



Libertad y Orden

**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
INGEOMINAS**

***PROGRAMA DE EXPLORACIÓN DE MATERIALES DE
CONSTRUCCIÓN EN COLOMBIA***

INFORME TÉCNICO

Bogotá, diciembre de 2010

**República de Colombia
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA
INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA**



**REPÚBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA
INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
INGEOMINAS**

**RECURSOS DEL SUBUSELO
PROYECTO SUB09 – 25**

***PROGRAMA DE EXPLORACIÓN DE MATERIALES DE
CONSTRUCCIÓN EN COLOMBIA***

INFORME TÉCNICO

Por

**Juan María Montero Olarte (Asesor)
Leonardo Alfonso González Díaz**

Bogotá, diciembre de 2010

CONTENIDO

1.	CAPÍTULO PRIMERO ANTECEDENTES	19
2.	CAPÍTULO SEGUNDO OBJETO Y ALCANCES DEL PROYECTO EN EL 2010.....	21
2.1.	OBJETO.....	21
2.2.	ALCANCES.....	21
3.	CAPITULO TERCERO EVALUACIÓN DE ANTECEDENTES	23
3.1.	PERÍODO 1980-1989.....	23
3.1.1.	Antecedentes	23
3.1.2.	Clasificación petrológica de agregados para pavimentos, tesis de posgrado en geotecnia del geólogo J. Montero-Olarte UNAL (1980).....	24
3.2.	MOPT-UNAL 1982-1989.....	32
3.3.	PERÍODO 2008 – 2009	37
4.	CAPITULO CUARTO METODOLOGIA	38
5.	CAPITULO QUINTO RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN BÁSICA.....	40
5.1.	BASE CONCEPTUAL.....	40
5.1.1.	Correlaciones Petrología – Calidad	40
5.1.2.	Gradación.....	41
5.1.3.	Equivalente arena (ASTM 2419)	42
5.1.4.	Forma del agregado	43
5.1.5.	Discusión	44
5.1.6.	Valor de Impacto AIV.....	45
5.1.7.	Valor de trituración del agregado ACV.....	45
5.1.8.	Índice de 10% de finos	46
5.1.9.	Durabilidad y Susceptibilidad al Frost.....	47
5.1.10.	Discusión sobre los ensayos de durabilidad	50
5.1.11.	Reactividad mineral	52
5.1.12.	Reactividad álcalis-sílica (RAS)	52
5.1.13.	Ataque de sulfatos	55
5.1.14.	Liga pétreo - asfalto	56
5.2.	CAPACITACIÓN	56

5.3	BASE TÉCNICA.....	56
5.3.1	Diagnóstico de la información extraída de los archivos físicos del centro de información de INGEOMINAS (CDI)	56
5.3.2	Información extraída en campo.....	65
5.3.3	Verificación y georreferenciación de fuentes de materiales en el departamento del Meta.....	70
5.3.4	Verificación y georeferenciación de fuentes de materiales en el departamento de Boyacá.....	71
5.3.5	Diagnostico de la Información de INVIAS	76
6.	CAPITULO SEXTO GUÍA Y FORMATOS DE EXPLORACIÓN	86
6.1	ANTECEDENTES.....	86
6.2	PROPÓSITOS DE LA EXPLORACIÓN DE FUENTES DE MATERIALES.....	86
6.3	ETAPAS DE INVESTIGACIÓN.....	87
6.4	RECOMENDACIONES SOBRE DESCRIPCIÓN DE LAS ROCAS EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN	88
6.4.1	Minerales inestables que se recomienda identificar	88
6.4.2	Condición de las rocas	88
6.5	INSTRUCTIVO PARA EL DILIGENCIAMIENTO DEL FORMATO DE EXPLORACIÓN	91
7.	CAPÍTULO SEPTIMO DISPONIBILIDAD Y DISTRIBUCIÓN DE LAS FUENTES DE MATERIALES DE DIFERENTE CALIDAD EN EL PAÍS	100
7.1	GENERALIDADES	100
7.1.1	Geología y clima en Colombia.....	101
7.2	VALIDACIÓN DEL INVENTARIO	107
7.2.1	Organización de la información	107
7.2.2	Datos de calidad para las diferentes familias	109
7.2.3	Validación de la Información	154
8.	CAPÍTULO OCTAVO ZONAS ESTRATEGICAS DE DEMANDA DE MATERIALES	160
8.1	INTRODUCCIÓN.....	160
8.2	ANÁLISIS DE DEMANDA.....	160
8.2.1	Autopistas para la competitividad y conectividad vial	160
8.2.2	Red Vial Nacional	166
8.2.3	Malla vial de Bogotá D.C.....	168
8.2.4	Proyectos hidroenergéticos de importancia con demanda de materiales.....	169
8.2.5	Aeropuertos y obras portuarias.....	170
8.3	ZONAS ESTRATÉGICAS DE DEMANDA.....	171



9.	CAPITULO NOVENO ACTULIZACIÓN DEL INVENTARIO EN CUNDINAMARCA, META Y BOYACÁ.....	174
9.1	INTRODUCCIÓN.....	174
9.2	ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE MATERIALES EN EL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA.....	174
9.2.1	Organización de la información	174
9.2.2	Datos de calidad para las diferentes familias	176
9.2.3	Materiales en el Departamento de Boyacá	206
9.3	MATERIALES EN EL DEPATAMENTO DE META	228
10.	CAPITULO DECIMO PROPUESTA DEL PROGRAMA DE EXPLORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN	244
10.1	RECAPITULACIÓN	244
10.2	PROPUESTA DEL PROGRAMA DE EXPLORACIÓN PARA LOS PROXIMOS 5 AÑOS.....	245
10.3	PROYECTO DE EXPLORACIÓN PREVISTO PARA EL AÑO 2011... ..	246
10.3.1	Personal requerido.....	246
10.3.2	Actividades previstas de Exploración y Caracterización.....	248
11.	CAPÍTULO ONCE CONCLUSIONES	250
12.	BIBLIOGRAFÍA.....	252

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Curvas acumulativas de distribución de Valores de desgaste, Tomado de la British Standards Institution- BSI (1951).	24
Figura 2. Sección de muestreo a través de los Andes.	25
Figura 3. Tipos de fábrica, Montero J., González A. J. y Ángel G. (1982).....	29
Figura 4. Curvas acumulativas de distribución para la resistencia al desgaste con base en las cuales se estableció la jerarquía de los grupos.....	30
Figura 5. Frecuencia acumulada relativa de desgaste.	37
Figura 6. Forma de los agregados Geol. Soc. Eng. Geol. S.R.N17, (2001) ed. por Smith & Collins página 173.	43
Figura 7. Terminología para describir el grado de meteorización de las rocas (con base en geological society of london, 1990).	96
Figura 7-a. Zona de convergencia Andina y subducción.....	100
Tomada de E. J. Tarbuck and F.K. Lutgens (2005).	100
Figura 7-b. Periodo de sublevantamiento y erosion que sigue a la subducción.	101
Tomada de E. J. Tarbuck and F.K. Lutgens (2005).	101
Figura 8. Interacción de placas y formación de terrenos geológicos.....	102
Fuente: Restrepo J. J. y Toussaint J. F., 1988.....	102
Figura 9. Formación de cuencas sedimentarias en los dominios definidos por la evolución geológica de las placas y terrenos geológicos.....	103
Figura 10. Distribución de las rocas en Colombia- INGEOMINAS	105
Figura 11. Distribución de la lluvia en Colombia. http://www.todacolombia.com/geografia/mapas/mapalluviascolombia.gif	106
Figura 12. Frecuencia Relativa Acumulada en función del Desgaste, para la Familia I que corresponde al basalto, Diabasa, Andesita, Otras Rocas.....	110
Figura 13. Curvas de absorción en gravas para la Familia I compuesta de basalto, Diabasa, Andesita y otras Rocas.....	115
Figura 14. Frecuencia relativa acumulada en función de la absorción en arenas,	115
para la Familia I para Basalto, Diabasa, Andesita y Otras Rocas.	115
Figura 15. Frecuencia Relativa Acumulada en función del Desgaste, para la Familia II que corresponde al Calizas y Calizas Bioclástica.....	118
Figura 16. Frecuencia Relativa Acumulada en función de la absorción en Gravas, para la Familia II que corresponde al Calizas y Calizas Bioclástica ..	122
Figura 17. Frecuencia Relativa Acumulada en función de la absorción en Arenas, para la Familia II que corresponde al Calizas y Calizas Bioclástica. .	123

Figura 18. Comparación de Calidad de la resistencia al desgaste de las calizas de los Departamentos de Cundinamarca y Boyacá, estudio piloto y General del País.....	125
Figura 19. Frecuencia Relativa Acumulada en función del desgaste en areniscas y conglomerados, para la Familia III.	126
Figura 20. Frecuencia Relativa Acumulada en función de Absorción de Gravas.	128
Figura 21. Frecuencia Relativa Acumulada en función de Absorción de Arenas.	129
Figura 22. Comparación de Calidad de la resistencia al desgaste de la Familia III de los Departamentos de Cundinamarca y Boyacá, estudio piloto y General del País.	131
Figura 23. Frecuencia relativa acumulada en función de desgaste, para la Familia I que corresponde a las foliadas y lutitas.....	132
Figura 24. Frecuencia Relativa Acumulada en Función de la absorción en Gravas para la Familia IV.....	135
Figura 25. Frecuencia Relativa Acumulada en Función de la absorción en Arenas para la Familia IV.....	136
Figura 26. Frecuencia Relativa Acumulada en Función del DMA para la Familia IV comparada con Sabana de Bogotá, Cundinamarca y Boyacá.....	138
Figura 27. Frecuencia Relativa Acumulada en Función del desgaste para la Familia IV.	139
Figura 28. Frecuencia relativa acumulada en función de absorción gravas Familia V.....	142
Figura 29. Frecuencia Relativa acumulada en función de Absorción Arenas Familia V.	142
Figura 30. Frecuencia Relativa acumulada en función de DMA para la familia V.	144
Figura 31. Frecuencia Relativa acumulada en función de Desgaste Familia VI.	145
Figura 32. Absorción Gravas Familia VI.....	147
Figura 33. Frecuencia Relativa acumulada en función de Absorción Arenas Familia VI.	149
Figura 34. Frecuencia Relativa acumulada en función de DMA en comparación Colombia, Sabana de Bogotá, Cundinamarca y Boyacá.	150
Figura 35. Frecuencia Relativa acumulada en función de DMA para la Familia Arenas VII.	151
Figura 36. Frecuencia Relativa acumulada en función de Absorción Gravas Familia VII.	152
Figura 37. Frecuencia Relativa acumulada en función de Absorción Arenas Familia VII.	153
Figura 38. Frecuencia Relativa acumulada en función de DMA comparada para Colombia, Sabana de Bogotá, Cundinamarca y Boyacá.	154
Figura 39. Distribución de los agregados en Colombia.	159

Figura 40. Ruta del Sol Fuente: INCO.....	161
Figura 41. Autopista de Las Américas Fuente: INCO.....	162
Figura 42. Autopista de la Montaña Fuente: INCO.....	163
Figura 43. Ruta los Comuneros Bogotá Cúcuta Fuente: INCO.	164
Figura 44. Autopistas del Llano	165
Figura 45. Red Vial Nacional Fuente: INVIAS 2006.	167
Figura 46. Base de Datos del Inventario y Diagnóstico de la Malla Vial.....	168
Fuente: IDU Diciembre de 2009.....	168
Figura 47. Base de Datos del Inventario y Diagnóstico de la Malla Vial.....	169
Fuente: IDU a Diciembre de 2009.....	169
Figura 48. Aeropuertos Fuente DNP.	170
Figura 49. Sociedades Portuarias Regionales Fuente DNP.....	171
Figura 50. Frecuencia relativa acumulada en función del DMA.	176
Figura 51. Desgaste Familia III.....	181
Figura 52. Desgaste Familia IV.	186
Figura 53. Desgaste Familia IV.	190
Figura 54. Desgaste Familia VII.	194
Figura 55. Desgaste Familia AIM.	198
Figura 56. Frecuencia Relativa Acumulada en función de DMA Familia AS. .	201
Figura 57. Frecuencia relativa acumulada en función DMA % familia AS.....	203
Figura 58. Desgaste Familia II.....	207
Figura 59. Frecuencia relativa acumulada en función del % DMA para la Familia II.	211
Figura 60. Relativa frecuencia acumulada en función del % DMA.....	216
Figura 61. Frecuencia relativa acumulada en función DMA %.....	219
Figura 62. Frecuencia relativa acumulada en función DMA %.....	222
Figura 63. Relativa frecuencia, acumulada en función DMA % Familia VII.	225

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Agrupación de las rocas de acuerdo con su calidad según la British Standards Institution- BSI (1951).....	25
Tabla 2. Detalle del muestreo en la sección Andina.	26
Tabla 3. Correlación de ensayos de calidad con factores geológicos de composición, textura y fábrica, evaluados a partir de la apreciación (A) o descripción (D) de atributos físicos sencillos.	27
Tabla 4. Atributos petrológicos para la clasificación de los agregados pétreos.....	28
Tabla 5. Clasificación de los agregados en grupos de calidad similares y datos de calidad.	30
Tabla 6. Datos de calidad tenidos en cuenta al valorar las rocas de diferentes familias y litologías.	31
Tabla 7. Breve análisis de las características de las siete familias o grupos.	31
Tabla 8. Datos de resistencia de las distintas familias en los estudios de 1989.	33
Tabla 9-a. Resumen de las tendencias de calidad de las familias 01, 02, 03 y 07.	34
Tabla 9-b. Resumen de las tendencias de calidad de las familias 04, 05, 06.	34
Tabla 10. Correlación entre solicitaciones de comportamiento y ensayos de calidad, teniendo en cuenta los atributos geológicos y ambientales de dependencia. (j. Montero 2003).	41
Tabla 11. Ensayos comunes de evaluación de agregados pétreos tomado de geol. soc. eng. geol. s.r.n17, (2001) ed. por smith &. collins página 172.	42
Tabla 12. Resultados de ensayos de AIV y ACV para rocas de la Gran Bretaña geol. soc. eng. geol. s.r.n17, (2001) ed. por Smith &. Collins página 178.	46
Tabla 13. Rocas y minerales susceptibles a la reacción Álcali - Sílica tomado de Krynine y Judd (1980) página 393.....	53
Tabla 14. Disponibilidad y distribución de fuentes de materiales en el departamento del Meta.....	68
Tabla 15. Disponibilidad y distribución de fuentes de materiales en el departamento del Meta.....	69
Tabla 16. Disponibilidad y distribución de fuentes de materiales en el departamento del Meta.....	69

Tabla 17. Tamaños mínimos para muestras de depósitos no desarrollados de arena y grava.	90
Tabla 18. Clasificación de las rocas en general según su textura (fábrica), Adaptada de Montero, González & Ángel, 1982.	95
Tabla 19. Nivel o escala de dureza.	97
Tabla 20. Revestimientos externos	99
Tabla 21. Rango de datos de DMA y agrupación para evaluar el ensayo de desgaste.	108
Tabla 22. Rango de absorción para graficar el mencionado ensayo.	108
Tabla 23. Total desgaste Familia I: basalto, diabasa, andesita y otras rocas.	110
Tabla 24. Total solidez gravas Familia I	112
Tabla 25. Total Solidez Finos para la Familia I	112
Tabla 26. Total adherencia en frasco para la Familia I.	113
Tabla 27. Total adherencia en bandeja para la Familia I.	114
Tabla 28. Total desgaste Familia II.	116
Tabla 29. Total índices de forma Familia II.	117
Tabla 30. Total Solidez en Gruesos Familia II correspondiente a Caliza (micrita) y Caliza Bioclástica.	119
Tabla 31. Total adherencia en frasco para la Familia II, correspondiente a caliza (micrita) y caliza bioclástica.	119
Tabla 32. Total adherencia en bandeja para la Familia II, correspondiente a caliza (micrita) y caliza bioclástica.	120
Tabla 33. Total absorción gravas para la Familia II, correspondiente a Caliza (micrita) y Caliza Bioclástica.	121
Tabla 34. Total absorción arenas para la Familia II.	122
Tabla 35. Total índices de forma para la Familia II, correspondiente a caliza (micrita) y caliza bioclástica índice de aplanamiento (IAP), índice de alargamiento (IAL).	124
Tabla 36. Total desgaste familia III, correspondiente a areniscas y conglomerados edad del cretáceo – paleozoico.	126
Tabla 37. Total solidez Familia III, correspondiente a areniscas y conglomerados edad del cretáceo – paleozoico.	127
Tabla 38. Total adherencia f Familia III, correspondiente a areniscas y conglomerados edad del cretáceo – paleozoico.	127
Tabla 39. Total adherencia b Familia III, correspondiente a areniscas y conglomerados edad del cretáceo – paleozoico.	127
Tabla 40. Total absorción en gravas Familia III, correspondiente a areniscas y conglomerados edad del cretáceo – paleozoico.	128
Tabla 41. Total absorción en arenas Familia III, correspondiente a areniscas y conglomerados edad del cretáceo – paleozoico.	129
Tabla 42. Total índices de forma para la Familia III, correspondiente a areniscas y conglomerados edad del cretáceo – paleozoico, índice de aplanamiento (IAP), índice de alargamiento (IAL).	130

Tabla 43. Total desgaste Familia IV, rangos, no. Datos, frecuencia relativa, relativa acumulada, promedio, desviación estándar, coeficiente de variación, agrupación.....	132
Tabla 44. Total solidez gravas Familia VI, referidos al rango, no. Datos, frecuencia absoluta, frecuencia relativa, con el promedio, desviación estándar, coeficiente de variación.....	133
Tabla 45. Total solidez finos Familia VI, referidos al rango, no. Datos, frecuencia absoluta, frecuencia relativa, con el promedio, desviación estándar, coeficiente de variación.....	133
Tabla 46. Total Adherencia en Frasco la Familia VI.	134
Tabla 47. Total adherencia en bandeja la Familia VI.	134
Tabla 48. Absorción gravas Familia IV.....	134
Tabla 49. Absorción arenas Familia IV.....	136
Tabla 50. Índices de forma Familia IV.....	137
Tabla 51. Desgaste Familia V.	138
Tabla 52. Total solidez gravas Familia V.....	139
Tabla 53. Total solidez finos Familia V.....	140
Tabla 54. Total adherencia finos Familia V.	140
Tabla 55. Total adherencia bandeja Familia V.	140
Tabla 56. Total absorción gravas Familia V.....	141
Tabla 57. Total absorción Arenas Familia V.	143
Tabla 58. Total índices de forma Familia V.	143
Tabla 59. Total desgaste Familia VI.	145
Tabla 60. Total solidez gravas Familia VI.....	146
Tabla 61. Total solidez finos Familia VI.....	146
Tabla 62. Total solidez Finos Familia VI.....	146
Tabla 63. Total solidez finos Familia VI.....	146
Tabla 64. Total absorción gravas Familia VI.....	147
Tabla 65. Total absorción Familia VI.	148
Tabla 66. Índices de forma Familia VI.....	149
Tabla 67. Total desgaste Familia VII.	150
Tabla 68. Total solidez Familia VII.	151
Tabla 69. Total adherencia finos Familia VII.	151
Tabla 70. Total adherencia bandeja Familia VII.	151
Tabla 71. Total absorción gravas Familia VII.....	152
Tabla 72. Total absorción arenas Familia VII.....	153
Tabla 73. Total índices de Forma Familia VII.	153
Tabla 74. Tabla de datos en distribución para Colombia.	155
Tabla 75. Tabla resumen para Colombia con diferentes ensayos.....	156
Tabla 76. Meta Visión 2019: Consolidar la red vial arterial. INVIAS Dic. /2008.	166
Tabla 77. Proyectos Hidro-energéticos.....	170
Tabla 78. Lista de Proyectos para la competitividad y conectividad vial.	172

Tabla 79. Rango de datos de DMA y agrupación para evaluar el ensayo de desgaste.	175
Tabla 80. Rango de absorción para graficar el mencionado ensayo.	175
Tabla 81. Desgaste Familia II.	177
Tabla 82. Solidez gruesos.	178
Tabla 83. Absorción.	178
Tabla 84. Índices de forma.	178
Tabla 85. Actividad de finos azul de metileno.	179
Tabla 86. Adherencia frasco.	179
Tabla 87. Adherencia en bandeja.	179
Tabla 88. Desgaste Familia III.	180
Tabla 89. Solidez gruesos.	182
Tabla 90. Absorción de gruesos.	182
Tabla 91. Absorción de finos.	183
Tabla 92. Índices de forma.	184
Tabla 93. Actividad de finos azul de metileno.	184
Tabla 94. Desgaste Familia IV.	185
Tabla 95. Solidez gruesos.	186
Tabla 96. Solidez finos.	187
Tabla 97. Absorción.	187
Tabla 98. Índices de forma.	188
Tabla 99. Actividad de finos azul de metileno.	188
Tabla 100. Adherencia en frasco.	188
Tabla 101. Adherencia en bandeja.	188
Tabla 102. Desgaste Familia IV.	189
Tabla 103. Solidez gruesos Familia IV.	190
Tabla 104. Absorción Familia IV.	191
Tabla 105. Índices de forma Familia IV.	191
Tabla 106. Actividad de finos azul de metileno Familia IV.	192
Tabla 107. Adherencia en frasco Familia IV.	192
Tabla 108. Adherencia en bandeja Familia IV.	192
Tabla 109. Desgaste Familia VII.	193
Tabla 110. Solidez gruesos Familia VII.	194
Tabla 111. Absorción Familia VII.	195
Tabla 112. Índices de forma Familia VII.	195
Tabla 113. Actividad de finos azul de metileno Familia VII.	196
Tabla 114. Adherencia en frasco Familia VII.	196
Tabla 115. Adherencia en bandeja.	196
Tabla 116. Desgaste familia AIM.	197
Tabla 117. Solidez gruesos Familia AIM.	198
Tabla 118. Absorción Familia AIM.	198
Tabla 119. Índices de forma Familia AIM.	199
Tabla 120. Actividad de finos azul de metileno.	199
Tabla 121. Adherencia en frasco Familia VII.	199

Tabla 122. Adherencia en bandeja.....	199
Tabla 123. Desgaste Familia AS.....	200
Tabla 124. Solidez gruesos Familia AS.	201
Tabla 125. Solidez finos Familia AS.	202
Tabla 126. Absorción Familia AS.....	202
Tabla 127. Índices de forma Familia AS.	203
Tabla 128. Actividad de finos azul de metileno.	204
Tabla 129. Adherencia frasco.....	204
Tabla 130. Adherencia bandeja.....	204
Tabla 131. Resumen de distribución por familias para Cundinamarca....	205
Tabla 132. Desgaste Familia II.....	206
Tabla 133. Solidez gruesos Familia II.	207
Tabla 134. Abstracción Familia II.....	208
Tabla 135. Índices de forma Familia II	209
Tabla 136. Actividad de finos azul de metileno.	209
Tabla 137. Desgaste Familia III.....	210
Tabla 138. Solidez gruesos Familia III.	212
Tabla 139. Absorción gruesos Familia III.	213
Tabla 140. Índices de forma de la Familia II.....	214
Tabla 141. Actividad de finos azul de metileno Familia III.....	214
Tabla 142. Desgaste los ángeles Familia III.	215
Tabla 143. Solidez en gruesos Familia IV.....	216
Tabla 144. Absorción Familia IV.	217
Tabla 145. Índices de forma Familia IV.....	217
Tabla 146. Desgaste Familia V.	218
Tabla 147. Solidez gruesos Familia V.....	219
Tabla 148. Solidez finos Familia V.	219
Tabla 149. Absorción Familia V.	220
Tabla 150. Índices de forma Familia V.....	220
Tabla 151. Desgaste Familia VI.	221
Tabla 152. Solidez gruesos Familia VI.....	222
Tabla 153. Absorción Familia V.	223
Tabla 154. Índices de forma.	223
Tabla 155. Desgaste Familia VII.	224
Tabla 156. Solidez gruesos Familia VII.....	225
Tabla 157. Absorción Familia VII.	225
Tabla 158. Índices de forma Familia VII.....	226
Tabla 159. Adherencia frasco Familia VII.....	226
Tabla 160. Adherencia Familia VII.....	226
Tabla 161. Resume de distribución por familias para Boyacá.	227
Tabla 162. Desgaste familiar.	228
Tabla 163. Solidez gruesos Familia V.....	228
Tabla 164. Absorción gravas Familia V.....	229
Tabla 165. Absorción arenas Familia V.....	230

Tabla 166. Índices de forma Familia V.....	230
Tabla 167. Desgaste AIM.	231
Tabla 168. Solidez gruesos AIM.....	232
Tabla 169. Absorción gravas AIM.....	233
Tabla 170. Absorción arenas AIM.....	234
Tabla 171. Índices de forma AIM.....	235
Tabla 172. Adherencia frasco AIM.....	236
Tabla 173. Adherencia bandeja AIM.	236
Tabla 174. Desgaste AS.....	237
Tabla 175. Solidez gruesos AS.	238
Tabla 176. Absorción gruesos familia AS.....	239
Tabla 177. Índices de forma Familia AS.....	240
Tabla 178. Índices de forma Familia AS.....	241
Tabla 179. Adherencia frascos familia AS.....	241
Tabla 180. Adherencia bandeja familia AS.....	242
Tabla 181. Resumen distribución Meta.....	243
Tabla 182. Proyectos de infraestructura y desarrollo que demandan el suministro de fuentes de materiales según la prioridad de atención recomendada.	247

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Información Extraída del Centro de Información de INGEOMINAS (CDI)

Anexo B. Información Extraída del Archivo de INVIAS

Anexo C. Formato de Toma de Datos de Fuentes de Materiales

Anexo D. Tablas de Datos de las Fuentes de Materiales de los Departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Meta

Anexo E. Desgaste Familia I Basalto, Diabasa, Andesita, Otras Rocas y Total de la Familia I

Anexo F. Familia II Desgaste Caliza Micrita, Caliza Bioclástica y Total de la Familia II

Anexo G. Familia III Areniscas y Conglomerados Edad del Cretáceo - Paleozoico y Total de la Familia III

Anexo H. Familia VI Foliadas y Lutitas

Anexo I. Familia V Granito - Granodiorita, Cuarzodiorita, Otras Rocas

Anexo J. Familia VI Chert

Anexo K. Familia VII Arenisca y Conglomerado de Edad Terciario y Total de la Familia VII

Anexo L. Mapas

Mapa 01. Programa de Exploración Materiales de Construcción en Colombia. Departamento de Cundinamarca.

Mapa 02. Programa de Exploración Materiales de Construcción en Colombia. Departamento de Boyacá.

Mapa 03. Programa de Exploración Materiales de Construcción en Colombia. Departamento del Meta.

RESUMEN

El proyecto de exploración y caracterización de materiales de construcción para carreteras y otras obras de ingeniería, se basa en el análisis y complementación de los inventarios de materiales realizados en el país en el período 1980-1992, en la experiencia obtenida en el estudio las 50 fuentes investigadas en la zona piloto de la Sabana de Bogotá en el 2008, y en el estudio de actualización de inventarios y validación de la información existente que se adelantó en el presente año en los departamentos de Cundinamarca, Meta y Boyacá, el cual abarcó más de 100 fuentes de las cuales se obtuvieron datos recientes de calidad.

Se pretende proponer un programa de exploración de fuentes de materiales de construcción para pavimentos, concretos y obras de ingeniería en general, debidamente soportado, que le permita a la entidad establecer en los próximos años la distribución geográfica de tales fuentes en el país, proponer una zonificación con base en la calidad de los materiales, establecer el correspondiente potencial y crear una base de datos que se pueda actualizar periódicamente y a través de la cual se le pueda suministrar la respectiva información a los interesados.



ABSTRACT

The project proposed exploration and characterization of materials for road construction and other engineering works, is based on complementation and analysis of the inventory of materials realized in the country in the period 1980-1992, the experience gained by the study's 50 sources investigated in the pilot area of the Sabana de Bogotá in 2008, and the study update inventory and validation of existing information that came forward this year in the departments of Cundinamarca, Meta and Boyacá, which spanned more 100 sources of which were obtained quality recent data.

It is intended to propose an exploration program sources of building materials for flooring, concrete and general engineering works, properly supported, that allows the entity to establish in the coming years the geographical distribution of such sources in the country, proposing a zoning based on the quality of materials, set the corresponding potential and create a database that can be updated regularly and through to which it may provide the relevant information to stakeholders.



INTRODUCCIÓN

Dentro del proyecto SUB 09 25 Exploración de Materiales de Construcción del INGEOMINAS, se adelanta una evaluación del potencial de materiales pétreos para carreteras y otras obras de ingeniería en el país, con el propósito de suministrar este tipo de información a los usuarios de la misma.

Como parte de este proyecto la entidad ha considerado oportuno y conveniente tener en cuenta no solo la identificación y distribución de posibles fuentes de agregados, sino también destacar el papel que juegan la buena calidad y durabilidad de los agregados en el buen comportamiento de las obras, como una contribución al avance tecnológico del país en esa materia. En efecto, la calidad y comportamiento de las obras de ingeniería, en particular de los pavimentos y concretos, dependen en gran parte del desempeño de distintos tipos de agregados en diferentes ambientes climáticos.

1. CAPITULO PRIMERO ANTECEDENTES

En un alto porcentaje los pavimentos y concretos y otras obras de ingeniería, están constituidos de materiales pétreos y no es sorprendente que la calidad y larga vida de estas estructuras dependa en gran medida de la selección apropiada de estos materiales. Bajo estas circunstancias el INGEOMINAS tiene el propósito de investigar y compartir información sobre la disponibilidad y distribución de materiales pétreos para la construcción de pavimentos y concretos en el país, y contribuir al conocimiento sobre los procedimientos de identificación, exploración, caracterización y evaluación técnica de las canteras y fuentes aluviales, teniendo en cuenta la estrecha relación que existe entre la petrología y la geología en general y la naturaleza de los procedimientos citados, en suma con la influencia del medio físico y ambiental sobre la durabilidad y otras propiedades de los agregados.

En el marco de estos propósitos a finales del 2008 se presentó al INGEOMINAS un diagnóstico preliminar sobre la práctica local relacionada en los procedimientos de identificación y caracterización de las fuentes de materiales pétreos para pavimentos y concretos de carreteras, teniendo en cuenta la práctica en otros países. Al respecto se hizo un breve análisis de las normas y especificaciones vigentes en nuestro medio en cuanto a los aspectos petrológicos, lo cual permitió destacar la necesidad de replantear la validez de los ensayos que se realizan en nuestro medio para evaluar la durabilidad de los agregados y la conveniencia a considerar los índices climáticos como un factor muy importante a tener en cuenta.

Finalmente se procedió a analizar de una manera preliminar los datos disponibles de inventario de fuentes de materiales y estrategias para su complementación en una zona piloto.

En el año de 2009 se llevó a cabo el estudio piloto sugerido en el 2008 habiéndose escogido para tal fin los alrededores de la Sabana de Bogotá. El estudio permitió verificar la disponibilidad de materiales en la Sabana y



establecer una metodología preliminar para el estudio de nuevas fuentes, mediante ensayos índices de calidad debidamente escogidos.

El propósito del estudio en el 2010 fue preparar, con base en la información anterior, un proyecto de exploración y caracterización de materiales de construcción para carreteras y otras obras de ingeniería a desarrollar por parte de INGEOMINAS en los próximos años. La propuesta cuyos antecedentes y contenido se expone en los próximos capítulos se basa en el análisis y complementación de los inventarios de materiales realizados en el país en el período 1980-1992, en la experiencia obtenida en el estudio las 50 fuentes investigadas en la zona piloto de la Sabana de Bogotá en el 2008, y en el estudio de actualización de inventarios y validación de la información existente que se adelantó en el presente año en los departamentos de Cundinamarca, Meta y Boyacá, el cual abarcó más de 100 fuentes de las cuales se obtuvieron datos recientes de calidad.

2. CAPITULO SEGUNDO OBJETO Y ALCANCES DEL PROYECTO EN EL 2010

2.1. OBJETO

Proponer al INGEOMINAS un programa de exploración de fuentes de materiales de construcción para pavimentos, concretos y obras de ingeniería en general, debidamente soportado, que le permita a la entidad establecer en los próximos años la distribución geográfica de tales fuentes en el país, proponer una zonificación con base en la calidad de los materiales, establecer el correspondiente potencial y crear una base de datos que se pueda actualizar periódicamente y a través de la cual se le pueda suministrar la respectiva información a los interesados.

2.2. ALCANCES

Conocer la información disponible sobre el estado del conocimiento y de la práctica en el país sobre el tema, y la relacionada con la disponibilidad de estos agregados, con base en la recopilación y evaluación correspondiente.

Destacar la información conceptual sobre la correlación entre las características petrológicas de las rocas utilizadas como materiales de construcción de carreteras y otras obras de ingeniería, y las características físicas y químicas de estos materiales de acuerdo a las normas establecidas para su uso.

Acceder al estado del conocimiento y de la práctica sobre las normas de ensayos de calidad de materiales pétreos para pavimentos y concretos, en lo relativo a los aspectos petrológicos, geológicos y climáticos.

Establecer claramente la manera de caracterizar los materiales en la práctica de ingeniería mediante ensayos de materiales y técnicas de análisis químicos y petrográficos.



Conocer la distribución en el país de los materiales de diferente tipo, calidad y usos posible, proponer una clasificación de estos materiales y establecer una zonificación.

Establecer de manera preliminar la demanda de los materiales de construcción en el país con el propósito de obtener un diagnóstico de zonas estratégicas de demanda de materiales.

Proponer con base en todo lo anterior un programa de exploración y caracterización de materiales de construcción a realizar por el INGEOMINAS en los próximos años.

3. CAPITULO TERCERO EVALUACIÓN DE ANTECEDENTES

A continuación se presenta una breve descripción de los principales antecedentes de interés para el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

3.1. PERÍODO 1980-1989

En este período se desarrollaron en el país varios proyectos de investigación sobre la distribución y clasificación de las fuentes de materiales, los cuales se describen de manera breve a continuación, destacando los logros de mayor interés.

3.1.1. Antecedentes

La British Standards Institution-BSI (1951) publicó un documento sobre las relaciones entre la petrología y el comportamiento de los materiales del cual se extrae la Figura 1, que muestra curvas acumulativas de distribución de valores de desgaste recolectados en esa época y la Tabla 1 que contiene un resumen con datos de resistencia al impacto y a la abrasión, entre otros valores, tomados de la misma fuente.

Se consideran ocho (8) grupos de agregados naturales y uno (1) grupo artificial. Las rocas más duras corresponden a las rocas cristalinas ígneas y metamórficas. Es fácil observar que las rocas más resistentes frente a esas solicitaciones son las que poseen fábrica cristalina masiva, de origen ígneo o metamórfico, en tanto que las clásticas (silíceas y calcáreas) son algo más débiles. No se incluyen en esa lista rocas arcillosas, las de más pobre calidad, y de forzosa utilización en nuestro medio como materiales de pavimentos en el oriente del país.

La clasificación que se propone en este documento está basada en investigaciones de materiales de construcción: inventarios, ensayos y análisis, promovidas por el autor a lo largo de 30 años. Los principales trabajos y sus resultados se describen a continuación.

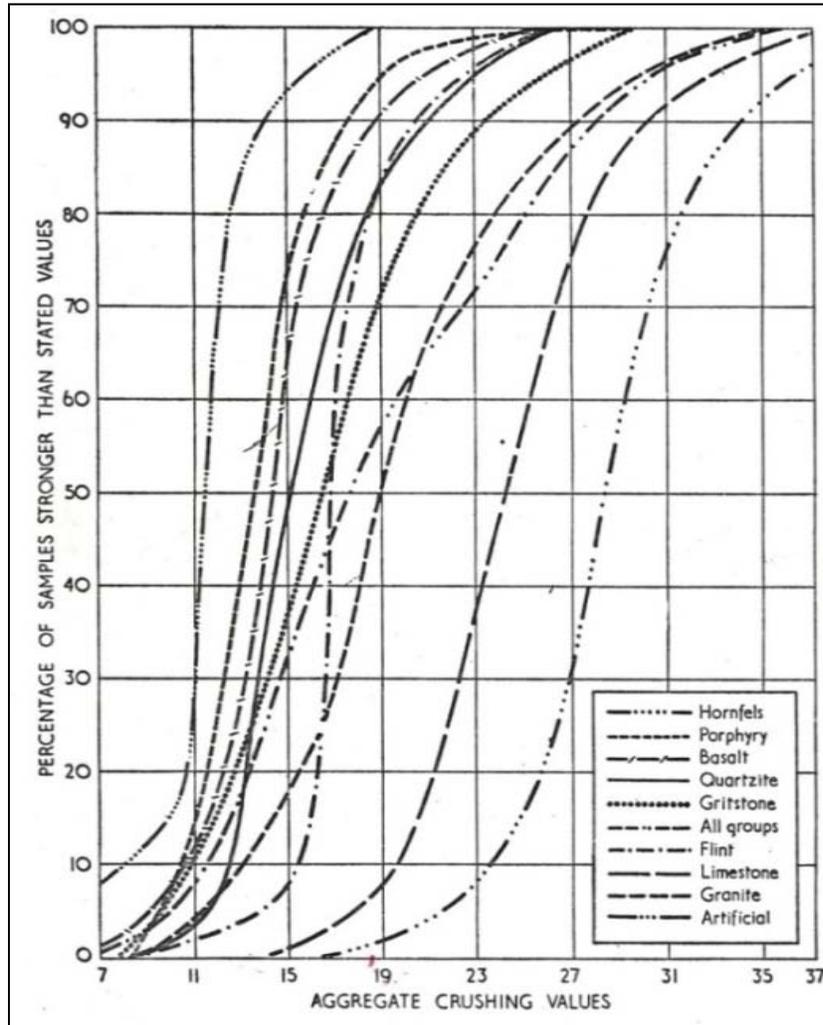


Figura 1. Curvas acumulativas de distribución de Valores de desgaste, Tomado de la British Standards Institution- BSI (1951).

3.1.2 Clasificación petrológica de agregados para pavimentos, tesis de posgrado en geotecnia del geólogo J. Montero-Olarte UNAL (1980).

Muestreo:

En una sección entre Villavicencio y Buenaventura a través de los Andes Figura 2 se tomaron 272 muestras de 50 kilos cada una para ensayos de laboratorio y análisis petrográfico. El detalle de este muestreo se incluye en la Tabla 2.

Tabla 1. Agrupación de las rocas de acuerdo con su calidad según la British Standards Institution- BSI (1951).

Summary of means and range of values for roadstone tests in each rock-group								
Group classification B.S. 812 : 1951		Aggregate crushing value*	Aggregate impact value*	Aggregate abrasion value*	Water absorption (per cent)	Specific gravity	Ten per cent fines aggregate crushing value	Polished stone coefficient
Artificial	Mean	28	27	8.3	0.7	2.68	-	0.50
	Range	(15-39)	(17-33)	(3-15)	(0.2-1.8)	(2.8-2.6)		(0.35-0.60)
Basalt	Mean	14	15	6.1	1.1	2.80	-	0.56
	Range	(7-25)	(7-25)	(2-12)	(0.0-2.3)	(3.0-2.6)		(0.45-0.70)
Flint	Mean	18	23	1.1	1.0	2.54	-	0.35
	Range	(7-25)	(19-27)	(1-2)	(0.3-2.4)	(2.6-2.4)		(0.30-0.40)
Granite	Mean	20	19	4.8	0.4	2.69	-	0.56
	Range	(9-35)	(9-35)	(3-9)	(0.2-0.9)	(3.0-2.6)		(0.45-0.70)
Gritstone	Mean	17	19	7.0	0.6	2.69	-	0.69
	Range	(7-29)	(9-35)	(2-16)	(0.1-1.6)	(2.9-2.6)		(0.60-0.80)
Hornfels	Mean	13	12	2.2	0.4	2.82	-	0.45
	Range	(5-15)	(9-17)	(1-4)	(0.2-0.8)	(3.0-2.7)		(0.40-0.50)
Limestone	Mean	24	23	13.7	1.0	2.66	-	0.43
	Range	(11-37)	(17-33)	(7-26)	(0.2-2.9)	(2.8-2.5)		(0.30-0.75)
Porphyry	Mean	14	14	3.7	0.6	2.73	-	0.51
	Range	(9-29)	(9-23)	(2-9)	(0.4-1.1)	(2.9-2.6)		(0.45-0.60)
Quartzite	Mean	16	21	3.0	0.7	2.62	-	0.57
	Range	(9-25)	(11-33)	(2-6)	(0.3-1.3)	(2.7-2.6)		(0.45-0.65)
All groups†	Mean	19	19	5.7	0.7	2.68	17	0.53
	Range	(5-39)	(7-35)	(1-26)	(0.0-3.7)	(3.0-2.3)	(1-37)	(0.30-0.80)
		724	370	311	312	312	69	134

*In these tests, a numerically lower result indicates a higher resistance in the test.
†Including results from unclassified samples.

