

# **Propiedades Mecánicas de los Agregados Ante Variaciones Climáticas: Reporte de caso en Bucaramanga**

## **Mechanical Properties of Agreggates When Climatic Variations Occur: Bucaramanga Case**

Luz Marina Torrado Gómez<sup>1</sup>, María Fernanda Serrano Guzmán<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Magister, Ing. Civil, Profesor Asistente, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Investigador Grupo DeCoR, [luz.torrado@upb.edu.co](mailto:luz.torrado@upb.edu.co)

<sup>2</sup>Ph.D., Ing. Civil, Profesor Titular, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Investigador Grupo DeCoR.

Recibido 07/03/13, Aceptado 20/05/2013

### **RESUMEN**

El concreto como material compuesto, presenta un comportamiento mecánico que depende en gran parte de la calidad de cada uno de los materiales de que se compone. En este trabajo se intentó establecer una correlación entre las variaciones mecánicas de los agregados y el caudal de los ríos en donde se localizaban las canteras. Por conveniencia fueron seleccionadas las cuencas de Suratá y Pescadero, del Departamento de Santander. Durante un periodo de cinco meses se tomaron muestras de estas canteras, y se analizaron con las normas establecidas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y por las Normas del Instituto Nacional de Vías, observándose que la cantera de Suratá cumplió en un 86% de los ensayos, mientras que la cantera de Pescadero lo hizo en un 71.3% de los ensayos. Además, se concluyó que como no se observó relación directa entre el caudal de los Ríos Pescadero y Suratá y las variaciones mecánicas de los agregados, de lo cual se concluye que los cambios en las propiedades mecánicas pueden deberse al proceso de selección y ajuste del material con fines comerciales.

**Palabras clave:** Calidad, Concreto, Propiedades, Agregados, Variabilidad.

### **ABSTRACT**

Concrete, as a composite material, presents a mechanical behavior that depends on the quality of each of the materials that are used in the mixing process. This research focused in the correlation of aggregates' mechanical properties and the river where these aggregates were obtained. Surata and Pescadero basins, located at Santander, were chosen to be analyzed. This research focused in the correlation of aggregates' mechanical properties and the river where these aggregates were obtained. Surata and Pescadero basins, located at Santander, were chosen to be analyzed. The information regarding aggregates characterization according with the standards established by the Colombian Institute of Technical Standards Norms and National Roads Norms was collected during a period of five months. The results shown that samples of Suratá basin are reliable at 86% while Pescadero only in a 71.3%. Even though these variations occurred, there were not possible to conclude that there were a relationship between river flow and mechanical variations of the aggregates; thus is inferred that changes in mechanical properties may be due to the selection and adjustment of the material for commercial purposes.

**Keywords:** Quality, Concrete, Properties, Aggregates, Variability.

## 1. INTRODUCCIÓN

El concreto empleado en obras de infraestructura, se constituye como el material de mayor uso en la industria de la construcción [1]. Esta mezcla pétreo artificial está compuesta de la pasta que aglutina los agregados [2, 3, 4, 5, 6, 7] y en ocasiones de aditivos que le confieren propiedades especiales. El buen comportamiento mecánico del concreto está dado por el empaque denso de la matriz

resultante y por la cantidad de pasta que llena los vacíos que puedan existir luego del vibrado [2]. Los agregados, particularmente, representan más del 70% del volumen de una mezcla de concreto y las características de estos materiales granulares puede variar durante los procesos de explotación, manejo y transporte, afectando con ello el comportamiento final de las estructuras [5]. La tabla 1 resume las justificaciones en los cambios de la resistencia última del concreto.

**Tabla 1.** Variaciones en resistencia del concreto.

**Table 1.** Variations in strength concrete.

|  |   |
|--|---|
| <b>Diseño de la mezcla de concreto</b> | Propiedades de los agregados<br>mezclas preparadas con agregados húmedos<br>agregados con contenidos altos de absorción<br>Dosificación de los materiales y procedimiento de ensayo no adecuado |
| <b>Proceso de colocación</b>           | Afectaciones durante la colocación y el curado<br>Mezclas sometidas a procesos de remezclado<br>deficiencia en la vibración<br>alteraciones de la mezcla durante el transporte y colocación     |

Fuente: Tomado y adaptado de [4]

Se evidencia entonces, que las materias primas fundamentales del concreto pueden variar exigiendo por ello un control de calidad para que se cumplan las propiedades físicas y químicas que aporten a la durabilidad de dicho concreto. Sin embargo, los diseñadores y los consultores se enfrentan al hecho que existe poca verificación de las características, por ejemplo, de los agregados pétreos que se utilizan, lo cual repercute en los resultados esperados [1].

