

boletín ambiental

Octubre de 2014

Instituto de Estudios Ambientales IDEA **122**

Aprovechamiento de los estériles de Marmato



Aprovechamiento de los estériles de Marmato



Geólogo Eugenio Duque Escobar
Ingeniero Luis Ricardo Vásquez Varela
Ingeniero Fernando Mejía Fernández
Ingeniero Freddy Leonardo Franco Idarraga
Ingeniero Juan Camilo Posada Durango
Integrantes Grupo de Trabajo Académico Ingeniería Hidráulica y Ambiental
Vías Transporte y Geotecnia Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales

Resumen del informe del Contrato Interadministrativo No. 297 de 2012 “Alternativas de aprovechamiento del material pétreo resultante de la actividad minera en Marmato, a partir de la realización de estudios mineralógicos y físicos de este, tendientes a contribuir con la generación de nuevos procesos productivos y a la recuperación futura de los cauces y laderas ocupados con la depositación de este tipo de residuos mineros”.

Introducción, objetivos y metodología

Por intermedio del Instituto de Estudios Ambientales -IDEA- de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, integrantes de los grupos de trabajo académicos en Ingeniería Hidráulica y Ambiental y en Vías, Transporte y Geotecnia, desarrollaron como trabajo de extensión para la Corporación Autónoma Regional de Caldas -CORPOCALDAS- la búsqueda de posibles usos para los estériles de las minas de Marmato, Caldas.

Históricamente, debido a la minería de oro en la población de Marmato mediante socavones, se ha vertido el material estéril en los cauces de tres quebradas que luego confluyen en la quebrada Marmato -afluente directo del río Cauca- generando graves problemas ambientales y de riesgo cuando

se desencadenan movimientos masales que ya han afectado infraestructura y vidas humanas. Este vertido de estériles no solo lo realizan los pequeños mineros, sino también las empresas mineras, puesto que en sus planes ambientales consideran que deben acumularse en lo que denominan “diques transversales”, lo cual no es solamente una solución a corto plazo, sino que desde un punto de vista ambiental integral, los cauces de las quebradas no deben ocuparse sino más bien restaurarse y mantenerse en equilibrio natural.

Así pues, la búsqueda de un uso para estos materiales se da por la necesidad de recuperar las quebradas en las cuales se han depositado dichos estériles, pero manteniendo en perspectiva que como fuente de

materiales deberán ser adecuados técnica y económicamente, por ello, se estudió su composición química, resistencia física e incluso la capacidad agrológica, porque desde el análisis bibliográfico inicial se vislumbró una posible aplicación en la construcción de vías, estructuras, o como sustrato de cultivos.

Para lo anterior se siguieron las especificaciones de construcción de carreteras del Instituto Nacional de Vías -INVIAS-, pero considerando inconveniente de todas maneras, proponer el uso de cualquier material que se encuentre contaminado con productos químicos relacionados con la explotación aurífera, pues si lo está debe considerarse material tóxico peligroso, y hay que tratarlo con las técnicas adecuadas para su disposición.

Los objetivos propuestos con el estudio que aquí se resume fueron:

1. Recopilar la información y análisis de estudios existentes para dar contexto a la situación actual y futura del manejo de residuos mineros en la zona.
2. Analizar mineralógicamente en laboratorio el material estéril extraído de las minas.
3. Evaluar las propiedades físicas e índices de calidad como material de construcción para aplicaciones viales.
4. Identificar las posibles aplicaciones para los materiales estériles de minería.
5. Presentar en un informe final que incluya el proceso, las conclusiones y recomendaciones.



Para lograr lo anterior se recopiló y analizó información proveniente de estudios previos realizados sobre la geología, minería y posibilidades de los estériles, se hicieron visitas para obtener el acompañamiento de las autoridades locales y de paso realizar la recolección de muestras de campo en los sitios conocidos como “Mina Cien Pesos”, “Santa Inés”, “Canalón de la Iglesia”, “quebrada Cascabel” y “Explotación del Grupo Minero de Colombia”.