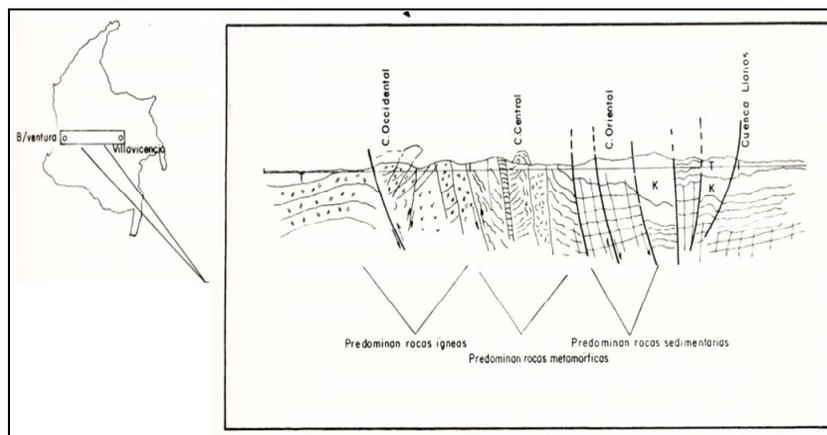


Figura 2. Sección de muestreo a través de los Andes.

Tabla 2. Detalle del muestreo en la sección Andina.

CLASIFICACION DEL MUESTREO									
GRUPO	ROCA	DESGASTE	IMPACTO	INDICE DE APLANAMIENTO	INDICE DE ALARGAMIENTO	ADHERENCIA	SOLIDEZ	ABSORCION PORCENTUAL	DESCRIPCION MICROSCOPICA
I	BASALTO	19	—	15	15	15	15	5	6
	DIABASA	26	3	18	18	18	10	16	6
	GABRO	5	—	5	5	5	5	5	—
	DIURITA	1	—	1	1	1	1	1	1
	PORFIDO	2	1	1	1	1	1	1	1
	ANFIBOLITA	8	7	7	7	8	1	1	2
II	CALIZA	14	14	12	12	15	6	2	3
	MARMOL	4	3	3	3	4	2	—	1
III	ORTOCUARCITA	32	25	33	29	34	8	21	5
	PROTOCUARCITA	8	4	8	5	8	—	8	4
	GRAWACA	10	—	2	—	5	3	6	5
	ARCOSA	6	—	2	1	2	—	2	2
IV	LIMOLITA	6	—	2	—	4	—	2	2
	ARCILLOLITA	3	—	—	—	—	—	—	—
	SHALE	5	5	5	5	5	—	—	1
	PIZARRA	8	3	3	3	3	—	—	3
	FILITA	3	3	3	3	3	—	—	1
	ESQUISTO - VERDE	21	18	19	19	19	8	7	5
	ESQUISTO NEGRO	5	5	5	5	5	1	1	—
	LUTITAS ORGANICAS	8	6	6	6	6	6	6	3
V	GRANODIORITA	10	7	7	7	10	6	6	2
	CUARZODIORITA	2	2	2	2	2	—	—	1
VI	CHERT(LIDITA)	18	11	7	6	15	4	15	8
VII	CONGLOMERADO	6	1	4	1	4	1	4	1
	ORTOCUARCITA	25	3	19	18	22	5	8	3
	PROTOCUARCITA	7	3	1	1	3	5	6	3
	GRAWACA	8	2	9	5	9	—	8	2
	ARENISCA ARCILLOSA	2	—	—	—	—	—	—	1

El muestreo incluyó 21 litologías: sedimentarias: Arenisca, Chert, Caliza, Lutita; metamórficas: Esquisto, Filita, Cuarcita; Plutónicas Graníticas y Volcánicas: Basalto, Diabasa, Andesita y Gabro.

Correlación de factores y atributos:

En principio se correlacionaron los datos de calidad sobre desgaste, impacto, adherencia, durabilidad/solidez e Índices de Forma (IAP - IAL), con atributos de composición textura y fábrica (Tabla 3).

Tabla 3. Correlación de ensayos de calidad con factores geológicos de composición, textura y fábrica, evaluados a partir de la apreciación (A) o descripción (D) de atributos físicos sencillos.

ENSAYOS NORMALIZADOS	ATRIBUTOS FÍSICOS DE CORRELACIÓN		FACTORES PETROLÓGICOS
Desgaste Máquina los Ángeles, Impacto	Coherencia Tenacidad Porosidad Tamaño del Grano, Cristalinidad	A	Textura
		A	
		A	
		D	
Adherencia en Bandeja	Presencia de Cuarzo Textura Superficial	D	Composición Textura
		D	
Solidez en Sulfatos	Susceptibilidad Química	A- D	Composición
Índices de Alargamiento -Aplanamiento	Laminación o Foliación	D	Textura-Fábrica

Ensayos índices:

De todas las muestras obtenidas se realizaron ensayos índices de Desgaste DMA, Impacto, Adherencia (Bandeja), Solidez en Sulfatos, Absorción y Equivalente Arena. En un 30% de las muestras se realizaron análisis macro y micro-petrográficos. Los datos de los resultados de ensayos fueron tratados con estadística descriptiva (promedios y desviaciones estándar). En la Tabla 4 se mencionan y describen los atributos petrológicos tenidos en cuenta en la propuesta de clasificación de los agregados. En la Figura 3 se ilustran diferentes tipos de fábrica.

Clasificación:

Con base en el resultados de los ensayos y análisis y la descripción sistemática y ordenada de los atributos descritos en la Tabla 4 en 1980 se propuso una clasificación de los agregados pétreos en 7 familias según se muestra en el cuadro de la Tabla 5, donde además se indican los resultados de los ensayos de laboratorio (valores medios y desviación estándar) para todas las muestras de las siete familias propuestas. En la Figura 4 se complementa la información

con curvas de distribución acumulativa para la resistencia al desgaste de los datos obtenidos.

Tabla 4. Atributos petrológicos para la clasificación de los agregados pétreos.

COMPOSICIÓN QUÍMICA Y MINERAL	Ígneas Félsicas	<i>Ricas en sílice</i> y cuarzo. Son más durables; poseen pobre adherencia pétreo-asfalto y son muy abrasivas/equipos.
	Ígneas Máficas	Rocas con muy poco cuarzo y abundantes minerales ferro-magnesianos. Son menos durables debido a que se descomponen a micas hidratadas (clorita, vermiculita) y arcillas expansivas (montmorillonita); no presentan problemas de adherencia.
	Sedimentarias calcáreas	Calcáreas/calizas: son solubles lo cual no representa un inconveniente mayor, pero el grupo de calizas biógenas o algunas calizas con contenidos significativo de arcilla, poseen pobre calidad.
	Sedimentarias silíceas	Silíceas/chert y porcelanita: son reactivas con los álcalis de los cementos (RAS-RAC). Además la porcelanita contiene arcilla y su calidad es en general pobre; solo se utiliza en afirmados. También clasifican en este grupo las areniscas cuya calidad es variable; son de mejor calidad las areniscas cementadas con sílice y con mejor empaquetamiento de sus clastos (poca porosidad/absorción).
	Sedimentarias arcillosas y metamórficas foliadas	Arcillosas/rocas lodosas: estas rocas conforman un grupo muy problemático y poco comprendido por los ingenieros; salvo las limolitas silíceas y las argilitas de este grupo, las restantes rocas arcillosas sedimentarias son poco durables y muy débiles.
FÁBRICA		Presencia/ausencia de orientación de las partículas minerales.

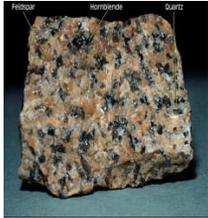
Cristalinas Masivas	
 <p>Granito</p>	 <p>Caliza micrita</p>
	
Cristalinas Foliadas	
 <p>Filita</p>	 <p>Esquisto</p>
Clásticas cementadas	Clásticas Consolidada
 <p>Arenisca</p>	 <p>Shale</p>

Figura 3. Tipos de fábrica, Montero J., González A. J. y Ángel G. (1982).

Tabla 5. Clasificación de los agregados en grupos de calidad similares y datos de calidad.

RESUMEN DE LAS CARACTERISTICAS FISICO QUIMICAS DE LOS GRUPOS HOMOGENEOS									
GRUPOS	ROCA TIPO		RESISTENCIA AL DESGASTE	RESISTENCIA AL IMPACTO	INDICE DE APLANAMIENTO	INDICE DE ALARGAMIENTO	ADHERENCIA %	RESISTENCIA POR SOLIDEZ %	ABSORCION PORCENTUAL %
I	BASALTO	No de Muestras	61	11	47	47	93,7	3,8	
		Promedio	18.4	14.5	60.3	60.8	45/48	11.1	
		Variacion Standard	8.6	4.1	20.5	17.0		10.4	
II	CALIZA	No de Muestras	18	17	15	15	57,9	8	2
		Promedio	28	19	38	53	11/19	11.2	1.45
		Variac Standard	6.9	4,8	15.5	14.5		15	0.57
III	ARENISCA GRANO FINO	No de Muestras	56	26	31	31	73,21	8	30
		Promedio	36.6	21.8	33.4	47.4	41/56	6.5	3
		Variac Standard	9.9	8.9	12.2	9.9		2.8	1
IV	LUTITAS	No de Muestras	59	40	43	41	68,9	15	16
		Promedio	38.8	25	42.5	60.1	31/45	17	2.4
		Variac Standard	14.7	8	15.4	16.7		12	1.1
V	GRANITO	No de Muestras	12	9	9	9	8,3	6	
		Promedio	44.6	33.4	25	35.5	1/12	10.9	
		Variac Standard	16.8	9.8	8	7.6		7.2	
VI	CHERT (LIDITA)	No de Muestras	18	11	7	6	50	7	9
		Promedio	48	34	30	47	9/18	5.2	8.7
		Variac Standard	24	12	10.9	21.2		3.9	6.5
VII	ARENISCA GRANO GRUESO	No de Muestras	48	9	35	28	54,8	10	40
		Promedio	73.5	35	27	38.7	17/31	29.8	7.2
		Variac Promedio	23.7	12.1	12.3	11.3		32.7	3.8

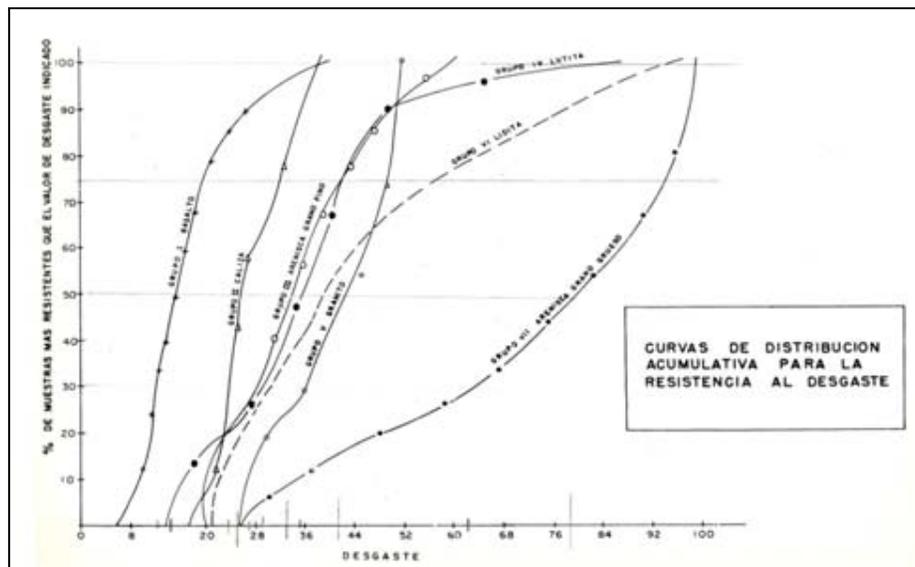


Figura 4. Curvas acumulativas de distribución para la resistencia al desgaste con base en las cuales se estableció la jerarquía de los grupos.

Comentarios sobre la clasificación:

Tomando como referencia los datos de calidad de la Tabla 6. En la Tabla 7 se presenta un breve análisis de las características de las siete familias o grupos.

Tabla 6. Datos de calidad tenidos en cuenta al valorar las rocas de diferentes familias y litologías.

DESGASTE MÁQUINA DE LOS ÁNGELES	ADHERENCIA	SOLIDEZ SULFATO DE SODIO	ÍNDICES DE FORMA
< 30 Resistencia Alta	30-50 Resistencia Moderada	> 30 Resistencia Baja	> 95

Tabla 7. Breve análisis de las características de las siete familias o grupos.

PROPIEDAD ÍNDICE	CARACTERÍSTICAS
RESISTENCIA AL DEGASTE	Máxima en el grupo I (18.4%) y mínima en el Grupo VII (73.5 %); solo las rocas de los grupos I y II clasifican en la gama alta.
DURABILIDAD/SOLIDEZ	Las rocas que mejor responden son las de los grupos VI (chert/5.2); III (arenisca/6.5); y V (Granito), que corresponden todas ellas a rocas con abundante sílice y cuarzo. Las de los grupos I (basaltos) y II (calizas) están cerca del límite de aceptabilidad en tanto de las de los grupos IV (rocas lodosas) y VII definitivamente tienen problemas de durabilidad.
ADHERENCIA	Se confirma que las rocas del grupo V (Granitos) con abundante cuarzo, poseen problemas de adherencia; si bien las rocas clásticas con cuarzo no lo tienen. Se atribuye esto a que la presencia de cuarzo no es el único indicativo de pobre adherencia; también es importante tener en cuenta la tensión interfacial (rugosidad) y la textura superficial.
ÍNDICES DE FORMA	Sorprende un poco el resultado de los basaltos.

3.2 MOPT-UNAL 1982-1989

En el período 1982-1984 se realiza por parte del MOPT un inventario regional de fuentes de materiales de construcción para pavimentos a lo largo de toda la red vial, coordinado por el autor de este trabajo. (Ministerio de Obras Públicas y Transporte (1982-1984). Se investigaron en detalle 889 fuentes de un total de 1.500 reconocidas en la exploración inicial en los 23 distritos de carreteras del antiguo Ministerio de Obras Públicas y Transporte, por parte de las firmas Gómez, Cajiao y Asociados CIA LTDA, Restrepo y Uribe LTDA Y Hidroestudios LTDA y su propósito inicial fue mejorar el conocimiento sobre la disponibilidad de materiales a lo largo de la red vial y reducir las investigaciones de campo y oficina para los futuros trabajos de construcción de carreteras. Sobre planos topográficos se localizaron de manera muy aproximada las fuentes conocidas y nuevas posibles, las cuales fueron descritas y caracterizadas.

Desde el punto de vista geológico se estudió el carácter de homogeneidad de las fuentes para precisar por primera vez de manera sistemática los diferentes niveles de explotación de cada fuente y los volúmenes disponibles.

Posteriormente se adelantó el proceso de exploración, muestreo, ensayos y análisis de laboratorio. El resultado de este estudio se recopiló en 25 volúmenes que contiene un total de 879 carpetas individuales. Como quiera que este estudio no se digitalizó, su consulta en los archivos del INVIAS es sumamente dispendiosa.

A finales de 1988, a través de un proyecto de grado de la Universidad Nacional de Colombia realizado por Castellanos, R. N., y Gómez, M. V., UNAL (1989), se actualizó y complementó el inventario publicado en Agosto de 1984 por el MOPT, mediante el estudio de nuevas fuentes y un análisis de demanda. Tal como se explicó anteriormente, el estudio de 1980 permitió clasificar las rocas del país en siete grupos de comportamiento homogéneo, clasificación ésta que se validó en el estudio de 1989 el cual contó con un muestreo más completo de 1151 fuentes. En la Tabla 8 se indica el número de muestras tomadas en este segundo estudio de cada una de las familias y el dato correspondiente a la resistencia al desgaste: valor promedio y desviación estándar. En la Tabla 9-a y 9-b se presenta un resumen de las tendencias de las distintas familias.

La figura 5 muestra la frecuencia relativa acumulada de DESGASTE de las distintas familias homogéneas. Con base en estos resultados se confirma la alta resistencia de las rocas de las Familias I y II (resultados 1980) y la resistencia igualmente alta de las rocas del Grupo VI (Chert), también silíceas masivas; en efecto, entre el 70% y el 90% de estas rocas poseen una resistencia al desgaste promedio de 30%. Para este valor de resistencia al desgaste, en el

caso de la familia III (areniscas de Cretáceo) menos del 40%, y familia VII (areniscas del Terciario) menos del 30%, están en ese rango de resistencia; ambas, correspondientes a rocas sedimentarias clásticas. Para el mismo valor promedio de resistencia al desgaste, de las rocas de la familia IV: menos del 35% las rocas metamórficas foliadas y algo menos del 40% de las lutitas (por lo general limolitas silíceas o shales bien cementados), alcanzan esta resistencia al desgaste. Por otra parte, entre el 35% y el 65% de las rocas graníticas (Familia V) se sitúan en el mismo rango de calidad. La alta dispersión del porcentaje en este caso se debe a que se ensayaron rocas con diferentes grados de meteorización y en algunos casos rocas provenientes de zonas de falla.

Tabla 8. Datos de resistencia de las distintas familias en los estudios de 1989.

FAMILIAS	No. DE FUENTES	VALOR MEDIO	DESVIACIÓN
I Basalto, Diabasa, Andesita, Anfibolita	95	27	9.62
II Caliza micrita	75	24	6.35
II Caliza biógena	18	29	8.46
III Arenisca Cretáceo	91	38	15.24
VII Arenisca Terciario	54	45	18.56
IV Metamórficas: esquistos, filitas	28	38	11.22
IV Rocas lodosas: limolita, shale, otras	38	30	10.11
V Granito, granodiorita, otras	64	33	18.36
VI Chert, porcelanita	47	26	8.82
Canteras en general	610	34	15.47
Aluvión ígneo-metamórfico	336	29	9.95
Aluvión sedimentario	181	30	8.51
Total fuentes	1127		

Tabla 9-a. Resumen de las tendencias de calidad de las familias 01, 02, 03 y 07.

Familia		Desgaste			Impacto			Adherencia		Solidez	Índice de aplanamiento	Índice de alargamiento
		\bar{Y}	σ_y	Cv_y	\bar{y}	σ_y	Cv_y	Frasco	Bandeja			
01. Rocas cristalinas masivas con poco cuarzo. Ej: Basalto		27.22	± 9.62	0.5	14.62	± 6.46	0.44	41/42 97.6%	35/44 79.5%	73/94 77.7%	44/50 73.3%	41/60 68.3%
02. Rocas con carbonato de calcio. Ej: Caliza		25.23	± 7.05	0.28	20.22	± 3.96	0.20	48/48 100%	46/48 95.8%	66/80 82.5%	56/60 93.3%	39/63 61.9%
03. Rocas y arenáceas 07. y sus diferentes variedades	Rocas del cretáceo (K)	38.97	± 15.24	0.39	25.43	± 5.86	0.23	15/20 75%	56/65 86.2%	36/44 81.8%	23/47 48.9%	20/23 87%
	Rocas del terciario (T)	45.33	± 18.56	0.41	24.44	± 9.52	0.39	12/15 80%	9/17 52.9%	26/36 68.4%	17/22 73.3%	44/80 55%
	Ambas (K y T)	40.54	± 16.38	0.4	24.31	± 8.31	0.35	20/34 77.8%	12/15 80%	98/120 79.2%	62/76 81.6%	4/11 36.4%

Tabla 9-b. Resumen de las tendencias de calidad de las familias 04, 05, 06.

Familia		Desgaste			Impacto			Adherencia		Solidez	Índice de aplanamiento	Índice de alargamiento
		\bar{Y}	σ_y	Cv_y	\bar{y}	σ_y	Cv_y	Frasco	Bandeja			
04. Rocas laminadas y foliadas con minerales arcillosos	Rocas foliadas	38.14	± 11.22	0.29	28.67	± 11.55	0.4	5/6 83.3%	22/33 66.7%	20/22 90.9%	3/11 37.3%	7/20 35%
	Lutitas	29.84	± 10.11	0.34	24.00	± 4.00	0.17	4/7 57.1%	3/6 50%	27/40 67.5%	13/20 65%	13/33 39.4%
	Toda la familia	36.23	± 13.77	0.38	26.89	± 7.15	0.27	11/15 73.3%	4/5 80%	49/74 66.2%	18/33 54.5%	24/29 82.8%
05. Rocas cristalinas con cuarzo. Ej: Granito		33.06	± 18.36	0.56	19.09	± 8.11	0.42	24/27 88.9%	21/27 77.8%	8/13 61.5%	38/53 71.7%	29/29 100%
06. Sedimentarias silíceas. Ej: Chert.		26.43	± 8.82	0.33	24.29	± 7.11	0.29	20/21 95%	15/20 75%	35/40 87.5%	29/34 85.3%	23/36 63.9%

Con respecto a las restantes características de los agregados vale la pena hacer algunos comentarios:

- Las familias I (Basalto) y II (Calizas) agrupan las de mejor adherencia mientras que las incluidas en las familias IV (rocas lodosas) y V (Granito) son deficientes.
- Con respecto a la durabilidad, las rocas de las familias II (Calizas), III (Arenisca K) y VI (chert) se consideran las más durables, mientras que las menos durables se ubican en las Familias I (Basalto), IV (Roca lodosa) y VII (Arenisca T), lo cual se explica por el alto contenido de cuarzo y carbonato en las rocas durables y la alta proporción de arcilla Y minerales ferro-magnesianos, en el caso de las rocas poco durables.
- Se confirma que las rocas de las familias laminadas y foliadas (Familia IV) son las más propensas a producir partículas alargadas o planas en la trituración y con alguna frecuencia las rocas de las familias V (graníticas) y VII (areniscas VII). Las restantes se trituran por lo general con partículas equi-dimensionales, si bien algunos basaltos y diabasas de la familia I tiene la tendencia a astillarse cuando estas rocas están meteorizadas.
- Comparando de manera general la calidad de las fuentes de origen aluvial, con las provenientes de canteras, se aprecia que en conjunto las fuentes no consolidadas poseen mejores características. Esto se debe a que en el caso de los aluviones, el proceso de su formación constituye un mecanismo natural de selección muy efectivo, en tanto que en las canteras siempre se encuentran materiales meteorizados.
- Por razones semejantes, los aluviones extraídos del lecho son de mejor calidad que los depósitos de terrazas aluviales, si se tiene en cuenta que éstos últimos depósitos también están expuestos a meteorización.

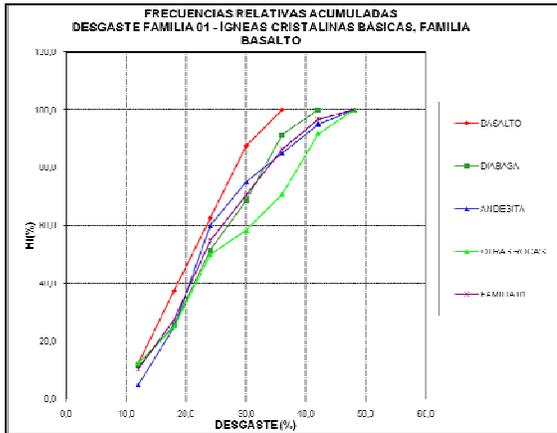
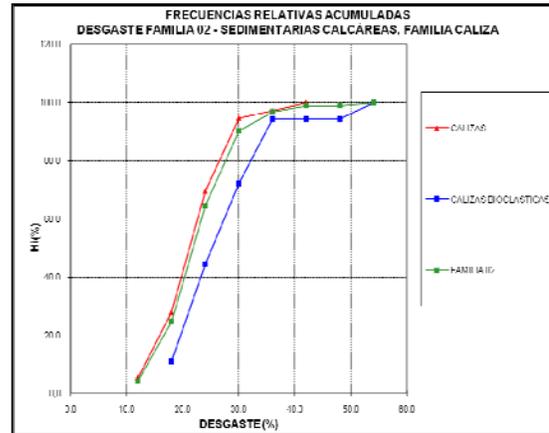
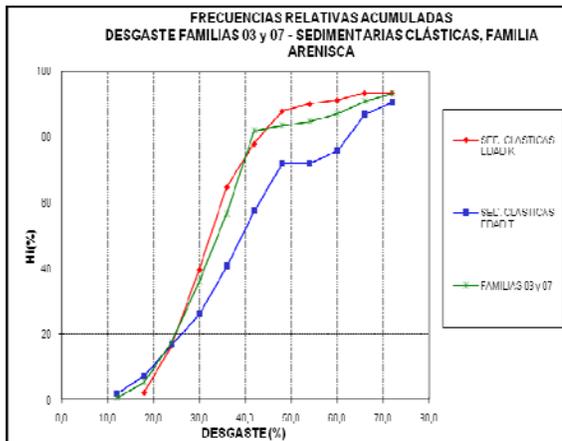


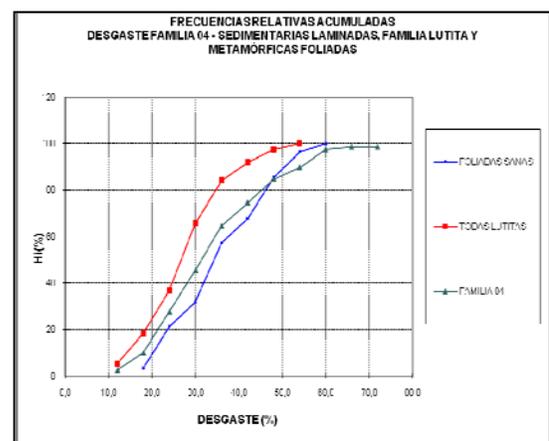
Figura 5a: Familia I del basalto



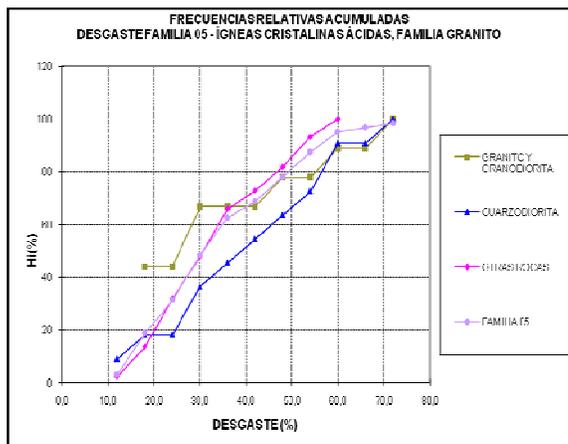
Familia 5b: Familia II de la caliza



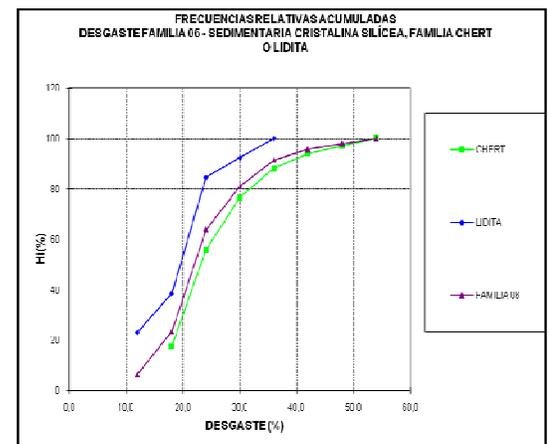
Familia 5c: Familia III de las Areniscas del Cretáceo



Familia 5d: Familia IV rocas Laminadas y Foliadas



Familia 5e: Familia V Familia Granito



Familia 5f: Familia VI Familia Chert

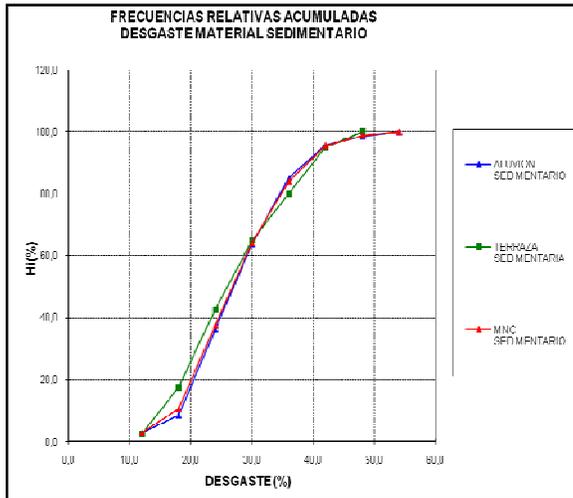


Figura 5g: Familia aluvión sedimentario

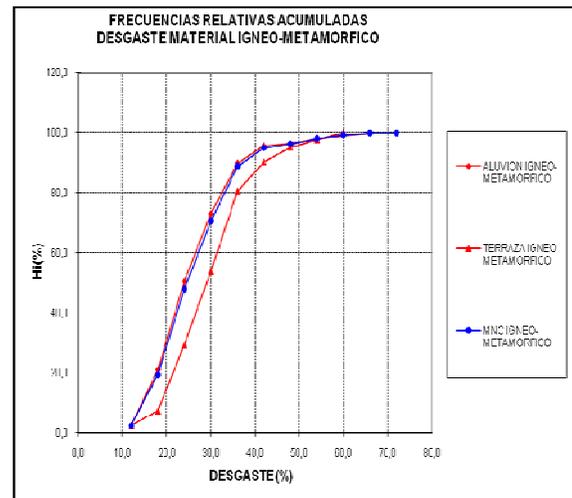


Figura 5h: Familia aluvión ígneo-metamórfico

Figura 5. Frecuencia acumulada relativa de desgaste.

3.3 PERÍODO 2008 – 2009

En este período se llevó a cabo el diagnóstico preliminar y el estudio piloto de fuentes de materiales en los alrededores de la Sabana de Bogotá descritos en el párrafo 1 de antecedentes y que sirvieron de base a los estudios adelantados en el presente año de 2010.

Todos los estudios anteriormente referidos son de carácter regional y en tal sentido se consideran de gran utilidad para el propósito que persigue el INGEOMINAS de llevar a cabo el programa de exploración y caracterización de materiales de construcción.

4. CAPITULO CUARTO METODOLOGIA

La propuesta del programa de exploración se adelantó en el presente año con base en las siguientes actividades:

(1) Recopilación y análisis de la información básica conceptual sobre el estado del conocimiento y de la práctica relacionado con ingeniería de materiales e ingeniería geotécnica, con énfasis en los aspectos petrología-geología, clima y calidad de los agregados. Con base en este análisis se ofrece un nuevo enfoque para evaluar la resistencia y durabilidad de los agregados.

(2) Recopilación y análisis de los resultados de ensayos de materiales en la sabana de Bogotá lo cual sirvió de base a la preparación de una guía y formato de caracterización de materiales a ser empleada en INGEOMINAS en futuros proyectos.

(3) Recopilación y análisis de información técnica disponible sobre la distribución y calidad de los materiales, tomando como base fundamental la información de inventarios e investigaciones de materiales para carreteras en el país que se condensa en el trabajo de Castellanos, R. N., y Gómez, M. V., UNAL (1989). Los estudios de Castellanos se complementan con nueva información y con base en un re-análisis de la información se procede a validarla y establecer una zonificación de fuentes de materiales de comportamiento similar en el país. Esta información permite establecer de manera preliminar el potencial minero del país relacionado con los agregados, para carreteras concreto y otras obras de ingeniería.

(4) Con base en información geológica básica sobre la distribución de las rocas en el país y la recopilación de datos de inventarios de fuentes de materiales de construcción y datos nuevos de caracterización por parte del INGEOMINAS, se conforma una *base de datos sobre fuentes de materiales de construcción* (tabla de datos georeferenciada); y su localización se ubica en mapas geológicos de pequeña escala (departamentales). La ubicación de las fuentes en los mapas tiene en cuenta tres niveles de calidad de acuerdo con la resistencia al desgaste de los materiales: [DMA < 30%; entre 30% y 40% y > de 40%], propiedad ésta que se relaciona con la resistencia y tenacidad de las rocas, considerada la característica más importante desde el punto de vista geotécnico.

(5) Como alternativa para actualizar permanentemente la información, se propone establecer en el INGEOMINAS una plataforma de datos básicos de calidad y acordar con las empresas productoras de materiales y otras entidades que se considere pertinente, la manera de alimentar dicha plataforma por medio de un código en MATLAB que vincule una interfaz gráfica que contenga datos de ensayos de calidad verificables de agregados del país filtradas en tablas de datos en Microsoft Office Excel. Este servicio permite hacer los ajustes convenientes en los catálogos y en la zonificación misma.

(6) Con base en la información disponible sobre futuros proyectos de infraestructura y desarrollo en el país en los frentes de carreteras, proyectos hidro energéticos, oleoductos, presas, expansión urbana etc. se procede a establecer la demanda de materiales de construcción en los próximos años, y con base en el potencial evaluado, definir zonas estratégicas de investigación de materiales.

(7) El proyecto se complementa con programas de capacitación y de investigación conducente a la elaboración de guías y manuales sobre exploración, ensayos y análisis de los agregados pétreos, destacando la relación entre la petrología, el clima y las solicitudes de calidad de los agregados.

(8) Con base en las actividades anteriores se procede a realizar la propuesta de procedimientos de exploración y caracterización, así como el programa de exploración y caracterización en los próximos años.

5. CAPITULO QUINTO RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN BÁSICA

5.1 BASE CONCEPTUAL

5.1.1 Correlaciones Petrología – Calidad

Las rocas constituyen mezclas muy variadas de minerales, con textura y composición diferentes, factores éstos que dependen de su origen, y que controlan de alguna manera su comportamiento en las obras de ingeniería. Su litología revela una serie encadenada de hechos que precedieron la larga historia de su formación y su interacción con el medio ambiente plantea un delicado equilibrio químico constantemente alterado por los agentes climáticos y otros factores. Su comportamiento en ingeniería puede considerarse que sintetiza todos los procesos que acompañaron su génesis y su interacción con el medio físico actual.

Considerando que los agregados pétreos comprenden un alto porcentaje del material usado en la construcción de los pavimentos y concretos de las carreteras, no es sorprendente que el comportamiento físico y mecánico de estas estructuras guarde una estrecha relación con la génesis de estos materiales. Es decir que la litología (composición y textura de las rocas) y la condición en que se encuentran estos materiales en la naturaleza así como las condiciones del entorno físico, principalmente las variaciones climáticas, juegan un papel definitivo en el comportamiento de los pavimentos. En la Tabla 10 se muestran correlaciones entre las solicitudes de calidad de los agregados pétreos usados en pavimentos, los ensayos que comúnmente se utilizan para evaluar la calidad y los atributos petrológicos y el medio físico que intervienen en cada caso. En la Tabla 11 tomada de la publicación del Geol. Soc. Eng. Geol. S.R.N17, (2001) ed. por Smith & Collins, se incluye una lista de los ensayos recomendados en este trabajo y los cuales se describen y analizan brevemente a continuación según estos mismos autores.

5.1.2 Gradación

El volumen y tamaño de las partículas retenidas en un tamiz particular son afectados por la forma de las partículas; por ejemplo, fragmentos elongados de cualquier tamaño se aproximan en tamaño al de los fragmentos lajosos del tamiz próximo con abertura más grande. Los tamices entonces no permiten medir de forma rigurosa los fragmentos cuando las formas son muy diferentes. Esto implica que en un agregado con alta proporción de partículas elongadas el tamaño de las partículas parecería ser más grueso que uno con bastantes partículas lajosas.

Una consecuencia de esta variabilidad de tamaños es que en el caso de agregados lajosos, hay un área superficial más grande para un peso dado que en el caso de partículas elongadas o equidimensionales. Estos rasgos afectan las características de llenado de vacíos, la permeabilidad y la resistencia del concreto y las bases de carreteras. También se debe considerar importante en el caso de los filtros.

Tabla 10. Correlación entre solicitudes de comportamiento y ensayos de calidad, teniendo en cuenta los atributos geológicos y ambientales de dependencia. (j. Montero 2003).

SOLICITACIONES DE COMPORTAMIENTO	ENSAYOS ÍNDICE	ATRIBUTOS PETROLOGICOS Y DEL MEDIO FISICO
<ul style="list-style-type: none"> Resistencia y deformabilidad de los agregados 	<ul style="list-style-type: none"> Desgaste DMA 	<ul style="list-style-type: none"> Textura (fábrica) Grado de meteorización Rasgos de esfuerzos
<ul style="list-style-type: none"> Índices de forma y angularidad de las partículas 	<ul style="list-style-type: none"> Alargamiento/aplanamiento 	<ul style="list-style-type: none"> Textura (fábrica)
<ul style="list-style-type: none"> Durabilidad de los agregados 	<ul style="list-style-type: none"> Solidez en sulfatos 	<ul style="list-style-type: none"> Mineralogía Clima
<ul style="list-style-type: none"> Reactividad mineral 	<ul style="list-style-type: none"> Análisis petrológico 	<ul style="list-style-type: none"> Mineralogía
<ul style="list-style-type: none"> Adherencia pétreo-asfalto 	<ul style="list-style-type: none"> Adherencia (Frasco/Bandeja) Análisis petrográfico 	<ul style="list-style-type: none"> Contenido de cuarzo Textura superficial
<ul style="list-style-type: none"> Textura superficial 	<ul style="list-style-type: none"> Descripción 	<ul style="list-style-type: none"> Textura-transporte fluvial
<ul style="list-style-type: none"> Drenaje 	<ul style="list-style-type: none"> Gradación 	<ul style="list-style-type: none"> Mineralogía Clima

Tabla 11. Ensayos comunes de evaluación de agregados pétreos tomado de geol. soc. eng. geol. s.r.n17, (2001) ed. por smith & collins página 172.

ENSAYOS COMUNES DE EVALUACIÓN DE AGREGADOS PETREOS	
Ensayos Físicos	GRADACION
	Equivalente arena
	Forma del agregado
	Angularidad
	Esfericidad y redondez
	Textura superficial
	Densidad relativa, Densidad Bulk y peso unitario
	Absorción de agua
	Contracción de agregado
Ensayos Mecánicos	RESISTENCIA
	Valor de impacto AIV
	Valor de trituración ACV
	10% de finos
	DURABILIDAD
	Valor de abrasión AAV
	Valor de abrasión Los Ángeles (C131-535)
	Valor de pulimento
	Durabilidad desleimiento
Solidez sulfatos ASTM C 88	
Ensayos Químicos	Contenido Materia Orgánica
	Contenido de cloruro
	Contenido de Sulfatos
Ensayos de Adherencia	
Análisis Petrográfico	Reactividad Álcali Sílica

5.1.3 Equivalente arena (ASTM 2419)

Rápido ensayo de campo para evaluar la proporción de finos arcillosos o plásticos en suelos granulares y agregados finos que pasan el tamiz ASTM No. 4 (4,75 mm). Una pequeña cantidad de solución floculante (cloruro de calcio, glicerina y formaldehído) junto con un volumen especificado de agregado fono previamente secado al horno, se vierten en un cilindro plástico. La agitación afloja el recubrimiento arcilloso de los granos más gruesos y de esa manera

queda un material en suspensión. Después de un periodo de sedimentación se mide la altura acumulada de la arcilla y de la arena y el equivalente arena se expresa como la relación de alturas arena a la arcilla.