La búsqueda permanente de soluciones que permitan mejorar la calidad del concreto ha llevado a la ejecución de investigaciones, unas encaminadas hacia el cemento y otras hacia los agregados y aditivos. Específicamente, cuando las investigaciones están relacionadas con los agregados, estas implican la caracterización de los mismos.

El proceso de caracterización de los materiales abarca la determinación de las propiedades físicas, mecánicas, así como también la evaluación de la durabilidad y la funcionalidad [8]. Para el caso de las características geométricas de los agregados, existen diferentes métodos siendo la evaluación del acomodamiento de partículas vertidas por flujo libre, la inspección visual y la medición de dimensiones usando plantillas y calibradores [8], las más utilizadas para ello; esta última es la práctica común a nivel de laboratorio en la región. Problemas asociados a la subjetividad del operario han promovido la incursión de nuevas técnicas para clasificación en función de la geometría de los agregados.

Este artículo se centra en el estudio de las propiedades mecánicas de los agregados ante variaciones de precipitación.

Del análisis se desprende que la explotación y la producción de agregados pétreos y las condiciones naturales pueden ocasionar estos cambios e incidir posteriormente en la calidad de las obras de infraestructura que se realicen.

## ANTECEDENTES

Diferentes investigaciones adelantadas han demostrado variaciones en la calidad de los agregados disponibles para la producción de concreto en Bucaramanga (tabla 2). Se destacan por ejemplo, las variaciones en la gravedad específica de los agregados a lo largo del tiempo.

**Tabla 2.** Comportamiento de la gravedad específica de los agregados en el periodo 2008-2010.

**Table 2.** Specific gravity behavior in aggregates since 2008 to 2010.

| Gravedad Específica kg/dm <sup>3</sup> |         | Fuente |
|--|---------|--------|
| Grueso                                 | Fino    |        |
| 2660,00                                | 2320,00 | [9]    |
| 2620,00                                | 2420,00 | [10]   |
| 2570,00                                | 2450,00 | [11]   |
| 2590,00                                | 2180,00 | [12]   |
| 2807,33                                | 2613,00 | [13]   |
| 2640,00                                | 2680,00 | [14]   |
| 2540,00                                | 2680,00 | [15]   |

Adicionalmente, se encontró que los resultados del ensayo a compresión de concreto producido en tres concretteras de la región mostraba diferencias significativas [13]. Teniendo en cuenta que el control de calidad en las plantas concretteras era el adecuado, el grupo de investigación consideró que una posible causa de las variaciones de resistencia a la compresión podría deberse a cambios en la fuente de suministro de agregados [16], lo cual motivó este estudio.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la identificación de las variaciones en las propiedades mecánicas de los agregados fue necesaria la recopilación de muestras de materiales extraídos de las canteras. Como se describe en [16], según trabajo realizado bajo la supervisión de la Ing. Luz Marina Torrado, se realizaron visitas a los proveedores de material pétreo, con el fin de identificar los procedimientos de trituración y explotación de los agregados que pudieran afectar las características de los mismos. La muestra de proveedores fue escogida según disponibilidad y correspondió a material de Pescadero en la vía Bucaramanga- Bogotá y la Trituradora la Fortuna (Río Suratá), en la vía Bucaramanga- Matanza, a 54 km y 18 km de Bucaramanga, respectivamente. En las figuras 1 y 2 se muestran la localización de cada una de las fuentes analizadas en el presente artículo.

**Figura 1.** Localización de la Fuente Avendaño Sáenz.

**Figure 1.** Location at Avendaño Sáenz Source.



Fuente: Google Earth, consultado abril de 2012 [18].

Los ensayos realizados a los agregados fueron granulometría, límites de plasticidad, equivalente de arena, contenido de materia orgánica, peso específico y absorción de agregados, terrones de arcilla y el índice de aplanamiento y alargamiento. De manera sucinta, cada ensayo se describe a continuación.

Teniendo en cuenta que el material pétreo iba a destinarse para la producción de concreto, se procedió a hacer la caracterización correspondiente según las normas de calidad colombianas (tabla 3) en donde se recomienda tomar una muestra representativa de los agregados por el méto-

**Figura 2.** Localización de la Fuente Trituradora la fortuna Río Suratá.

**Figure 2.** Location at Río Suratá crusher Source



Fuente: Google Earth, consultado abril 2012 [18].

do del cuarteo, haciendo uso de los equipos para este fin. Posteriormente se procede a la determinación cuantitativa de la distribución de los tamaños de las partículas de agregados en la muestra seleccionada, utilizando una serie de tamices de abertura cuadrada y acomodados de mayor a menor tamaño. El ensayo granulométrico así realizado permite determinar el tamaño máximo y el tamaño máximo nominal del agregado grueso y el módulo de finura del agregado fino, parámetros que son requeridos en el diseño de una mezcla de concreto.

