao y Córdoba, correspondiente a la formación **Kiea + Kies** (Complejo Arquía), representan una fuente de **Material Medianamente Apto** para dicho uso. Es decir, en esas áreas es posible encontrar algunos sitios donde la roca cumpla con los requerimientos de calidad exigidos por la norma INVIAS. Las áreas sobre la formación **Kvc** son de fácil acceso y adquisición de recursos para posibles inversiones, por encontrarse cerca a las cabeceras municipales mencionadas. La zona más montañosa es de difícil acceso, pero se encuentra sobre tres cabeceras municipales, lo que también favorece las posibles inversiones.

- La formación **Tmp** (Formación la Paila), en la vereda el Alambrado, representa la mejor fuente de material pétreo para uso en afirmados con niveles de tránsito NT2, ya que se espera que en cualquier lugar de ellas, se encuentre **Material Apto** para este uso. Aunque no se tenga un centro de comercio cerca al área para la obtención de recursos de posibles inversiones; por su ubicación, esta zona se ve favorecida en cuanto a potencialidad por el fácil acceso al lugar; además que se garantiza la calidad del material que de allí se va a extraer.

CONCLUSIONES

- En relación la zonificación obtenida de la aptitud de los materiales pétreos para cada uno de los usos, se concluye que en las zonas en los alrededores de los municipios de Calarcá, Pijao y Córdoba, correspondientes a la formación geológica **Kvc** (Rocas Volcánicas), se puede encontrar material apto para cualquiera de los usos en la construcción de vías que se han

tenido en cuenta en este estudio, definidos según la demanda actual en el Departamento. Esto se debe a la formación y composición propia de la roca que se encuentra en la unidad geológica **Kvc**, que contribuye al buen comportamiento mecánico, físico y químico del agregado. Sin embargo, no se garantiza que sobre toda la unidad geológica se encuentre material de buena calidad.

- Las zonas en los alrededores de los municipios de Calarcá, Pijao y Córdoba, correspondientes a la formación geológica **Kvc** (Rocas Volcánicas) son potencialmente explotables para todos los usos en la construcción de vías porque además que los parámetros de calidad son confiables, las condiciones de accesibilidad y costos en inversión son favorables en estas áreas analizadas.

- La explotación de material de cantera es una buena opción para las empresas que se ocupan de esta labor, ya que la zonificación de la aptitud permite garantizar la calidad del material para agregado como un criterio de decisión para la inversión. Además porque las propiedades físicas de la roca que allí se encuentra, a diferencia del material explotado en río o terrazas aluviales, mejora la respuesta de la roca ante los esfuerzos a los que se somete en una obra de ingeniería, dada su configuración en forma y textura.

- Se recomienda para los estudios futuros en el tema, modificar el método de extracción de la muestra, ya que durante el proceso de caracterización se obtuvo que uno de los requerimientos que no cumplían con respecto a la norma en la mayoría de las muestras analizadas fue el de índices de forma del material. Uno de los factores que afectan directamente esta propiedad, es la forma de extraer la muestra de roca y el equipo utilizado para este procedimiento.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda cambiar el método de trituración de la roca con el fin de obtener una distribución de tamaños en el agregado que cumpla en mayor proporción con las especificaciones de calidad ya que, como se demostró anteriormente, solo una (1) muestra entre cien (100) presentó una curva granulométrica dentro de las franjas establecidas por la norma para cada uso.
- Igualmente, se recomienda ampliar el presente estudio incluyendo más usos importantes en ingeniería para los cuales se destinan los agregados, con el fin de

poder evaluar el potencial de materiales ingeniería en el Departamento del Quindío. Además, es necesario realizar, para este caso, un proceso de caracterización de los materiales más completa para que la confiabilidad que se pueda tener sobre la calidad sea total, se evalúe el comportamiento de las muestras ante todo tipo de condiciones que se expuesta la roca en una obra de ingeniería.

- Finalmente, se recomienda realizar el muestreo del material teniendo en cuenta la metodología de zonificación que se vaya a emplear y así relacionar estas dos etapas con el fin de obtener resultados coherentes de aptitud de acuerdo con el comportamiento espera-

do según la distribución de las clases de rocas sobre el Departamento.

AGRADECIMIENTOS

Esta Investigación fue realizada en el Marco del Convenio Interadministrativo No. 015 de 2010 entre INGEOMINAS y la Universidad del Quindío, Proyecto SUB09-25 de INGEOMINAS (hoy SGC), titulado “Informe Técnico de Ensayos Geomecánicos para la Caracterización de Materiales de Construcción en el Departamento del Quindío” (Universidad del Quindío, 2011).