Las muestras fueron analizadas en los laboratorios de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales y la Universidad de Caldas, donde se les realizaron pruebas granulométricas, equivalentes de arena, solidez, contenidos de materia orgánica, límites de Atterberg, pruebas de desgaste, etc. A su vez, mediante pruebas SEM (Escaneo con Microscopio Eléctrico de Barrido)/EDAX (Microanalizador por Dispersión de Energía) se determinó la composición mineralógica de las muestras en búsqueda de minerales que pudieran generar reacciones químicas en procesos constructivos (concretos o asfaltos) o la presencia de minerales con un alto valor; esto último se afianzó con análisis de secciones delgadas y capacidad agrológica, todo con el fin de evaluar la composición, propiedades químicas, físicas, mineralógicas y agrológicas, con tal de que los resultados de estas pruebas dieran pautas para recomendar posibles usos para los estériles de minería en Marmato.



Resultados

Tras los anteriores análisis físicos se concluyó que los materiales muestreados no son –en el estado en que se encuentran- del todo aptos para formar parte de capas estructurales de pavimentos, sean estos afirmados en vías sin capa de rodadura, subbases granulares o bases granulares en estructuras de pavimento flexible, porque no todos cumplen con la granulometría (distribución de tamaños) al tener mayor proporción de tamaños gruesos (piedras) y finos (limos y arcillas), faltando tamaños medios (arenas), por lo que, para su empleo sería necesario procesar el material con triturados, cribados, etc.

También para formar parte de capas estructurales de pavimentos, el material debe cumplir con requisitos de desgaste (ensayo en la máquina de Los Ángeles), encontrándose que los materiales provenientes de algunos puntos de muestreo cumplen con los requisitos técnicos, otros no los cumplen y otros se hallan en los umbrales.

En cuanto a las proporciones entre los tamaños del material, consideración necesaria para la construcción de pedraplenes, se encuentra que también se presentan sobretamaños, es decir, pesa la ausencia de materiales arenosos, pero podemos destacar que cumplen con los requerimientos de resistencia al desgaste; por lo que también podrían pro-

cesarse mediante triturados y cribados a fin de lograr una combinación granulométrica acorde con las especificaciones técnicas de la obra; análisis de desgaste que podría profundizarse con fines de confirmarlo. De ninguna forma se recomienda emplear los materiales estudiados como subbase granular o base granular en pavimentos flexibles, rígidos



o articulados (adoquines), pues no tienen las condiciones mínimas de calidad para ofrecer un periodo de servicios mínimo, acorde con las inversiones necesarias de este tipo de estructuras.

Sin embargo, se considera viable proponer tales materiales bajo la acepción que en ingeniería de pavimentos se conoce

como “materiales locales”, por tanto, en ausencia de los que cumplan una norma específica, se debe valorar el efecto de emplearlos por debajo de los estándares contra la “importación” desde fuentes más lejanas de materiales que si las satisfagan. Se sugiere como primera posibilidad de empleo de los mencionados materiales, la producción de afirmado, el que para seguir los estándares deberá completarse la gradación mediante la incorporación de material arenoso, recomendándose a la vez observar su comportamiento en tramos de vías sometidas a pruebas de tráfico pesado, de tal forma que puedan sacarse conclusiones sobre el comportamiento en el corto plazo y definir medidas complementarias para el empleo del material.

Emplear el material como relleno de estructuras implica que este deba cumplir con los requisitos de calidad para subbase granular, y dado que no lo logre, podría igualmente aplicarse el concepto de “material local”, eso sí evaluando su comportamiento.

Emplearlo como relleno en gaviones o colchogaviones tiene a su vez unos requisitos de masa, tamaño, desgaste, absorción, resistencia mecánica, no desintegración al agua o la intemperie, ausencia de óxidos y excesiva alcalinidad o salinidad que pueda atacar la canasta metálica. Para este caso, si bien las muestras analizadas no cumplen con los tamaños, en campo se encuentran

en las dimensiones adecuadas; siendo allí mismo observable por el intemperismo que han sufrido, que no presentan problemas de desintegración, pero es a su vez evidente la presencia de hierro y de productos químicos con los que se extrae el oro, por lo que en el caso de emplearse este material estéril como relleno de gaviones o colchogaviones, se recomienda hacer caso de la posibilidad existente para medios agresivos, en cuanto a la viabilidad de recubrir la canasta metálica con asfalto o PVC y atender pruebas de durabilidad de estos.