Otro de los ensayos realizados correspondió a los límites de plasticidad de las arenas utilizadas. Con este ensayo se pretende determinar si este material fino carece de plasticidad, verificando con ello que no se afecte la adherencia del concreto. Similar objetivo cumple el ensayo de equivalente de arena con el que se determina si la muestra tiene polvo fino o arcilla nociva para los concreto. En este ensayo se vierte una pequeña cantidad de material en una solución floculante a fin de separar el material arcilloso o polvo fino de las partículas de arena, permitiendo que queden partículas en suspensión, flotando sobre las partículas de arena. De esta forma se determina el cociente entre la lectura de la arena sobre la lectura de la arcilla, expresando el resultado en porcentaje.

En cuanto al contenido de materia orgánica en arenas se sigue un procedimiento cualitativo con el cual se compara en una carta colorimétrica la tonalidad que arroja la muestra de arena en una solución saturada de hidróxido de sodio. Este ensayo proporciona una idea sobre las impurezas orgánicas que puedan estar presentes en el material, sugiriendo descartar aquellas muestras de arena que den una coloración oscura por cuanto es un referente de alto contenido de impurezas que puede afectar la resistencia o causar eflorescencia en el concreto.

Los ensayos de peso específico y absorción de los agregados aportan variables para la estimación de la cantidad de material a ser utilizado en la preparación de mezclas de concreto. Para la determinación del peso específico y absorción del agregado fino se procede a colocar una muestra de material representativo en inmersión con agua durante un periodo de 24 horas, período necesario para la determinación de la absorción del material. Este material debe secarse superficialmente mediante el secado con corriente de aire caliente hasta dejarlo en condición superficialmente seco internamente saturado SSS. Una vez el material se encuentre en tal condición, se pesan 500 g de material, se llena el picnómetro con arena y agua, se eliminan los vacíos y se pesa el conjunto.

Por su parte, el ensayo de terrones de arcilla y partículas deleznales suministra información sobre la presencia de estas partículas en los agregados. Para ello, una muestra de material se prepara como lo establece la Norma de Calidad Colombiana, se extiende en una capa delgada sobre el fondo del recipiente, se cubre con agua destilada y se deja en remojo durante  $24 \pm 4$  horas.

Posteriormente se ruedan y aprietan individualmente las partículas, entre el pulgar y el índice, tratando de romperlas en tamaños más pequeños. Las partículas que puedan romperse con los dedos en finos removibles mediante tamizado en húmedo, se clasificarán como terrones de arcilla, o partículas deleznales. Luego, se separa el material de menor tamaño de la parte restante mediante tamizado en húmedo, usando los tamices señalados por la norma hasta que haya sido removido todo el material más pequeño y se secan hasta que se obtenga una masa constante.

Para la determinación del índice de alargamiento y aplanamiento de los agregados gruesos se siguieron las indicaciones de la norma de calidad correspondiente, en donde se hacen dos operaciones sucesivas de tamizado. La primera, dividiendo la muestra mediante el uso de tamices, en fracciones de acuerdo a la norma. Cada una de las fracciones granulométricas se pasa por el calibrador de barras paralelas, las cuales son consideradas planas. Al mismo tiempo dichas fracciones se pasan por el calibrador de alargamiento, para separar las partículas largas.

Por último, se lleva a cabo el ensayo de solidez con el que se pretende identificar la calidad de los agregados que van a estar sometidos a la acción de los agentes atmosféricos. Para ello, la muestra seleccionada se somete a la acción de soluciones saturadas de sulfato de sodio o de magnesio. Los agregados se deben separar por fracciones de acuerdo a lo estipulado por la norma y para cada una de estas fracciones de realizan cinco ciclos de secado e inmersión del material en solución saturada de sulfato de sodio o magnesio. El análisis se realiza de forma cuantitativa mediante la determinación de la pérdida de peso de las fracciones y de forma cualitativa mediante la observación de la influencia de la solución en las partículas.

Los ensayos de laboratorio fueron realizados por intervalos quincenales durante un periodo de cinco meses, durante los cuales se identificaron los registros de precipitación con el fin de verificar si existía correlación entre la capacidad de arrastre de las fuentes superficiales para el caso del material extraído de río y el material granular. Tanto para los análisis de agregados finos como de gruesos se tomaron muestras representativas tomadas mediante procedimientos de cuarteo de forma manual.