Tabla N° 2. Resumen de aptitud de una muestra para todo los usos definidos.*

No. 62 Muestra: CRC-009 Fuente: CUERPOS INTRUSIVOS (Ku)

ENSAYO TAMAÑO:	USO															
	Agregados para Vías						Mezclas Asfálticas				Concreto Hidráulico					
	Bases		Subbases		Afirmados		MDC		MSDC		MAM		Pavimentos			
Granulometría	1	2	1	2	1	2	NT1	NT2	NT3	NT1	NT2	0	1	NT1	NT2	NT3
	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CALIDAD:	Bases			Subbases			Afirmados		Mezclas Asfálticas				Concreto Hco. Pavimentos			
Sanidad de Agregados	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pesos Unitarios	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gravedad Específica y Absorción de Agregado Grueso	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gravedad Específica y Absorción de Agregado Fino	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Equivalente de Arena	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Caras Fracturadas	1	1	1	-	-	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1
Indíces de Alargamiento y Aplanamiento	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Desgaste	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1

*Los códigos 1 y 0 corresponden, respectivamente, a los ensayos que cumplieron con los rangos de la especificación y a los ensayos que no cumplieron tan requerimiento.

Tabla N° 3. Resumen de aptitud de todas las muestras analizadas.

MUESTRA		USO											
No.	Referencia	NT1_Bases	NT2_Bases	NT3_Bases	NT1_Subbases	NT2_Subbases	NT3_Subbases	NT1_Afirmados	NT2_Afirmados	NT1_Mezclas	NT2_Mezclas	NT3_Mezclas	Ccto_Hco_Pavi
1	CRC-142	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	EPE-020	-	-	-	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto
3	EPE-003	Apto	Apto	-	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	-	-	-	Apto
4	JHL-002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	CRC-008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	JHL-003	-	-	-	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto
7	CRC-007	-	-	-	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto
8	EPE-006	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	-	-	-	Apto
9	JHL-027	-	-	-	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	-	-	-	-
10	CRC-007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	JHL-020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	JHL-007	-	-	-	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	-	-	-	Apto
13	EPE-095	-	-	-	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	-	-	-	Apto
14	EPE-012	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	EPE-177	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	EPE-024	-	-	-	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	-	-	-	-
17	CRC-002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	CRC-112	-	-	-	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	-	-	-	Apto
19	EPE-006	-	-	-	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	-	-	-	-
20	CRC-010	Apto	Apto	-	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	-	-	-	Apto
21	EPE-174	Apto	Apto	-	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	-	-	-	Apto
22	CRC-138	-	-	-	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto
23	JHL-036	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	EPE-007	-	-	-	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	-	-	-	Apto
25	JHL-012	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	JHL-009	Apto	Apto	Apto	-	-	-	Apto	Apto	-	-	-	Apto
27	JHL-001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	EPE-011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	CRC-192	-	-	-	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	-	-	-	-
30	EPE-008	-	-	-	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	-	-	-	-
31	CRC-036	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	JHL-034	-	-	-	Apto	Apto	Apto	Apto	Apto	-	-	-	Apto