5.1.4 Forma del agregado

Tanto en agregados naturales como en piedra triturada, las partículas constitutivas de un tamaño determinado poseen diferentes formas, según su textura, factores ambientales de formación (gravas) y factores de producción. La B.S 812 agrupo estas formas en 6 categorías: redondeada, irregular, angular, lajosa, elongada y elongada-lajosa. (Figura 6).

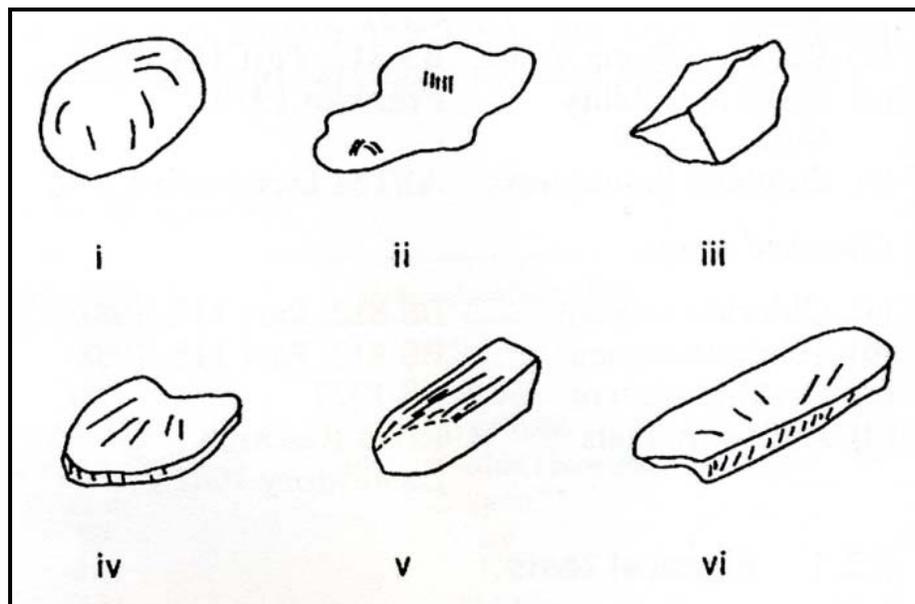


Figura 6. Forma de los agregados Geol. Soc. Eng. Geol. S.R.N17, (2001)
ed. por Smith &. Collins página 173.

En el índice de aplanamiento se tiene en cuenta el porcentaje en peso cuya dimensión mínima es inferior a 0.6 veces la dimensión media en una muestra de 200 partículas.

En el índice de alargamiento (restringida agregados más gruesos que 6.5 mm) se tiene en cuenta el porcentaje en peso de partículas cuya longitud es mayor de 1.8 veces la dimensión media. Por lo general las rocas frágiles producen mayor cantidad de partículas lajosas, y las rocas débiles se trituran en partículas finas.

5.1.5 Discusión

Mediante ensayos triaxiales realizados en triturados de caliza dura, con proporciones variables de partículas planas, Dunn and Bora, citado en Telford, Thomas (1994), establecieron que cualquier proporción de partículas planas incrementa la resistencia al corte, sobre todo cuando la proporción de estas partículas está comprendida entre el 25% y el 75%.

Para resistir las cargas, es conveniente además que los agregados pétreos posean ciertas características de forma, angularidad y rugosidad, y que dentro de la capa donde se usen, cumplan además requisitos especiales de gradación.

Por su parte, Gur, Shklarsky and Livnen, citados también en Telford (op. cit.), evaluaron experimentalmente el efecto de la planaridad sobre el material triturado (rango de 6.3 mm – 19 mm de diámetro). Estos autores encontraron que incrementando 2.5 veces la cantidad de partículas planas, la resistencia a la abrasión DMA se puede incrementar hasta 4 veces, advirtiendo que el incremento en la angularidad de las partículas, si bien incrementa la resistencia al corte, incrementa también su tendencia a la fracturación en el proceso de compactación, en detrimento de la rigidez.

Cualquier cantidad de partículas planas orientadas al azar en un relleno o capa del pavimento, incrementa la resistencia al corte, a menos que una alta proporción de esas partículas estén orientadas a lo largo de un plano potencial de falla. El incremento en la angularidad, también se traduce en incremento en la resistencia al corte, y con un mismo esfuerzo de compactación, la mayor proporción de material angular contribuye a propiciar una mayor relación de vacíos que se traduce en menos incremento en resistencia, comparado con el caso de que la relación de vacíos se mantenga constante. Finalmente la mayor cantidad de partículas rugosas contribuye a incrementar la resistencia al corte del conjunto de los agregados en una capa, efecto que es mayor a relación de vacíos constante que a esfuerzo de compactación constante. (Telford, T., op. cit)

La mayor parte de las rocas laminadas dentro de las sedimentarias (shales, y otras con abundante arcilla y mica); las foliadas, dentro de las metamórficas (pizarra, esquisto) y muchas lavas (debido a su alto contenido de vidrio), se astillan en el proceso de trituración, si están algo descompuestas. (Montero, J., 1980)

La angularidad y rugosidad de las partículas depende mucho de la textura del agregado, del origen del agregado en la fuente y del proceso de trituración. Los agregados provenientes de rocas de grano grueso por lo general son rugosos,

pero los agregados de origen aluvial presentan generalmente textura lisa, en especial si son cuarzosos o silíceos.

5.1.6 Valor de Impacto AIV

Una muestra estándar con longitud de 10 mm a 14 mm se somete a golpes (carga discontinua) mediante 15 golpes con un martillo de pistón (13,5 kg a 14,1 kg), con una caída de 381+ 6,5 mm. (BS 812: 1990). La masa sufre degradación produciendo finos. Con base en el tamizado posterior de la muestra (tamiz de 2,36 mm) se determina el porcentaje del material que pasa respecto del peso inicial, lo cual permite determinar el Valor de Impacto del Agregado, valor este que se toma como la resistencia del material a la granulación. El más bajo valor numérico corresponde a la roca más resistente. La reproducibilidad de este ensayo es alta.

5.1.7 Valor de trituración del agregado ACV

Una muestra de 2 kilos es sujeta a carga continua mediante un pistón en una máquina de compresión (400 kN-10 minutos) Como en el caso anterior, el Valor de Trituración del Agregado (ACV) se determina según el porcentaje de finos que pasan un tamiz de 2.36mm respecto del peso inicial. El más bajo valor numérico corresponde a la roca más resistente.

Estos ensayos no miden resistencia en el sentido de la resistencia a la compresión de roca intacta sino más bien un índice de la resistencia de los agregados a pulverizarse bajo ciertos rangos de carga. En la Tabla 12 se muestran resultados de ensayos de AIV y ACV para rocas de la Gran Bretaña.

Tabla 12. Resultados de ensayos de AIV y ACV para rocas de la Gran Bretaña geol. soc. eng. geol. s.r.n17, (2001) ed. por Smith & Collins página 178.

Tipo de roca	AIV	Rango	ACV	Rango
Basalto	11	10-13	16	16-17
Dolerita	13	10-17	19	
Granito	19	17-21	26	23-20
Caliza	17	15-20		
Grawaca	9			

Las diferencias en los valores de AIV y ACV para diferentes tipo de rocas o diferentes rocas del mismo tipo se puede atribuir a la influencia de la forma de las partículas (Ramsy, 1965) y rasgos geológicos tales como composición (caliza, roca silícea por ejemplo), textura, alteración etc.

5.1.8 Índice de 10% de finos

Consiste en una variante del ACV: es la carga requerida para producir un 10% de finos en vez de la cantidad de trituración para una carga específica. Se intenta reducir el efecto de la densificación progresiva del material sobre la producción de finos en la medida que se aumenta la carga. En este caso se ejerce la cantidad de carga requerida para causar una penetración del pistón de 15 mm (gravas), 20 mm (roca triturada normal) o 24 mm (agregados con estructura en panal) en 10 minutos. Los finos menores de 2.36mm deberían caer en el rango de 7.5%-12.5% del peso inicial y la fuerza requerida para producir el 10% de finos se calcula como sigue: $14 X / (y+4)$, donde X es la fuerza máxima (kN) y Y el porcentaje medio de finos a partir de dos ensayos de X fuerza (kN). Los ensayos índice descritos ACV, AIV y 10% de finos tienen aplicación en la evaluación de la durabilidad de las rocas; evidentemente las rocas meteorizadas tiene mayor tendencia a producir finos que las sanas.

5.1.9 Durabilidad y Susceptibilidad al Frost

La durabilidad o la resistencia al desgaste o degradación de un agregado representan una característica muy importante de los agregados. Algunos agregados que han pasado satisfactoriamente los ensayos de resistencia se deterioran con el tiempo en los apilamientos o durante el tiempo de servicio en las carreteras. Independiente de que tan fuerte sea la liga entre los granos o partículas minerales de un agregado, ésta se puede debilitar a causa de procesos sub aéreos pasados o presentes como por ejemplo la meteorización o la acción del congelamiento (frost).

Se debe tener en cuenta dos aspectos de la durabilidad:

- a) El deterioro mecánico o desgaste (wear)
- b) Deterioro físico de origen físico-químico, es decir solidez (soundness).

5.1.9.1 Ensayos Mecánicos

(a) Valor de Abrasión del Agregado (AAV), (BS 812: Part 113:1990). Provee una estimación del desgaste superficial, el cual refleja la dureza o fragilidad (brittleness) de los minerales; tiene en cuenta la influencia del clivaje mineral y la resistencia de liga intergranular. Las rocas ígneas y metamórficas no foliadas presentan los valores más altos de resistencia dentro de rangos comparables de composición. El valor de AAV (abrasión) se relaciona de una manera racional con el AIV (impacto) y el PSV (pulimento) para rocas arenosas.

Deficiente resistencia a la abrasión de los agregados superficiales de las carreteras causan una pérdida temprana de textura la cual es requerida para mantener altas velocidades.

(b) Valor de Atrición del Agregado. (BS 812:1943) Este ensayo algunas veces conocido como ensayo “Deval” es poco usado en la gran Bretaña excepto para balastros de ferrocarril; la reproducibilidad es más pobre que la de los otros ensayos incluido “Los Ángeles” ASTM C 131.

Las muestras son rotadas en un cilindro cerrado e inclinado produciéndose una mutua atrición de los agregados el porcentaje del material removido de la muestra durante el ensayo representa el valor de atrición del agregado y este ensayo se puede hacer por vía seca o vía húmeda.

(c) Valor de abrasión los Ángeles (ASTM C 131 y C 535) una muestra se carga con esferas en un cilindro de acero por 500 o 1000 Rev. a 33 rpm para

materiales menores y mayores de 19 mm respectivamente. El mutuo friccionamiento y e impacto de los fragmentos de roca y las esferas causa atrición. Después del ensayo, la muestra se tamiza (abertura 168mm), y la fracción más gruesa lavada y secada al horno, se pesa. La pérdida de peso expresada como n porcentaje del peso original corresponde al valor de Abrasión de los Ángeles.

Los agregados ensayados en la máquina de los Ángeles experimentan una combinación de *atrición e impacto*, posiblemente con mayor degradación en el segundo caso. Los valores de abrasión de los ángeles están influenciados por los mismos factores geológicos que afectan los valores de ACV y AIV. Ensayos en el TRRL de 1940 de la Gran Bretaña, muestran una buena relación entre el valor de los ángeles y de ACV.

(d) Valor de pulimento (PSV). Este valor corresponde a una medida predictiva de la susceptibilidad de las rocas a pulirse, en la superficie de una carretera. Se usa un aparato que simula un pulimento acelerado.

(e) Valor Micro- Deval. En algunos países de Europa este ensayo es usado como un método para determinar el valor de abrasión y fue estandarizado por los franceses (NF P 18 – 572) AFNOR 1978. La abrasión de los agregados es producida por esferas de acero dentro de un cilindro en rotación. El ensayo se puede hacer por vía húmeda o vía seca y el resultado se calcula como 100 m/M, donde M es el peso del agregado sujeto al ensayo y m el peso del material que pasa de un tamiz de 1,6 mm.

5.1.9.2 Ensayos Físico – Químicos

(a) Solidez. Este término se refiere a la aptitud de un agregado a resistir cambios excesivos de volumen como resultado de cambios en el ambiente físico como por ejemplo congelamiento-deshielo, cambios de térmicos, cambios térmicos por encima del congelamiento y desleimiento, por ciclos alternos de humedecimiento – secado. Las rocas más susceptibles a tales cambios de volumen son la Dolerita, el Chert poroso, el Shale y cualquier roca con un contenido significativo de minerales arcillosos como montmorillonita e Illita. Si tales tipos de material se usan en concreto, éstos se fisuran y agrietan y en consecuencia el concreto también se deteriora.

La solidez de una roca decrece en la medida que se meteoriza, y este fenómeno comúnmente se desarrolla en una escala de tiempo geológico, pero en muchas situaciones puede ocurrir dentro del periodo de servicio de una carretera. La meteorización se manifiesta como un incremento en la porosidad y absorción de agua lo cual a su turno afecta la respuesta de la roca en el ambiente físico.

(b) Durabilidad-desleimiento. (Franklin 1979). Este ensayo permite evaluar la resistencia de una roca a desleírse y fue desarrollado como un índice de meteorización por desleimiento para rocas lodosas. En el ensayo, el material se coloca en un tambor con agujeros y se sumerge parcialmente en agua. El tambor se hace rotar a una velocidad fija durante 10 minutos lo cual causa degradación de los materiales de tal manera que el material que se deslíe, se escapa por los agujeros del tambor. Después de 10 minutos el material que quedó en el tambor se pesa y el resultado se expresa como la pérdida de peso, respecto de la cantidad del material inicial. En el caso de shales compactados o rocas meteorizadas el desleimiento causa presiones de expansión o ablandamiento; el debilitamiento de los fragmentos ensayados se acentúa por la rotación y mutua colisión de partículas en el ensayo. En el caso de agregados para carreteras este ensayo únicamente revela la presencia de materiales muy débiles, lo cual es en sí mismo puede ser evidente. Una alternativa del ensayo de durabilidad – desleimiento es el ensayo de degradación de Washington que consiste en medir la cantidad de finos producidos por partículas de rocas cuando se someten a abrasión en condición húmeda.

(c) Análisis Modal. Consiste en la identificación de minerales secundarios originados en el proceso de meteorización por medio de conteo de puntos en secciones delgadas. Winert (1964) estableció una relación entre la solidez de la dolerita y la proporción de minerales secundarios en esta roca. El encontró que en doleritas de buena calidad se identifican menos del 30% de minerales ferromagnesianos alterados a micas hidratadas. Entre el 30% y 33% se considera como el límite de utilización es decir que esta determinación se usa como una indicación adecuada del grado de meteorización.

Irfan & Dearman (1978) Caracterizaron granitos meteorizados a través de un índice micro petrográfico calculado a partir de la relación de constituyentes sanos y alterados y este índice lo correlacionan con el grado de meteorización.

(d) El ensayo de solidez en sulfatos. Este ensayo tiene una larga historia pues apareció por primera vez en Francia en el año 1918, como un ensayo para clasificar la resistencia de materiales ornamentales al deterioro bajo condiciones de congelamiento del hielo. En Norte América se incorporó en las normas ASTM con la designación C 88 desde 1931. El Reino Unido eso ocurrió a finales de los años 70' y recientemente se estandarizo como BS 812: Part 121: 1989.

Mediante los ensayos de solidez en sulfato una muestra específica se embebe en una solución de Na_2SO_4 o MgSO_4 y luego se seca en estufa (ASTM C-88), con temperaturas y tiempos controlados. La solución de sulfato forma cristales cuando la muestra es sujeta secado y debido al crecimiento de estos cristales (repetida cristalización y rehidratación) se originan fuerzas internas en los poros

del agregado que debilitan su estructura y lo fragmentan. Después de 5 ciclos de humedecimiento –secado se evalúa el comportamiento para cada tamaño retenido en los tamices usados. La relación entre el tamaño del material más fino dividido por el peso original permite determinar la pérdida por solidez que generalmente debe estar entre en 12% y 15% para los materiales usados en concretos y entre 15% y 18% para los agregados usados en el material de base, como valores máximos permitidos.

Los ensayos de cristalización en general y el de sulfato de magnesio en particular son muy severos; tales ensayos tal como se ha conocido dan diferentes resultados dependiendo de la naturaleza del medio de cristalización y el número de ciclos. También la forma tamaño, porosidad y permeabilidad de los agregados tienen efectos particulares. Comúnmente en la práctica estos ensayos pueden medir el número de partículas friables dentro de partículas sanas más que el comportamiento general de los agregados. Así que estos ensayos son solamente aplicables en circunstancias especiales cuando se está buscando un número mínimo de partículas que se deteriora.

Weiner (1964) recomienda no considerar el ensayo de solidez como un único ensayo para aceptar un material respecto de la durabilidad.

(e) Ensayo de absorción en azul de metileno. El azul de metileno es un colorante orgánico que disuelto en agua da lugar a una solución azul la cual puede ser absorbida desde la solución por minerales arcillosos en expansión del tipo esméctita. El propósito del ensayo es obtener una medida de la cantidad de esta arcilla en una muestra de roca o agregado lo cual depende de la cantidad de azul de metileno absorbido. El ensayo de azul de metileno es usado como un ensayo estándar en Francia pero la experiencia es limitada. Aunque el ensayo requiere solamente aparatos químicos simples, se requiere de un triturador de laboratorio para producir las muestras pulverizadas que requiera de análisis.

5.1.10 Discusión sobre los ensayos de durabilidad

Los ensayos de durabilidad evalúan el deterioro de los agregados como consecuencia de ciclos alternos de humedecimiento – secado o congelamiento - deshielo. En el primer caso, aplicable en climas tropicales, la degradación se debe al primero de los ciclos mencionados y afecta principalmente a las rocas lodosas: en presencia de ciclos de humedecimiento secado (lluvia y desecamiento) los minerales arcillosos de estas rocas se expanden cuando se humedecen y se contraen cuando se desecan con lo cual se fisuran y desintegran muy rápidamente, provocando el deterioro prematuro de los

pavimentos. Este tipo de comportamiento afecta en particular a los shales arcillosos mal cementados; también algunas areniscas, pizarras y otras rocas con alto contenido de estos minerales arcillosos. En contraste las rocas ricas en cuarzo y feldespato como el granito y otras rocas plutónicas, la cuarcita entre las metamórficas y la caliza entre las sedimentarias no se afectan tanto por la acción del clima. Es difícil limitar el uso de las rocas lodosas en los pavimentos; se considera conveniente entonces tener una mejor información sobre las variedades de rocas lodosas y su comportamiento frente al deterioro por acción del clima.

En contraste los problemas de durabilidad atribuidos al principio de congelamiento del hielo son de poca importancia en el medio Colombiano. La aplicación del ensayo de solidez tal como se describió es muy discutible.

West T. R. (1995) comenta que la reproducibilidad del ensayo de solidez en un laboratorio único y la comparación de resultados de varios laboratorios es muy difícil de lograr a menos que los ensayos no se lleven a cabo consumo cuidado. Para mantener la saturación adecuada de la solución, se debe controlar estrictamente la temperatura; además es conveniente reemplazar periódicamente la solución. Este tipo de requisitos por lo general no se observan.

Otra inquietud según West (op. cit.) tiene que ver con la relación entre el procedimiento del ensayo y lo que realmente ocurre en la naturaleza, es decir, el requisito de *simulación*. La formación de cristales simula los efectos de congelamiento-deshielo (situación que solo se presenta en países con estaciones), o la expansión durante ciclos de humedecimiento–secado. Con base en lo expuesto, los ensayos de congelamiento-deshielo (directamente) o de humedecimiento–secado serían más representativos, pero se debe tener en cuenta otra consideración: la predicción del comportamiento de los agregados en el largo plazo mediante ensayos rápidos, lo cual requiere que, en compensación, el ensayo sea más severo, para que pueda simular los efectos naturales de la meteorización en poco tiempo. En este sentido West considera el ensayo de solidez como un ensayo severo calificado.

Por otra parte West observa que el ensayo de solidez es particularmente destructivo en el caso de rocas arcillosas (rocas lodosas) o de algunas rocas con textura de grano grueso. La experiencia ha demostrado por ejemplo que rocas carbonatadas ricas en arcillas da lugar a concretos con baja durabilidad y pobre calidad en el largo plazo. Es una situación que debe tenerse en cuenta en el caso de la justificación de realizar el ensayo de solidez en nuestro medio, teniendo en cuenta que son precisamente las rocas lodosas (Lutitas) las rocas con más problemas de durabilidad.

5.1.11 Reactividad mineral

En la fabricación de concretos debe limitarse o restringirse el uso de agregados pétreos que posean dentro de sus componentes sustancias minerales reactivas con los componentes del concreto o prever el ataque de soluciones químicas nocivas. Tres reacciones se consideran particularmente preocupantes: la reacción Álcali-Sílica RAS, la reacción Alcali-Carbonato RAC y el ataque del concreto por sulfatos.

5.1.12 Reactividad álcalis-sílica (RAS)

KRYNINE D. P. AND JUDD W. R. (1980) presentan una descripción muy completa del mecanismo, efectos y soluciones de esta reacción. Según estos autores, en el proceso de fraguado del concreto el cemento se hidrata y deja libre los álcalis (óxidos de sodio y potasio) los cuales atacan todos los silicatos y minerales silíceos, con daños importantes para el concreto si se trata de minerales reactivos con sílica amorfa. El aumento de volumen de estas sustancias reactivas provoca aumento de volumen con agrietamiento y pérdida de resistencia del concreto. El modulo de elasticidad también se puede reducir pero es susceptible a recuperación parcial o total.

5.1.12.1 Mecanismo del deterioro

De acuerdo con la descripción anterior, se trata de una reacción química entre los álcalis del cemento Pórtland y ciertos agregados que contienen calcedonia, ópalo y otras formas de sílice amorfa, microcristalina o criptocristalina. El proceso se inicia con la disolución de los álcalis del cemento y su concentración en el agua, a partir de la mezcla inicial con el cemento y los agregados pétreos. Esta concentración de álcalis aumenta gradualmente a medida que el agua se va consumiendo en el proceso de hidratación. La solución resultante ataca los agregados ricos en sílice amorfa y se forman geles de sílice alcalina que provocan altas presiones osmóticas. A causa de estas presiones se forman pequeñas fisuras donde los geles se van inyectando de tal manera que, más tarde, las fisuras se agrandan y se propagan hasta alcanzar la superficie del hormigón donde las grietas así formadas exudan los geles. Esto ocasiona un serio deterioro del concreto. Aunque el daño puede tardar algunos años antes que se haga notorio, una vez que se inicia es prácticamente imposible contrarrestarlo, es decir que lo más aconsejable es prevenirlo. Los tipos comunes de agregado que contienen sílica reactiva se presentan en la tabla 13.

5.1.12.2 Prevención

Los daños por la reacción Álcali- Sílica se pueden prevenir si se hacen oportunamente análisis petrográficos de los áridos del cemento en los cuales se determina, mediante recuento visual, el número de partículas que contienen sustancias reactivas. En la literatura se indica que los áridos que contienen más del 0.25% en peso de ópalo, más del 5% en peso de calcedonia o más del 3% de lavas o tobas volcánicas ácidas e intermedias, pueden dar lugar a las reacciones perjudiciales, a menos que se emplee un cemento bajo en álcalis. El peligro reduce si se mezclan estos materiales reactivos con sustancias inocuas, por ejemplo rocas con calcedonia mezcladas con caliza.

La reactividad se puede combatir empleando cementos bajos en álcalis (menos del 0.6% de óxidos de sodio y potasio); emplear puzolanas. Estas son productos naturales o artificiales de grano muy fino. El nombre proviene de cenizas volcánicas extraídas de la población de Puzzuoli (Italia) En general los productos puzolánicos provienen de tobas volcánicas, cenizas, algunas rocas sedimentarias silíceas (pizarra opalina, sílex y tierras de diatomeas) y arcilla y pizarra calcinada a temperaturas entre 482, 2°C a 982,2°C. Se emplea también algunos desechos industriales como las cenizas de alto horno. Todas estas sustancias contienen formas de sílice o alúmina activa que se combinan con la cal del cemento para formar un cemento compuesto estable. Las puzolanas pueden retrasar o evitar la reacción de los ácidos alcalinos, reducir la generación de calor producida por la hidratación en el proceso de fraguado aumentando la resistencia a la tensión y mejorando la docilidad de la mezcla. El empleo de estas sustancias debe investigarse en el laboratorio.

Tabla 13. Rocas y minerales susceptibles a la reacción Álcali - Sílica tomado de Krynine y Judd (1980) página 393.

ROCAS	MINERALES
<u>Rocas sedimentarias</u> Chert opalino Chert calcedónico Caliza silícea <u>Rocas volcánicas</u> Riolitas, Andesitas, dacitas y sus tobas	Ópalo (0,25%) Calcedonia (5%) Ópalo y/o Calcedonia
<u>Rocas Metamórficas</u> Filitas	Vidrio volcánico (3%), vidrio devitrificado y tridimita (illita)

La reactividad se puede combatir empleando cementos bajos en álcalis (menos del 0.6% de óxidos de sodio y potasio); emplear puzolanas. Estas son productos naturales o artificiales de grano muy fino. El nombre proviene de cenizas volcánicas extraídas de la población de Puzzuoli (Italia) En general los productos puzolánicos provienen de tobas volcánicas, cenizas, algunas rocas sedimentarias silíceas (pizarra opalina, sílex y tierras de diatomeas) y arcilla y pizarra calcinada a temperaturas entre 482, 2°C a 982,2°C. Se emplea también algunos desechos industriales como las cenizas de alto horno. Todas estas sustancias contienen formas de sílice o alúmina activa que se combinan con la cal del cemento para formar un cemento compuesto estable. Las puzolanas pueden retrasar o evitar la reacción de los ácidos alcalinos, reducir la generación de calor producida por la hidratación en el proceso de fraguado aumentando la resistencia a la tensión y mejorando la docilidad de la mezcla. El empleo de estas sustancias debe investigarse en el laboratorio.

También se puede prevenir los daños incorporando en el hormigón compuestos químicos inclusores de aire los cuales aumentan el porcentaje de huecos dejando espacio suficiente para la expansión.

5.1.12.3 Detección

Además del análisis petrográfico citado, Krynine y Judd sugieren los siguientes procedimientos: (1) disolver los áridos en una solución de hidróxido sódico, (NaOH) y determinar la reducción en la alcalinidad de la solución; (este procedimiento está incluido en las normas INVIAS. (2) medir el cambio de longitud de barras pequeñas de mortero hechas con los áridos que se desean ensayar y que se han tenido durante varios meses en un ambiente húmedo. Si hay sustancias reactivas la longitud de las barras aumenta; (3) medir el cambio de longitud de vigas de hormigón sometidas a mojado y secado con calentamiento e enfriamiento simultáneos, (4) examinar cuidadosamente las estructuras construidas donde se empleen áridos sospechosos.

En algunas estructuras afectadas por la reacción se observan una red de grietas abiertas en el concreto por donde aparecen en superficie el gel blanco o incoloro, muy duro de sílice alcalina. Al microscopio se puede descubrir una red de líneas blancas muy finas cortando el hormigón en todas direcciones y algunas veces burbujas.

El daño se manifiesta con un patrón característico de grietas en la superficie de las losas, con señales de exudación de los geles y rasgos de expansión como cierre de juntas, separación de astillas o láminas y soplos.

5.1.12.4 Mitigación

Entre las medidas sugeridas para mitigar la reacción RAS se cuentan las siguientes:

Limitar el acceso de agua al interior del concreto; usar cementos con una cantidad limitada de álcalis ($< 0,6\%$); limitar el uso de rocas con minerales reactivos; usar compuestos inhibidores como hidróxido de litio (costoso); usar cementos especiales o añadir puzolanas a las mezclas para inhibir la reacción.

El GGBFS es un cemento especial: se trata de un cemento granulado de alto horno, que contiene silicato y aluminio-silicato de calcio vítreo, que se produce como subproducto en la fabricación del acero. Entre las ventajas que comentan sus fabricantes, en este cemento la cantidad de álcalis es reducida y además consumida en el procesos e hidratación; además, la porosidad es reducida, lo cual dificulta la movilidad de los álcalis y reduce la cantidad del liquido que reacciona con el agregado reactivo.

5.1.13 Ataque de sulfatos

Es una reacción que ocurre cuando el concreto se expone a contaminación externa de iones-sulfato presentes en el agua subterránea o en el subsuelo (ataque externo) o ataque iones-sulfato presentes en el klinker o en otras sustancias que se hayan mezclado en el concreto (ataque interno).

En el caso del ataque externo AES se forma yeso (combinación de iones de sulfato y calcio) y/o etringita que es un sulfato aluminato de calco (combinación de iones de sulfato y calcio aluminato hidratado) que se expanden, con un alto poder destructivo en el caso de la etringita.

En el caso del ataque interno se forma también Etringita (Retardada o Secundaria) con consecuencias similares pero poco estudiadas hasta ahora. En pavimentos de concreto, el deterioro causado por el ataque externo del sulfato se manifiesta principalmente en grietas cerca de las juntas y bordes de las losas, generalmente en pocos años. Finas grietas longitudinales pueden también ocurrir paralelas a las juntas.

5.1.13.1 Prevención

Medidas tomadas para prevenir el desarrollo de deterioros por AES incluyen minimizar la cantidad de aluminato tricalcico en el cemento o reducir la cantidad de hidróxido de calcio en la pasta hidratada de cemento mediante el uso de

materiales puzolánicos. También se recomienda reducir a menos de 0.45 la relación agua cemento como una medida de mitigación.

Solo recientemente se ha investigado el ataque interno de los sulfatos como un potencial de daño del concreto y la manera de controlarlos no se conoce bien todavía. Se recomienda por ejemplo limitar el contenido del sulfato en el cemento y se cree que la ceniza volátil puede prevenirlo, pero nada se ha especificado al respecto.

5.1.14 Liga pétreo - asfalto

Según Krynine and Judd (1980) las rocas como el granito, debido a su contenido de cuarzo, son hidrófilas, es decir que poseen gran afinidad por el agua y en consecuencia repelen los bitúmenes.

Este aspecto de la mineralogía es todavía un poco confuso y parece que además de la presencia de cuarzo dentro de los agregados con dificultad de liga, también influyen otros factores: (1) el asfalto adhiere mejor con partículas rugosas que con partículas lisas (tensión interfacial), (2) la porosidad provee un mecanismo que favorece el entrase ligante-agregado; (3) entre más seca y limpia sea la superficie del agregado, es más difícil que se desprenda el ligante.

5.2 CAPACITACIÓN

En apoyo a la divulgación del conocimiento, el INGEOMINAS realizó durante los días 18 y 19 de Noviembre de 2010 un Curso - Seminario Internacional sobre *ASPECTOS PETROLÓGICOS Y CLIMÁTICOS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS AGREGADOS EN PAVIMENTOS Y CONCRETOS*, en el cual se divulgaron los últimos avances en la evaluación de la durabilidad/solidez y resistencia de los materiales usados en pavimentos.

5.3 BASE TÉCNICA

5.3.1 Diagnóstico de la información extraída de los archivos físicos del centro de información de INGEOMINAS (CDI)

Esta información describe los aspectos específicos referentes al proyecto SUB90 – 25 “Materiales de Construcción”, de cada uno de los informes, estudios, memorias, guías, planes, metodologías, propuestas, programas,

convenios, que reposan en los archivos del CDI del INGEOMINAS. La tabla complementaria (ANEXO A)

5.3.1.1 Información extraída de los informes en archivo físico del CDI

5.3.1.1.1 Cód. 00270. Diagnóstico para la elaboración del Plan de Manejo Minero Ambiental de la industria extractiva de materiales de construcción área metropolitana de Bucaramanga (1994).

- Existe una muy buena descripción de los aspectos Geológicos, mineros y ambientales.
- Describe tipos y usos de los materiales explotados en la zona metropolitana de Bucaramanga.
- Describe la Geología local y regional de la zona, donde se especifican las unidades de roca existentes en esta zona. Con cortes Geológicos y columnas estratigráficas de las canteras y materiales de arrastre estudiadas en este informe.
- La tabla 3. Describe los rasgos geológicos de fuentes de materiales de construcción. Unidad geológica, espesor, descripción litológica y usos. (pág. 27).
- La tabla 4. Se estipula el cálculo de recursos inferidos de materiales para construcción. (pág. 32).
- Posee una gran información referente a volúmenes de extracción por zonas, además de métodos de extracción utilizados y clasificación e inventario de canteras.
- Este informe contiene una información de vital importancia para el proyecto.

5.3.1.1.2 Cód. 00308. Informe de Visita a las Explotaciones de Materiales de Construcción en las Islas de Providencia y Santa Catalina (1995).

- Describe aspectos de geografía (clima, hidrografía, suelos), geomorfología y geología de las islas de providencia y Santa Catalina.
- Describe la demanda de materiales de construcción debido a la gran demanda turística que ofrecen las islas.

- Se visitaron 8 frentes de explotación y se describen sus características, en el largo plazo puede ser de gran ayuda.

5.3.1.1.3 Proyecto inventario minero para materiales de la construcción en SAN ANDRES y PROVIDENCIA (1997).

- Describe las características generales del Archipiélago de San Andrés y Providencia en cuanto a industria y actividad minera, además sus características geológicas con un excelente registro fotográfico.
- Aspectos geológicos de los materiales de construcción como recibos, gravas y triturados.
- Aspectos ambientales y climatológicos los cuales son importantes para la correlación con nuestro proyecto.
- Caracterización de tres (3) canteras en la isla de San Andrés y once (11) canteras en la isla de Providencia, en la cual se definen aspectos mineros, geológicos, ambientales y de ubicación geográfica.
- No se tiene en cuenta calidades de materiales en estas canteras para su clasificación sin embargo se deben tener en cuenta en el inventario final del proyecto a largo plazo, las canteras que se encuentren activas.

5.3.1.1.4 Proyecto Inventario Minero Nacional, Departamento del Quindío (1997).

- Describe aspectos del departamento del Quindío como: geología, geomorfología, sociología, clima, hidrografía, vegetación y fauna, parques naturales y reservas naturales.
- Describe los depósitos minerales del departamento y divide los minerales en grupos entre ellos materiales de construcción, donde se definen aspectos geológicos y mineros; se tiene un inventario de 23 minas georeferenciadas y de cada una de ellas se describen sus niveles de integración, sistemas de explotación, rangos de producción y minerales explotados (Materiales de Construcción).
- No describen datos de calidad de materiales pero es un inventario de canteras importante para nuestro proyecto a largo plazo.

5.3.1.1.5 Cód. 00403. Proyecto Inventario Minero Nacional (1997).

- Este informe posee información valiosa de diferentes regiones y departamentos del país como son: Choco, Santander, Tolima, Bolívar, Nariño, Archipiélago de San Andrés y Providencia, Providencia y la Sabana de Bogotá. De cada uno de ellos describe aspectos geológicos, socioeconómicos, climáticos, ambientales y mineros.
- En él se recopila la información de los informes 00270, 00303, 00308 y 00393; con la complementación de los departamentos del Quindío, Bolívar, Choco y Cauca este último sin información significativa.
- Respecto a la información del Quindío se describen el número de canteras visitadas por municipio pero no se tiene un inventario de ellas.
- En cuanto al departamento de Bolívar se tiene un inventario georeferenciado de las minas estudiadas describiendo su nombre, localización, plancha, material y formación geológica. Inventario importante para el proyecto a largo plazo.
- En el departamento de Nariño se visitaron 99 unidades de explotación en 22 municipios pero no se discriminan en un inventario.
- Se puede utilizar gran parte de esta información a nivel de estudio piloto y a largo plazo del Proyecto, aunque, no se estipulen calidades de materiales de las canteras que es lo que se busca en el proyecto para la caracterización de las mismas; los aspectos litológicos, geológicos, climáticos e inventarios de canteras son de gran importancia.

5.3.1.1.6 Cód. 00599. Monografía sobre Materiales de Construcción en Colombia (2000).

- En esta monografía se estipulan los aspectos geológicos de los materiales de construcción, divididos en arcillas, calizas, rocas ornamentales y agregados pétreos. Donde se describe su definición, clasificación según su origen, tamaño de partículas y según el proceso de beneficio requerido, además de sus principales usos y yacimientos en Colombia.

5.3.1.1.7 Cód. 00663. Documentación para la presentación del mapa de recursos minerales de Colombia: Materiales de construcción (2000).

- Este informe contiene una guía metodológica práctica para la elaboración de mapas de recursos minerales (materiales de construcción) con su respectiva nomenclatura y convenciones y demás ítems utilizados en la presentación de mapas en el INGEOMINAS.

5.3.1.1.8 Cód. 00782. Informe Final de Avance sobre el proceso de validación de Información minera del Valle de Aburrá (2002).

- Este informe contiene una base de datos de canteras georeferenciadas existentes en el Valle de Aburrá, además de un mapa de ubicación de materiales de construcción de gran importancia en el largo plazo del proyecto.

5.3.1.1.9 Cód. 00788. Mapa de minerales industriales zonas potenciales para materiales de construcción (2002).

- En este informe se estipulan breves descripciones de cada una de las regiones del país (Andina, Pacífica, Caribe, Orinoquia y Amazonia)
- Describe una Geología muy completa de los depósitos de materiales de construcción en Colombia como son Arcillas, arenas y agregados pétreos, calizas y piedras ornamentales, además de la localización por regiones de cada uno de estos yacimientos.
- La cartografía de este informe es de gran utilidad para el proyecto ya que en él se encuentra la información georeferenciada de las zonas donde se encuentran los materiales de construcción. Esta información se encuentra digitamizada en el sistema Arc. Info. Versión 7,14.

5.3.1.1.10 Cód. 00910. Análisis de Información Secundaria para Caracterización de las Propiedades Físico-Mecánicas de los Agregados Pétreos en Colombia (2004).

- Este informe posee una valiosa información, donde se localizan minas que extraen agregados pétreos (finos, arenas, gravas) y describe algunos ensayos para determinar las propiedades Físico – mecánicas de los mismos.

- Se nombra una base de datos llamada “Materiales Pétreos Colombia” y anexa a esta la base de datos “formularios para capturar información primaria” de ensayos a suelos y ensayos a rocas en fuentes de explotación de agregados pétreos.
 - Describe la realización de una serie de graficas en Excel para tener una mejor y detallada presentación; pero estas graficas están en físico sería de gran ayuda tener esta información en medio magnético para analizar las gráficas que se nombran en este informe; de igual forma según este informe existe un mapa en ArcMap de ArcGIS donde se exportaron los puntos de mina identificados en la información secundaria previamente hecha donde se comprueba la ubicación geográfica y se representa de acuerdo al método de explotación (canteras o Aluviones) y según la familia geotécnica a la que pertenezcan según “Clasificación petrológica simplificada de agregados para pavimentos” 1976, realizada por el Geólogo Juan Montero.
 - Describe la definición de materiales de construcción y los procesos geológicos que dan origen a los yacimientos minerales.
 - Describe los ensayos físicos (granulométrico, determinación de forma, determinación de textura, determinación de expansión y absorción) y ensayos de propiedades mecánicas (Resistencia a la compresión simple, adherencia, resistencia en la máquina de los ángeles, porcentaje de aplanamiento, solidez, Equivalente de arena, Limites líquido y plástico e índice de plasticidad).
 - En este informe se estipula que existe la tabla DGN_materiales en software Access 2000, esta tabla se tiene que observar y se debe analizar toda la información que allí se encuentra ya que no se encuentran impresas las figuras donde se describe esta información.
 - Describe las especificaciones técnicas según la norma INVIAS y NTC de agregados para concretos, terraplén, sub-base granular, base granular, mezclas, pedraplén y especificaciones según el tipo de suelo con sus respectivas tablas resumen las cuales son indispensables para el proyecto.
- 5.3.1.1.11 Cód. 00938. Informe sobre la situación de los materiales de construcción frente al ordenamiento territorial en Bogotá, Bucaramanga, Cartagena, Cali y San Andrés.