**Tabla 3.** Ensayos realizados y su correspondiente norma.  
**Table 3.** Type of Test and their corresponding standard.

| AGREGADO GRUESO                                   | NORMA        | AGREGADO FINO                                     | NORMA    |
|---|--------------|---|----------|
| Pérdida en ensayo de solidez con sulfato de sodio | INVE-220     | Pérdida en ensayo de solidez con sulfato de sodio | INVE-220 |
| Análisis granulométrico                           | INVE-123     | Análisis granulométrico                           | INVE-123 |
| Desgaste en la máquina de los Ángeles             | INVE-218     | Límite líquido                                    | INVE-125 |
| Terrones de arcilla y partículas deleznales       | INVE-211     | Índice de plasticidad                             | INVE-126 |
| Índice de alargamiento y aplanamiento             | INVE-230-227 | Equivalente de Arena                              | INVE-133 |
| Peso específico y absorción                       | INVE-222     | Terrones de arcilla y partículas deleznales       | INVE-211 |
| Caras fracturadas                                 |              | Contenido de materia orgánica                     | INVE-212 |
|   |              | Peso específico y absorción                       | INVE-222 |

Fuente: Tomado y adaptado de Norma INVIAS, 2007 [19].

#### 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

##### 4.1 Con respecto al procedimiento de explotación del material

Las canteras visitadas tienen unas labores de explotación mecanizada y se rigen por la normatividad ambiental colombiana para este tipo de actividad. Las labores princi-

pales realizadas corresponden a extracción, trituración, selección y acopio. Para la extracción, normalmente se utiliza retroexcavadora, cargador y volqueta. En cuanto la trituración, ésta se realiza con trituradoras de impacto que mediante los martillos permiten el ajuste del material a tamaños deseados. Finalmente, en la selección y acopio del material, el mismo es clasificado y agrupado en tamaños de 1", ¾", arena gruesa y arena fina (figura 3).

Figura 3. Localización de la Fuente Trituradora la Fortuna Rio Suratá.

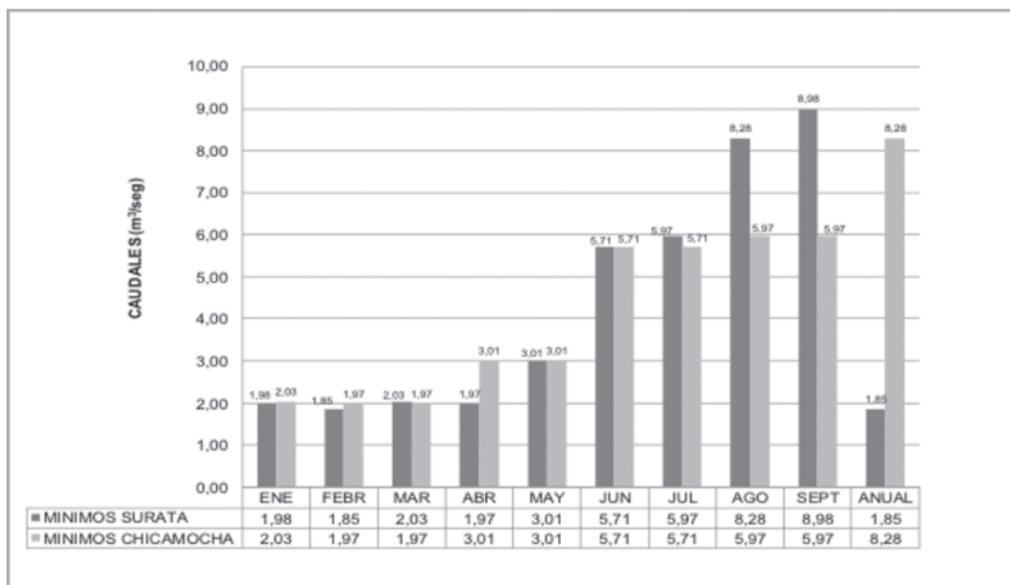
Figure 3. Location at Rio Suratá Crusher Source.



Fuente: Tomado y adaptado de [16].

Figura 4. Caudales mínimos reportados en Cuenca de los ríos Suratá y Chicamocho.

Figure 4. Minimum flow at rivers in Suratá and Chicamocho Basins.



Fuente: Tomado y adaptado de Malagón y Suarez [16].