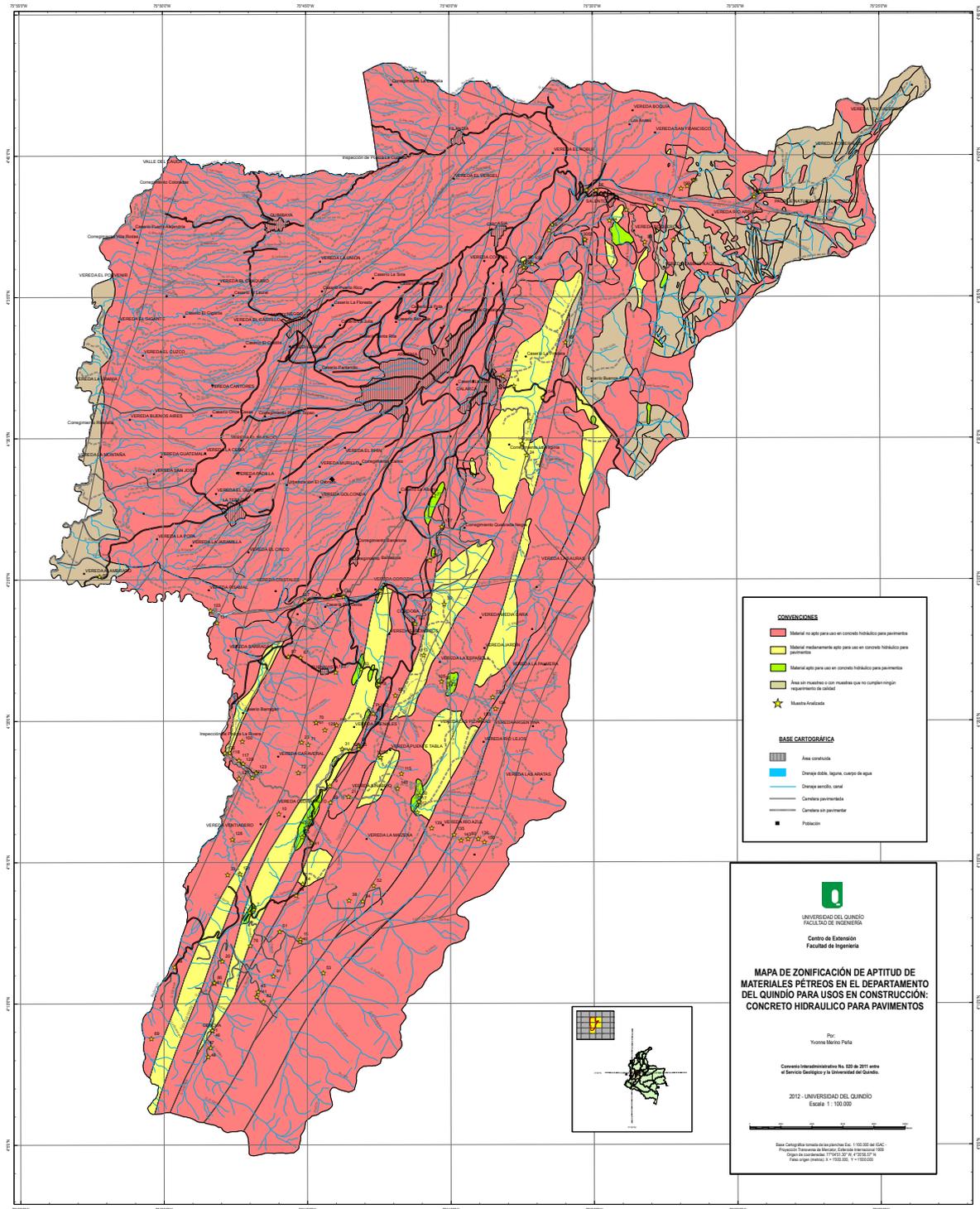


Figura N° 4. Aptitud de materiales pétreos para usos en Concreto Hidráulico para Pavimentos

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Espinosa, A. (2002). Geología de la Cuenca de La Vieja, en Estudio de Exploración Semidetallada del Material de Arrastre en algunas fuentes de interés prioritario en la Zona Cafetera. Pereira: Inédito.
- Garzón, J. A. (1998). Evaluación del Potencial en Materiales de Construcción para el Departamento del Quindío Zona Alambrado – Quebrada Nueva. Tesis de Grado, Universidad del Quindío, Armenia, Q.
- González, H., & Núñez, A. (1991). Mapa Geológico Generalizado del Departamento del Quindío. Bogotá: Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras.
- González, H. E. (1991). Memoria Explicativa Mapa Geológico Generalizado del Departamento del Quindío. Bogotá: Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras.
- ICONTEC. (2000). NTC 174. Especificaciones de los Agregados para Concretos. Bogotá: Icontec.
- Ingeominas - British Geological Survey. (2001). Geología del Departamento del Valle del Cauca, escala 1:250.000. Ingeominas, Bogotá.
- INVÍAS. (2013). Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras. Bogotá, Colombia: Invias.
- Maya, M. (2003). Zonas Potenciales para Materiales de Construcción en los alrededores de Medellín, Colombia. Planchas 130, 146 y 166, Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero Ambiental y Nuclear INGEOMINAS, Bogotá, D.C.
- Merino P., Y. (2011). Zonificación de Aptitud de Materiales Pétreos en el Departamento del Quindío para Usos de Construcción. Trabajo de Grado, Universidad del Quindío - Ingeominas.
- Nivia, A. (2001). Memoria Explicativa del Mapa Geológico del Departamento del Valle del Cauca. Bogotá.
- Palomino, E., Rodríguez, J., & Castiblanco, C. (2010). Exploración de fuentes de materiales de construcción en el Departamento del Quindío y zonas aledañas. Proyecto SUB09-21 “Minerales Industriales y Materiales de Construcción”. Bogotá: Ingeominas.
- ESRI. (s.f.). ArcGIS Desktop 9.3 70632. Licencia # 0111A03548. Environmental Systems Research Institute.
- Universidad del Quindío - Ingeominas. (2011). Informe Técnico de Ensayos Geomecánicos para la Caracterización de Materiales de Construcción en el Departamento del Quindío. Armenia: Uniquindío.
- Universidad del Quindío. (2011). Informe Técnico de Ensayos Geomecánicos para la Caracterización de Materiales de Construcción en el Departamento del Quindío. Convenio Interadministrativo No. 015 de 2010 entre INGEOMINAS y la Universidad del Quindío, Armenia, Q.