- Describe los POT de las ciudades de Bogotá, Cali, Bucaramanga, Cartagena y San Andrés.
- Toda la información de materiales de construcción de estas ciudades fue extraída del informe 00403 “inventario minero nacional” por lo cual no se tendrá en cuenta en este proyecto ya que el informe 00403 si se utilizara.

5.3.1.2 Información extraída de los estudios en archivo físico del CDI

5.3.1.2.1 Cód. 01870. Diagnóstico del estado económico y tecnológico del sub-sector de los agregados pétreos (1977).

- Contiene una muy buena descripción y clasificación de los materiales pétreos según origen geológico y forma y sitio de extracción, además de los procesos de producción, maquinaria y transporte.
- Describe aspectos de estructura de la industria de los pétreos, estado tecnológico, producción y mercadeo en las ciudades de Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, Bucaramanga, Cúcuta, Cartagena y Manizales.
- No contiene información sobre ensayos de calidad de las muestras.
- Contiene mapas de ubicación pero no tiene las coordenadas de las canteras es posible que se pueda extraer información importante sin embargo por el año de realización del estudio, puede estar desactualizada; en cuanto a la información de marco teórico es muy completa y detallada.

5.3.1.2.2 Cód. 01918 Estudios de fuentes de materiales: Estudios de diseño de la avenida ciudad de Cali (1994).

- En este estudio se describen las fuentes de materiales (canteras y aluviones) para el proyecto de diseño y construcción de la avenida ciudad de Cali en la ciudad de Cali, se describen aspectos geológicos, climáticos, vegetación, método de explotación, aprovechamiento del material, infraestructura, volúmenes de producción y posibles usos además de su ubicación por dirección aunque existe el mapa de ubicación no hay coordenadas para la georeferenciación.
- En total se estudiaron 7 canteras, 7 depósitos aluviales y 3 plantas de producción de agregados y presenta una descripción de análisis de

laboratorio de DMA, Granulometría, Materia Orgánica y Solidez (sulfato de sodio 5 ciclos).

- Este informe contiene una información importante para el proyecto a largo plazo. En la página 6 se encuentra un cuadro de metodología que se debería adoptar para el buen desarrollo del proyecto.

5.3.1.3 Información extraída de las guías en archivo físico del CDI

5.3.1.3.1 Cód. 02053 Manual Metodología de Mapas y Bases de Datos (1999).

- Este manual como su nombre lo dice describe la metodología para la elaboración de mapas y bases de datos el cual sería de gran ayuda en la realización de los mapas del proyecto.

5.3.1.4 Información extraída de los planes en archivo físico del CDI

5.3.1.4.1 Cód. 02090 Información básica para "El Plan Estratégico de minerales para el desarrollo de Colombia": Materiales de construcción (Arcillas, Calizas, Agregados pétreos) en el departamento del Cauca, Colombia (1992).

- Se estipulan aspectos socio-económicos, actividad edificadora, impacto ambiental y aspectos jurídicos.
- Esta información describe los materiales para construcción que se encuentran en el departamento del cauca (Arcillas, piedra para ornamentación, mármol y calizas y agregados pétreos.
- Posee un mapa de fuentes de materiales del departamento del cauca según el tipo de material y un inventario de las mismas la mayoría con coordenadas de ubicación. Muchas de las fuentes estipuladas en este inventario se encuentran en el inventario del proyecto "Materiales pétreos para pavimentos y concretos realizado por el Geólogo Juan Montero O.
- Para el proyecto a largo plazo, este posee una información para la realización del inventario en esta zona del departamento del cauca.

5.3.1.4.2 Cód. 02094. Plan de explotación y rehabilitación ambiental en el área de la licencia No.13.460, Municipio de Tabio - Cundinamarca: Gravillera de Tabio. (1994).

- Este informe no contiene información de localización de la gravillera ni datos relevantes como para tenerlo en cuenta.

5.3.1.4.3 Cód. 02098. Plan de manejo minero ambiental de la industria extractiva de materiales de construcción: Área metropolitana de Bucaramanga. (1993).

- Este plan de manejo ambiental se refiere a la situación de las fuentes de materiales descritas en el proyecto “inventario minero nacional del departamento de Santander. Y en este informe se describe la metodología para llevar a cabo el plan de manejo ambiental de estas fuentes de materiales no existe información de interés para el proyecto.

5.3.1.4.4 Cód. 02104. Plan de manejo minero - ambiental de la industria extractiva de los materiales de la construcción en la ciudad de Cali: Volumen I. (1995).

- Describe la geología de las zonas aledañas a la ciudad de Cali, refiriendo cada una de las formaciones que allí se encuentran; descripción de la tectónica de la zona y posee una localización (sin coordenadas) de canteras y descripción detallada de la geología de cada una de ellas.
- Este informe será de gran ayuda para el proyecto a largo plazo por su completa descripción y registros fotográficos de las canteras estudiadas.

5.3.1.4.5 Plan de manejo minero - ambiental de la industria extractiva de los materiales de la construcción en la ciudad de Cali: Volumen II. (1995)

- En este volumen del plan de manejo ambiental se manejan aspectos socio-económicos, los cuales no son directamente de interés para el proyecto, ya que lo referente al proyecto se describe en el volumen I, este no se debe tener en cuenta.

5.3.1.4.6 Cód. 02119. Formulación de lineamientos para un plan de manejo minero ambiental de la industria extractiva de materiales de construcción, en Cartagena - Fase II. (1995).

- De esta formulación se puede recalcar el cuadro 1 (Pág. 20) “FUENTE GEOLOGICA DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION QUE ABASTECEN LA CIUDAD DE CARTAGENA”, con ítems de edad, unidad geológica, espesor, descripción litológica y materiales; este informe se puede tener en cuenta en el proyecto a largo plazo debido a que se sale de los límites del proyecto piloto.
- El mapa geológico y de localización de canteras que abastecen a la ciudad de Cartagena (fig. 4) (Pág. 16) también será de gran ayuda para el proyecto a largo plazo.

5.3.1.4.7 Cód. 02128 Plan de manejo minero ambiental de la industria extractiva de materiales de construcción en Cartagena Fase I – Diagnostico.

- en este plan se estipula la localización de las 50 canteras estudiadas con sus respectivas coordenadas y litología condensada (tabla 2) (pág. 18). Es una información muy valiosa para el proyecto a largo plazo.
- El anexo 5 “Mapa Geológico y de Localización de Canteras que Abastecen a la Ciudad de Cartagena” escala 1: 100.000 será de gran ayuda para el proyecto cuando se estudie la zona de Cartagena.

5.3.2 Información extraída en campo

Se visitaron entidades y fuentes de materiales en los departamentos de Meta y Boyacá en donde se solicitó información básica como insumo para el proyecto; a continuación se presenta el diagnóstico de la información recopilada y la información solicitada.

5.3.2.1 Visita a Entidades

5.3.2.1.1 Secretaria de Infraestructura de Villavicencio

Se realizó la reunión en la cual participaron las siguientes personas:

Vladimir Bermúdez Carvajal, secretario de infraestructura de Villavicencio, Alis Julia Penagos, Asesora del CLOPAD, Jhonny Ojeda Cárdenas, profesor

Universitario, SIM, Diana Guevara Vigoya, Contratista, SIM, Andrés Bustos, Director Técnico, SIM, Juan Montero Olarte, Asesor de INGEOMINAS, Leonardo González Díaz, Contratista INGEOMINAS.

En ella se presentó el proyecto y se recibió con agrado e interés por los presentes; se obtuvo información de fuentes aluviales de los ríos: Guatiquia, Ocoa, Caño Grande y Guayuriba. El secretario Vladimir nos entregó un listado de las minas posibles en cada río (tabla 14), además de fuentes de arena (Tabla 15) y macro proyectos de infraestructura en el META (tabla 16).

5.3.2.1.2 Secretaria de Planeación del Meta.

Nos reunimos con el ingeniero Cesar Calvo el cual nos brindó información de Planes de Desarrollo de los municipios del Meta y Planes de Ordenamiento Territorial.

5.3.2.1.3 Instituto de Desarrollo del Meta

Nos entrevistamos con el Ingeniero Javier Armando Castellanos quien es el director de Proyectos del IDM, quien se mostró muy interesado en el Proyecto y nos brindó su colaboración y nos pidió que enviáramos una carta dirigida a Gilberto Toro Franco quien es el Gerente del IDM con copia a él solicitando la información que se requería de esta entidad. Esta carta fue enviada pero no hemos recibido respuesta.

5.3.2.1.4 Cormacarena

Nos atendió el Ingeniero Alex Díaz el cual nos brindó un listado de Proyectos mineros legales con licencia ambiental vigente. Nos pidió que lo contactáramos vía correo electrónico para solicitar información de la zona. Nos habló de fuentes en el río Humadea, Guamal y Umea en la vía Villavicencio – Granada los dos primeros y vía Villavicencio – Barranca de Upiá.

5.3.2.1.5 Secretaria de Infraestructura de Boyacá

Nos reunimos con el arquitecto Mauricio Rueda Maldonado quien es el Director de obras S.I.P. donde se expuso el proyecto y se recopiló información de infraestructura vial del Plan de Desarrollo del departamento.

5.3.2.1.6 Secretaria de Planeación

Nos reunimos con el secretario de planeación Ing. Edgar Simbaqueba quien nos suministró una copia en físico del plan de desarrollo del departamento de Boyacá.

5.3.2.1.7 Secretaria de Minas

Nos reunimos con el Ingeniero Geólogo Guillermo Flechas, quien nos informó que la información que ellos manejan está ligada totalmente con el Catastro Minero Colombiano (C.M.C.) de INGEOMINAS sin embargo verbalmente nos brindó la siguiente información:

- Areniscas silíceas y asfaltitas – Picacho.
- Arenas friables – Picacho y Une.
- Areniscas – Socha inferior, Une, Ermitaño, Aguardiente y Luna.
- Gravas cuarcitas – Chipaque.
- Calizas – Chipaque, Tibasosa, Belencito, Rosa blanca.
- Arcillas – Soacha superior, Bogotá, Tilata y guaduas.
- Depósitos aluviales Gravas y Arenas – Puerto Boyacá.
- Recebo – Planners, Chiruvita, Chipaque, Conejo, Ermitaño (Aguardiente liditas).
- Unidades silicias – Tíbet: formación con bastante sílice.
- Depósitos glaciales gravas – Belencito, Floresta, riolitas de Usaca.
- Nos recomendó reunirnos con el Ing. Jorge Mariño director de la facultad de ingeniería Geológica de Sogamoso y mirar el estudio detallado hecho por ITALO.

Tabla 14. Disponibilidad y distribución de fuentes de materiales en el departamento del Meta.

DISPONIBILIDAD Y DISTRIBUCION DE MATERIALES PETREOS PARA LA CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS Y CONCRETOS				
SECTORES DE EXPLOTACION DE MATERIALES				
EXTRACCION DEL MATERIAL	EMPRESA	DIRECCION	WEB/ E-MAIL	TELEFONO
RIO GUATIQUEIA	MINA LA CAROLINA	Sector Vanguardia		
	MINA GUATIQUEIA Titulo minero EKS161	Sector del Barrio Villa Suarez		
RIO OCOA	MINA GUATIQUEIA Titulo Minero: FLU 113 - FLU 112	Vía a Puerto Lopez	Web: http://minaguatiquia.com/compania.html E- mail: contactenos@minaguatiquia.com	(8) 6610384 3005536924
CAÑO GRANDE	MINA GUATIQUEIA Titulo Minero EKS151	Sector Barrio Divino Niño		
RIO GUAYURIBA	MURCIA Y MURCIA	Mina las Mercedes, vía Villavicencio - Acacias Km 14, Vereda las mercedes en el departamento del Meta	E- mail: murciamurciasa@cable.net.co	Línea de atención al cliente 01-900-3317890
	GRAVICON	Carrera 32 N° 38-70 oficina 801	E-mail: ecogravas@etell.net.co	(8) 6706852 (8) 6715423
	TRITURADORA Y COMERCIALIZADORA GUAYURIBA	Planta vía Acacias Km20 oficina: Cra 33 N°. 17-19		(8) 6659880
	PLANTA CEMEX	Villavicencio: Km 2 Vía Acacias		(8) 6638342 (8) 6638098
	SECTOR VEREDA RIO NEGRITO			
	SECTOR SANTA ROSA DE RIONEGRO			

Tabla 15. Disponibilidad y distribución de fuentes de materiales en el departamento del Meta.

DISPONIBILIDAD Y DISTRIBUCION DE MATERIALES PETREOS PARA LA CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS Y CONCRETOS		
SECTORES DE EXPLOTACION DE MATERIALES		
ARENERAS	EL ROSAL	Barrió La Pradera. Villavicencio – Meta
	BARRIO LAS AMERICAS	Vereda Buenos Aires Villavicencio – Meta
	BARRIO VILLA LORENA	
	VEREDA VANGUARDIA	Vía Antigua a Restrepo
	SANTA TERESA	Vía Antigua a Restrepo

Tabla 16. Disponibilidad y distribución de fuentes de materiales en el departamento del Meta.

MACRO PROYECTOS EN INFRAESTRUCTURA. DEPARTAMENTO DEL META			
Nº	PROYECTO	ENTIDAD ENCARGADA	ESTADO
1	Rehabilitación Avenida 40 y Carrera 12	Alcaldía Municipal	En Ejecución
2	Rehabilitación Avenida Los Marcos	Alcaldía Municipal	Por Contratar
3	Rehabilitación anillo Vial. 4Km	Gobernación del Meta y Alcaldía Municipal	Por Contratar
4	Construcción Puente Caño Parrado	Gobernación del Meta	En Ejecución

5.3.2.1.8 Secretaria de Infraestructura de Tunja.

Nos reunimos con la Ing. Jessica Millán Secretaria de Infraestructura de Tunja, quien nos brindó información verbal muy valiosa de fuentes de materiales en los alrededores de la ciudad Vía Villa de Leyva, Vía Combita, Vía Arcabuco y Vía Sogamoso.

5.3.2.1.9 Laboratorio Hnos López Ltda.

Nos reunimos con el Ing. Pablo López propietario del laboratorio, quien posee una gran información de caracterización de fuentes de materiales del departamento ya que es un laboratorio muy reconocido y confiable y la mayoría de los ensayos realizados en la región se efectúan en este laboratorio, el acepto brindarnos información tras oficio dirigido a él solicitando esta información.

El oficio se envió y recibimos respuesta con información de 4 canteras de la zona; se espera recibir más información de esta gran fuente de información.

5.3.3 Verificación y georreferenciación de fuentes de materiales en el departamento del Meta.

5.3.3.1 Murcia y Murcia Guayuriba

Se visitó la fuente de tipo aluvial donde nos atendió el Ingeniero: Carlos Martínez director de mina. La fuente se encuentra ubicada en el kilómetro 16 vía Villavicencio – Acacias en el departamento del Meta; sus coordenadas geográficas son N: 1040074 E: 937789, a una altura de 485 msnm.

En la fuente poseen un sofisticado laboratorio de suelos y pavimentos donde hablamos con la Ing. Lorena Olivares, quien expuso que esta información de caracterización se solicitó información mediante oficio al Director de Producción Ing. Javier González y recibimos respuesta con información importante de calidad de la fuente aluvial.

5.3.3.2 Gravicon

Fuente de tipo aluvial, La fuente se encuentra ubicada en el kilómetro 17 vía Villavicencio – Acacias en el departamento del Meta; sus coordenadas geográficas son N: 1038104 E: 938004, a una altura de 504 msnm.

5.3.3.3 Cemex Guayuriba

Fuente de tipo aluvial donde nos atendió el Ingeniero: Mauricio Orozco. La fuente se encuentra ubicada en el kilómetro 19 vía Villavicencio – Acacias en el departamento del Meta; sus coordenadas geográficas son N: 1035224 E: 938844, a una altura de 532 msnm.

Se solicitó información pero no se ha recibido respuesta.

5.3.3.4 Trituradora Guayuriba

Fuente de tipo aluvial donde nos atendió la señora: Rocío Umaña. La fuente se encuentra ubicada en el kilómetro 21 vía Villavicencio – Acacias en el departamento del Meta; sus coordenadas geográficas son N: 1034472 E: 939407, a una altura de 539 msnm.

Se solicitó información de esta fuente al Ing. Héctor Herrera Gerente General, pero no se ha recibido respuesta.

5.3.4 Verificación y georeferenciación de fuentes de materiales en el departamento de Boyacá.

5.3.4.1 Piedra Gorda

Fuente de tipo Cantera donde nos atendió el señor: José de Jesús Tovar. La fuente se encuentra ubicada en el kilómetro 10 vía Tunja – Cucaita en el departamento de Boyacá; sus coordenadas geográficas son N: 1073157 E: 1106931, a una altura de 3013 msnm. (Planners). Esta cantera se encuentra ubicada casi en las mismas coordenadas de la cantera 04 – 202 Aposentos del inventario de Invias 1984. Se debe revisar si es la misma o no.

Se solicitó información de esta fuente al Ing. José de Jesús Tovar. Pero no se ha recibido respuesta.

5.3.4.2 El Cerrito

Fuente de tipo Cantera donde nos atendió el señor: Andrés Bautista. La fuente se encuentra ubicada en el kilómetro 18 vía Tunja – Cucaita en el departamento de Boyacá; sus coordenadas geográficas son N: 1067868 E: 1104645, a una altura de 2642 msnm. (Planners).

Se solicitó información de esta fuente al señor Andrés Bautista. Pero no se ha recibido respuesta.

5.3.4.3 Santa Lucia

Fuente de tipo Cantera donde nos atendió el Ingeniero: Ángel María la Rotta. La fuente se encuentra ubicada en el MOJON 56 (PR 56) kilómetro 19 vía Tunja – Villa de Leyva en el departamento de Boyacá; sus coordenadas geográficas son N: 1067645 E: 1104377, a una altura de 2659 msnm. (Planners - porcelanitas).

Se obtuvo información de la cantera como DMA entre 22 y 32%, plasticidad < 20. Usos en infraestructura vial (rellenos, recebos, afirmados, subbase, base y carpeta asfáltica).

Se solicitó información de esta fuente al Ing. Ángel María La Rotta. Se recibió respuesta con datos de ensayos de calidad de la fuente.

5.3.4.4 L.H. Churuvita

Fuente de tipo Cantera donde nos atendió el Ingeniero: Ángel María La Rotta. La fuente se encuentra ubicada en el kilómetro k0+800 vía Tunja – Villa de Leyva desde el cruce a Samaca – Samaca en el departamento de Boyacá; sus coordenadas geográficas son N: 1063586 E: 1104521, a una altura de 2733 msnm.

Se solicitó información de esta fuente al Ing. Ángel María La Rotta. Se recibió respuesta con datos de ensayos de calidad de la fuente.

5.3.4.5 Samaca

(Abandonada) coordenadas geográficas son N: 1066857 E: 1098061, a una altura de 2783 msnm.

5.3.4.6 Los Naranjos

Fuente de tipo Cantera donde nos atendió el Ingeniero: Miguel Ángel García Garay. La fuente se encuentra ubicada en el kilómetro k30+000 vía Tunja – Villa de Leyva en el departamento de Boyacá; sus coordenadas geográficas son N: 1062634 E: 1110167, a una altura de 2240 msnm.

Se solicitó información de esta fuente al Ing. Miguel Ángel García Garay. Pero no se ha recibido respuesta.

5.3.4.7 Calizas y Agregados

(Abandonada) se encuentra en el kilómetro k33+000 vía Tunja – Villa de Leyva en el departamento de Boyacá; sus coordenadas geográficas son N: 1060362 E: 1109822, a una altura de 2180 msnm.

5.3.4.8 Cementos Tequendama

Fuente de tipo Cantera donde nos atendió el Ingeniero: Juan Pablo Morales. La fuente se encuentra ubicada en el kilómetro k30+000 vía Tunja – Villa de Leyva en el departamento de Boyacá; sus coordenadas geográficas son N: 1060165 E: 1112240, a una altura de 2205 msnm.

Se solicitó información de esta fuente a la Ing. Mónica Grand Marín Directora de materias primas Cementos Tequendama. Pero no se ha recibido respuesta.

5.3.4.9 La Esperanza

Fuente de tipo Cantera donde nos informaron que el título estaba a nombre de: Alfonso González Torres. La fuente se encuentra ubicada en el kilómetro k28+000 vía Tunja – Arcabuco en el departamento de Boyacá; sus coordenadas geográficas son N: 1075933 E: 1125298, a una altura de 2856 msnm.

Se solicitó información de esta fuente al señor Alfonso González Torres. Pero no se ha recibido respuesta.

5.3.4.10 Buena Vista

Fuente de tipo Cantera donde nos atendió el señor: Mariano Alfonso. La fuente se encuentra ubicada en el kilómetro k30+000 vía Tunja – Combita en el departamento de Boyacá; sus coordenadas geográficas son N: 1081310 E: 1115543, a una altura de 3084 msnm.

Se solicitó información de esta fuente al señor: Mariano Alfonso propietario de la fuente. Pero no se ha recibido respuesta.

5.3.4.11 Alcides González

Fuente de tipo Cantera donde nos atendió el señor: Alcides González. La fuente se encuentra ubicada en el kilómetro 17 vía Tunja – Combita en el departamento de Boyacá; sus coordenadas geográficas son N: 1081139 E: 1114698, a una altura de 3105 msnm.

5.3.4.12 Pétreos Puente Guayas

Fuente de tipo Aluvial donde nos atendió el señor: Rómulo Duitama. La fuente se encuentra ubicada en el kilómetro k30+000 vía Tunja – Combita en el departamento de Boyacá; sus coordenadas geográficas son N: 1081605 E: 1090203, a una altura de 2158 msnm.

Se solicitó información de esta fuente al señor: Rómulo Duitama propietario de la fuente. Pero no se ha recibido respuesta.

5.3.4.13 Trituradora San Martín

Fuente de tipo Aluvial donde nos atendió el señor: Martín Castro. La fuente se encuentra ubicada en el kilómetro k5+000 vía Jenesano - Tibana en el departamento de Boyacá; sus coordenadas geográficas son N: 1078172 E: 1083661, a una altura de 2060 msnm.

Se solicitó información de esta fuente al señor: Martin Castro propietario de la fuente. Pero no se ha recibido respuesta.

5.3.4.14 El Manzano

Fuente de tipo cantera (Abandonada) se encuentra en el kilómetro k30+000 vía Tunja – Duitama en el departamento de Boyacá; sus coordenadas geográficas son N: 1099072 E: 1129463, a una altura de 2668 msnm.

5.3.4.15 La Frontera

Fuente de tipo Cantera donde nos atendió la señora: Ana Teresa Poveda Grimaldez. La fuente se encuentra ubicada en el kilómetro 3 vía Duitama – Sta. Rosa de Viterbo en el departamento de Boyacá; sus coordenadas geográficas son N: 1117766 E: 1138776, a una altura de 2617 msnm.

No tienen información disponible de ensayos.

5.3.4.16 La Campana

Fuente de tipo Cantera (No se pudo ingresar) la fuente se encuentra ubicada en el kilómetro 4 vía Duitama – Sta. Rosa de Viterbo en el departamento de Boyacá; sus coordenadas geográficas son N: 1117975 E: 1139574, a una altura de 2660 msnm.

5.3.4.17 Mina Los Bahos

Fuente de tipo Cantera (Explotación de Arena) donde nos atendió el señor: Oscar Henry Pedraza, la fuente se encuentra ubicada en el kilómetro 8+000 vía Duitama – Sta. Rosa de Viterbo en el departamento de Boyacá; sus coordenadas geográficas son N: 1118467 E: 1140375, a una altura de 2718 msnm.

Se solicitó información de esta fuente al señor: Oscar Henry Pedraza propietario de la fuente. Pero no se ha recibido respuesta.

5.3.4.18 Mina Peñas Del Recuerdo

Fuente de tipo Cantera donde nos atendió el señor: Pedro León, la fuente se encuentra ubicada en el kilómetro 8+000 vía Duitama – Sta. Rosa de Viterbo vereda Gratamira en el departamento de Boyacá; sus coordenadas geográficas son N: 1119167 E: 1139984, a una altura de 2756 msnm.

Se solicitó información de esta fuente al señor: Pedro León propietario de la fuente. Pero no se ha recibido respuesta.

5.3.4.19 La Envidia

Fuente de tipo Cantera (Explotación de Arena) donde nos atendió el señor: Guillermo Torres, la fuente se encuentra ubicada en el kilómetro 8+700 vía Duitama – Sta. Rosa de Viterbo vereda Gratamira en el departamento de Boyacá; sus coordenadas geográficas son N: 1119578 E: 1139695, a una altura de 2749 msnm.

Se solicitó información de esta fuente al señor: Guillermo Torres propietario de la fuente. Pero no se ha recibido respuesta.

5.3.4.20 La Chorrera

Fuente de tipo Cantera donde nos atendió el señor: Luis Antonio Gómez, la fuente se encuentra ubicada en el kilómetro 5+000 vía Floresta – Busbanza en el departamento de Boyacá; sus coordenadas geográficas son N: 1123217 E: 1138963, a una altura de 2660 msnm.

Se solicitó información de esta fuente al señor: Luis Antonio Gómez propietario de la fuente. Pero no se ha recibido respuesta.

5.3.4.21 Mina Suescun Holcim

Fuente de tipo Cantera (no se pudo Ingresar), la fuente se encuentra ubicada en el kilómetro 1+700 vía Sogamoso – Monjas - Firabitoba en el departamento de Boyacá; sus coordenadas geográficas son N: 1123238 E: 1124666, a una altura de 2651 msnm.

Se solicitó información de esta fuente a la empresa: HOLCIM Bogotá. Pero no se ha recibido respuesta.

5.3.4.22 Mina Monjas Argos

Fuente de tipo Cantera nos atendió el Ingeniero: Rafael Hernández, la fuente se encuentra ubicada en el kilómetro 6+800 vía Sogamoso – Monjas - Firabitoba en el departamento de Boyacá; sus coordenadas geográficas son N: 1121078 E: 1122228, a una altura de 2586 msnm.

Se solicitó información de esta fuente a la empresa: ARGOS Bogotá. Pero no se ha recibido respuesta.

5.3.4.23 Mina Iza Aguas Calientes Holcim

Fuente de tipo Cantera (Explotación de Puzolanas) nos atendió la Ingeniera: Zoraida Torres, la fuente se encuentra ubicada en el kilómetro 1+400 vía Iza - Piscina Municipal en el departamento de Boyacá; sus coordenadas geográficas son N: 1119902 E: 1112372, a una altura de 2641 msnm.

Se solicitó información de esta fuente a la empresa: HOLCIM Bogotá. Pero no se ha recibido respuesta.

5.3.4.24 Central de Triturados

Fuente de tipo Cantera nos atendió el señor: Eliecer Fonseca, la fuente se encuentra ubicada en el kilómetro 5+000 vía Duitama - Belencito en el departamento de Boyacá; sus coordenadas geográficas son N: 1125731 E: 1128340, a una altura de 2510 msnm.

5.3.5 Diagnostico de la Información de INVIAS

La información referente a INVIAS se encuentra ubicada en el archivo de Fontibon de la entidad, en la visita realizada al archivo se recibió un listado de todos los documentos referentes a materiales de construcción de los cuales se realizó un filtro dejando solo los más relevantes para el insumo de información para el proyecto de exploración de materiales en el país. (ANEXO B). Esta información ya fue solicitada formalmente a esta entidad ya que es una de las más completas e indispensables para el proyecto a largo plazo.

A continuación se hace un pequeño diagnóstico de cada uno de estos documentos:

5.3.5.1 Cód. 1013961. Estudio de Impacto ambiental realizado por la firma JOYCO LTDA en el año 1996 en el departamento del Huila.

- Ejecutado en el tramo Neiva – Espinal y donde se involucran las fuentes de materiales del Rio Aipe Magdalena.

5.3.5.2 Cód. 10 14 566. Diseño de reconstrucción y pavimentación Ruta Pasto – Buesaco Realizado por la firma PANAVIAS en el año 1996 en el departamento de Nariño.

- Ejecutado en el tramo Pasto – Buesaco PR 26+000 al PR 55+801 contiene el estudio de la geología de la región e involucra fuentes de materiales.

5.3.5.3 Cód. 1014701-1014705 Estudio de Fuentes de materiales Realizado por la firma HIDRO ESTUDIOS LTDA en el año 1984 en el departamento del Quindío.

- Se tomó como sede principal el distrito denominado en este estudio como Distrito 23 Calarca, tomando los tramos Calarca - La Nubia, Calarca – Barbas, Calarca – Cantera PR15+200 y Calarca – La Quebra el cual tiene datos de las fuentes de materiales del Departamento del Quindío.

- 5.3.5.4 Cód. 1000006 – 1000007. Estudios Fase 1 Ruta Medellín - Bogotá Realizado por la firma INTEGRAL LTDA en el departamento de Antioquia.
- Ejecutado en el tramo Medellín – Guarne y los ríos Dormilón y Samana, el cual tiene informe sobre suelos y materiales.
- 5.3.5.5 Cód. 1000031 Estudios Fase 1 Ruta Medellín – La Pintada Realizado por la División de Ingeniería de Materiales MOPT en el departamento de Antioquia.
- Ejecutado en el tramo Medellín – La Pintada el cual tiene información de fuentes de Materiales.
- 5.3.5.6 Cód. 1000070 Estudios Fase 1 Ruta Medellín – Bogotá Realizado por la firma INGETEC Ltda. En el departamento de Antioquia.
- Ejecutado en el tramo Bogotá – La Dorada el cual tiene información de fuentes de materiales.
- 5.3.5.7 Cód. 1000191- 1000193 Estudio Fase 1 Ruta Zulia – Aguachica Realizado por la firma TECNIPROYECTOS Ltda. En el departamento de Norte de Santander.
- Ejecutado en el tramo Sardinata – El Tarra el cual tiene información de fuentes de materiales.
- 5.3.5.8 Cód. 1000274 Plan de Pavimentación Ruta Santa Rosa – Villa Nueva Realizado por la Firma SILVA Y FAJARDO CIA Ltda. En el Departamento de Bolívar.
- Contiene información de las fuentes de materiales cercanas al proyecto.
- 5.3.5.9 Cód. 1000374 Estudio Fase 1 Fuentes de Materiales Ruta Villa de leyva arcabuco Realizado por la firma DYCON INGENIEROS En el Departamento Boyacá.
- Se estipulan los estudios posibles de fuentes de materiales en la zona.
- 5.3.5.10 Cód. 1000429 Estudio Fase 1 Programa de Recuperación Ruta: Pereira – Cerritos – La Felisa realizado por la Firma ESTUDIOS TECNICOS Ltda. En el Departamento de Risaralda.
- En él se encuentra información de sitios críticos y de fuentes de materiales.

5.3.5.11 Cód. 1000500 Informe Final Tomo III - Estudio de Fuentes de materiales Realizado por la firma HIDRO ESTUDIOS LTDA en el año 1984 en el departamento del Cauca.

- Se tomó como sede principal el distrito denominado en este estudio como Distrito 6 Popayán en él, se encuentra información de las fuentes de materiales del departamento del Cauca.

5.3.5.12 Cód. 1000508 Estudios Fase 1 Ruta Uribe Tres Puertas Realizado por la firma INGENIERIA DE ESTUDIOS AS. En el Departamento de Caldas.

- Estudio de suelos e información de fuentes de materiales.

5.3.5.13 Cód. 1000571 Estudios Fase 1 Ruta: Popayán – Mojarras. Realizado por la firma HIDROESTUDIOS Ltda. En el Departamento del Cauca.

- Informe Final en el cual se encuentra información de fuentes de materiales.

5.3.5.14 Cód. 1000627 - 1000641 Estudios Fase 1 Ruta: Viajano - San Marcos – Galeras realizado por la Firma SODEIC Ltda. En el Departamento de Córdoba.

- Contiene informe final y estudio de fuentes de materiales.

5.3.5.15 Cód. 1000663 Estudio Fase 1 Intersección Mosquera. Realizado por la firma INTERPRO Ltda. En el Departamento de Cundinamarca.

- Contiene estudio de suelos y fuentes de materiales.

5.3.5.16 Cód. 1000700 – 1000701 Estudios Fase 1 en la Ruta: Bogotá – Villavicencio Realizado por la firma LA VIALIDAD Ltda. En el Departamento de Cundinamarca.

- Ejecutado en el Kilómetro 55 contiene estudio de suelos y fuentes de materiales.

5.3.5.17 Cód. 1000724 - 1000725 – 1000742 Estudios Fase 1 en la Ruta: Bogotá – La Dorada – Pto Triunfo. Realizados por la Firma INGETEC SA. En el Departamento de Cundinamarca.

- Tramos Bogotá – Vega – Villeta, Bogotá – El Vino y Tobia Grande – Puerto Salgar contiene información de fuentes de materiales.

5.3.5.18 Cód. 1000902 Estudios Fase 1 en la Ruta: Bogotá – Choconta Realizado por la firma URIBE ANGEL HERNANDO en el departamento de Cundinamarca.

- Ejecutado para el tramo K33 al K 37 contiene información de fuentes de materiales.

5.3.5.19 Cód. 1000942 Tomo II - Estudio de Fuentes de materiales Realizado por la firma HIDRO ESTUDIOS LTDA en el año 1984 en el departamento del Choco.

- Se tomó como sede principal el distrito denominado en este estudio como Distrito 9 Quibdó, en él, se encuentra información de las fuentes de materiales del departamento del Choco.

5.3.5.20 Cód. 1001105 Estudios Fase 1 Ruta: Paletara – Isnos – Sombrerillos Realizado por la firma INGETEC SA. En el Departamento del Huila.

- Contiene información de materiales de construcción.

5.3.5.21 Cód. 1001327 Estudios Fase 1 Ruta: Ipiales – Gualmatan. Realizado por la firma GAETHLEMO GERARDO en el Departamento de Nariño

- Contiene evaluación de alternativas de fuentes de materiales.

5.3.5.22 Cód. 1001571 – 1004882 Estudio Fase 1 Ruta: Central del Norte. Realizado por la firma E.T.A. En el departamento de Santander.

- Tramo Málaga – La lejía donde se encuentra información de fuentes de materiales.

5.3.5.23 Cód. 1001609 Estudio Fase 1 Ruta: Cúcuta – Pto Santander. Realizado por el M.O.P.T. en el departamento de Norte de Santander.

- Contiene información de fuentes de materiales.

5.3.5.24 Cód. 1001770 Estudio Fase 1 Ruta Mirolindo – Rovira. Realizado por Lee Infante. En el Departamento del Tolima.

- Contiene estudio de pavimentación e información de fuentes de materiales.

5.3.5.25 Cód. 1001817 Estudio Fase 1 Autopista Oriental. Realizado por la Firma INESCO Ltda. En el Departamento del Valle.

- Contiene estudio de suelos e información de fuentes de materiales.

5.3.5.26 Cód. 1002161 Estudio Fase 1 Ruta: Variante Calarca – Armenia. Realizado por la firma BRAVO PAULO EMILO CIA Ltda. En el Departamento del Quindío.

- Ejecutado en la avenida Centenario de Armenia, contiene información de fuentes de materiales.

5.3.5.27 Cód. 1002248 Estudio Fase 1 Ruta: Panamericana Realizado por la firma BRAVO PAULO EMILO CIA Ltda. En el Departamento del Cauca.

- En el tramo Popayán – Pasto contiene información de fuentes de materiales.

5.3.5.28 Cód. 1002278 Mejoramiento y rehabilitación de la Variante Popayán. Realizado por la firma BRAVO PAULO EMILO CIA Ltda. En el Departamento de Nariño.

- Tramo Cali – Pasto – Popayán, Contiene información de fuentes de materiales.

5.3.5.29 Cód. 1002931 Estudios Fase 1 Ruta: Mosquera – La Mesa – Girardot. Realizado por el M.O.P.T. en el departamento de Cundinamarca.

- Ejecutado del Kilómetro 18+700 al Kilómetro 19+300, contiene información de fuentes de materiales.

5.3.5.30 Cód.1003044, 048, 050, 051, 060, 1004760, 1005006 Estudio Fase 1 en la Ruta: Lizama – San Alberto. Realizado por la firma SALGADO MELENDEZ en el departamento de Santander.

- Contiene los estudios de suelos e información de fuentes de materiales.

5.3.5.31 Cód. 1003094 Estudio Fase 1 Ruta Quibdó – Istmina. Realizado por la firma INECON Ltda. En el Departamento del Choco.

- Informe que contiene información de fuentes de materiales.

5.3.5.32 Cód. 1004106 Estudio Fase 1 Ruta: Tunja – San Luis de Gaceno. Realizado por la firma LA VIALIDAD Ltda. En el Departamento de Boyacá.

- Informe de suelos e información de fuentes de materiales.

5.3.5.33 Cód. 1004921 Estudio Fase 1 Ruta: Montería – Guapa. Realizado por la firma INTERDISEÑOS Ltda. En el Departamento de Córdoba.

- Contiene información de fuentes de materiales.

5.3.5.34 Cód. 1006292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299 Estudio Fase I, II y III Estudio de Fuentes de materiales Realizado por la firma RESTREPO Y URIBE Ltda, en el año 1984 en el departamento de Cundinamarca.

- Se tomó como sede principal el distrito denominado en este estudio como Distrito 8 Bogotá, en él, se encuentra información de las fuentes de materiales del Departamento de Cundinamarca y los documentos respectivos ya se solicitaron teniendo una copia en INGEOMINAS.

5.3.5.35 Cód. 1006445 Mejoramiento del tramo La Mata – San Roque. Realizado por la firma GOMEZ CAJIAO. En el Departamento del Magdalena.

- Contiene información de fuentes de materiales.

5.3.5.36 Cód. 1007284 Diseño del Anillo Vial de Cúcuta. Realizado por la firma TECNOPROYECTOS Ltda. En el Departamento de Norte de Santander.

- Villa Luz - El Escobal contiene Estudio Geotécnico Suelos Pavimentos y fuentes de materiales.

5.3.5.37 Cód. 1007318 Rehabilitación de la Ruta: Zipaquirá – Chiquinquirá. Realizado por la firma TECNOCONSULTA Ltda. En el Departamento de Cundinamarca.

- Volumen VI, Anexo III Contiene estudio geotécnico para el diseño de pavimentos, ensayos de fuentes de materiales y diseños de pavimentos.

5.3.5.38 Cód. 1007346 Rehabilitación de la Ruta: Chiquinquirá – Villa de Leyva. Realizado por la firma TECNOCONSULTA Ltda. En el Departamento de Boyacá.

- Volumen VI, Anexo III Contiene estudio geotécnico para el diseño de pavimentos, ensayos de fuentes de materiales y diseños de pavimentos.

5.3.5.39 Cód. 1007363 Diseño Puente sobre río Carare. Realizado por la firma C.I.C. Ltda. En el departamento de Santander.

- Tramo Puente Araujo – La Lizama Vol. V Estudio de Fuentes de materiales.

5.3.5.40 Cód. 1007904 Mejoramiento y rehabilitación Ruta: Cerritos – Asia – Cauya – Riosucio. Realizado por el consorcio C.E.I. Ltda. – PONCE DE LEON & ASOCIADOS SA. En el Departamento de Caldas.

- Vol. VI Anexo III Estudio Geotécnico, fuentes de materiales y diseño de pavimentos.

5.3.5.41 Cód. 1008252 Mejoramiento y pavimentación Ruta: Popayán – Purace – La Plata. Realizado por el consorcio C.E.I. Ltda. - PAULO EMILIO BRAVO & CIA. Ltda. En el Departamento de Cauca en el año 1998.