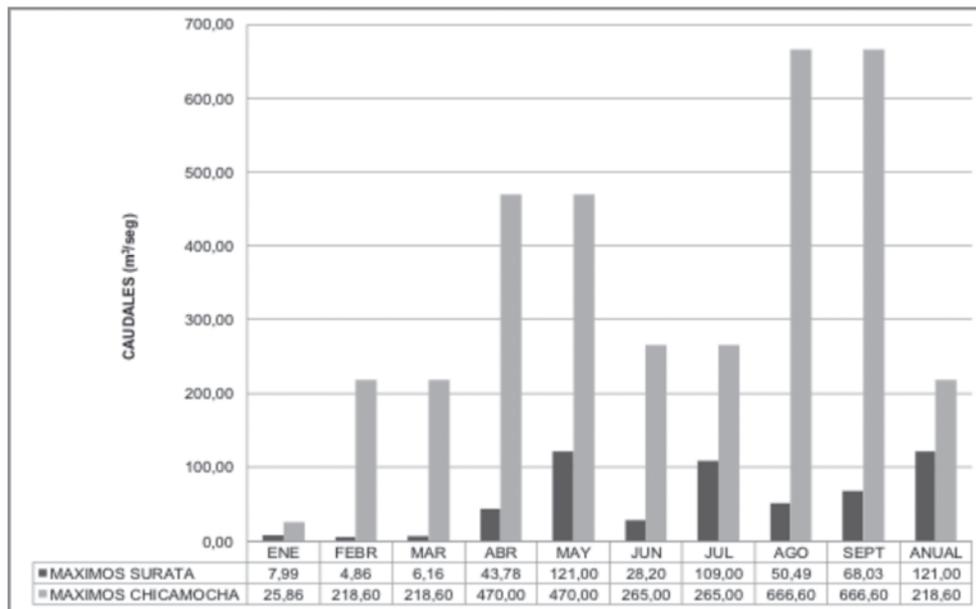
#### 4.2 Con respecto al proceso de precipitación en al área de influencia de las canteras

La zona de influencia de las canteras corresponde a las cuencas del río Chicamocha y del río Suratá. La cuenca del río Chicamocha se caracteriza por su clima tropical, por tener dos periodos húmedos (abril-junio y septiembre-noviembre) y dos secos a lo largo del año [16]. La del río Suratá, por tener una precipitación con tendencia bimodal y con periodos

lluviosos normalmente entre los meses de marzo–mayo y septiembre– noviembre) y dos secos en los meses de diciembre-febrero y junio-agosto [17]. Las figuras 4 y 5 muestran el comportamiento de los caudales de los ríos Chicamocha y Suratá durante el tiempo del muestreo.

Un incremento en la intensidad y en la duración de las precipitaciones favorece el arrastre de materiales, principalmente orgánicos y de tipo arcilloso, que usualmente son difíciles

**Figura 5.** Caudales máximos reportados en Cuenca de los ríos Suratá y Chicamocha.  
**Figure 5.** Minimum flow at rivers in Suratá and Chicamocha Basins.



Fuente: Tomado y adaptado de [16].

de remover del material recuperado afectando la calidad del agregado tanto grueso como fino. Partiendo de información de caudales máximos y mínimos registrados según información suministrada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM durante el tiempo del estudio, se analizaron las variaciones de las propiedades mecánicas de estos agregados.

#### 4.3 Identificación de variaciones mecánicas en las propiedades del material recuperado luego de los episodios de pluviosidad en la Cuenca de Pescadero y Suratá

Los resultados de las pruebas mecánicas de agregados de Pescadero y Suratá demostraron que la Cuenca de Sura-

tá cumple en mayor proporción las condiciones de calidad para agregados a ser utilizados en preparación de concretos (tablas 4, 5, 6 y 7). Particularmente, se observó que la granulometría del material de la fuente de Pescadero no cumplió en la quincena sexta, séptima y novena, lo cual puede explicarse por una deficiente calidad de la muestra seleccionada para los análisis. En cuanto al ensayo de aplanamiento, se observaron variaciones en ambas fuentes, siendo la de Suratá la que presentó un 20% del comportamiento por encima de lo permitido, frente al 40% que presentó la fuente de Pescadero. En ambas Cuencas se observó que los valores de gravedad específica no cumplían en varios periodos.

**Tabla 4.** Resultados de pruebas mecánicas en agregados finos provenientes de la Cuenca de Pescadero.  
**Table 4.** Test results in fine aggregates coming from Pescadero Basin.

| PESCADERO    | GRANULOMETRIA | EQUIVALENTE DE ARENA (%) | GRAVEDAD ESPECIFICA (Kg/m <sup>3</sup> ) | MATERIA ORGANICA | SANIDAD | GRADO DE CUMPLIMIENTO   |
|--------------|---------------|--------------------------|--|------------------|---------|---|
| 1ª QUINCENA  | cumple        | 86,67                    | 2,67                                     | 1,00             | 4,5     | Todos los parámetros cumplen  |
| 2ª QUINCENA  | cumple        | 77,42                    | 5,26                                     | 1,00             | 3,5     | El parámetro gravedad específica no cumplió. Los demás parámetros si cumplen. |
| 3ª QUINCENA  | cumple        | 86,21                    | 3,52                                     | 1,00             | 4,1     | Todos los parámetros cumplen  |
| 4ª QUINCENA  | cumple        | 91,67                    | 4,38                                     | 1,00             | 2,5     | El parámetro gravedad específica no cumplió. Los demás parámetros si cumplen. |
| 5ª QUINCENA  | cumple        | 84,75                    | 4,38                                     | 1,00             | 3,2     | El parámetro gravedad específica no cumplió. Los demás parámetros si cumplen. |
| 6ª QUINCENA  | no cumple     | 78,67                    | 10,38                                    | 1,00             | 2,6     | No cumplieron ni el rango de granulometría ni la gravedad específica.         |
| 7ª QUINCENA  | no cumple     | 82,86                    | 8,46                                     | 1,00             | 3,8     | No cumplieron ni el rango de granulometría ni la gravedad específica.         |
| 8ª QUINCENA  | cumple        | 85,71                    | 5,04                                     | 1,00             | 3,9     | El parámetro gravedad específica no cumplió. Los demás parámetros si cumplen. |
| 9ª QUINCENA  | no cumple     | 94,09                    | 4,17                                     | 1,00             | 4,4     | No cumplieron ni el rango de granulometría ni la gravedad específica.         |
| 10ª QUINCENA | cumple        | 93,33                    | 5,66                                     | 1,00             | 3,9     | El parámetro gravedad específica no cumplió. Los demás parámetros si cumplen. |