Con similares precauciones, algunos de los materiales estudiados podrían ser empleados como relleno de subdrenes con geotextil, cuidando la gradación granulométrica, el desgaste, la solidez, el

desleimiento-durabilidad y el contenido de materia orgánica. Pero en general, dado que no cumplen perfectamente con todos los parámetros, su uso no es del todo recomendable.

Los análisis con microscopio digital y microanálisis por dispersión de energía SEM/EDAX, mostraron una gran presencia de sílice, que en contacto con pasta de cemento podrían generar reacciones álcali-agregado, provocando patologías en concretos como son: deterioros en juntas, agrietamiento y en general un concreto de una baja calidad, quedando de este modo descartados como materiales pétreos para el mezclado de concretos.

Como materiales sustrato de actividades agrícolas no cumplen las pruebas



de acidez, salinidad, toxicidad, contenido de materia orgánica y contenido de metales, puesto que se observaron elevados contenidos de aluminio, hierro, manganeso, zinc, cobre y azufre. Los metales por encima de los valores límite hacen que los suelos analizados no sean aptos para actividades agrícolas, debido a que estos pueden solubilizarse con niveles de pH menores a 7, generando toxicidad en los cultivos.

Lo anterior fue corroborado por el análisis geológico, al encontrar que las formaciones de la zona de Marmato y sus sistemas de mineralización evidenciaban en las muestras extraídas para estudio, la presencia de minerales metálicos como pirita, calcopirita, galena, blenda o esfalerita, marmatita; algunas de las cuales se oxidan fácilmente con las aguas de infiltración, generando con este intemperismo, óxidos de hierro tipo: caparrosa, hematita y limonita, además de aguas aciduladas con azufre.

Pero la presencia de sulfuros y en general de otros minerales que los hace inviables como agregados, podría convertirse en su fortaleza. Si el azufre genera dificultades, se recomendaría recuperarlo como elemento y como tal se podría comercializar. Así pues, no solo hay presencia de oro, sino también de plata, azufre, zinc, hierro, plomo; metales que podrían ser recuperados y comercializados.

Para lo anterior es recomendable hacer estudios específicos que determinen la viabilidad procedimental y económica de recuperar elementos como aluminio, azufre, hierro, zinc, a partir de los estériles

resultantes de la extracción minera. Estudios previstos en fases futuras que ante CORPOCALDAS se sustentarían con:

- Estudios hidrológicos que revisen los caudales circulantes en los cauces durante los períodos lluviosos y la capacidad de arrastre de materiales.
- Estudios hidráulicos que determinen las zonas inundables y sus impactos en la vía Medellín-Cali y la población de Marmato.
- Estudios geotécnicos que analicen los efectos que tiene la mala disposición del material en la estabilidad de las laderas de Marmato y diseñen las secciones estables en los cauces para garantizar el inicio de la restauración fluvial de las quebradas de la zona.
- Estudios sociales y de educación ambiental que creen conciencia sobre la dimensión real del problema.

Conclusiones

1. Los materiales pueden emplearse para el mejoramiento de subrasantes mezclándolos con suelos arenosos y finos y así ofrecer una gradación completa, la cual es necesaria para tener estabilidad frente a las cargas del tránsito.

2. Los materiales podrían emplearse en la construcción de pedraplenes, pero también requieren de un estudiado ajuste granulométrico que satisfaga la franja que requiere este tipo de aplicación para un tamaño máximo nominal propuesto de 100 milímetros. Combinando agregados de la quebrada Cascabel y el Grupo

Minero Colombiano se podría ofrecer dicha línea granulométrica media, que además satisfaga los requerimientos de desgaste máximo.