- Sector II (67+500 – 137+400) contiene diseños de pavimentos e información de fuentes de materiales.

5.3.5.41 Cód. 1010180, 181 Actualización de estudios Ruta – Mosquera – Girardot. Realizado por el M.O.P.T. en el Departamento de Cundinamarca.

- Tramo del K18+700 a K19 + 300. Declaratoria ambiental Fuente de materiales.

5.3.5.42 Cód. 1010301 Actualización de estudios Fuente de oro en el municipio de Granada San José del Guaviare. Realizado por la firma E. D. L. Ltda. En el Departamento del Meta.

- Contiene estudio de la fuente.

5.3.5.43 Cód. 1010642 Actualización de estudios Ruta: Barrancabermeja – Yondo. Realizado por el consorcio DESARROLLO DE VIAS. En el departamento de Santander.

- Contiene informe de estudio de fuentes de materiales para la construcción del puente sobre el río Magdalena.

5.3.5.44 Cód. 1010733 Actualización de datos Trocal del Magdalena. Realizado por el Consorcio CAFÉ MADRID. En el Departamento de Santander.

- Ejecutado en el tramo Bucaramanga el conchal, Contiene estudio de fuentes de materiales.

5.3.5.45 Cód. 1010871, 1011615, 616 Mejoramiento y rehabilitación Ruta: Florencia – Puerto Rico. Realizado por la firma INESCO Ltda.

- Volumen VI A - Anexo E contiene información de fuentes de materiales.
- Resultados de Estudios Anexo F.

5.3.5.46 Cód. 1010916 Desarrollo Vial del Sur de Bolívar Pavimentación. Realizado por INGETEC. En el Departamento de Bolívar.

- Tramo Santa Rosa – Simiti – cerro de Burgos, Contiene información de fuentes de materiales.

5.3.5.47 Cód. 1010948 Estudio de Suelos para diseño de pavimentos y fuentes de Materiales. Realizado por la firma CONSULTORES REGIONALES ASOCIADOS CRA Ltda. En el Departamento de Boyacá.

- Actualización de estudios en el tramo Belén – Sacama – Tame.

5.3.5.48 Cód. 1011150, Mejoramiento y pavimentación Acceso Carmen Bosconia. Realizado por la firma ETA S.A. en el Departamento del Magdalena.

- Contiene estudio de suelos, Diseño de pavimentos y fuentes de materiales Volumen V.

5.3.5.49 Cód. 1011283 Actualización de Estudios Ruta: Monterrey – Aguazul. Realizado por la firma TNM TECHNOLOGY AND MANAGEMENT. En el departamento de Casanare.

- Contiene estudio de fuentes de materiales.

5.3.5.50 Cód. 1011558 Estudio de Viabilidad para aprovechamiento de materiales. Realizado por la firma ELSAMEX. En el Departamento del Meta.

- Estudio importante para tener en cuenta en el proyecto de exploración porque nos da un amplio adelanto en el conocimiento en cuanto a materiales en esta zona del país.

5.3.5.51 Cód. 1011825 Mejoramiento y Rehabilitación Ruta: Abriqui – Manglar. Realizado por la firma HERNANDEZ DORALBA. En el Departamento de Antioquia.

- Contiene Fuentes de materiales y zonas de depósito.

5.3.5.52 Cód. 1011865 al 1011876. Actualización de datos de los distritos 02 Ocaña, 26 San Andrés y Providencia, 20 Barranquilla, 07 Montería y 12 Valledupar. Realizada por la firma GOMEZ CAJIAO. En los Departamentos de Magdalena, Córdoba, Atlántico y Cesar.

- Esta información es de crucial importancia para los objetivos del proyecto de exploración de materiales en el país.

5.3.5.53 Cód. 1011877 al 1011893 Actualización de datos de los distritos 4 Tunja, 5 Manizales, 13 Villavicencio, 15 Bucaramanga, 16 Cúcuta, 17 Ibagué, 25

Yopal. Realizada por la firma RESTREPO Y URIBE. En los Departamentos de Boyacá, Caldas, Meta, Santander, Norte de Santander, Tolima y Casanare.

- Esta información es de crucial importancia para los objetivos del proyecto de exploración de materiales en el país.

5.3.5.54 Cód. 1011894 - 1011895 Actualización de datos de los distritos 5 Manizales y 17 Ibagué. Realizada por la firma HIDROESTUDIOS. En los Departamentos de Caldas y Tolima.

- Esta información es de crucial importancia para los objetivos del proyecto de exploración de materiales en el país.

5.3.5.55 Cód. 1011897 al 1011900 Actualización de datos de los distritos 01 Medellín y02 Ocaña. Realizada por la firma HIDROESTUDIOS. En los Departamentos de Antioquia.

- Esta información es de crucial importancia para los objetivos del proyecto de exploración de materiales en el país.

5.3.5.56 Cód. 1011926 Actualización de datos Ruta: Barbosa – Bucaramanga. Realizado por la Firma INARGOS. En el Departamento de Santander.

- Contiene estudio de fuentes de materiales.

5.3.5.57 Cód. 1011927 Actualización de datos Ruta: Cúcuta – Puerto Santander. Realizado por el M.O.P.T. en el Departamento de Norte de Santander.

- Contiene Diseño de pavimentos y estudio de fuentes de materiales.

5.3.5.58 Cód. 1011933 Actualización de datos del distrito 11 Neiva. Realizada por la firma HIDROESTUDIOS. En el departamento del Huila.

- Esta información es de crucial importancia para los objetivos del proyecto de exploración de materiales en el país, contiene informe final Tomo I de IV.

5.3.5.59 Cód. 1011934 Actualización de datos del distrito 01 Medellín. Realizada por la firma GOMEZ CAJIAO. En el departamento de Antioquia.

- Esta información es de crucial importancia para los objetivos del proyecto de exploración de materiales en el país, contiene compilación de formatos técnicos.

5.3.5.60 Cód. 1011944 Actualización de datos Troncal del Magdalena Medio. Realizado por el M.O.P.T. en el departamento de Santander.

- Tramo k81+000 al k102+000, Contiene Diseño de pavimentos y estudio de fuentes de materiales.

5.3.5.61 Cód. 1011982 Actualización de datos Ruta: Buenaventura – Juanchaco. Realizada por la firma ABV en el departamento del Valle.

- Contiene Diseño de pavimentos y Estudio de materiales.

5.3.5.62 Cód. 1012076 Reglamento técnico de obras civiles. Realizado por la firma LA VIALIDAD. En el Departamento de Cundinamarca.

- Contiene normas de ensayos para materiales.

5.3.5.63 Cód. 1012108. Actualización de datos Ruta: Ortega – Olaya – Purace. Realizado por el M.O.P.T. en el Departamento del Tolima.

- Contiene información de fuentes de materiales.

5.3.5.64 Cód. 1012112 Actualización de datos Ruta: Victoria – Marquetalia. Realizado por el M.O.P.T. en el Departamento de Caldas.

- Contiene estudio de suelos e información de fuentes de materiales.

5.3.5.65 Cód. 1012114 Actualización de datos Ruta: Chaparral – El Limón. Realizado por el M.O.P.T. en el Departamento del Tolima.

- Contiene Estudio de fuentes de materiales.

5.3.5.66 Cód. 1012115 Actualización de datos Variante Caldas. Realizada por la firma C.C.C. COMPAÑÍA COLOMBIANA. En el departamento de Antioquia.

- Contiene informe sobre fuentes de materiales.

5.3.5.67 Cód. 1012121 Actualización de datos Cartagena. Realizado por la firma INGETEC. En el Departamento de Bolívar.

- Avenida Santander, informe de suelos y materiales.

6. CAPITULO SEXTO GUÍA Y FORMATOS DE EXPLORACIÓN

6.1 ANTECEDENTES

Uno de los propósitos del estudio piloto de la Sabana de Bogotá fue producir una Guía y Formato a ser utilizado por el INGEOMINAS en futuros estudios de exploración y caracterización de materiales de construcción como el que se pretende desarrollar a partir de 2011 en todo el país. A continuación se destacan algunos aspectos de orden conceptual a tener en cuenta y se presentan la guía y formatos como tales.

6.2 PROPÓSITOS DE LA EXPLORACIÓN DE FUENTES DE MATERIALES

1. En este documento se acoge la recomendaciones de Smith y Collins de la Sociedad Geológica de Londres (2001) quienes recomiendan tener en cuenta al caracterizar los agregados en investigaciones de fuentes de materiales: Tipo de agregado (roca de afloramiento, roca triturada, grava o arena) y sus características físicas: tamaño nominal de las partículas, forma, textura superficial, color, limpieza (presencia de polvo, limo o arcilla por ejemplo), presencia de recubrimientos duros y adheridos o de algún material extraño.
2. Identificar los niveles o frentes diferentes de explotación. En cada frente se explota un material de una cierta calidad.
3. Determinar la clasificación petrológica (familia a la cual pertenece de I a VII)
4. Describir sus rasgos litológicos de composición, textura y condición (grado de meteorización y rasgos de esfuerzos)
5. Determinar la profundidad, espesor, extensión, geometría y composición de cada nivel o manto de material de posible utilización.
6. Determinar las características geológicas y topográficas que de alguna manera estén involucradas en la estabilidad actual o futura de la fuente, teniendo en cuenta los trabajos que se planea realizar.

7. Determinar las condiciones del flujo de agua superficial y sub-superficial, posibles variaciones del nivel freático, actitud estructural de estratos, capas y discontinuidades en general, grado de meteorización de las rocas, disposición y carácter de las coberturas coluviales o residuales, que representan material estéril a retirar y disponer como desecho.
8. Llevar a cabo el muestreo representativo de cada nivel de extracción teniendo en cuenta los tipos de roca, (composición y textura), la presencia de minerales reactivos, así mismo el grado de meteorización o rasgos de esfuerzos.

6.3 ETAPAS DE INVESTIGACIÓN

El nivel de detalle de la exploración de una fuente en un estudio convencional depende del propósito: definir si la fuente es atractiva, conocer sus características o estudiarla en detalle si definitivamente vale la pena. Se establecen así 3 niveles, progresivamente más complejos y costosos.

Nivel 1: Reconocimiento geológico previo, teniendo en cuenta los datos disponibles, para determinar si vale la pena estudiar la fuente.

Nivel 2: En el caso de que la fuente sea atractiva, se debe adelantar la exploración preliminar, utilizando métodos sencillos y expeditos, para determinar en una primera aproximación, datos sobre el espesor y composición de los diferentes estratos, capas o niveles, la condición geotécnica de los materiales y profundidad del nivel freático para tratar de tener una idea sobre las condiciones de estabilidad actual y futura.

Con base en esta información preliminar se puede determinar si la fuente es promisoría y vale la pena investigarla con mayor detalle.

Nivel 3. La exploración detallada de la fuente incluye la exploración del sub-suelo para determinar en detalle las características de cada nivel de la fuente tanto desde el punto de vista de la calidad y cantidad de materiales disponibles, como de las condiciones geológicas relacionadas con la estabilidad del terreno y los requisitos ambientales.

En el caso de la investigación a realizar por el INGEOMINAS sobre el potencial minero, se proponen ensayos índice de Desgaste, micro Deval, Azul de Metileno, Solidez y Absorción, y en el caso de las rocas arcillosas el Índice de Durabilidad de Franklin. Puede corresponder a un nivel (2) dos, en costos y tiempo.

6.4 RECOMENDACIONES SOBRE DESCRIPCIÓN DE LAS ROCAS EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN

Las recomendaciones que se presentan a continuación son tomadas del documento: ASTM-C295-2008 Standard Guide for Petrographic Examination of Agregates for Concrete, una versión completa se incluye como anexo de este documento.

6.4.1 Minerales inestables que se recomienda identificar

En estudios para fuentes de materiales se recomienda identificar los siguientes minerales: yeso y otros sulfatos solubles; pirita y otros sulfuros reactivos; arcillas contracto-expansivas; abundancia de cuarzo en rocas cristalinas; clorita, sericita, vermiculita y otras micas hidratadas presentes en muchas rocas volcánicas descompuestas, cuya abundancia permite identificar rocas poco durables.

6.4.2 Condición de las rocas

6.4.2.1 Grado de meteorización

Se recomienda identificar los niveles de meteorización Débil (II), Moderado (III), o Alto (IV); establecer la proporción de agregados de los diferentes grados y descartar las rocas con alto grado de meteorización.

6.4.2.2 Durabilidad

Entre las rocas con problemas de durabilidad se destacan las rocas lodosas, (Familia IV) salvo algunas limonitas silíceas. El resto de rocas lodosas, principalmente aquellas con abundante arcilla y cementación deficiente, deben descartarse.

Otro grupo de rocas con problemas de durabilidad lo integran las rocas volcánicas félsicas con abundantes minerales secundarios. (Familia I).

6.4.2.3 Rasgos de esfuerzos

No se recomienda usar rocas provenientes de zonas de falla en capas donde la calidad es de alta exigencia.

6.4.2.4 Índice de forma

Es importante determinar la proporción de partículas cúbicas, esféricas, elipsoidales, piramidales, tabulares planas y/o alongadas en una muestra de agregados. La presencia de partículas planas y alongadas incrementa la cantidad de agua requerida para mezclado en los concretos y en las capas de pavimento son difíciles de acomodar en la forma densa deseable.

6.4.2.5 Minerales y rocas con potencial de reacción álcali-sílica

En la guía C295-2008 se recomienda que en la descripción de los agregados, en los análisis petrográficos (micro) se identifiquen los componentes con reactividad potencial álcali-silica, tales como: ópalo, calcedonia, cristobalita, tridimita, cuarzo altamente deformado, cuarzo micro cristalino, vidrio volcánico y sustancias vítreas sintéticas. Las rocas y/o materiales que contienen estos minerales incluyen rocas volcánicas vítreas y criptocristalinas intermedias a ácidas, algunas argilitas, filitas, grawacas, neis, esquisto, granito neis, venas de cuarzo, cuarcita, arenisca y chert. El análisis petrográfico debería identificar y determinar la proporción de estos componentes y recomendar los análisis detallados que permitan confirmar o refutar cantidades significativas de esas sustancias reactivas. (Ver especificación C 33 de la ASTM). Las sustancias reactivas se pueden identificar son base en sus propiedades ópticas o por XRD (difracción de rayos X).

6.4.2.6 Muestreo

Las muestras para análisis petrográficos deben tomarse con la supervisión directa de geólogos familiarizados con los requisitos establecidos para muestreo aleatorio de agregados para concretos y en general siguiendo los requisitos de la práctica D 75. (NTC 129). Junto con la muestra debe indicarse la localización exacta del sitio de muestreo, la geología del sitio, y otros datos pertinentes. La cantidad de material que se involucra en el análisis petrográfico se determina por la naturaleza del análisis a realizar, tal como se discute a continuación.

6.4.1.6.1 Canteras aún no desarrolladas

Deben muestrearse con apoyo de perforación, preferiblemente en dirección perpendicular a los rasgos estructurales dominantes de la roca y con recobro de núcleos de diámetro NX (53mm – 2 1/8 de pulgada) hasta la profundidad que se desea explotar el material, en el caso de roca masiva; en el caso de capas delgadas o roca muy fracturada se recomienda hacer un control muy cuidadoso del recobro, con el propósito de conocer con el mayor detalle posible las características del macizo con respecto de su condición mecánica. La extensión o volumen de recobro debe ser suficiente para cubrir de manera representativa los límites del depósito propuesto para el proyecto. En los registros de perforación se debe incluir toda la longitud de recobro de núcleos, así como los datos exactos sobre elevaciones, profundidad, y pérdidas de recobro.

6.4.1.6.2 Canteras y depósitos de gravas y arenas en operación

Normalmente se dispone de apilamientos del en producción; de estos apilamientos se deben muestrear al menos 45 Kg (100 lb) o 300 fragmentos de roca, lo que sea mayor, de cada tamaño de material a ser examinado. Para el muestreo de estos apilamientos debe conocerse con certeza el banco o frente de donde

proviene el triturado pues en muchos casos proviene de otro lugar; o en algunos casos ya se le ha mezclado arena de otro sitio para rebajar la plasticidad. Por otra parte, el muestreo de los apilamientos debe ser representativo, o de un frente, o del material más representativo de la fuente, teniendo en cuenta la heterogeneidad de los materiales. En el cretáceo es común encontrar fuente de buena calidad en las cuales el material triturado contiene proporciones variables de chert, limolita silícea y arenisca.

6.4.1.6.3 Frentes expuestos de canteras antiguas que no están en producción

En este caso no se dispone de apilamientos de material; deben muestrearse al menos 2 Kg (4 lb) de cada nivel distintivo o frente, tomando fragmentos individuales de por lo menos do 0.5 Kg (1 lb) o núcleos de perforación como se describió antes.

6.4.1.6.4 Depósitos no desarrollados de gravas y arena

Estos depósitos deberían muestrearse por medio de apiques que alcancen la profundidad de la futura explotación. La cantidad mínima de material a muestrear en este caso se indica en la tabla 17, la cual se considera representativa para este caso. (A) Al menos una pieza de cada tipo de roca.

Tabla 17. Tamaños mínimos para muestras de depósitos no desarrollados de arena y grava.

Tamaño del tamiz	Cantidad		
	Kg	(lb)	Piezas
Más grande que 150 mm (6 in)	---	---	
75 mm a 150 mm 300 (3 a 6 in)	----	----	A
37,5 mm a 75 mm (1 ½ a 3 in)	180	(400)	300 A
19,0 mm a 37,5 mm (3/4 a 1 ½)	90	(200)	
4,75 mm a 19,0 mm (No 4 a ¾ in)	45	(100)	
Más finos de 4,75 (No 4) ^B	23	(50)	

6.5 INSTRUCTIVO PARA EL DILIGENCIAMIENTO DEL FORMATO DE EXPLORACIÓN

El formato para la recopilación de datos que se presenta a continuación se divide en siete temas de información sobre fuentes de materiales para pavimentos y concretos, los cuales se dividen en sub ítems que están enumerados del 1 al 40; los temas son:

- A). Ubicación de la fuente.
- B). Esquema de la fuente.
- C). Descripción Geológica si la fuente es aluvial.
Descripción Geológica si la fuente es cantera.
- D). Información Técnica de la fuente.
- E). Registro Fotográfico.
- F). Muestreo.

La mayoría de los espacios que se requiere diligenciar en este formato se explican por si mismos; otros, requiere algún tipo de aclaración como a continuación se expone. Algunos espacios requieren escribir un texto; otros un número y otros simplemente marcar una X.

La mayor parte de los datos se toman en el campo, otros en oficina.

Nota: la numeración que se presenta a continuación es original del formato no tiene que ver con la numeración del informe ya que esta guía será un catalogo de instructivo para el fin previamente dicho.

A continuación se describen los temas e ítems para el correcto diligenciamiento del formato:

A). Ubicación de la Fuente: Datos relacionados con la identificación, código y tipo de fuente:

1. Nombre de la fuente: si se conoce.

2. Código de la fuente: Establecer un código que permita conocer algunas características de la fuente. Ejemplo: Qd-A-03 para una fuente en el departamento del Quindío de tipo aluvial y su correspondiente consecutivo.

3. Clase y Tipo de fuente: marcar con una X el tipo de fuente ya sea cantera o aluvión.

3.1 Clase: Inactiva - Antigua explotación o en operación

3.2 Tipo: Cantera (Fuente de Materiales extraído de un macizo rocoso) o aluvión (Fuentes de Materiales extraídos de una fuente aluvial).

4. Fecha: Fecha en la cual se toman los datos. Siguiendo este formato de fecha: DD/MM/AA.

5. Título Minero y/o licencia Ambiental: Se colocará el número o código del título minero expedido por el Servicio Minero de INGEOMINAS, y/o la licencia Ambiental expedida por cada corporación encargada de la zona. Si no se tiene ninguno de estos datos se colocará la observación.

6. Departamento-Municipio-Corregimiento-Vereda, según se disponga de todos los datos.

7. Elaboró: se escribe el nombre de la persona responsable de la toma de datos.

8. Localización en el sistema vial

8.1. Carretera: se colocara la carretera donde se encuentra ubicada la fuente, según la nomenclatura del Invías. Ej: Melgar-Girardot.

8.2. Abscisa: esta abscisa se medirá desde la ciudad que se colocó en la casilla anterior (carretera) en este caso Melgar, teniendo en cuenta el abscisado demarcado de la vía; se puede también medir con una buena precisión usando el GPS o el cuenta kilómetros del vehículo. Ej: K13 + 200; significa kilómetro 13 más 200 metros.

8.3. Acceso: el acceso es la distancia que hay desde la vía principal hasta la fuente; éste se mide en kilómetros. Ej: Izq. 3Km o Der. 3Km dependiendo la dirección que haya que tomar. Teniendo en cuenta siempre el sentido de la carretera. Otras opciones serian:

- Izq. Sobre vía o Der. Sobre vía. Cuando la fuente queda sobre la vía y se pueda visualizar desde la vía.
- Cuando la distancia a la fuente es menor de 1 kilómetro se manejara así: 0.4Km este al igual que la Abscisa se medirá con el cuenta kilómetros del vehículo.

8.4. Plancha IGAC escala 1:25.000: se colocara el código de la plancha 1:25.000 donde se encuentre ubicada la fuente. Ej: 245-II-D

8.5. Coordenadas planas origen Bogotá: se colocaran las coordenadas planas norte y este y la altura (m.s.n.m.) de la fuente, con origen Bogotá, tomadas por medio de GPS.

9. Detalle de ubicación: se hará un bosquejo claro que permita inequívocamente determinar la localización de la fuente con orientación geográfica.

B). Esquema.

10. Vista Geológica en planta: En vista de planta (o de techo), se efectúa un esquema en donde aparece representada la secuencia estratigráfica del afloramiento observado, con la orientación (o rumbo) de la estructura anotado del numeral 21 del formato de Toma de Datos de Fuentes de Materiales. Cada estrato, debe tener la convención litológica correspondiente al tipo de roca que representa.

11. Corte Geológico

Perfil Geológico: En vista de frente (o vertical), se representa mediante un esquema, la secuencia estratigráfica del afloramiento rocoso correspondiente a la cantera observada. La orientación de los estratos, (en el caso de rocas sedimentarias), debe representarse en el gráfico. Cada estrato, debe tener la convención litológica correspondiente al tipo de roca que representa.

El esquema que representa el corte geológico, debe tener las dimensiones máximas de longitud y altura. Además, en el esquema debe registrarse la orientación del corte geológico.

Columna Estratigráfica: se indica la secuencia vertical de las unidades geológicas descritas en el perfil, teniendo en cuenta la denominación estratigráfica de INGEOMINAS, ej.: formación arenisca tierna.

C.) Descripción Geológica

Fuente aluvial

12. Cuenca: se colocará el nombre de la cuenca a la cual pertenece la fuente aluvial.

Tipo: Marque con una X la unidad morfológica el tipo de fuente aluvial: lecho, terraza, playón, abanico, otro (especificar).

Descripción Geológica y Petrográfica: se indica el ambiente geológico: ígneo, sedimentario o metamórfico de la cuenca de drenaje y los componentes litológicos del depósito de interés.

Cantera

La descripción geológica de una fuente de material pétreo procedente de una cantera, se debe realizar, si es del caso, para cada uno de los frentes establecidos de la cantera, independientemente de que se exploten o no. Para cada frente que se quiera describir, se deben obtener la información que en seguida se menciona:

15. Frente: Se entiende como frente el nivel de explotación de donde se extrae un solo tipo de material; por lo general las canteras pueden presentar dos o más frentes.

Se colocará el número de frente de explotación estudiado. Ejemplo: en un frente se explota o se puede explotar recebo (frente 1), en otro material para base (frente 2) en otro arena (frente 3). Debe tenerse en cuenta que en caso de ambientes sedimentarios algunos frentes están representados por dos o más litologías; ejemplo; secuencias de arenisca y pläner o de arenisca y limolita.

Descripción Litológica:

16. Es la descripción de la textura (fábrica) y la composición mineralógica de una roca.

a. Litología. En ambientes sedimentarios un afloramiento cualquiera, suele tener más de una litología. Se deben describir las diferentes litologías o conjuntos litológicos típicos que sean identificadas, destacando aquellas que predominan en la cantera.

La litología dominante a ser caracterizada en la Descripción Geológica del afloramiento de interés, debe describirse con las palabras “alterna con”

b. Litología subordinada. Corresponde a las litologías que no son predominantes en un afloramiento. La litología o el conjunto de ellas que no son predominantes, se describen con respecto a las litologías predominantes, con la palabra “intercaladas”.

c. Color. Identificar el color de la roca fresca y seca que caracteriza a cada una de las diferentes litologías que conforman el afloramiento de la cantera; así mismo los colores producidos por alteración de la roca. Se recomienda apoyarse, para ello, en la Carta de Colores actualizada, del Servicio Geológico de los Estados Unidos.

d. Tipo de Fábrica: Marque con una X el tipo de fábrica al cual corresponde este frente; según la siguiente tabla tomada del Proyecto del INGEOMINAS “Compilación y Levantamiento de la Información Geomecánica” (2004):

Clasificación de las rocas en general según su textura (fábrica) tabla 18:

e. Unidad Geológica: identificar la Formación Geológica a la que corresponde el conjunto de rocas que conforman el afloramiento.

Tabla 18. Clasificación de las rocas en general según su textura (fábrica),
Adaptada de Montero, González & Ángel, 1982.

FÁBRICA	IGNEA	SEDIMENTARIA	METAMÓRFICA	CARACTERÍSTICAS
Cristalina Masiva	Ígneas plutónicas y volcánicas efusivas; ej: diabasa, diorita, basalto.	Sedimentarias Químicas: ej: caliza micrita, chert	Metamórficas masivas ej.: cuarcita.	Las más resistentes; sin efecto direccional de su fábrica.
Cristalina Foliada			Metamórficas foliadas, ej.: filita	Menos resistentes que las anteriores y calidad algo dispersa; sin efecto direccional de su fábrica.
Clástica Consolidada			Rocas sedimentarias de la fracción fina, (clastos < 0.006 mm) ej: Rocas lodosas	Comparativamente menos resistentes y con una calidad más dispersa que las de los dos grupos anteriores; su resistencia depende del grado de consolidación diagenética y su durabilidad del contenido de arcilla y calidad del cemento.
Clástica Cementada			Rocas sedimentarias de la fracción gruesa, (clastos > 0.006 mm) ej.: Arenisca.	Resistencia semejante a la del grupo de las rocas lodosas; su calidad es mejora con el mayor grado de empaquetamiento de los clastos y mejor calidad del cemento. Algunas areniscas arcillosas son poco durables.

Condición de la Roca

17. Grado de meteorización: describir el grado de meteorización de la roca teniendo en cuenta la siguiente tabla. En el caso de canteras, para usos exigentes (ej.: Base, Concretos) se descartan las rocas de los tipos Alta y Completamente Meteorizadas. La roca débilmente meteorizada se reconoce porque en la superficie de las diaclasas solo se observan manchas de oxidación en tanto que en la roca moderadamente meteorizada la meteorización es penetrativa (roca decolorada y más débil) en esta misma superficie. Figura 7.

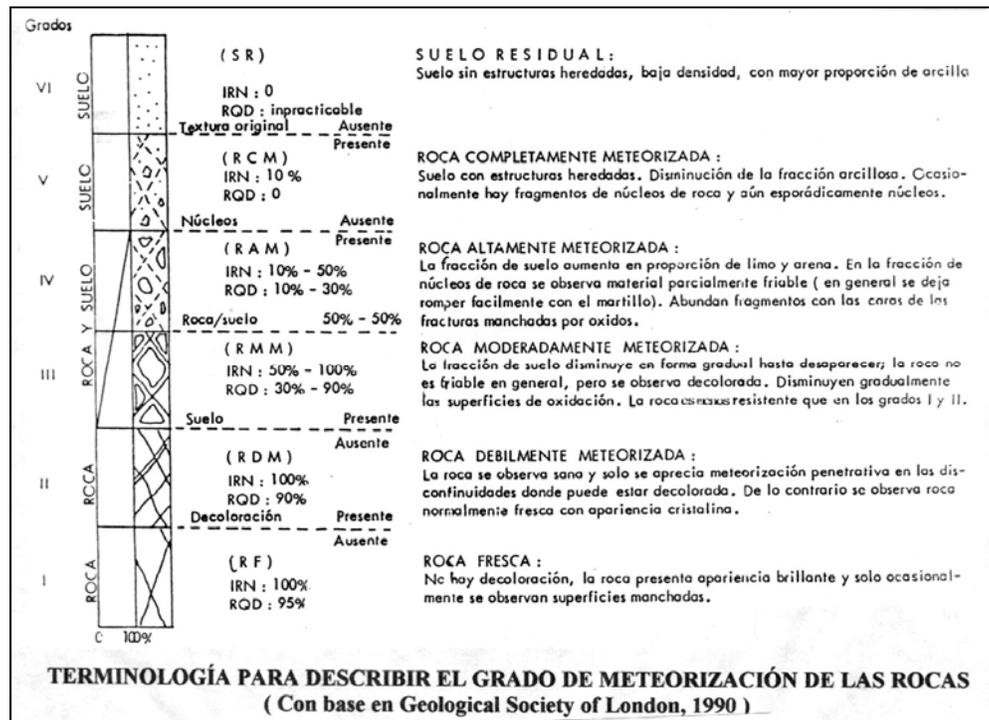


Figura 7. Terminología para describir el grado de meteorización de las rocas (con base en geological society of london, 1990).

18. Dureza: se determinara el nivel o escala de dureza según la (Tabla 19)

19. Rasgos de Esfuerzos: es el conjunto de evidencias que presenta un macizo rocoso, respecto a la acción de fuerzas endógenas capaces de producirle deformaciones y fracturas.

D). Información técnica de la fuente: se utilizaran los ítems 30, 31 y 32 para recopilar la información técnica de la fuente.

20. Proyectos u obras ingenieriles donde se haya utilizado el material: como su nombre lo dice, se debe especificar todo tipo de proyectos u obras donde se ha empleado el material producido por la fuente.

21. Usos: describir toda clase de usos que se le den a los materiales producidos por la fuente como recibos, bases, subases, mejoramiento de subrasantes, carpeta asfáltica, concretos entre otros.

Tabla 19. Nivel o escala de dureza.

ESCALA DE DUREZA PARA ROCAS INALTERADAS (Adaptado de Deere & Miller, 1966)			
CLASIFICACION	DUREZA MOHS	CARACTERISTICA	ESCALA DE MOHS
Muy Dura (RMD)	> 7	No puede ser rayada por una navaja o puntilla de acero; la roca raya el martillo geologico	> Cuarzo
Dura (RD)	6 - 7	La navaja o puntilla de acero casi no raya la roca o deja una huella tenue; la roca raya el vidrio	Ortoclasa - Cuarzo
Medio Dura (RMED)	4,5 - 6	Se raya con dificultad con la navaja o puntilla de acero	Fluorita - Apatito - Ortoclasa
Medio Blanda (RMEB)	3 - 4,5	La navaja o puntilla de acero deja una raya clara	Calcita- Fluorita- Apatito
Blanda (RB)	2 - 3	La navaja corta facilmente la roca	Yeso - Calcita
Muy Blanda (RMB)	1 - 2	La uña raya facilmente la roca	Talco - Yeso

22. Técnicas de explotación: describir las técnicas de explotación empleadas por los propietarios de las fuentes de materiales; estas pueden ser por medio mecánico excavadora, bulldozer o por medio de explosivos. Explotación por de terrazas (terraceo), explotación por frentes o combinación de estas.

E). Registro Fotográfico: se realizara el registro fotográfico donde cada imagen tendrá su orientación y el código o número que se le asigne. Y se colocara una en cada recuadro de la siguiente manera: Ej: **NW-SE/001**.

F). Muestreo: se utilizaran los ítems 33, 34, 35, 36 y 37 para obtener la información de las muestras que se van a tomar en cada fuente de materiales.

23. Código de muestra: se le dará un código a cada muestra para referenciarla; este código se lo adjudicará el Ingeniero encargado de tomar la muestras para ensayos geotécnicos y el Geólogo encargado de tomar las muestras para ensayos petrográficos, llevando un orden consecutivo y referenciándolo con la fuente a la que pertenece, en este caso se utilizaron las iniciales del Ingeniero y geólogo encargados, así:

Ej muestras para ensayos geotécnicos: LG-01-011

LG: iniciales de quien toma la muestra

01: número de la fuente

011: número de la muestra

Ej petrográficas: JH – 1

JH: Iniciales de quien selecciona la muestra

1: número de muestra

24. Tipo:

- En el caso de muestras para ensayos geotécnicos los tipos de muestras pueden ser: recibos, triturados, arena de afloramiento, arena de trituración, según los productos que maneje cada fuente de materiales.
- En el caso de muestras para ensayos petrográficos: se colocara muestra petrográfica

25. Gradación: es el tamaño granular específico de cada muestra en el caso de muestras para ensayos geotécnicos esta gradación se toma solo en triturados, los cuales son seleccionados por tamaño de grano y se puede saber su gradación lo que no se emplea en recibos (varios tamaños) y arenas. Para el caso de muestras petrográficas no se necesita colocar ningún dato de gradación.

26. Cantidad: se refiere a la cantidad de muestras extraídas de cada cantera, para el caso de muestras para ensayos geotécnicos se recomienda utilizar lonas con 30 Kg de peso en material para su fácil manejo y manipulación al transportarlas. Cada lona de estas equivaldría a una muestra en cantidad. En el caso de muestras petrográficas se refiere a la cantidad de muestras tomadas por cantera.

27. Peso (Kg): hace referencia al peso en kilogramos de cada muestra de las mismas características, este ítem de conocer el peso es muy importante a la hora de determinar la cantidad y tipo de ensayos que se le puedan hacer a una muestra; en el caso de muestras para ensayos geotécnicos, si tenemos en cantidad 2 (dos lonas) el peso sería 60 Kg. En el caso de muestras petrográficas no se hace necesario tener en cuenta el peso ya que a comparación de las muestras para ensayos geotécnicos estas muestras son exclusivamente para realizar secciones delgadas así que se tiene un patrón de tamaño para ellas.

REVESTIMIENTOS EXTERNOS

Las gravas por debajo del nivel del agua se recubren gradualmente por precipitación de sustancias minerales lo cual da lugar a diferentes tipos de revestimientos. Los revestimientos pueden ser de arcilla, carbonato de calcio, óxidos, yeso, ópalo o calcedonia por ejemplo y pueden tener grosores hasta de varios milímetros. Se clasifican como duros o blandos según su consistencia y pueden ser sueltos o muy adheridos al canto debido a cementación. Los revestimientos de yeso y arcilla, que son perjudiciales, se pueden eliminar cribando y lavando los materiales. Por su parte los revestimientos silicios como el ópalo y la calcedonia pueden ser perjudiciales, (Krynine and Judd, 1980) Tabla 20.

Tabla 20. Revestimientos externos

Tipo	Duro	Blando	Suelto	Adherido
Arcilla				
Calcita				
Hematita o limonita				
Yeso				
Ópalo				
Calcedonia				
Otro				

Duro o Blando, se refiere a la dureza de la adherencia (Mohos); *Suelto o Adherido* según la dificultad para removerlo; las adherencias se consideran sueltas cuando se pueden remover fácilmente con lavado (cribado).

Finalmente el formato se presenta en el (ANEXO C).

7. CAPITULO SEPTIMO DISPONIBILIDAD Y DISTRIBUCIÓN DE LAS FUENTES DE MATERIALES DE DIFERENTE CALIDAD EN EL PAÍS

7.1 GENERALIDADES

La calidad y durabilidad de los pavimentos, concretos y otras estructuras de ingeniería dependen en gran medida del comportamiento de los agregados pétreos que conforman el 80%-90% de estas estructuras: a su vez este comportamiento está ligado a la naturaleza de las rocas, la cual se refleja en su litología y condición. La disponibilidad de estos materiales está estrechamente relacionada con el origen y distribución de las rocas en Colombia.

La conformación geológica de Colombia está relacionada con un proceso de tectónica convergente, en el cual el solevantamiento de sus montañas ha sido rápido y en consecuencia se presenta una tasa alta de denudación por erosión y movimientos en masa. En estas condiciones el tiempo de exposición de las rocas a la meteorización es limitado (escasas coberturas de suelos residuales maduros) y el aporte de lodo y limo a los sistemas fluviales y cuencas sedimentarias es voluminoso. Debido a la ubicación del territorio dentro de la zona intertropical, con altas temperaturas y lluvias excepcionalmente altas, los torrentes y los ríos aportan enormes volúmenes de lodo a los océanos. (Figura 7-a y 7-b)

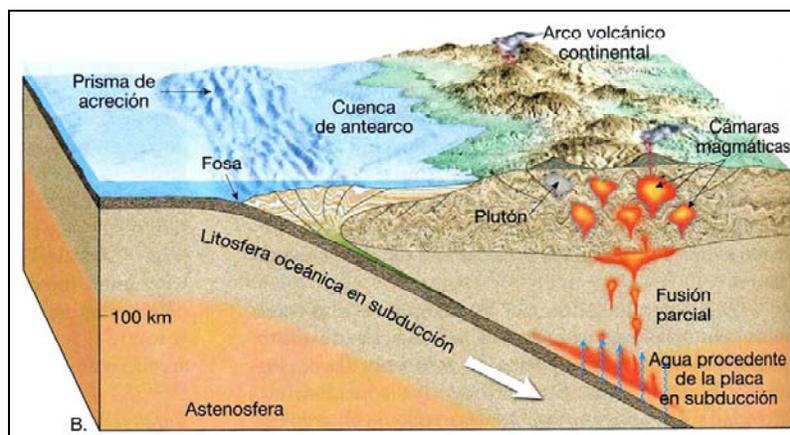


Figura 7-a. Zona de convergencia Andina y subducción.
Tomada de E. J. Tarbuck and F.K. Lutgens (2005).

En el borde Andino donde convergen las placas de Nazca (oceánica) y Suramericana (continental), el sollevamiento de las montañas es rápido; los suelos en general son inmaduros, debido al reducido tiempo de exposición de las rocas a la meteorización. En estas condiciones se presenta una tasa alta de denudación con un fuerte aporte de materiales finos o a los sistemas fluviales.

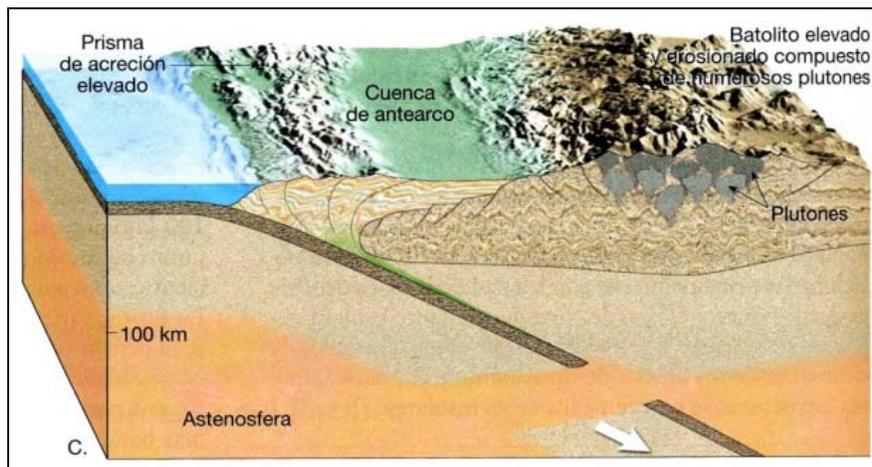


Figura 7-b. Periodo de sublevantamiento y erosión que sigue a la subducción.
Tomada de E. J. Tarbuck and F.K. Lutgens (2005).

Las Figuras 7a y 7b Comprenden el mecanismo de tectónica convergente que dio origen al orógeno Andino.