Fuente: Tomado y adaptado de [16].

**Tabla 5.** Resultados de pruebas mecánicas en agregados gruesos provenientes de la Cuenca de Pescadero.  
**Table 5.** Test results in coarse aggregates coming from Pescadero Basin.

| PESCADERO    | GRANULOMETRIA | INDICE DE APLANAMIENTO | INDICE DE ALARGAMIENTO | %CARAS FRACTURADAS | % DE PERDIDAS POR DESGASTE | SANIDAD | GRADO DE CUMPLIMIENTO                   |
|--------------|---------------|------------------------|------------------------|--------------------|----------------------------|---------|---|
| 1ª QUINCENA  | Cumple        | 19,212                 | 15,637                 | 9,66               | 25,08                      | 1,07    | Todos los parametros cumplen.           |
| 2ª QUINCENA  | Cumple        | 26,18                  | 14,72                  | 3,88               | 25,78                      | 2,43    | Todos los parametros cumplen.           |
| 3ª QUINCENA  | Cumple        | 27,38                  | 36,86                  | 18,65              | 17,62                      | 0,00    | Todos los parametros cumplen.           |
| 4ª QUINCENA  | Cumple        | 22,85                  | 17,47                  | 9,86               | 28,58                      | 3,31    | Todos los parametros cumplen            |
| 5ª QUINCENA  | Cumple        | 22,59                  | 18,13                  | 6,56               | 23,61                      | 0,10    | Todos los parametros cumplen.           |
| 6ª QUINCENA  | Cumple        | 13,93                  | 12,13                  | 18,19              | 28,16                      | 0,69    | No cumple aplanamiento.                 |
| 7ª QUINCENA  | Cumple        | 20,29                  | 19,49                  | 9,70               | 26,48                      | 0,14    | Todos los parametros cumplen.           |
| 8ª QUINCENA  | Cumple        | 25,31                  | 17,53                  | 7,01               | 26,06                      | 1,04    | Todos los parametros cumplen.           |
| 9ª QUINCENA  | Cumple        | 20,15                  | 16,72                  | 12,93              | 26,36                      | 1,24    | No cumple aplanamiento ni alargamiento. |
| 10ª QUINCENA | Cumple        | 25,04                  | 19,72                  | 11,99              | 31,32                      | 1,17    | Todos los parametros cumplen.           |

Fuente: Tomado y adaptado de [16].

**Tabla 6.** Resultados de pruebas mecánicas en agregados finos provenientes de la Cuenca de Suratá.  
**Table 6.** Test results in fine aggregates coming from Suratá Basin.

| SURATA       | GRANULOMETRIA | EQUIVALENTE DE ARENA (%) | GRAVEDAD ESPECIFICA (Kg/m <sup>3</sup> ) | MATERIA ORGANICA | SANIDAD | GRADO DE CUMPLIMIENTO                             |
|--------------|---------------|--------------------------|--|------------------|---------|---|
| 1ª QUINCENA  | cumple        | 78,13                    | 7,99                                     | 1,00             | 6,8     | No cumple la gravedad específica                  |
| 2ª QUINCENA  | cumple        | 74,29                    | 9,17                                     | 1,00             | 6,7     | No cumple la gravedad específica                  |
| 3ª QUINCENA  | cumple        | 84,38                    | 8,23                                     | 1,00             | 5,3     | No cumple la gravedad específica                  |
| 4ª QUINCENA  | cumple        | 89,66                    | 7,53                                     | 1,00             | 4,4     | No cumple la gravedad específica                  |
| 5ª QUINCENA  | cumple        | 90,32                    | 8,93                                     | 1,00             | 3,8     | No cumple la gravedad específica                  |
| 6ª QUINCENA  | no cumple     | 94,34                    | 4,82                                     | 1,00             | 4,1     | No cumple la granulometría ni cumple la gradación |
| 7ª QUINCENA  | no cumple     | 89,55                    | 2,88                                     | 1,00             | 3,8     | No cumple granulometría                           |
| 8ª QUINCENA  | cumple        | 95,45                    | 2,04                                     | 1,00             | 5,6     | Cumple todos los parámetros                       |
| 9ª QUINCENA  | No cumple     | 97,18                    | 2,67                                     | 1,00             | 4,9     | No cumple la granulometría.                       |
| 10ª QUINCENA | cumple        | 92,86                    | 1,48                                     | 1,00             | 4,4     | Cumplen todos los parámetros                      |