3. Como materiales estructurales para pavimentos, es decir afirmados, subbases granulares y bases granulares, los materiales presentan problemas de calidad asociados a su granulometría y propiedades de desgaste y solidez. Con las debidas reservas solo se considera viable proponer su uso como “materiales locales” bajo observación de su comportamiento en tramos piloto de prueba, con el fin de establecer sus verdaderos umbrales de durabilidad frente al tránsito pesado que circula en la zona (el cual se consideró nivel de tránsito NT1, es decir, para estructuras sometidas hasta 500,000 repeticiones de ejes sencillos equivalentes del estándar AASHTO–INVIAS de 80 kN).

4. Como relleno de estructuras, los materiales tampoco cumplen por su granulometría gruesa y discontinua, opuesta a la gradación fina y continua requerida para el papel de relleno filtrante y porque no satisfacen las calidades mínimas de subbase granular exigidas para esta aplicación. Podrían igualmente bajo un estudiado ajuste granulométrico aplicarse el concepto de “material local”, eso sí evaluando su comportamiento.

5. Los materiales de algunas fuentes se podrían emplear como relleno para gaviones, colchogaviones y otras aplicaciones de esta tipología, pero deben tenerse en cuenta las distribuciones de tamaños y la necesidad de proteger las canastas metálicas con recubrimientos asfálticos o de PVC.

6. Para la construcción de subdrenes con geotextil y material granular, los materiales del Canalón de la Iglesia, satisfarían eventualmente los criterios de calidad, pero sería necesario comprobar su comportamiento frente al desleimiento. Las otras fuentes podrían, o estudiarse más, o emplearse en pruebas piloto para observar su comportamiento, pues arrojaron valores en las pruebas de desgaste y solidez.

7. No se analizaron aplicaciones de los materiales en mezclas asfálticas o de concreto de cemento Pórtland, pues tanto en campo como en laboratorio se observaron intrusiones de cuarzo lo cual afectaría su adhesión a ligantes bituminosos y evidencias de pirita que hace el agregado inapropiado para concreto hidráulico.

Pero, no importa cuál sea su posible uso, se reitera que en ninguna de las aplicaciones se deben involucrar materiales contaminados con productos químicos peligrosos asociados con la explotación del oro.



Bibliografía

BRANDES, H. and ROBINSON, C. (2006) “Correlation of Aggregate Test Parameters to Hot Mix Asphalt Pavement Performance in Hawaii” *Journal of Transportation Engineering*, 132(1), 86–95, ISSN (print): 0733-947X, [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(2006\)132:1\(86\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2006)132:1(86))

DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS (DGC) (2000) “Orden Circular 326 / 2000 sobre Geotecnia Vial en lo Referente a Materiales para la Construcción de Explanaciones y Drenajes” Artículo 331 Pedraplenes, Madrid.http://www.carreteros.org/normativa/pg3/ordenes/circulares/326_2000/326_2000.htm

MACCAFERRI (2013) “Fichas Técnicas sobre el uso de Gaviones”, Maccaferri de México S.A. de C.V.<http://www.maccaferri.com.mx/documentos/fichas-tecnicas/15642-1.html>

MINISTERIO DE TRANSPORTE – INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS DE COLOMBIA (INVIAS) (2007). “Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras y Normas de Ensayo”, Resoluciones 3288 y 3290 del 15 de agosto de 2007, Bogotá,http://www.invias.gov.co/index.php/hechos-de-transparencia/informacion-financiera-y-contable/doc_download/1352-especificaciones-generales-de-construccion-de-carreteras-y-normas-de-ensayo-para-materiales-de-carreteras

R. W. Le Maitre et al. (2005) “Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms – Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks” *Mineralogy, Petrology and Volcanology Institute – Cambridge University*, ISBN (Print): 9780521619486, <http://www.cambridge.org/us/academic/subjects/earth-and-environmental-science/mineralogy-petrology-and-volcanology/igneous-rocks-classification-and-glossary-terms-recommendations-international-union-geological-sciences-subcommission-systematics-igneous-rocks-2nd-edition#>



Instituto de Estudios Ambientales - IDEA -
Teléfono: 8879300 Ext. 50190 / Fax 8879383
Cra 27 #64-60 / Manizales - Caldas
<http://idea.manizales.unal.edu.co>
idea_man@unal.edu.co