La convergencia en la zona Tropical da lugar a montañas altas inestables, con un suministro voluminoso a las cuencas sedimentarias de lodo y limo, arcillas expandibles en suspensión y grandes volúmenes de sulfatos y carbonatos.

7.1.1 Geología y clima en Colombia

El origen de las rocas en Colombia está íntimamente ligado a su evolución tectónica, en particular el movimiento e interacción de placas de litósfera con cicatrices o suturas características que interactúan entre sí de diferente manera comprimiendo o expandiendo el territorio y generando un mosaico de terrenos. (Restrepo J. J. y Toussaint J. F., 1988). A continuación se describe cronológicamente la manera como se unieron los distintos terrenos propuestos y se generaron y evolucionaron las principales cuencas sedimentarias. (Figuras 8 y 9).

En el Precámbrico (> 570 m a) un bloque autóctono (Terreno Andaquí-An), conformado por las rocas metamórficas del Macizo de Garzón y la Serranía de la

Macarena, se une al Cratón Amazónico que comprende la actual llanura oriental y selva amazónica y está conformado por corteza continental constituida por rocas cristalinas ígneas y metamórficas, con espesor de 35 kilómetros, cubierta por sedimentos del Paleozoico Inferior. A este terreno se adosan a través del tiempo geológico otros terrenos.

En el Precámbrico (> 570 m a) un bloque autóctono (Terreno Andaquí-An), conformado por las rocas metamórficas del Macizo de Garzón y la Serranía de la Macarena, se une al Cratón Amazónico que comprende la actual llanura oriental y selva amazónica y está conformado por corteza continental constituida por rocas cristalinas ígneas y metamórficas, con espesor de 35 kilómetros, cubierta por sedimentos del Paleozoico Inferior. A este terreno se adosan a través del tiempo geológico otros terrenos.

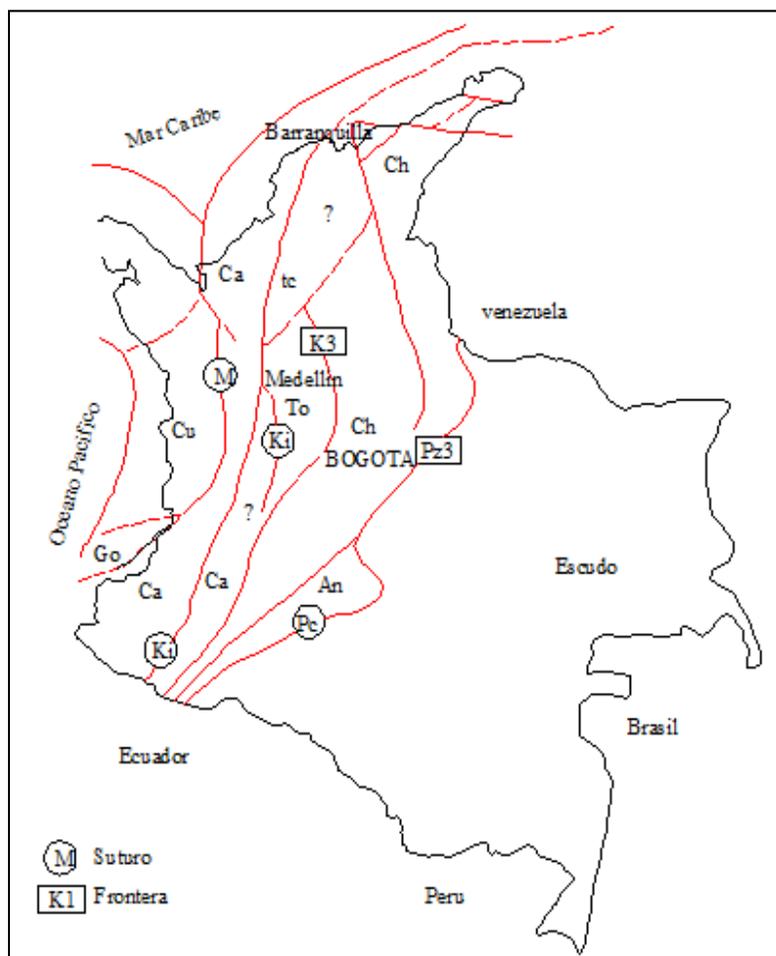


Figura 8. Interacción de placas y formación de terrenos geológicos.
Fuente: Restrepo J. J. y Toussaint J. F., 1988.

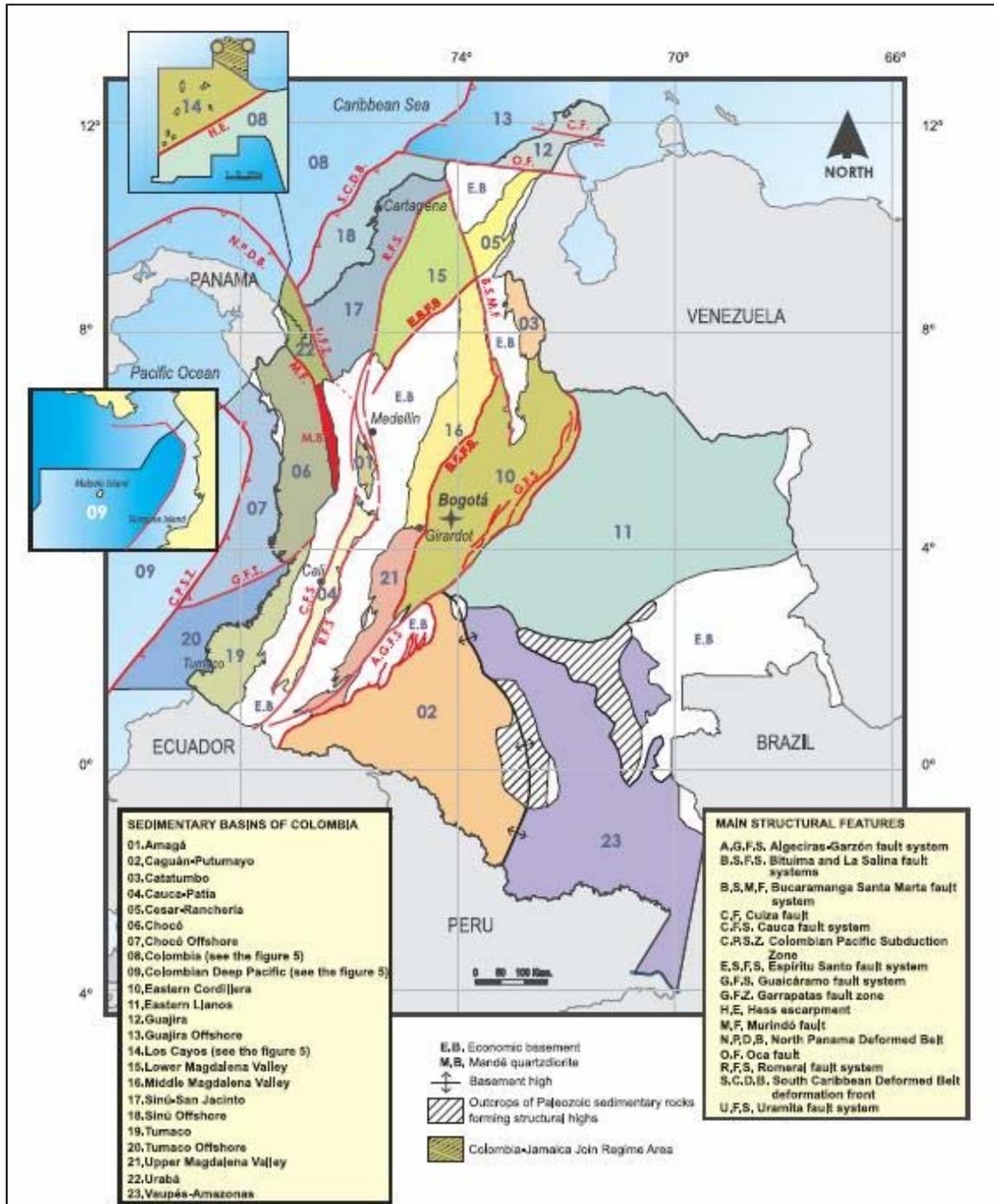


Figura 9. Formación de cuencas sedimentarias en los dominios definidos por la evolución geológica de las placas y terrenos geológicos.

Durante la era Paleozoica (570 m a – 245 m a), se produce la acreción del Terreno Chibcha-Ch a lo largo de una sutura localizada en el borde llanero (Pzs). Posteriormente en el Mesozoico inferior y medio (245m a -145.5 m a) y como consecuencia de enormes fuerzas compresivas originadas en la interacción de las placas de Nazca, Caribe y Placa Americana, comienza a conformarse la Cordillera Central (proto-cordillera) y la Sierra Nevada de Santa Marta; el terreno al oriente se expande y se forma entonces un mar interior relativamente estrecho en el cual se acumulan sedimentos en un territorio sometido a distensión. En el Cretáceo (145 -65 m a) ocurre una gran trasgresión marina (mar Titoniano) que sumerge casi todo el territorio Andino; se acumulan entonces en los territorios de Cundinamarca, Boyacá, Santander y otras regiones situadas al occidente, capas muy gruesas de sedimentos arcillosos (rocas lodosas), arenosos (areniscas) y calcáreos (calizas, margas), con un espesor de más de 10.000 metros de sedimentos en los alrededores de Bogotá, dentro del dominio actual de la Cordillera Oriental. Por esta misma época, por el costado occidental del territorio se acreciona corteza oceánica a partir de la cual que se formó la cordillera Occidental y el flanco occidental de la cordillera Central, constituida por una gruesa secuencia de lavas y sedimentos (Terreno Calima-Ca). Luego, en el extremo norte de la actual cordillera Central, se adiciona el terreno continental metamórfico de aproximadamente 45 kilómetros de espesor que conforma la Serranía de San Lucas (Terreno Tahami-Ta), cubierto localmente por una delgada secuencia sedimentaria marina de edad cretáceo inferior, e intruida a finales del Cretaceo por el Batolito Antioqueño conformado por rocas graníticas. El terreno Tahami-Ta se une posteriormente por su costado oriental al extenso terreno sedimentario que comprende el actual dominio de la Cordillera Oriental (Terreno Chibcha-Ch) a través de una frontera establecida en el cretáceo tardío (Ks). La conjunción de estos tres terrenos conforma el Bloque Andino.

En el inicio del Terciario-Paleógeno (< 65 m a) tanto la cordillera Central como la Occidental estaban fuertemente solevantadas en tanto que en el oriente Andino los mares se retiran y en esta parte de nuestro territorio continental con montañas aisladas de bajo relieve, en extensos pantanos y ríos cubiertos por mares poco profundos se acumulan restos vegetales, arenas y gravas cuyos depósitos comienzan a plegarse iniciándose así el solevantamiento de la Cordillera Oriental. Un poco más tarde en el Terciario-Neógeno se acrecionan en el occidente otros terrenos menores: los Terrenos Cuna-Cu y el terreno Gorgona-Go. El terreno Cuna, un poco mayor, comprende la Serranía de Baudó, la cuenca del Atrato y el borde nor-occidental de la Cordillera Occidental. Durante el Neógeno se presentan dos pulsos orogénicos muy importantes: la Orogenia Pre-Andina (Eoceno inferior), que causa intenso plegamiento y fallamiento (fallas de Cambrás, Alto del Trigo, Bucaramanga-Santa Marta y Guaicaramo, entre otras); y la Orogenia Andina (Plioceno Superior) con extenso vulcanismo andesítico en la Cordillera Central, la más intensa y responsable de la macro-estructura actual de la Cordillera Andina de Colombia. De esta forma se originaron las rocas en

nuestro país, con predominio de rocas cristalinas ígneas y metamórficas con diferentes grados de descomposición al occidente del río Magdalena, cubriendo el centro y occidente del país y rocas sedimentarias en la región oriental andina. A lo largo de los corredores de falla las rocas se encuentran muy fracturadas y cizalladas y en todo el país. En la Figura 10 se destaca la distribución regional de las rocas en Colombia y en la Figura 11 la distribución de la precipitación anual, la cual supera los 6000 mm/ en el Chocó y es muy intensa en el borde llanero y el oriente Antioqueño.

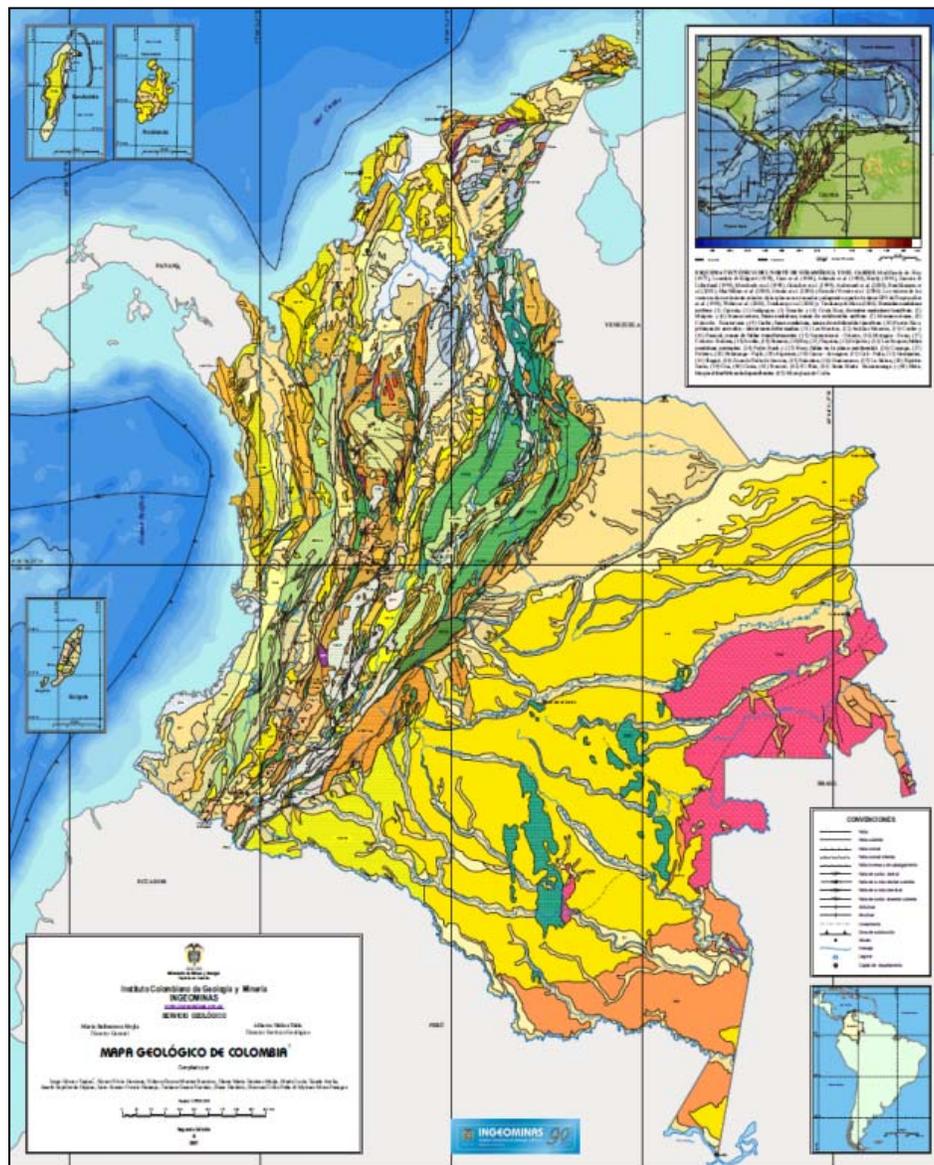


Figura 10. Distribución de las rocas en Colombia- INGEOMINAS

Predominio de ricas ígneas plutónicas y volcánicas en el centro y occidente del país y algunos macizos aislados, y de rocas sedimentarias en el oriente andino con predominio de rocas lodosas; espesos aluviones a lo largo de todo el sistema fluvial.

Las rocas están muy fracturadas en los extensos corredores de falla.

La posición de Colombia en la zona intertropical plantea la presencia de gruesas coberturas residuales y coluviales que dificultan la extracción de materiales en las canteras y la presencia de minerales arcillosos y de micas hidratadas asociada a fuerte meteorización y alteración hidrotermal.

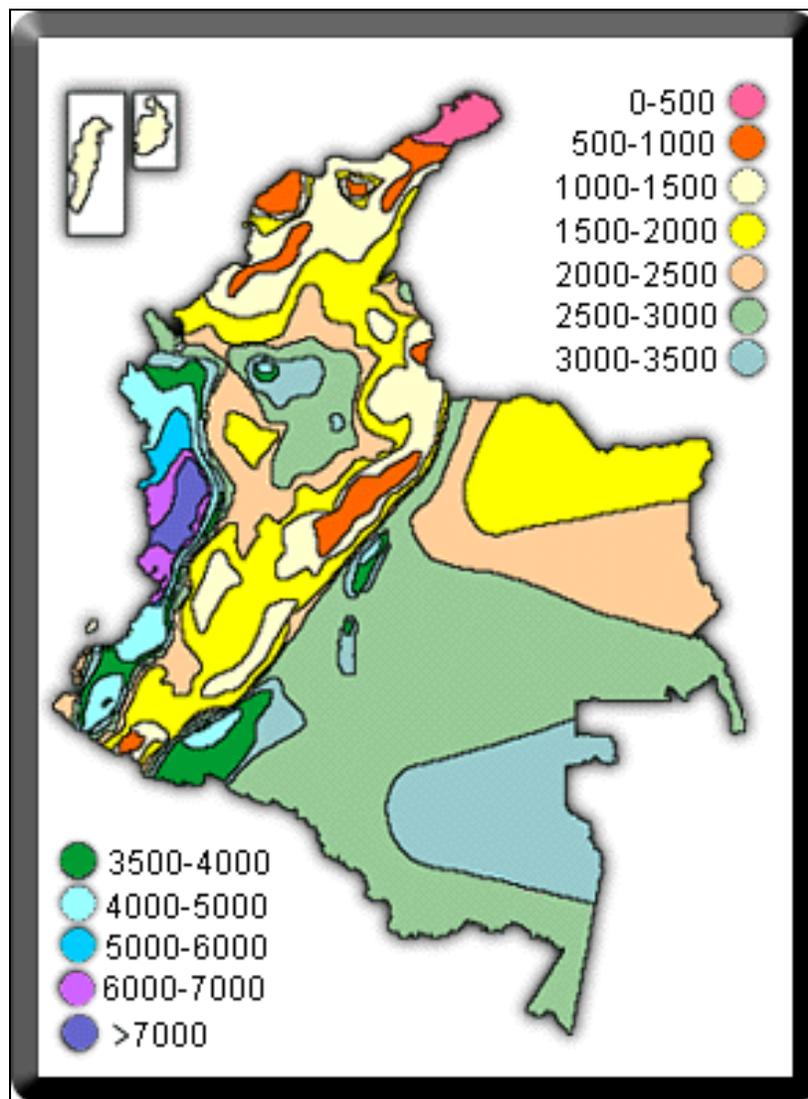


Figura 11. Distribución de la lluvia en Colombia.

<http://www.todacolombia.com/geografia/mapas/mapalluviascolombia.gif>

El Litoral Pacífico, el Pie de Monte Oriental de la Cordillera Oriental y el curso superior del río Cauca en la estribación Nor-Oriental de la Cordillera Central (Departamento de Antioquia), son las regiones más húmedas del país, con precipitación superior a 3500 mm/a. En el resto de la zona Andina, los Llanos Orientales y gran parte del Litoral Caribe, la precipitación fluctúa entre los 1000 mm/a y los 3000 mm/a, con lluvias superiores a 3000 mm/a en la selva Amazónica e inferiores a 1000 mm/a, con balance hídrico negativo, en la costa Atlántica (regiones del Departamento del Atlántico y departamento del Magdalena, en la estribación occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta); y en zonas muy localizadas del Altiplano Cundi-boyacense, el sur del Tolima y estribación occidental de la cordillera Oriental, en su parte Norte.

7.2 VALIDACIÓN DEL INVENTARIO

Basado en la información suministrada sobre fuentes de materiales en la tesis de Castellanos et al (1989), se procedió a verificar la clasificación propuesta en este trabajo.

7.2.1 Organización de la información

Con base en los resultados de los ensayos de calidad recopilada de la tesis de Castellanos et al (1989), se organizaron las tablas de datos con la siguiente información (ANEXO D):

- (1) datos generales sobre el código y tipo de fuente (Cantera o Aluvial), ubicación en el sistema vial y coordenadas.
- (2) datos índice y de calidad de los ensayos realizados: Peso Específico, Absorción, Peso Unitario, Reactividad Potencia Alkali-Sílica (método químico), Actividad de Finos-Azul de Metileno, Durabilidad Desleimiento (Franklin); Solidez en Sulfato de Magnesio (Gruesos y Finos), Índice de Impacto, CBR (95% y 100%), Desgaste Los Ángeles, Adherencia (Frasco y Bandeja); índice de Forma (Aplanamiento-Alargamiento), Índice de Caras Fracturadas y Equivalente Arena.

Para establecer gráficas de frecuencias relativas acumuladas de la propiedad índice Desgaste, se establecieron los siguientes rangos y agrupaciones (Tabla 21)

Tabla 21. Rango de datos de DMA y agrupación para evaluar el ensayo de desgaste.

ENSAYO	RANGO DE ENSAYO	CALIDAD	
		DMA %	0-8, 8-12, 12-18, 18-24, > 24
		30% – 40%	Moderada
		>40%	Pobre

Para las propiedades índice de Solidez G (Gruesos) y Solidez F (Finos); Adherencia (Frasco y Bandeja), Actividad-Azul de Metileno e índice de Forma (Aplanamiento y Alargamiento) se estableció el porcentaje de datos de calidad que cumplen los requisitos establecidos en las Normas del IDU 2005 así:

Solidez: Pérdida en Sulfato de Magnesio 18% máximo

Adherencia: Frasco 95% mínimo; Bandeja 75% mínimo

Actividad Azul de Metileno: 8 máximo.

Índices de Forma Aplanamiento–Alargamiento 35% máximo.

Absorción G (Gravas) y Absorción A (Arenas) (Tabla 22).

Tabla 22. Rango de absorción para graficar el mencionado ensayo.

ENSAYO	RANGO DE ENSAYO
ABSORCIÓN %	0 – 0,5, 0,5 – 1, 1-1,5, 1,5 -2.

Se adopta como criterio la clasificación de las rocas en siete familias según las propuestas de Juan Montero (1980) y Castellanos y Gómez (1989)

Familia I Basalto, Diabasa, Andesita y otras rocas cristalinas félsicas.

Familia II Caliza Micrita, Caliza Bioclástica

Familia III Areniscas y Conglomerados Edad del Cretáceo - Paleozoico

Familia IV Metamórficas Foliadas (Esquistos y otras), Clásticas Laminadas limolita silíceas

Familia V Granito - Granodiorita, Cuarzodiorita, otras rocas

Familia VI Chert

Familia VII Arenisca y Conglomerado de Edad Terciario

7.2.2 Datos de calidad para las diferentes familias

A continuación se presentan tablas que contienen datos de calidad tomados de las tablas del (ANEXO D), para las diferentes familias de comportamiento similar, los cuales son analizados considerando la frecuencia absoluta, relativa y relativa acumulada y los requisitos de calidad indicadores del criterio de aceptación o rechazo. En cada tabla se indica finalmente el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación correspondiente al procedimiento estadístico descriptivo de las muestras. Así mismo las gráficas de frecuencia acumulada para desgaste y absorción donde aplique.

7.2.1.1 Familia I: basalto, diabasa, andesita y otras rocas

7.2.1.1.1 Desgaste Máquina de los Ángeles

- Basalto: de 18 datos, clasifican en alta calidad un 72,22%, moderada un 16,67% y pobre calidad un 11,11%, se encuentra en un promedio de 26,73DMA, los cálculos están especificados en el (ANEXO E), Tabla 1.
- Diabasa de 34 datos clasifican en alta calidad un 58,82%, moderada un 32,35% y baja calidad un 8,82%, se encuentra en un promedio de 29,27DMA, los cálculos están especificados en el (ANEXO E), Tabla 2.
- Andesita de 21 datos clasifican en alta calidad un 76,19%, moderada un 4,76% y baja calidad un 19,05%, se encuentra en un promedio de 27,66 DMA, los cálculos están especificados en el (ANEXO E), Tabla 3.
- Otras Rocas de 26 datos clasifican en alta calidad un 42,31%, moderada un 23,08% y baja calidad un 34,62%, se encuentra en un promedio de 34,64 DMA, los cálculos están especificados en el (ANEXO E), Tabla 4.

Para el conjunto de rocas de la Familia I, en la Tabla 23, se compendia el resultado de Desgaste. De los 99 datos analizados, 60,61% se reportan como de alta calidad, 21,21% de moderada calidad y 18,18% de baja calidad, con un promedio de 29,88 % DMA.

Tabla 23. Total desgaste Familia I: basalto, diabasa, andesita y otras rocas.

TOTAL DESGASTE FAMILIA I						
Rangos		No. Datos	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Promedio
0	8	99	1	1,0	0	29,88%
8	12		1	1,0	2,0	
12	18		19	19,2	21,2	Desviación Estándar 13,89
18	24		19	19,2	40,4	
24	30		20	20,2	60,6	Coefficiente de Variación 0,46
30	38		16	16,2	76,8	
38	42		9	9,1	85,9	
42	48		5	5,1	90,9	
48	54		2	2,0	92,9	
54	80		6	6,1	99,0	
80	96		1	1,0	100,0	
		0	0,0			
		0	0,0			
		99	100,0			
Agrupación					%	
<30%			60		60,61	
30%	40%		21		21,21	
>40%			18		18,18	

- La Figura 12 muestra curvas de frecuencia acumulada de Desgaste para las rocas típicas de la Familia I, todas en el rango de Alta Calidad.

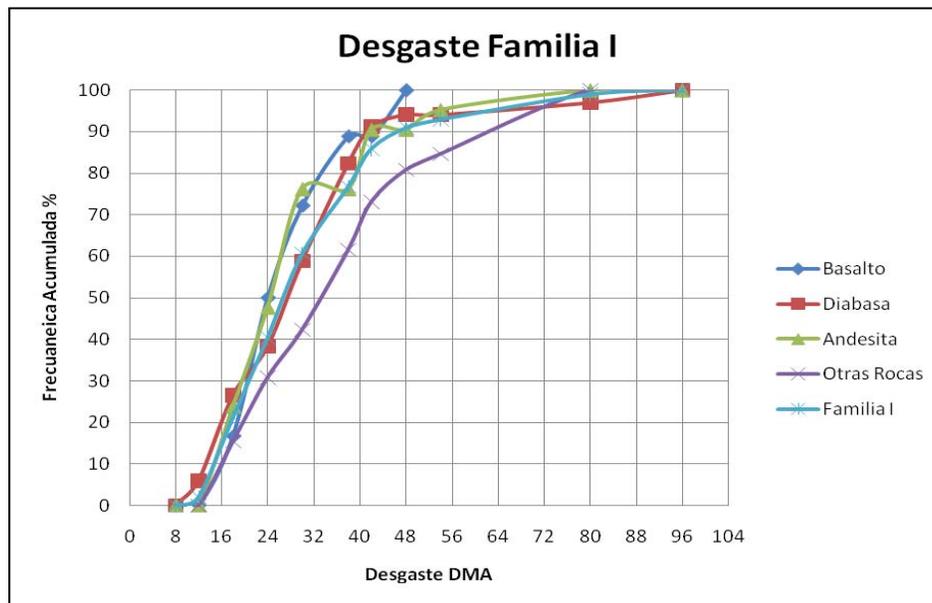


Figura 12. Frecuencia Relativa Acumulada en función del Desgaste, para la Familia I que corresponde al basalto, Diabasa, Andesita, Otras Rocas.

7.2.1.1.2 Solidez (Gruesos)

- Basalto: 64,7% de los 17 datos cumplen (<18%) con promedio de 16,53 %. Los cálculos están especificados en el (ANEXO E), Tabla 5,
- Diabasa: 80,6% de los 31 datos cumplen (<18%) con un promedio de 8,07%. Los cálculos están especificados en el (ANEXO E), Tabla 6.
- Andesita; 89,5% de los 19 datos cumplen (<18%) con un promedio de 4,81 %. Los cálculos están especificados en el (ANEXO E), Tabla 7.
- Otras Rocas: 86,4%, de los 22 datos cumplen (<18%) con un promedio de 2,71%. Los cálculos están especificados en el (ANEXO E), Tabla 8.

Para el conjunto de las rocas de la Familia I, en la Tabla 24 se compendia el resultado de Solidez (Gruesos). De los 89 datos analizados, el 80,9% cumplen con el requisito de calidad establecido, con un promedio de 8.56 %. Se advierte sin embargo que en el caso del Basalto con promedio de solidez de 16.53%, la roca más abundante de esta familia, el requisito de calidad se cumple apenas en el límite (<18).

7.2.1.1.3 Solidez en finos

- Basalto: de 4 datos analizados, en el 75,0% de los casos se cumple el requisito de calidad, con un promedio de 10,94 %. Los cálculos están especificados en el (ANEXO E), Tabla 9.
- Diabasa: de 20 datos analizados, en el 80% de los casos, se cumple el requisito de calidad, con un promedio de 18%. Los cálculos están especificados en el (ANEXO E), Tabla 10.
- Andesita: la totalidad de los 8 datos cumplen el requisito de calidad, con un promedio de 3,64%. Los cálculos están especificados en el (ANEXO E), Tabla 11.
- Otras Rocas: la totalidad de los 5 datos cumplen el requisito de calidad, con un promedio de 4,04%. Los cálculos están especificados en el (ANEXO E), Tabla 12.

Tabla 24. Total solidez gravas Familia I

TOTAL SOLIDEZ G FAMILIA I			
Rangos	No. Datos	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa %
<18%	89	72	80,9
>18%		17	19,1
		89	100,0
		Promedio	
		8,56	
		Desviación Estándar	
		12,73	
		Coefficiente de Variación	
		1,49	

Para el conjunto de las rocas de la Familia 1, en la Tabla 25 se compendia el resultado de Sólidez (Finos). De los 37 datos analizados, el 86,5% cumplen con el requisito de calidad establecido, con un promedio de 12.24%.

Tabla 25. Total Sólidez Finos para la Familia I

TOTAL SOLIDEZ DE FINOS			
Rangos	No. Datos	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa %
<18	37	32	86,5
>18		5	13,5
		37	100,0
		Promedio	
		12,24	
		Desviación Estándar	
		24,61	
		Coefficiente de Variación	
		2,01	

7.2.1.1.4 Adherencia en frasco

- Basalto: de 8 datos analizados, el 95% cumplen el requisito de calidad. Los cálculos están especificados en el (ANEXO E), Tabla 13,
- Diabasa: de 16 datos analizados, el 93,8% cumplen el requisito de calidad. Los cálculos están especificados en el (ANEXO E), Tabla 14.
- Andesita de 14 datos analizados, el 78,6% cumplen el requisito de calidad. Los cálculos están especificados en el (ANEXO E), Tabla 15.
- Otras Rocas de 6 datos analizados, solo un 33,3% cumplen el requisito de calidad. Los cálculos están especificados en el (ANEXO E), Tabla 16.

Para el conjunto de las rocas de la Familia 1, en la Tabla 26 se compendia el resultado de Adherencia en frasco. De los 44 datos analizados, el 77,3% cumplen con el requisito de calidad establecido, con un promedio de 94,80%.

Tabla 26. Total adherencia en frasco para la Familia I.

TOTAL ADHERENCIA F FAMILIA I			
Rangos	No. Datos	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa
<95	44	10	22,7
>95		34	77,3
		44	100,0
	Promedio		
	94,80		
	Desviación Estándar		
	14,64		
	Coficiente de Variación		
	0,15		

7.2.1.1.5 Adherencia en bandeja

- Basalto de 9 datos analizados, el 66,7% cumplen. Los cálculos están especificados en el (ANEXO E), Tabla 17.
- Diabasa de 17 datos analizados el 64,7% cumplen. Los cálculos están especificados en el (ANEXO E), Tabla 18.

- Andesita de 14 datos analizados el 71,4% cumplen. Los cálculos están especificados en el (ANEXO E), Tabla 19.
- Otras Rocas de 6 datos analizados el 83,3% cumplen. Los cálculos están especificados en el (ANEXO E), Tabla 20.

Para el conjunto de las rocas de la Familia 1, en la Tabla 27 se compendia el resultado de Adherencia en Bandeja. De los 46 datos analizados, el 72,7% cumplen con el requisito de calidad establecido, con un promedio de 79,12%.

Tabla 27. Total adherencia en bandeja para la Familia I.

TOTAL ADHERENCIA B FAMILIA I			
Rangos	No. Datos	Frecuencia	Frecuencia %
<75	46	14	31,8
>75		32	72,7
	Total	46	104,5
			Promedio
			79,12
			Desviación Estándar
			22,98
			Coficiente de Variación
			0,29

7.2.1.1.6 Absorción gravas

- Basalto: de 15 datos, la absorción promedio es de 1,74. Los cálculos están especificados en el (ANEXO E), Tabla 21.
- Diabasa: de 27 datos, la absorción promedio es de 1,38. Los cálculos están especificados en el (ANEXO E), Tabla 22.
- Andesita: de 18 datos, la absorción promedio es de 1,65. Los cálculos están especificados en el (ANEXO E), Tabla 23.
- Otras Rocas de 20 datos, la absorción promedio es de 2,15. Los cálculos están especificados en el (ANEXO E), Tabla 24.

En la Figura 13 se puede observar la absorción para el Basalto, Diabasa, Andesita, Otras Rocas para la familia I.

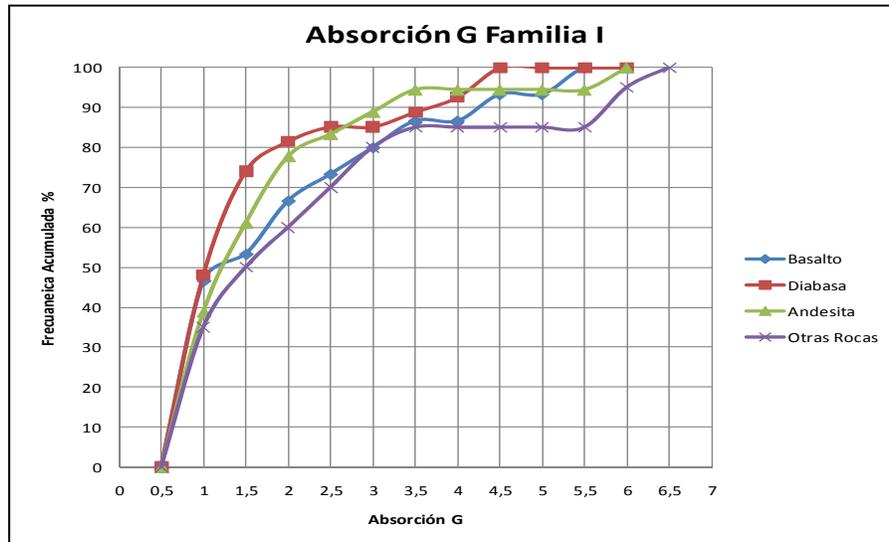


Figura 13. Curvas de absorción en gravas para la Familia I compuesta de basalto, Diabasa, Andesita y otras Rocas.

7.2.1.1.6 Absorción arenas

En la Figura 14 se puede observar la absorción para el Basalto, Diabasa, Andesita, Otras Rocas para la familia I.

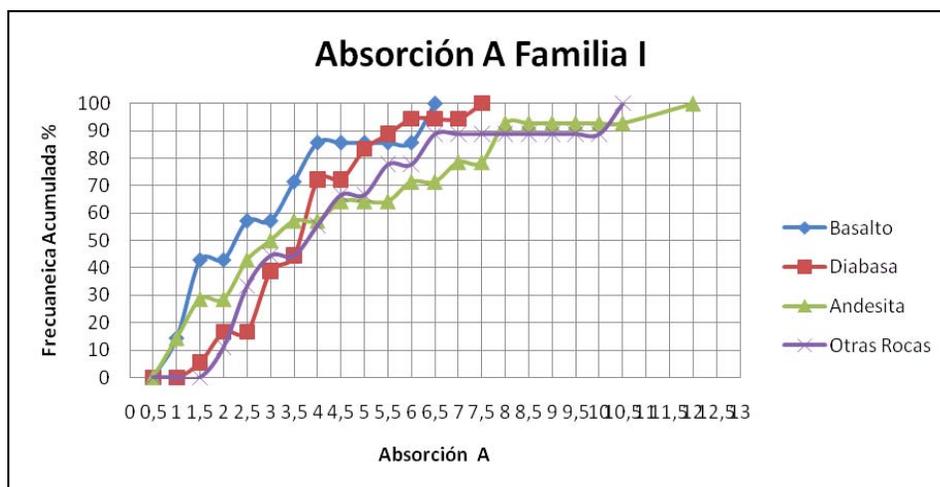


Figura 14. Frecuencia relativa acumulada en función de la absorción en arenas, para la Familia I para Basalto, Diabasa, Andesita y Otras Rocas.

- Índices de forma

Para el conjunto de las rocas de la Familia 1, en la Tabla 29 se compendia el resultado de Índices de Forma. El 72,6% de las muestras cumplen el requisito para IAP, y el 69,4% para IAL.

6.1.1.2 Familia II: caliza micrita y caliza bioclástica.

- Desgaste en máquina de los Ángeles
- Caliza (Micrita) de 92 datos clasifican en alta calidad un 82,61%, moderada un 9,78% y baja calidad un 7,61%, se encuentra en un promedio de 26,44DMA, los cálculos están especificados en el (ANEXO F), tabla 1.
- Calizas bioclásticas de 11 datos clasifican en alta calidad un 18,18%, moderada un 27,27% y baja calidad un 54,55%, se encuentra en un promedio de 43,11 DMA, los cálculos están especificados en el (ANEXO F), tabla 2.

Finalmente para un total de desgaste en la Familia II, se encuentra en la tabla 28, como se puede observar 103 datos denominando de alta calidad un 84,78%, moderada un 13,04% y baja calidad un 14,13%, se encuentra un promedio de 28,22 DMA.

Tabla 28. Total desgaste Familia II.

TOTAL DESGASTE FAMILIA II					
Rangos	No. Datos	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Promedio
0 - 8	8	1	1,0	0	28,22
8 - 12	12	1	1,0	1,9	
12 - 18	18	6	5,8	7,8	Desviación Estándar
18 - 24	24	36	35,0	42,7	11,26
24 - 30	30	34	33,0	75,7	
30 - 38	38	12	11,7	87,4	Coefficiente de Variación
38 - 42	42	4	3,9	91,3	0,40
42 - 48	48	0	0,0	91,3	
48 - 54	54	3	2,9	94,2	
54 - 80	80	6	5,8	100,0	
80 - 96	96	0	0,0	100,0	
		0	0,0		
		0	0,0		
		103	100		
Agrupación					%
<30				78	84,78
30	40			12	13,04
>40				13	14,13

Tabla 29. Total índices de forma Familia II.