Fuente: Tomado y adaptado de [16].

**Tabla 7.** Resultados de pruebas mecánicas en agregados gruesos provenientes de la Cuenca de Suratá.  
**Table 7.** Test results in coarse aggregates coming from Suratá Basin.

| SURATA       | GRANULOMETRIA | INDICE DE APLANAMIENTO | INDICE DE ALARGAMIENTO | %CARAS FRACTURADAS | % DE PERDIDAS POR DESGASTE | SANIDAD | GRADO DE CUMPLIMIENTO  |
|--------------|---------------|------------------------|------------------------|--------------------|----------------------------|---------|--|
| 1ª QUINCENA  | Cumple        | 15,18                  | 13,09                  | 4,31               | 25,09                      | 2,90    | Cumplen todos los parámetros   |
| 2ª QUINCENA  | Cumple        | 12,94                  | 23,54                  | 7,46               | 25,09                      | 2,90    | Cumplen todos los parámetros   |
| 3ª QUINCENA  | Cumple        | 14,48                  | 15,64                  | 5,77               | 23,35                      | 4,19    | Cumplen todos los parámetros   |
| 4ª QUINCENA  | Cumple        | 19,27                  | 18,84                  | 15,67              | 26,47                      | 5,22    | Cumplen todos los parámetros   |
| 5ª QUINCENA  | Cumple        | 15,10                  | 19,32                  | 15,54              | 26,29                      | 0,82    | Cumplen todos los parámetros   |
| 6ª QUINCENA  | Cumple        | 29,39                  | 13,16                  | 3,72               | 29,36                      | 1,27    | No cumple en índice de aplanamiento. El resto de parámetros si cumple. |
| 7ª QUINCENA  | Cumple        | 16,34                  | 7,24                   | 18,99              | 31,96                      | 0,37    | Cumplen todos los parámetros   |
| 8ª QUINCENA  | Cumple        | 22,95                  | 20,23                  | 13,12              | 29,98                      | 2,52    | Cumplen todos los parámetros   |
| 9ª QUINCENA  | Cumple        | 31,19                  | 20,23                  | 13,12              | 29,98                      | 2,89    | No cumple el índice de aplanamiento. El resto de parámetros si cumple. |
| 10ª QUINCENA | Cumple        | 21,50                  | 14,50                  | 8,96               | 28,45                      | 2,97    | Cumplen todos los parámetros   |

Fuente: Tomado y adaptado de [16].

## 5. CONCLUSIONES

De acuerdo al estudio realizado se deduce que el incremento en la intensidad y en la duración de las precipitaciones favorece el arrastre de materiales orgánicos y de tipo arcilloso, difíciles de remover del material recuperado, lo cual puede afectar la calidad del agregado tanto grueso como fino. Sin embargo, no se observó relación directa entre las variaciones en las propiedades mecánicas de los agregados procedentes de los ríos Pescadero y Suratá y la precipitación se concluye que los cambios en dichas propiedades pueden deberse al proceso de selección y ajuste del material con fines comerciales más no por efecto de las precipitaciones y caudales de los ríos.

El procedimiento de explotación de los agregados en las canteras visitadas implica labores mecanizadas que se rigen por la normatividad ambiental colombiana para este tipo de actividad. Las etapas que sigue esta actividad comercial son extracción, trituración, selección y acopio. La maquinaria utilizada para la labor de explotación corresponde a retroexcavadora, cargador y volqueta. En cuanto a la trituración, se observó que las canteras incluidas en el estudio utilizan trituradoras de impacto para ajustar el material a los tamaños deseados, proporcionando diversidad de tamaños de acuerdo a los requerimientos de los clientes.

Los ensayos realizados se ajustaron a las normas técnicas de calidad para ensayo de materiales a ser utilizados en concreto y a las normas del Instituto Nacional de Vías, las cuales están disponibles para el gremio de la construcción. Se observó que el material de cada una de las fuentes cumple en la mayoría de los casos con las especificaciones para concreto hidráulico, siendo la fuente de Suratá la que presentó un 86.6% del cumplimiento frente al 71.3% de los ensayos de Pescadero. En general, la calidad de los agregados de la región es apta para su uso en la industria de la construcción y particularmente en concretos y morteros.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan los agradecimientos a los ingenieros civiles Aydy Yulieth Suarez Afanador y Jimmy Leonardo Malagón Díaz egresados de la Universidad Pontificia Bolivariana, por su colaboración en el trabajo desarrollado en el laboratorio.

A la Dirección General de Investigaciones, al grupo de Investigación en Detección de Contaminantes y Remediación DeCoR, la Facultad de ingeniería Civil y a la coordinación de los Laboratorios de Ingeniería Civil, así como también a las empresas explotadoras de los agregados pétreos por la disponibilidad para acceder a los materiales que fueron analizados.

## REFERENCIAS

- [1] Osorio-Soto, G., El sector de la Construcción y los avances en la Tecnología del Concreto, Ciencia UANL, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México, X (002), 189-191, 2007.
- [2] Chan-Yam, J.L., Solís Carcaño, R., Moreno, E. I., Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto, Ingeniera Revista Académica, 7 (002), 39-46, 2003.
- [3] Serrano-Guzmán, M.F., Ferreira-Díaz, J.S., Aprovechamiento de escombros para la producción de concreto, II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, Barranquilla, 24 y 25 de Septiembre, 2009.
- [4] Serrano, M.F., Elaboración de adoquines utilizando escombros como una proporción del agregado grueso, Reporte de Investigación financiada por la Dirección General de Investigaciones de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, 2010.
- [5] Serrano, M.F., Elaboración de adoquines utilizando escombros como proporción del agregado grueso, Puente Revista Científica, 4 (1) 19-25, 2010.
- [6] Serrano-Guzmán, M.F., Pérez-Ruiz, D.D., Concreto preparado con residuos industriales: resultado de alianza empresa universidad, Revista educación en Ingeniería, 11, 1-11, 2011a.
- [7] Serrano-G, M. F., Torrado, L. M., Porras, N., Concreto Reciclados: Estimación del Modulo de elasticidad en concreto reciclado, Construcción y Tecnología en Concreto, 1, 9, 2011.
- [8] Álvarez Lugo, A.E., Arámbula Mercado, E., Spinel, S. C., Tomografía computarizada con rayos-x y sistema de imágenes de agregados (AIMS) para el estudio de mezclas asfálticas y agregados, Ingeniería e Investigación, Universidad Nacional de Colombia, 28, 002, 2008.
- [9] Delgado Rúgeles, R. A., Delgado Rúgeles, E. D., Mejoramiento de la resistencia a la flexión del concreto con adición de viruta de acero con porcentajes 6, 8, 10, 12% y 14% respecto al agregado fino de la mezcla. Trabajo de Grado, Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, 2008.
- [10] García Badillo, A., Mejoramiento del Concreto con Adición de Viruta de Acero a Porcentajes de 12 y 14% Respecto al Agregado Fino de la Mezcla, Trabajo de Grado, Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, 2008.

- [11] García Córdova, H. A., Sarmiento Gutiérrez, J. E., Comparación de la calidad de las propiedades de los agregados disponibles para concreto, Trabajo de Grado, Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, 2008.
- [12] Suarez González, O. A., , Vargas Rincón, A. M., Análisis, observación y comportamiento estadístico en función del tiempo de una mezcla de concreto de 3000 psi con adición de viruta de acero en porcentajes de 9%, 10% y 11% respecto al agregado fino, Trabajo de Grado, Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, 2008.
- [13] Torrado Gómez, L. M., Porras Álvarez, N. A., Determinación de las ecuaciones del módulo de elasticidad estático y dinámico del concreto producido en Bucaramanga y su Área Metropolitana, Trabajo de Grado, Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, 2009.
- [14] García Calderón, J. A., Determinación de la Correlación entre el módulo de rotura y la resistencia al a compresión del concreto, Trabajo de Grado, Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, 2010.
- [15] Parra Maya, K. M., Bautista Moros, M. A., Diseño de una mezcla de concreto utilizando residuos industriales y escombros. Trabajo de Grado, Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, 2010.
- [16] Malagón, J.L., Suarez, A.Y., Comparación de la calidad de las propiedades de los agregados disponibles para concreto. Tesis de grado. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, 2012.
- [17] Corporación Autónoma Regional para la defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB) Bucaramanga, Julio de 2009. Estudio básico para la declaratoria de un área natural protegida en el Cañón del Chicamocha – jurisdicción CDMB. Convenio de Cooperación No. 5887 – 17. Fundación para la conservación.
- [18] [www.google.earth](http://www.google.earth), consultado 8 de enero de 2012.
- [19] INVIAS, Instituto Nacional de Vías, Especificaciones Técnicas. Artículo 630 – 07.