TOTAL INDICES DE FORMA FAMILIA I				
Datos		IAP		
IAP	IAL	Rangos	Frecuencia	Frecuencia Relativa
6,3	10,2	< 35	45	72,6
9	10,6	>35	17	27,4
9,4	12	Total	62	100,0
9,7	12,4			
10	12,9			
		IAL		
IAP	IAL	Rangos	Frecuencia	Frecuencia Relativa
10,7	13,3	< 35	43	69,4
11,5	14,3	>35	19	30,6
11,8	15,3	Total	62	100,0
13,2	16			
14	16,3			
15	17			
15,5	17,3			
15,9	18,1			
17,9	18,8			
17,9	19,2			
19,3	19,8			
19,4	20,5			
19,8	21,3			
20,8	21,6			
20,9	21,8			
21	22			
21,8	22			
23,2	22,2			
24,1	22,4			
24,1	23			
24,4	23,2			
24,5	23,3			
25,9	23,5			
26,5	24,3			
26,6	24,6			
26,7	25,9			
27	27,7			
27,9	30,1			
28,3	30,2			
28,4	30,3			
29,3	31,1			
30,2	31,6			
30,3	33,2			
31	33,6			
31,5	33,7			
32,1	33,8			
32,3	34,5			
32,6	34,8			
33,4	35,3			
33,6	37,3			
35,2	37,8			
35,4	38			
35,6	38			
36,4	39,9			
36,8	41,8			
36,9	42,7			
37,1	44,7			
37,5	47,2			
37,7	47,8			
38,8	49,7			
41,5	53,6			
43,9	55,8			
44	56,7			
45	58			
45,7	61,9			
46,7	62			
56,3	72,1			

En la Figura 15 se puede observar el desgaste para la Caliza micrita de alta calidad un 82,61%, Caliza Bioclástica de alta calidad un 18,18% para la familia II un 84,78%. Teniendo en cuenta estos valores se observa que para la familia II la caliza micrita es la de mejor calidad.

7.2.1.2.2 Solidez en gruesos

- Caliza (micrita) de 78 datos se denomina que cumple un 93,6%, se encuentra en un promedio de 8,05, los cálculos están especificados en el (ANEXO F), tabla 3.
- Caliza bioclástica de 13 datos se denomina que cumple un 30,8%, se encuentra en un promedio de 27,93, los cálculos están especificados en el (ANEXO F), tabla 4.

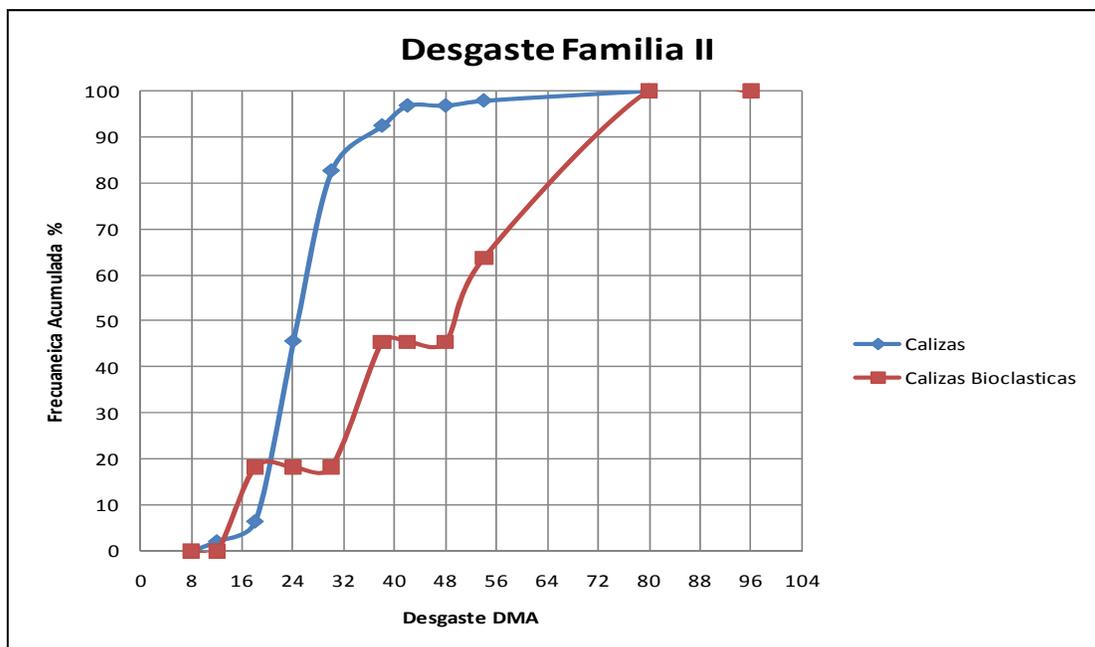


Figura 15. Frecuencia Relativa Acumulada en función del Desgaste, para la Familia II que corresponde al Calizas y Calizas Bioclástica.

Tabla 30. Total Solidez en Gruesos Familia II correspondiente a Caliza (micrita) y Caliza Bioclástica.

TOTAL SOLIDEZ G FAMILIA II						
Rangos	No. Datos	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación
>18	91	77	84,6	10,89	15,05	1,38
<18		14	15,4			

7.2.1.2.3 Adherencia frasco

- Caliza (micrita) de 54 datos se denomina que ninguna adhiere, además, los cálculos están especificados en el (ANEXO F), tabla 5.
- Caliza bioclástica de 3 datos se denomina que ninguna adhiere, los cálculos están especificados en el (ANEXO F), tabla 6.

Tabla 31. Total adherencia en frasco para la Familia II, correspondiente a caliza (micrita) y caliza bioclástica.

TOTAL ADHERENCIA F FAMILIA II					
Rangos	No. Datos	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Promedio
>95	57	57	100,0	0	93,93
<95		0	0,0	100,0	
		57	100,0		Desviación Estándar
					4,72
					Coefficiente de Variación
					0,05

7.2.1.2.4 Adherencia en bandeja

- Caliza (micrita) de 61 datos adhiere 85,2% de los datos, además, los cálculos están especificados en el (ANEXO F), tabla 7.
- Caliza bioclástica de 3 datos se denomina adhiere 66,7%, los cálculos están especificados en el (ANEXO F), tabla 8.

Tabla 32. Total adherencia en bandeja para la Familia II, correspondiente a caliza (micrita) y caliza bioclástica.

TOTAL ADHERENCIA B FAMILIA II					
Rangos	No. Datos	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Promedio
>75	64	10	15,6	0	82,77
<75		54	84,4	100,0	
		64	100,0		
Desviación Estándar				Coefficiente de Variación	
29,56				0,4	

7.2.1.2.5 Absorción gravas

Tabla 33. Total absorción gravas para la Familia II, correspondiente a Caliza (micrita) y Caliza Bioclástica.

TOTAL ABSORCIÓN G FAMILIA II						
Rangos		No. Datos	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Promedio
0	0,5	89	11	12,4	0	1,39
0,5	1		31	34,8	47,2	
1	1,5		22	24,7	71,9	Desviación Estándar
1,5	2		8	9,0	80,9	1,11
2	2,5		6	6,7	87,6	
2,5	3		5	5,6	93,3	Coefficiente de Variación
3	3,5		0	0,0	93,3	0,80
3,5	4		4	4,5	97,8	
4	4,5		0	0,0	97,8	
4,5	5		0	0,0	97,8	
5	5,5		0	0,0	97,8	
5,5	6		1	1,1	98,9	
6	6,5		1	1,1	100,0	
				89	100	

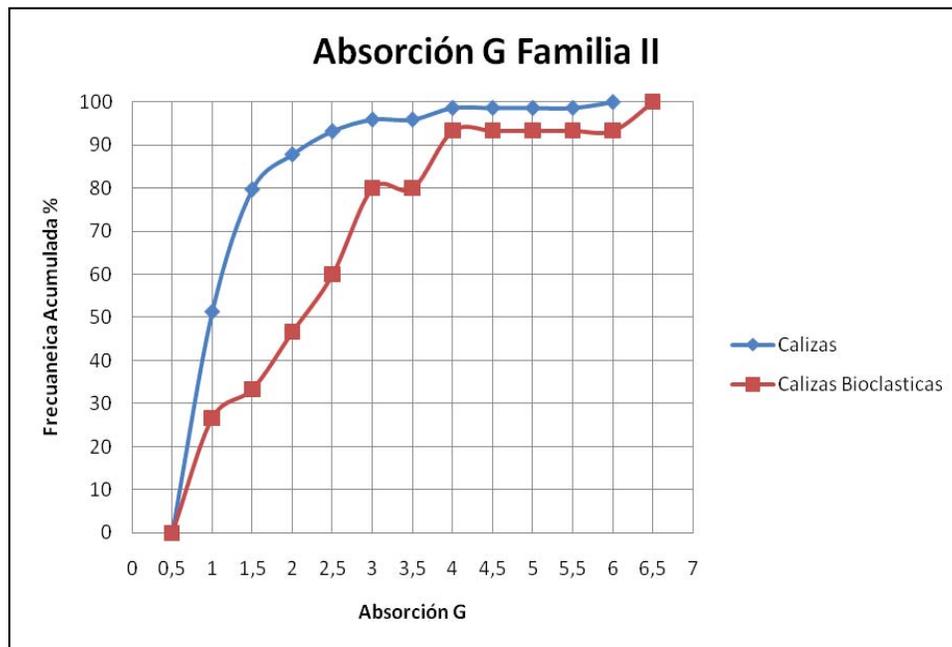


Figura 16. Frecuencia Relativa Acumulada en función de la absorción en Gravas, para la Familia II que corresponde al Calizas y Calizas Bioclastica

Tabla 34. Total absorción arenas para la Familia II.

TOTAL ABSORCIÓN A FAMILIA II						
Rangos		No. Datos	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Promedio
0	0,5	37	0	0,0	0	2,10
0,5	1		6	16,2	16,2	Desviación Estándar
1	1,5		8	21,6	37,8	
1,5	2		3	8,1	45,9	1,06
2	2,5		9	24,3	70,3	Coefficiente de Variación
2,5	3		6	16,2	86,5	
3	3,5		0	0,0	86,5	0,51
3,5	4		2	5,4	91,9	
4	4,5		2	5,4	97,3	
4,5	5		0	0,0	97,3	
5	5,5		1	2,7	100,0	
5,5	6		0	0,0		
6	6,5		0	0,0		
			37	100,0		

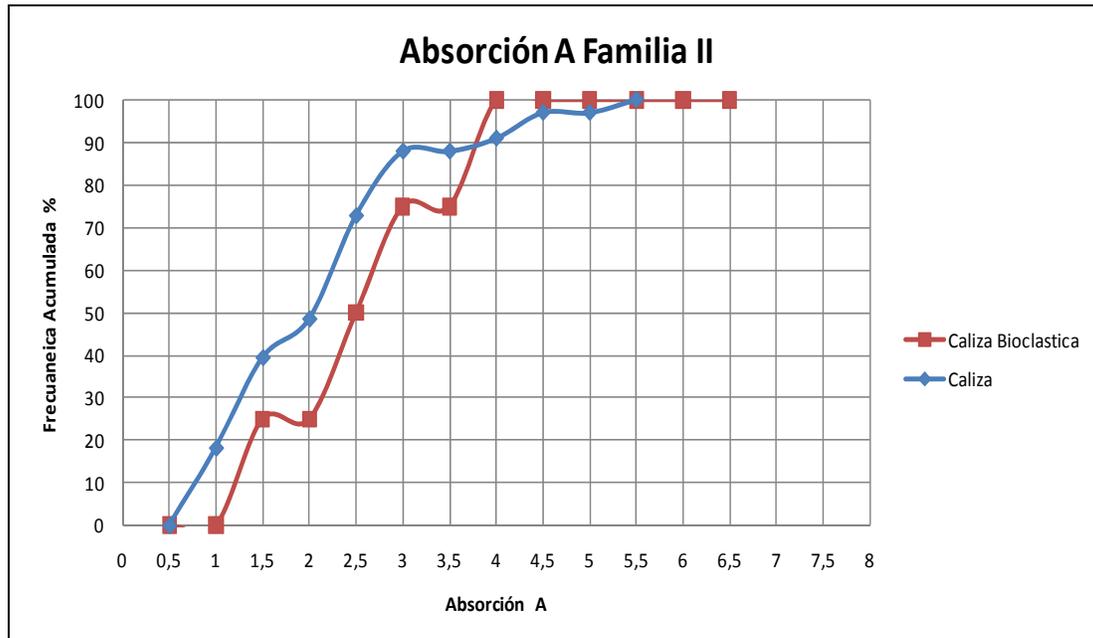


Figura 17. Frecuencia Relativa Acumulada en función de la absorción en Arenas, para la Familia II que corresponde al Calizas y Calizas Bioclástica.

7.2.1.2.6 Índices De Forma

Tabla 35. Total índices de forma para la Familia II, correspondiente a caliza (micrita) y caliza bioclástica índice de aplanamiento (IAP), índice de alargamiento (IAL).

TOTAL INDICES DE FORMA FAMILIA II				
Datos		IAP		
IAP	IAL	Rangos	Frecuencia	Frecuencia %
3,2	12	< 35	67	93,1
6	15,8	>35	5	6,9
9	16	Total	72	100,0
10,4	17			
11	17			
		IAL		
IAP	IAL	Rangos	Frecuencia	Frecuencia %
11	17	< 35	51	68,0
12	19	>35	24	32,0
13	19	Total	75	100,0
14	20			
14	21			
14	21			
14	22			
14	23			
14	23,8			
15	24			
15	24			
16	24			
16	25			
16	25			
17	25			
17	25			
17	25			
18	25			
18	25			
18	26			
18	26			
18	26			
18	26			
18	26			
18,7	27			
19	27			
19	27			
19	28			
20	29			
20	29			
20	30			
20	30			
20,9	30			
21	30			
21	31			
21	31			
22	32			
22	33			
23	34			
23	34			
23	34			
23	34			
25	34			
25	35			
26	36			
27	36			
27	38			
27	38			
28	38,8			
29	39			
29	39			
30	40			
30	40			
30	40			
31	40			
32	41			
33	41			
33	42			
34	42			
34	45			
35	45			
38	46			
39	47			

39	48
43	48
	48
	50
	52

7.2.1.2.7 Familia II comparada Colombia, sabana de Bogotá, Cundinamarca y Boyacá.

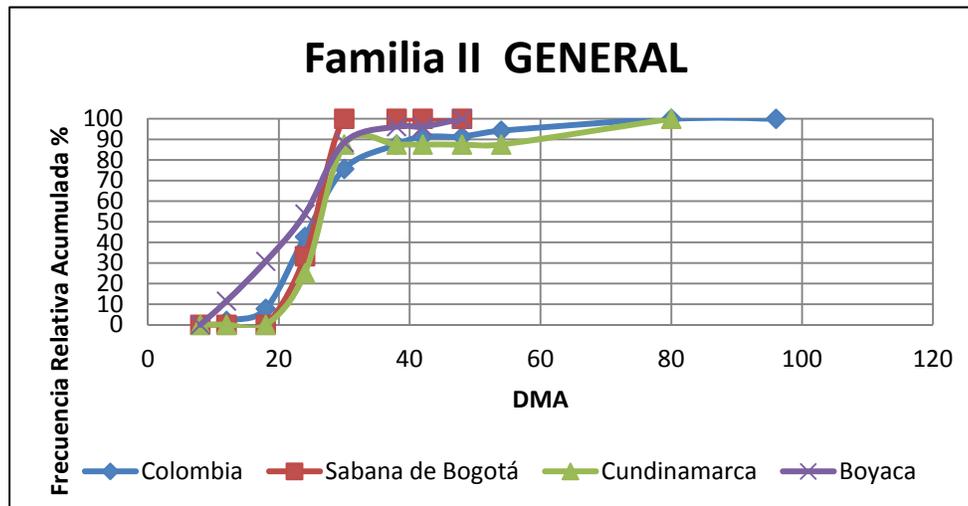


Figura 18. Comparación de Calidad de la resistencia al desgaste de las calizas de los Departamentos de Cundinamarca y Boyacá, estudio piloto y General del País.

7.2.1.3 Familia III: areniscas y conglomerados edad del cretáceo - paleozoico y total de la familia III.

7.2.1.3.1 Desgaste en la máquina de los ángeles.

- Areniscas y conglomerados edad del cretáceo – paleozoico de 83 datos clasifican en alta calidad un 30,12%, moderada un 36,14% y baja calidad un 33,73%, se encuentra en un promedio de 38,49 DMA, los cálculos están especificados en el (ANEXO G), Tabla 1.

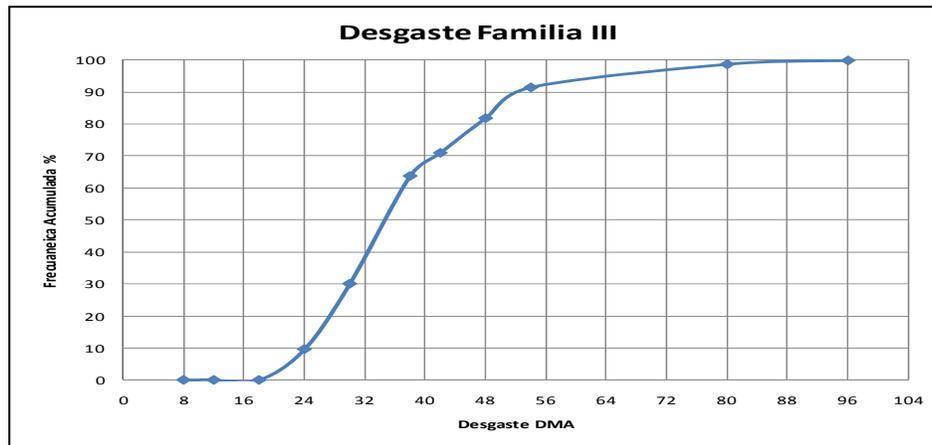


Figura 19. Frecuencia Relativa Acumulada en función del desgaste en areniscas y conglomerados, para la Familia III.

Tabla 36. Total desgaste familia III, correspondiente a areniscas y conglomerados edad del cretáceo – paleozoico.

TOTAL DESGASTE FAMILIA III						
Rangos		No. Datos	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Promedio
0	8	83	0	0,0	0	38,49
8	12		0	0,0	0,0	
12	18		0	0,0	0,0	Desviación Estándar
18	24		8	9,6	9,6	13,65
24	30		17	20,5	30,1	
30	38		28	33,7	63,9	Coefficiente de Variación
38	42		6	7,2	71,1	0,35
42	48		9	10,8	81,9	
48	54		8	9,6	91,6	
54	80		6	7,2	98,8	
80	96		1	1,2	100,0	
			0	0,0		
			0	0,0		
			83	100,0		
Agrupación					%	
<30			25	30,12		
30	30		30	36,14		
>40			28	33,73		

7.2.1.3.2 Solidez en gruesos

Tabla 37. Total solidez Familia III, correspondiente a areniscas y conglomerados edad del cretáceo – paleozoico.

TOTAL SOLIDEZ G FAMILIA III			
Rangos	No. Datos	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa
>18	57	52	91,2
<18		5	8,8

7.2.1.3.3 Adherencia frasco

Tabla 38. Total adherencia f Familia III, correspondiente a areniscas y conglomerados edad del cretáceo – paleozoico.

TOTAL ADHERENCIA F FAMILIA III			
Rangos	No. Datos	Frecuencia	Frecuencia Relativa
>95	16	15	93,8
<95		1	6,3
		100	100,0

7.2.1.3.3 Adherencia en bandeja

Tabla 39. Total adherencia b Familia III, correspondiente a areniscas y conglomerados edad del cretáceo – paleozoico.

TOTAL ADHERENCIA B FAMILIA III			
Rangos	No. Datos	Frecuencia	Frecuencia Relativa
>75	14	8	57,1
<75		6	42,9

7.2.1.3.5 Absorción en gravas

Tabla 40. Total absorción en gravas Familia III, correspondiente a areniscas y conglomerados edad del cretáceo – paleozoico.

TOTAL ABSORCIÓN G FAMILIA III						
Rangos		No. Datos	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Promedio
0	0,5	45	0	0,0	0	2,12
0,5	1		7	15,6	15,6	Desviación Estándar
1	1,5		8	17,8	33,3	
1,5	2		9	20,0	53,3	1,16
2	2,5		10	22,2	75,6	Coefficiente de Variación
2,5	3		1	2,2	77,8	
3	3,5		5	11,1	88,9	0,54
3,5	4		1	2,2	91,1	
4	4,5		2	4,4	95,6	
4,5	5		0	0,0	95,6	
5	5,5		1	2,2	97,8	
5,5	6		1	2,2	100,0	

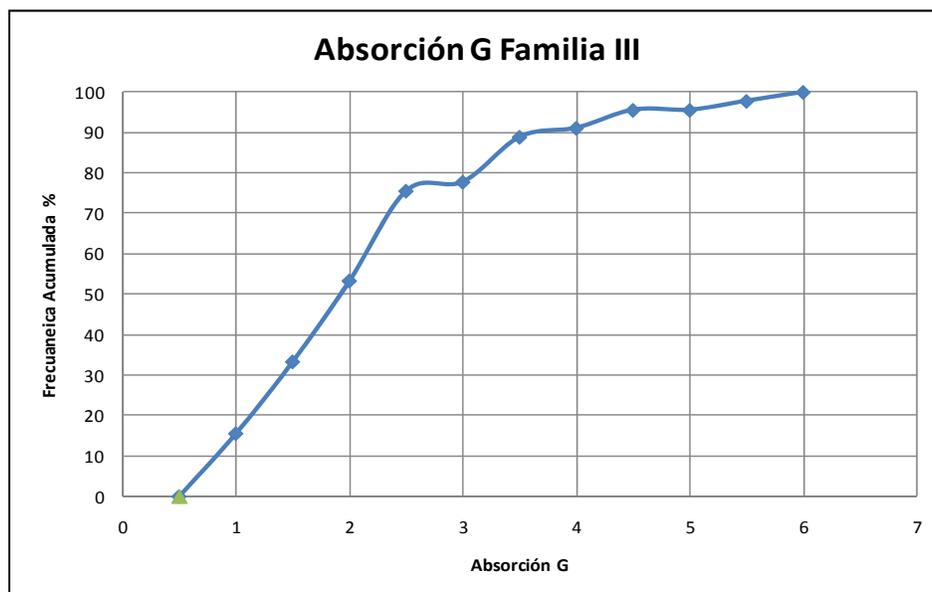


Figura 20. Frecuencia Relativa Acumulada en función de Absorción de Gravas.

7.2.1.3.6 Absorción en arenas

Tabla 41. Total absorción en arenas Familia III, correspondiente a areniscas y conglomerados edad del cretáceo – paleozoico.

TOTAL ABSORCIÓN A FAMILIA III						
Rangos		No. Datos	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Promedio
0	0,5	50	4	8,0	0	1,61
0,5	1		8	16,0	24,0	Desviación Estándar
1	1,5		17	34,0	58,0	
1,5	2		7	14,0	72,0	0,93
2	2,5		9	18,0	90,0	Coefficiente de Variación
2,5	3		2	4,0	94,0	
3	3,5		0	0,0	94,0	0,62
3,5	4		1	2,0	96,0	
4	4,5		1	2,0	98,0	
4,5	5		1	2,0	100,0	
5	5,5		0	0,0	100,0	
5,5	6		0	0,0	100,0	

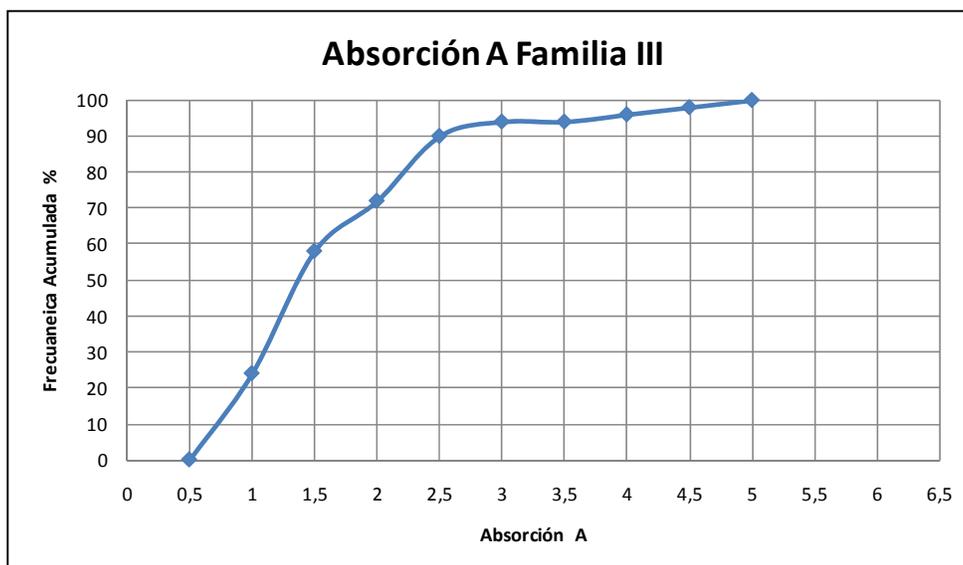


Figura 21. Frecuencia Relativa Acumulada en función de Absorción de Arenas.

7.2.1.3.7 Índice De Forma

Tabla 42. Total índices de forma para la Familia III, correspondiente a areniscas y conglomerados edad del cretáceo – paleozoico, índice de aplanamiento (IAP), índice de alargamiento (IAL).

TOTAL INDICES DE FORMA FAMILIA III				
Datos		IAP		
IAP	IAL	Rangos	Frecuencia	Frecuencia %
5,6	9,6	< 35	16	80,0
6,9	10,2	>35	4	20,0
7,9	12,1	Total	20	100,0
12,2	14,1			
13,5	16	IAL		
14	16,3	Rangos	Frecuencia	Frecuencia %
14,4	17	< 35	20	90,9
16	17,2	>35	2	9,1
18,6	17,9	Total	22	100
20,8	21,3			
23	23,1			
24,6	23,5			
26,1	25			
27,1	25,5			
29,3	25,7			
30,6	27			
39,6	27			
39,9	27,4			
40,5	30,2			
41,3	33			
	42,9			
	72			

7.2.1.4 Familia III comparada Colombia, sabana de Bogotá, Cundinamarca y Boyacá.

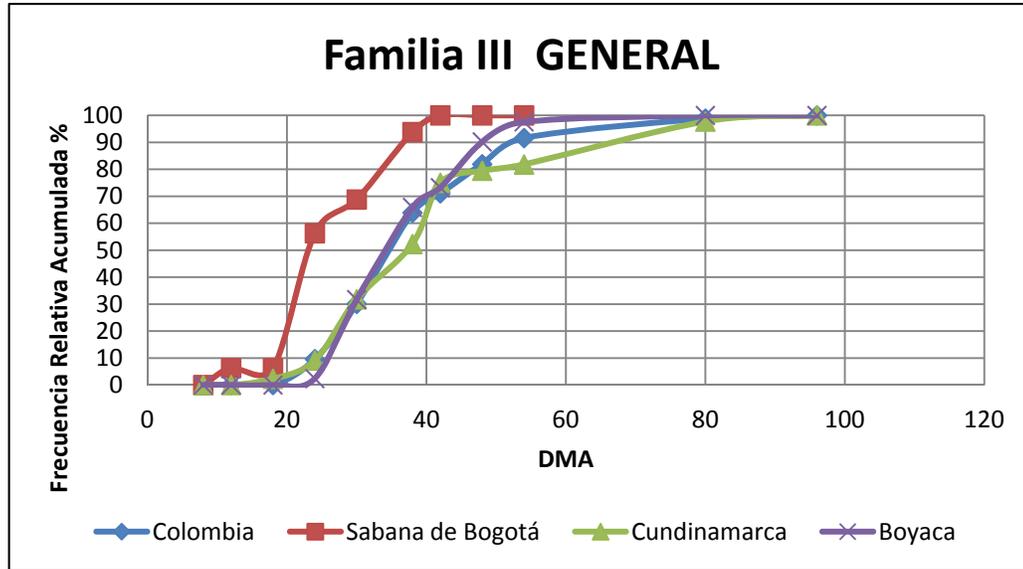


Figura 22. Comparación de Calidad de la resistencia al desgaste de la Familia III de los Departamentos de Cundinamarca y Boyacá, estudio piloto y General del País.

Tabla 43. Total desgaste Familia IV, rangos, no. Datos, frecuencia relativa, relativa acumulada, promedio, desviación estándar, coeficiente de variación, agrupación.

TOTAL DESGASTE FAMILIA IV						
Rangos		No. Datos	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Promedio
0	8	89	1	1,1	0	25,14
8	12		1	1,1	2,2	
12	18		3	3,4	5,6	Desviación Estándar
18	24		14	15,7	21,3	7,01
24	30		17	19,1	40,4	
30	38		20	22,5	62,9	Coeficiente de Variación
38	42		5	5,6	68,5	0,28
42	48		12	13,5	82,0	
48	54		4	4,5	86,5	
54	80		11	12,4	98,9	
80	96		1	1,1	100,0	
			0	0,0		
			0	0,0		
			89	100		

Agrupación			%
<30			36
30	40		22
>40			31

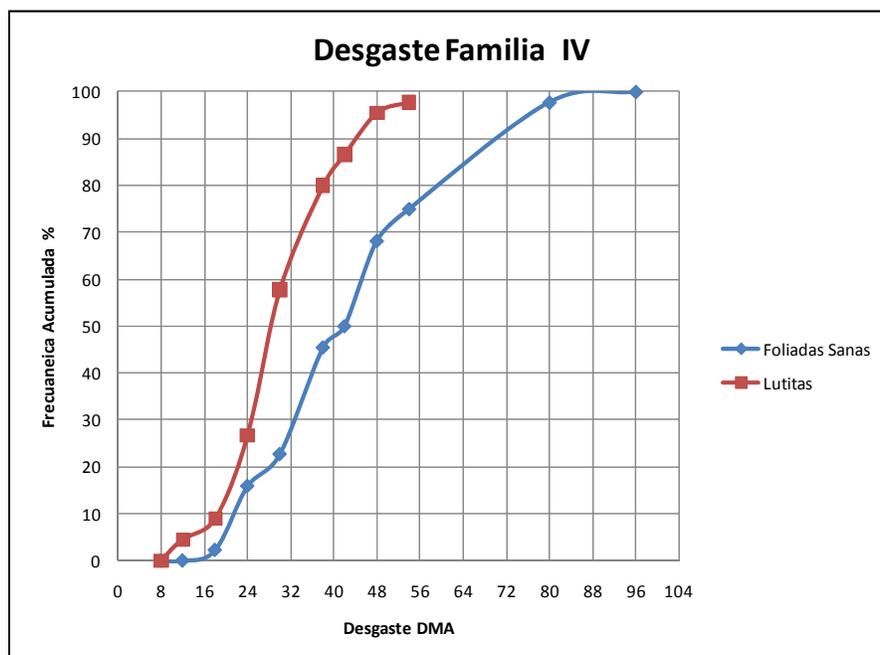


Figura 23. Frecuencia relativa acumulada en función de desgaste, para la Familia I que corresponde a las foliadas y lutitas (ANEXO H).

7.2.1.4.1 Solidez Gravas

Tabla 44. Total solidez gravas Familia VI, referidos al rango, no. Datos, frecuencia absoluta, frecuencia relativa, con el promedio, desviación estándar, coeficiente de variación.

TOTAL SOLIDEZ G FAMILIA IV					
Rangos	No. Datos	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Promedio
>18	80	54	67,5	0	16,62
<18		26	32,5	100,0	
					Desviación Estándar
					21,47
					Coeficiente de Variación
					1,29

7.2.1.4.2 Solidez Finos

Tabla 45. Total solidez finos Familia VI, referidos al rango, no. Datos, frecuencia absoluta, frecuencia relativa, con el promedio, desviación estándar, coeficiente de variación.

TOTAL SOLIDEZ F FAMILIA IV					
Rangos	No. Datos	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Promedio
>18	9	9	100,0	0	2,10
<18		0	0,0	100,0	
					Desviación Estándar
					1,03
					Coeficiente de Variación
					0,49

7.2.1.4.3 Adherencia en Frasco

Tabla 46. Total Adherencia en Frasco la Familia VI.

TOTAL ADHERENCIA F FAMILIA VI					
Rangos	No. Datos	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Promedio
>95	17	13	76,5	0	95,24
<95		4	23,5	100,0	
		17	100,0		Desviación Estándar
					2,59
					Coficiente de Variación
					0,03

7.2.1.4.4 Adherencia en Bandeja

Tabla 47. Total adherencia en bandeja la Familia VI.

TOTAL ADHERENCIA B FAMILIA VI					
Rangos	No. Datos	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Promedio
>75	15	1	6,7	0	87,53
<75		14	93,3	100,0	
		15	100,0		Desviación Estándar
					8,39
					Coficiente de Variación
					0,10

7.2.1.4.5 Absorción Gravos

Tabla 48. Absorción gravas Familia IV

TOTAL ABSORCIÓN G FAMILIA IV					
Rangos		No. Datos	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada
0	0,5	64	5	13,5	0
0,5	1		7	18,9	32,4
1	1,5		4	10,8	43,2
1,5	2		6	16,2	59,5
2	2,5		1	2,7	62,2
2,5	3		8	21,6	83,8
3	3,5		8	21,6	105,4
3,5	4		6	16,2	121,6
4	4,5		5	13,5	135,1

4,5	5	3	8,1	143,2
5	5,5	3	8,1	151,4
5,5	6	2	5,4	156,8
6	6,5	1	2,7	159,5
6,5	7	1	2,7	162,2
7	7,5	2	5,4	167,6
7,5	8	0	0,0	
8	8,5	1	2,7	
8,5	9	0	0,0	
9	9,5	0	0,0	
9,5	10	0	0,0	
10	10,5	0	0,0	
10,5	11	0	0,0	
		0		
		0		
		0		
		1		

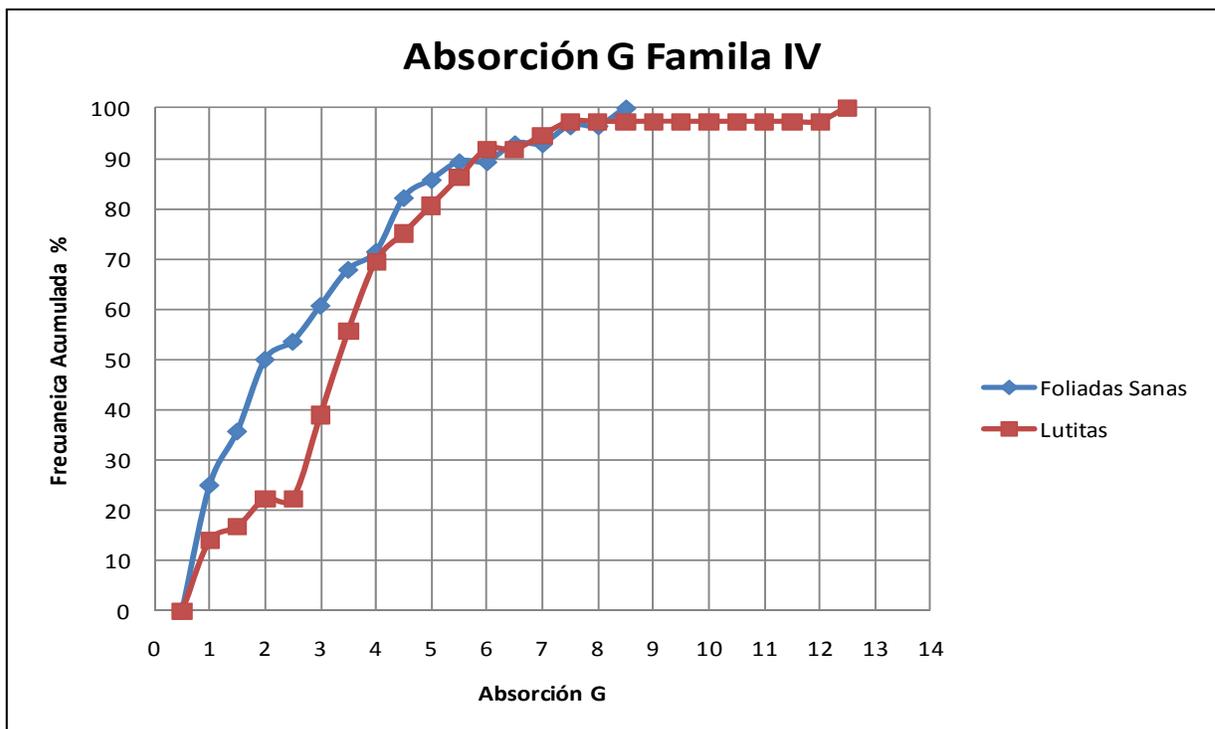


Figura 24. Frecuencia Relativa Acumulada en Función de la absorción en Gravas para la Familia IV.

7.2.1.4.6 Absorción Arenas

Tabla 49. Absorción arenas Familia IV.

TOTAL ABSORCIÓN A FAMILIA IV					
Rangos		No. Datos	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada
0	0,5	37	1	2,7	0
0,5	1		0	0,0	2,7
1	1,5		2	5,4	8,1
1,5	2		3	8,1	16,2
2	2,5		5	13,5	29,7
2,5	3		4	10,8	40,5
3	3,5		4	10,8	51,4
3,5	4		4	10,8	62,2
4	4,5		1	2,7	64,9
4,5	5		4	10,8	75,7
5	5,5		2	5,4	81,1
5,5	6		3	8,1	89,2
6	6,5		2	5,4	94,6
6,5	7		1	2,7	97,3
7	7,5		1	2,7	100,0
7,5	8		0	0,0	
8	8,5		0	0,0	
8,5	9		0	0,0	
9	9,5		0	0,0	
9,5	10		0	0,0	
10	10,5	0	0,0		
10,5	11	37			

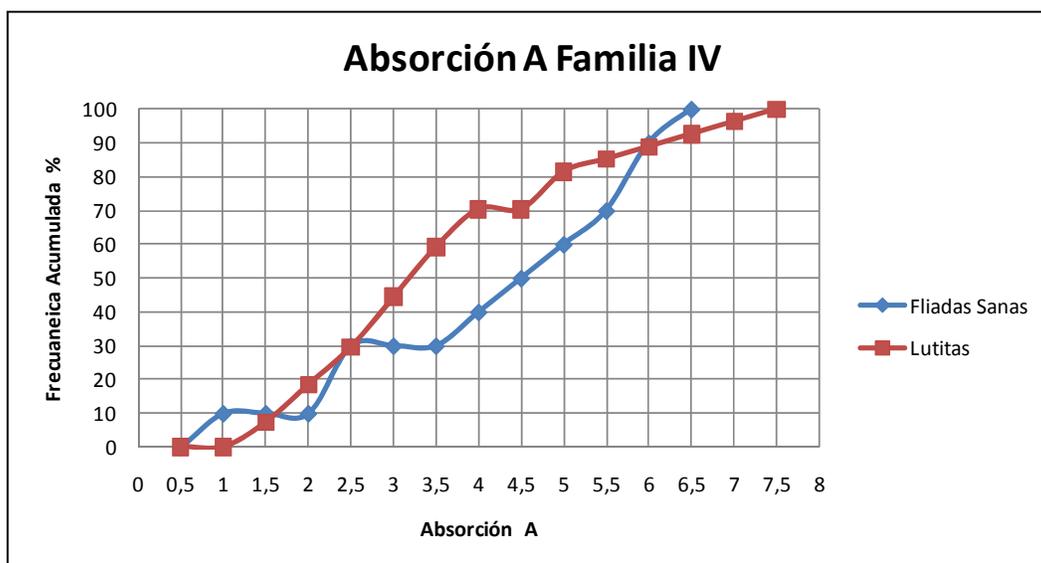


Figura 25. Frecuencia Relativa Acumulada en Función de la absorción en Arenas para la Familia IV.

7.2.1.4.7 Índices de Forma

Tabla 50. Índices de forma Familia IV

TOTAL INDICES DE FORMA FAMILIA IV				
Datos		IAP		
IAP	IAL	Rangos	Frecuencia	Frecuencia %
10	12,7	< 35	22	52,4
11,2	14,6	>35	20	47,6
12,5	14,9	Total	42	100,0
12,6	15,2			
13	23	IAL		
13,3	23	Rangos	Frecuencia	Frecuencia %
16	24,7	< 35	14	37,8
17	25	>35	23	62,2
17	29	Total	37	100
20	29,1			
22	32			
23,4	33			
24	34			
24,1	35			
25	36			
25	36,6			
25,5	37			
30	38			
31	40			
32	40			
35	41,6			
35	42			
35	42			
35,8	43			
36	43			
36,8	46,5			
37	46,7			
38,3	47,2			
39	49,8			
39,6	50			
43,4	50			
44,6	52			
45,1	58			
46	62,4			
52,3	65,7			
54,9	81			
57	81,4			
68,3				

7.2.1.4.8 Familia IV comparada Colombia, sabana de Bogotá, Cundinamarca y Boyacá.

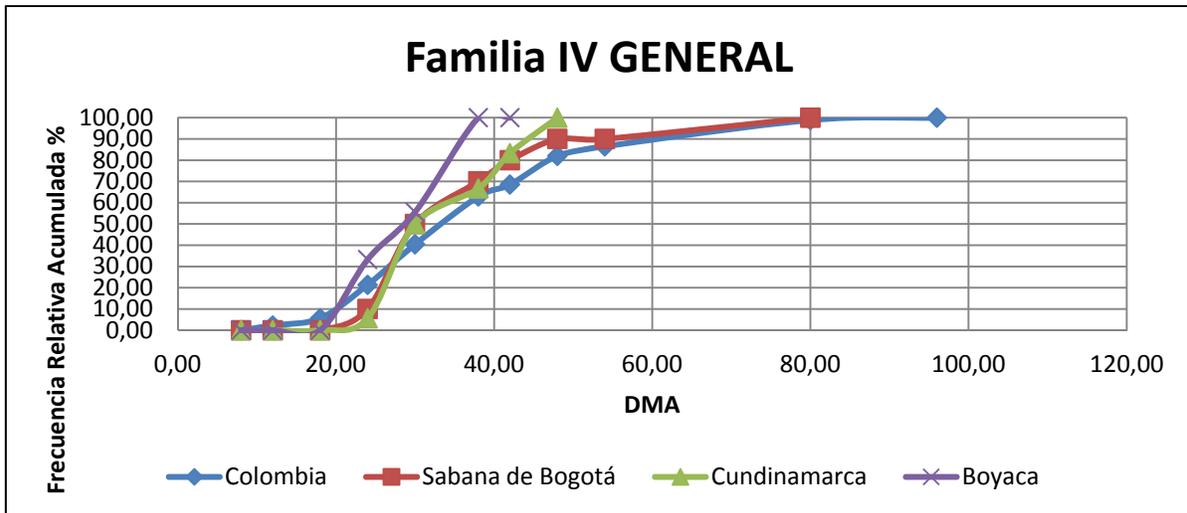


Figura 26. Frecuencia Relativa Acumulada en Función del DMA para la Familia IV comparada con Sabana de Bogotá, Cundinamarca y Boyacá.

7.2.1.5 Familia V granito - granodiorita, cuarzodiorita, otras rocas (ANEXO I).

Tabla 51. Desgaste Familia V.

TOTAL DESGASTE FAMILIA V					
Rangos	No. Datos	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Promedio
0 8	92	0	0,0	0	38,97
8 12		1	1,1	1,1	
12 18		8	8,7	9,8	Desviación Estándar
18 24		10	10,9	20,7	17,66
24 30		14	15,2	35,9	
30 38		18	19,6	55,4	Coefficiente de Variación
38 42		5	5,4	60,9	0,45
42 48		5	5,4	66,3	
48 54		13	14,1	80,4	
54 80		16	17,4	97,8	
80 96		1	1,1	98,9	
		1	1,1		
		0	0,0		
		92	100		
Agrupación					%
<30				34	36,96
30			40	21	22,83
>40				37	40,22

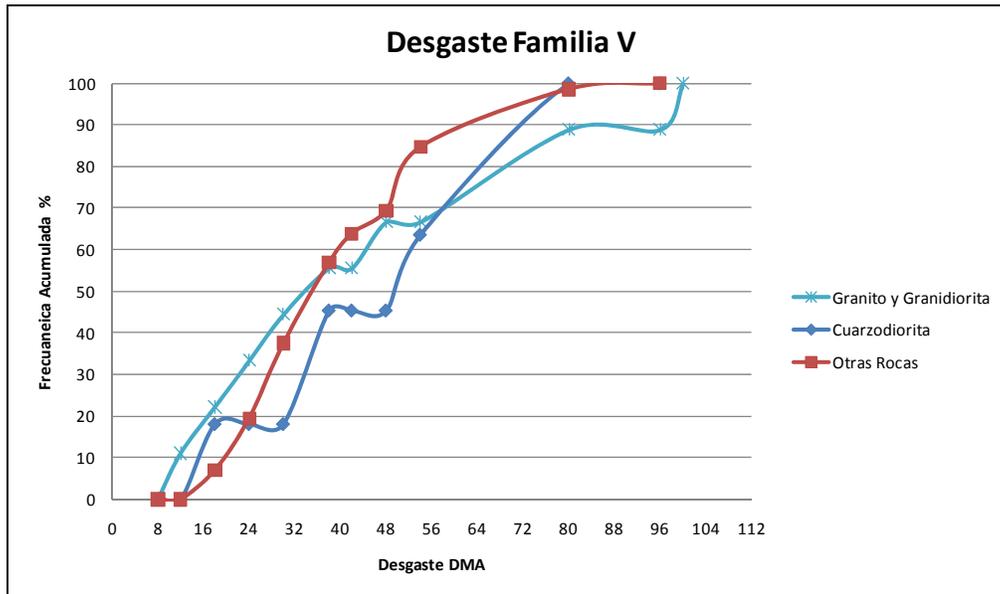


Figura 27. Frecuencia Relativa Acumulada en Función del desgaste para la Familia IV.

7.2.1.5.1 Solidez Gravos

Tabla 52. Total solidez gravas Familia V.

TOTAL SOLIDEZ G FAMILIA V				
Rangos	No. Datos	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada
>18	64	42	65,6	0
<18		22	34,4	100,0
Promedio		Desviación Estándar		Coficiente de Variación
14,37		19,66		1,37

7.2.1.5.2 Solidez Finos

Tabla 53. Total solidez finos Familia V.

TOTAL SOLIDEZ F FAMILIA V				
Rangos	No. Datos	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada
>18	19	17	26,6	0
<18		2	3,1	29,7
	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	
	4,11	8,29	2,02	

7.2.1.5.3 Adherencia Frasco

Tabla 54. Total adherencia finos Familia V.

TOTAL ADHERENCIA F FAMILIA V			
Rangos	No. Datos	Frecuencia	Frecuencia Relativa
<95	30	23	76,7
>95		7	23,3
		30	100,0
	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación
	92,22	17,25	0,19

7.2.1.5.4 Adherencia Bandeja

Tabla 55. Total adherencia bandeja Familia V.

TOTAL ADHERENCIA B FAMILIA V				
Rangos	No. Datos	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada
>75	29	24	82,8	0
<75		5	17,2	100,0
		29	100,0	
	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	
	79,03	16,27	0,21	

7.2.1.5.5 Absorción Gravas

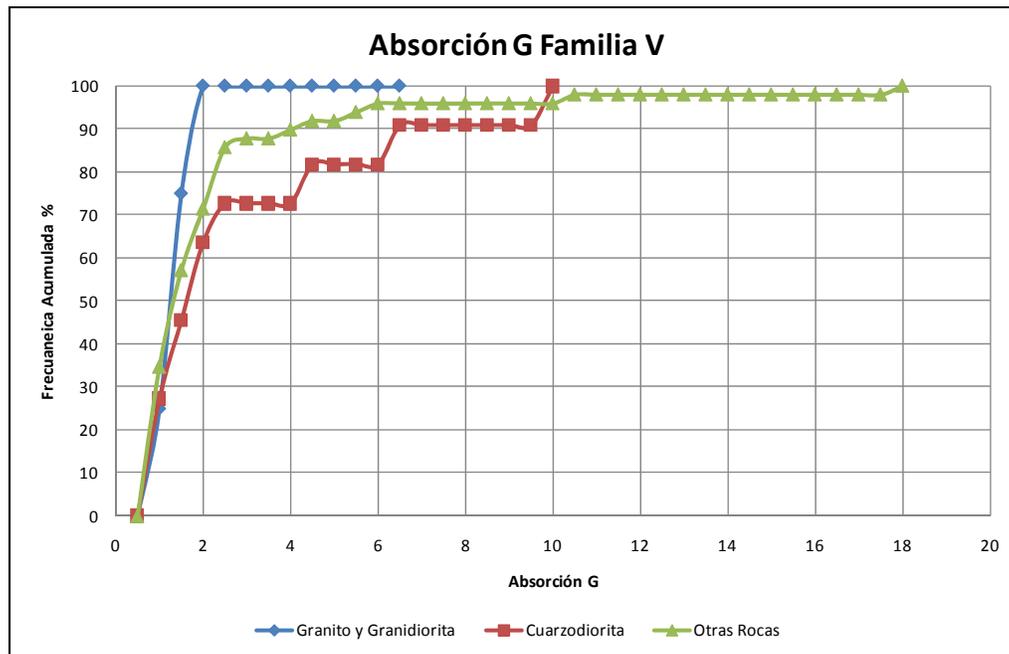


Figura 28. Frecuencia relativa acumulada en función de absorción gravas Familia V.

7.2.1.5.6 Absorción arenas

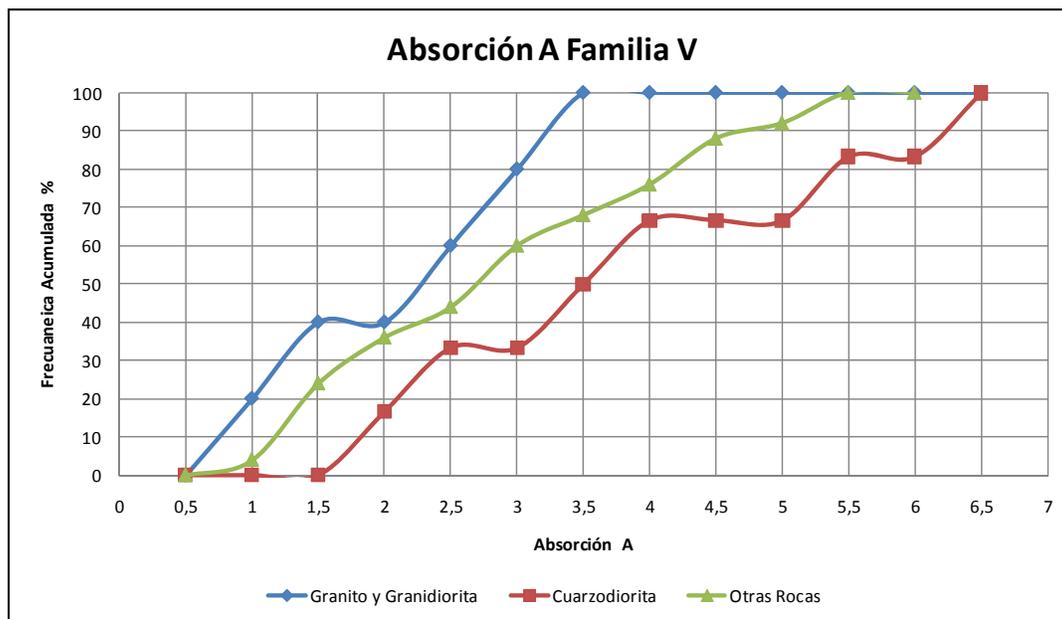


Figura 29. Frecuencia Relativa acumulada en función de Absorción Arenas Familia V.

Tabla 57. Total absorción Arenas Familia V.

TOTAL ABSORCIÓN A FAMILIA V						
0,4	Rangos		No. Datos	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada
1,15	0	0,5	36	0	0,0	0
1,2	0,5	1		2	5,6	5,6
1,73	1	1,5		6	16,7	22,2
	1,5	2		4	11,1	33,3
	2	2,5		4	11,1	44,4
	2,5	3		5	13,9	58,3
	3	3,5		4	11,1	69,4
	3,5	4		3	8,3	77,8
	4	4,5		3	8,3	86,1
	4,5	5		1	2,8	88,9
	5	5,5		3	8,3	97,2
	5,5	6		0	0,0	97,2
	6	6,5		1	2,8	100,0

7.2.1.5.7 Índices de forma.

Tabla 58. Total índices de forma Familia V.

TOTAL INDICES DE FORMA FAMILIA V				
Datos		IAP		
IAP	IAL	Rangos	Frecuencia	Frecuencia %
4	8,7	< 35	32	100,0
6,9	10,5	>35	0	0,0
7	10,6	Total	32	100,0
8,8	11,7			
9,9	12	IAL		
10,2	14	Rangos	Frecuencia	Frecuencia %
10,2	14,5	< 35	25	78,1
10,4	15,8	>35	7	21,9
11	16	Total	32	100
11,9	16			
12,4	16,2			
13	18,6			
13,3	19,5			
14	20,2			
14,6	21,8			
14,8	21,8			
15,8	23			
17	23,7			
18,2	23,9			
18,9	24			
22	26,2			
23	31			

23,1	31,1
24,2	32,8
24,6	35
27	37,7
28	42,6
30,5	48,2
30,9	49,8
32	52
32,1	55
33,9	60,7

7.2.1.5.8 Familia V comparada Colombia, Meta y Boyacá.

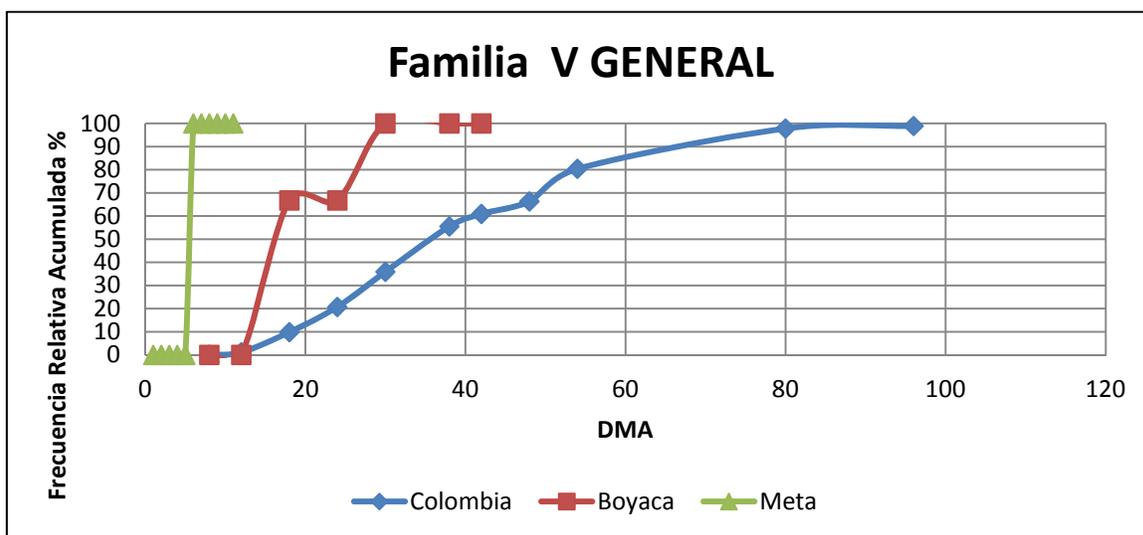


Figura 30. Frecuencia Relativa acumulada en función de DMA para la familia V.

7.2.1.6 Familia VI Chert

7.2.1.6.1 Desgaste (ANEXO J)

Tabla 59. Total desgaste Familia VI.

TOTAL DESGASTE FAMILIA VI							
Rangos		No. Datos	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Promedio	
0	8	41	0	0,0	0	26,41	
8	12		1	2,4	2,4		
12	18		4	9,8	12,2		
18	24		14	34,1	46,3		
24	30		8	19,5	65,9		Desviación
30	38		11	26,8	92,7		8,16
38	42		1	2,4	95,1		Coeficiente de Variación
42	48		1	2,4	97,6		
48	54		1	2,4	100,0		
54	80		0	0,0	100,0		
80	96		0	0,0	100,0		
96	100	0	0,0	100,0			
		41	100,0				

Agrupación		%	
<30		27	65,85
30	40	11	26,83
>40		3	7,32

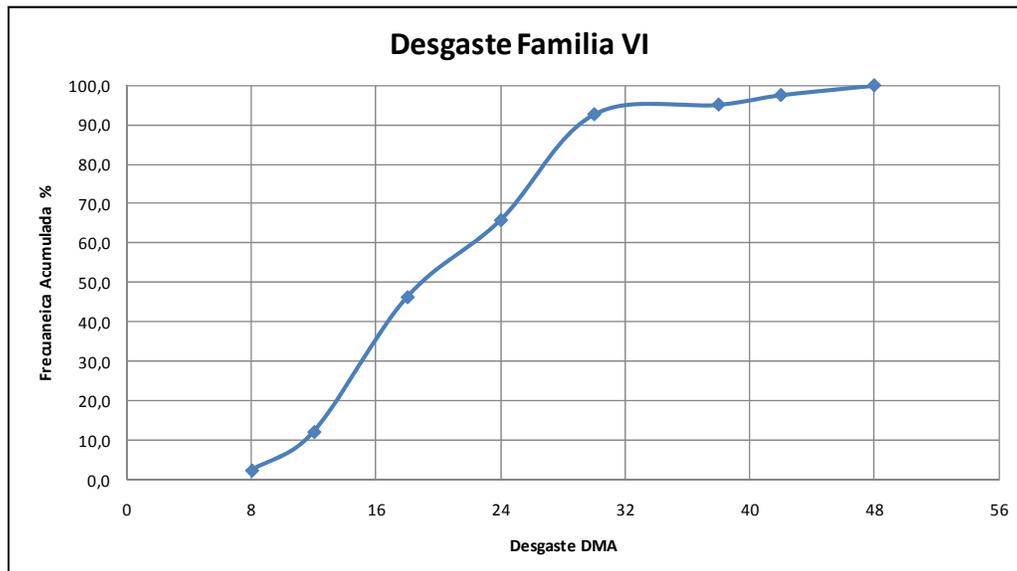


Figura 31. Frecuencia Relativa acumulada en función de Desgaste Familia VI.

7.2.1.6.2 Solidez Gravos

Tabla 60. Total solidez gravas Familia VI.

TOTAL SOLIDEZ G FAMILIA VI			
Rangos	No. Datos	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa
>18	29	27	93,1
<18		2	6,9

7.2.1.6.2 Solides Finos

Tabla 61. Total solidez finos Familia VI.

TOTAL SOLIDEZ F FAMILIA VI			
Rangos	No. Datos	Frecuencia	%
>18	3	3	100,0
<18		0	0,0

7.2.1.6.4 Adherencia Frasco

Tabla 62. Total solidez Finos Familia VI.

TOTAL SOLIDEZ F FAMILIA VI			
Rangos	No. Datos	Frecuencia	%
> 95	11	1	9,1
< 95		10	90,9

7.2.1.6.5 Adherencia Bandeja

Tabla 63. Total solidez finos Familia VI.

TOTAL SOLIDEZ F FAMILIA VI			
Rangos	No. Datos	Frecuencia	%
0 75	10	3	30,0
75 100		7	70,0

7.2.1.6.6 Absorción Gravas

Tabla 64. Total absorción gravas Familia VI.

TOTAL ABSORCIÓN G FAMILIA VI					
Rangos		No. Datos	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada
0	0,5	28	2	7,1	0
0,5	1		5	17,9	25,0
1	1,5		4	14,3	39,3
1,5	2		6	21,4	60,7
2	2,5		3	10,7	71,4
2,5	3		2	7,1	78,6
3	3,5		2	7,1	85,7
3,5	4		3	10,7	96,4
4	4,5		1	3,6	100,0

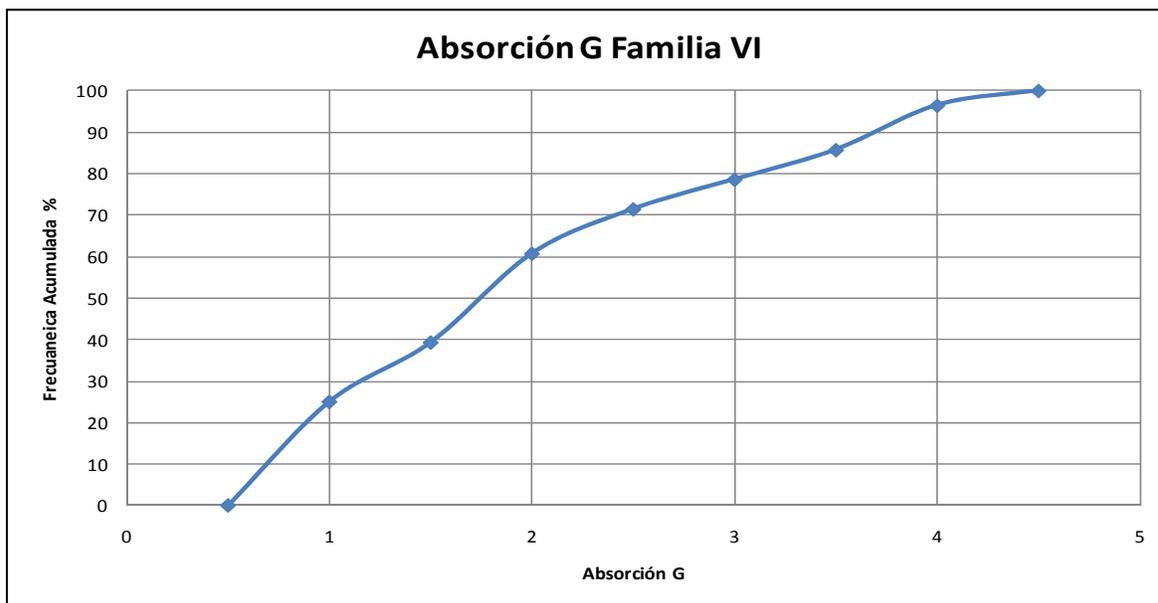


Figura 32. Absorción Gravas Familia VI.

7.2.1.6.7 Absorción Arenas

Tabla 65. Total absorción Familia VI.

TOTAL ABSORCIÓN A FAMILIA VII					
Rangos		No. Datos	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada
0	0,5	21	0	0,0	0
0,5	1		2	9,5	9,5
1	1,5		1	4,8	14,3
1,5	2		6	28,6	42,9
2	2,5		4	19,0	61,9
2,5	3		1	4,8	66,7
3	3,5		2	9,5	76,2
3,5	4		1	4,8	81,0
4	4,5		0	0,0	81,0
4,5	5		0	0,0	81,0
5	5,5		2	9,5	90,5
5,5	6		0	0,0	90,5
6	6,5		0	0,0	90,5
6,5	7		0	0,0	90,5
7	7,5		0	0,0	90,5
7,5	8		0	0,0	90,5
8	8,5		0	0,0	90,5
8,5	9		0	0,0	90,5
9	9,5		1	4,8	95,2
9,5	10		0	0,0	95,2
10	11		0	0,0	95,2
10,5	11		0	0,0	95,2
11	12		0	0,0	95,2
11,5	12		0	0,0	95,2
12	13		0	0,0	95,2
12,5	13		0	0,0	95,2
13	14		0	0,0	95,2
13,5	14		0	0,0	95,2
14	15		0	0,0	95,2
14,5	15		0	0,0	95,2
15	16		1	4,8	100,0

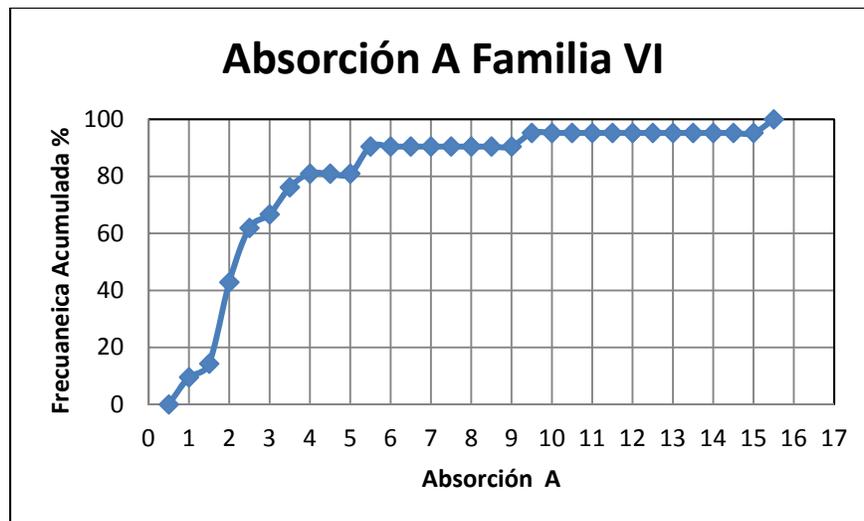


Figura 33. Frecuencia Relativa acumulada en función de Absorción Arenas Familia VI.

7.2.1.6.8 Índices de Forma

Tabla 66. Índices de forma Familia VI

TOTAL INDICES DE FORMA FAMILIA VI				
Datos		IAP		
IAP	IAL	Rangos	Frecuencia	Frecuencia %
5,6	9,6	< 35	21	60,0
6,9	10,2	>35	14	40,0
7,9	12,1	Total	35	100,0
12,2	14,1			
13,5	16	IAL		
14	16,3	Rangos	Frecuencia	Frecuencia %
14,4	17	< 35	16	42,1
16	17,2	>35	22	57,9
18,6	17,9	Total	38	100
20,8	21,3			
23	23,1			
24,6	23,5			
26,1	25			
27,1	25,5			
29,3	25,7			
30,6	27			
39,6	27			
39,9	27,4			
40,5	30,2			
41,3	33			
	42,9			
	72			

7.2.1.6.9 Familia VI comparada Colombia, sabana de Bogotá, Cundinamarca y Boyacá.

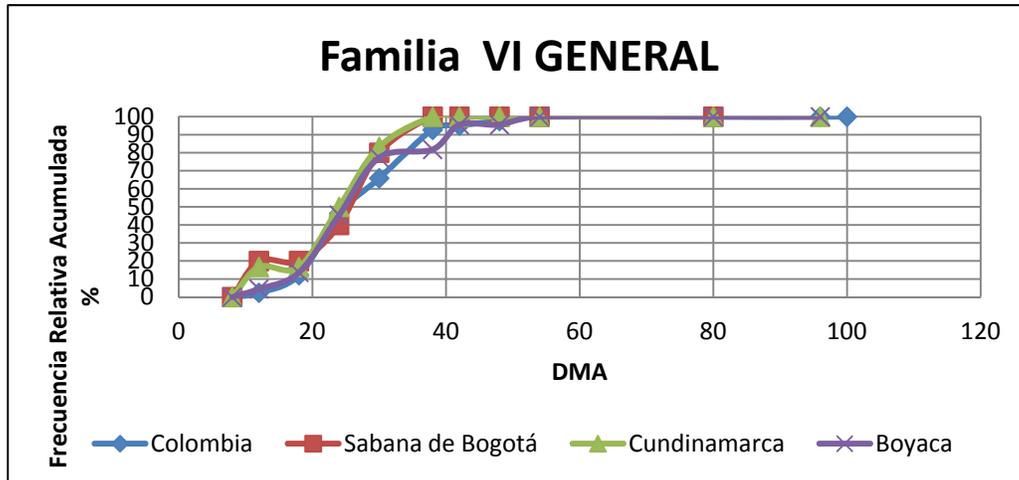


Figura 34. Frecuencia Relativa acumulada en función de DMA en comparación Colombia, Sabana de Bogotá, Cundinamarca y Boyacá.

7.2.1.7 Familia VII arenisca y conglomerado de edad terciario y total de la familia VII.

7.2.1.7.1 Desgaste (ANEXO K)

Tabla 67. Total desgaste Familia VII.

TOTAL DESGASTE FAMILIA VII					
Rangos	No. Datos	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	promedio
0 8	15	0	0,0	0	50,07
8 12		0	0,0	0,0	Desviación Estándar
12 18		1	6,7	6,7	
18 24		1	6,7	13,3	22,46
24 30		0	0,0	13,3	Coeficiente de Variación
30 38		5	33,3	46,7	
38 42		0	0,0	46,7	0,45
42 48		0	0,0	46,7	Agrupación
48 54		1	6,7	53,3	
54 80		5	33,3	86,7	
80 96		2	13,3	100,0	
		0	0,0		
		0	0,0		
		15	100,0		
Agrupación				%	
<30			2	13,33	
30	40	5	33,33		
>40			8	53,33	

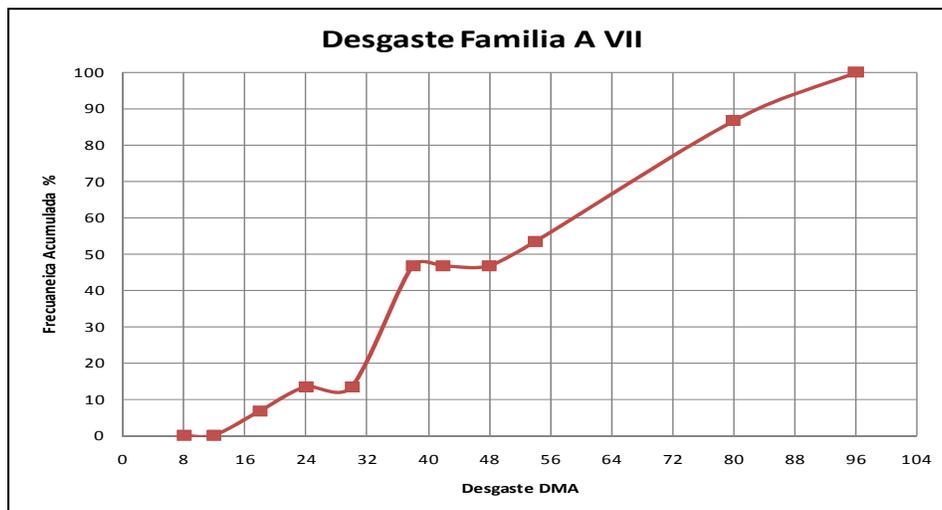


Figura 35. Frecuencia Relativa acumulada en función de DMA para la Familia Arenas VII.

7.2.1.7.2 Solidez Gravav

Tabla 68. Total solidez Familia VII.

TOTAL SOLIDEZ FAMILIA VII			
Rangos	No. Datos	Frecuencia	Frecuencia %
>18	9	7	77,8
<18		2	22,2

7.2.1.7.3 Adherencia Frasco

Tabla 69. Total adherencia finos Familia VII.

TOTAL ADHERENCIA F FAMILIA VII			
Rangos	No. Datos	Frecuencia	Frecuencia %
<95	2	2	100,0
>95		0	0,0

7.2.1.7.4 Adherencia en Bandeja

Tabla 70. Total adherencia bandeja Familia VII.

TOTAL ADHERENCIA B FAMILIA VII			
Rangos	No. Datos	Frecuencia	Frecuencia %
0 75	2	0	0,0
75 100		2	100,0

7.2.1.7.5 Absorción Gravas

Tabla 71. Total absorción gravas Familia VII.

TOTAL ABSORCIÓN G FAMILIA VII					
Rangos		No. Datos	Frecuencia	Frecuencia %	Frecuencia Acumulada %
0	0,5	9	0	0,0	0
0,5	1		3	33,3	33,3
1	1,5		0	0,0	33,3
1,5	2		1	11,1	44,4
2	2,5		0	0,0	44,4
2,5	3		0	0,0	44,4
3	3,5		0	0,0	44,4
3,5	4		0	0,0	44,4
4	4,5		1	11,1	55,6
4,5	5		1	11,1	66,7
5	5,5		0	0,0	66,7
5,5	6		0	0,0	66,7
6	6,5		0	0,0	66,7
6,5	7		0	0,0	66,7
7	7,5		0	0,0	66,7
7,5	8		0	0,0	66,7
8	8,5		0	0,0	66,7
8,5	9		0	0,0	66,7
9	9,5		2	22,2	88,9
9,5	10		0	0,0	88,9
10	10,5		0	0,0	88,9
10,5	11	0	0,0	88,9	
11	11,5	0	0,0	88,9	
11,5	12	1	11,1	100,0	
12	12,5	0	0,0		
			9	100	

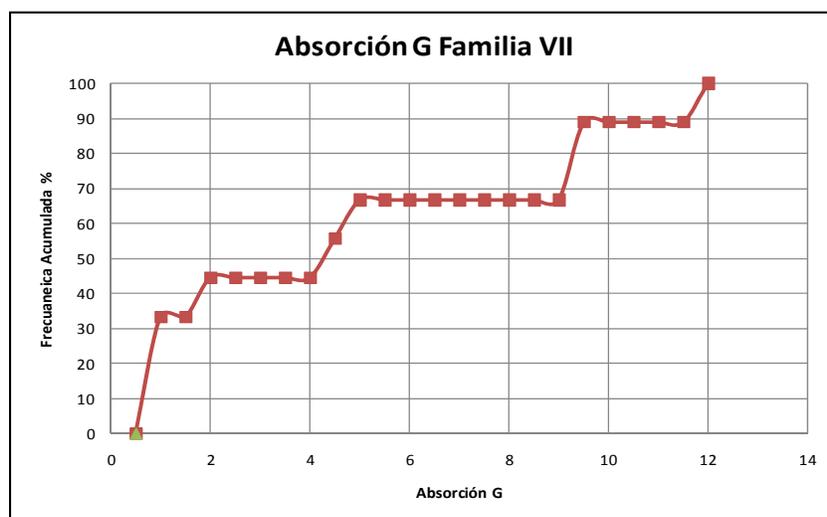


Figura 36. Frecuencia Relativa acumulada en función de Absorción Gravas Familia VII.

7.2.1.7.6 Absorción Arenas

Tabla 72. Total absorción arenas Familia VII.

TOTAL ABSORCIÓN A FAMILIA VII						
Datos	Rangos	No. Datos	Frecuencia	Frecuencia %	Frecuencia Acumulada %	
0,84	0 0,5	11	0	0,0	0	
1,04	0,5 1		1	9,1	9,1	
1,1	1 1,5		5	45,5	54,5	
1,16	1,5 2		3	27,3	81,8	
1,2	2 2,5		2	18,2	100,0	

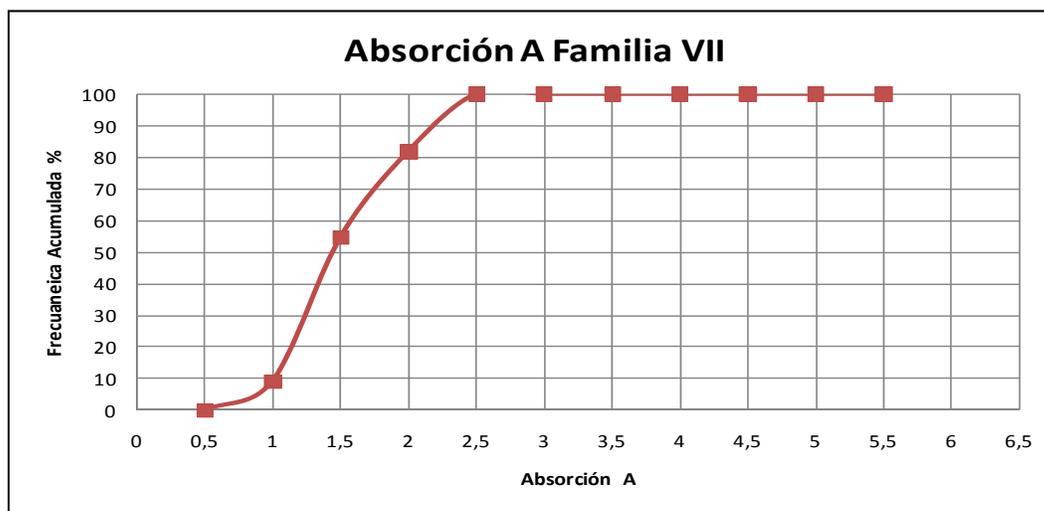


Figura 37. Frecuencia Relativa acumulada en función de Absorción Arenas Familia VII.

7.2.1.7.7 Índices de forma

Tabla 73. Total índices de Forma Familia VII.

TOTAL INDICES DE FORMA FAMILIA VII		
IAP		
Rangos	Frecuencia	Frecuencia %
< 35	16	80,0
>35	4	20,0
Total	20	100,0

IAL		
Rangos	Frecuencia	Frecuencia %
< 35	20	90,9
>35	2	9,1
Total	22	100

7.2.1.7.8 Familia VII comparada Colombia, Sabana de Bogotá, Cundinamarca y Boyacá.

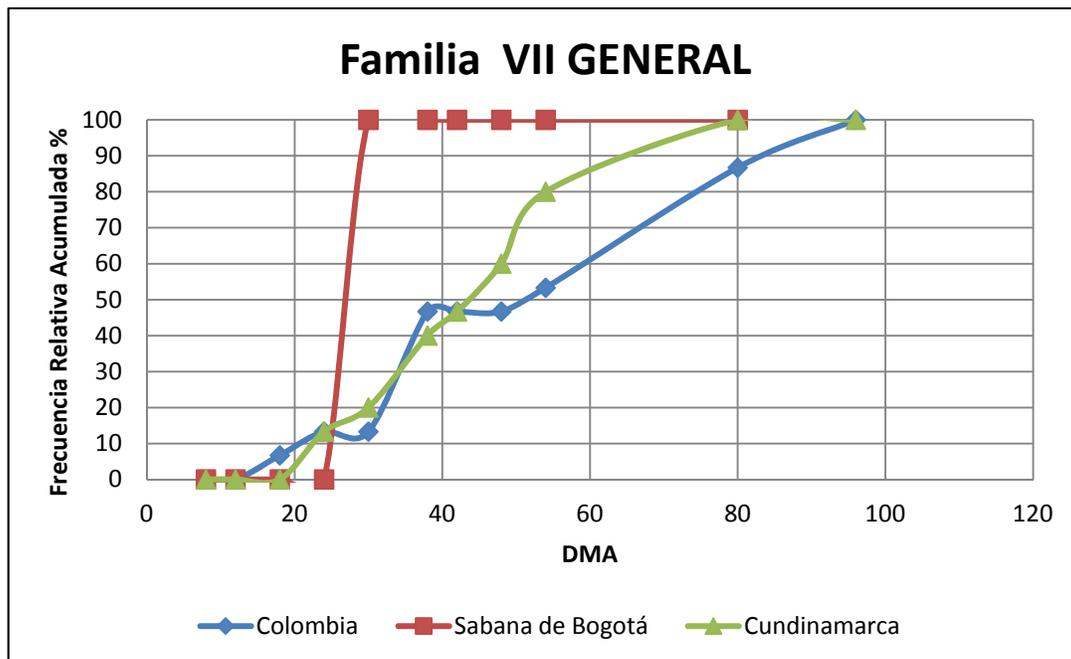


Figura 38. Frecuencia Relativa acumulada en función de DMA comparada para Colombia, Sabana de Bogotá, Cundinamarca y Boyacá.

7.2.3 Validación de la Información

Con base a los resultados que se presentaron en el párrafo 7.2.2 y comparando estos resultados con los obtenidos por Castellanos Et al (1989) se presenta a continuación un análisis de la nueva información, comparada esta con la anterior.

Las tablas 74 y 75 recogen los datos obtenidos en el nuevo análisis que se hizo sobre los datos de calidad de la información de Castellanos Et al (1989), con resultados semejantes en cuanto al comportamiento de los materiales de las siete familias investigadas.

TABLA DE DATOS EN DISTRIBUCIÓN PARA COLOMBIA RESUMEN
Tabla 74. Tabla de datos en distribución para Colombia.

ROCA O GRUPO	DATOS EN DISTRIBUCION					
	DESGASTE					
	No. Datos	Datos Rango		PROMEDIO	DESVIACION ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACION
BASALTO	18	12,4	47	26,73	9,45	0,35
DIABASA	34	6,4	94	29,27	15,74	0,54
ANDESITA	21	13	61,2	27,66	12,25	0,44
OTRAS ROCAS	26	13	48,3	34,64	14,61	0,42
FAMILIA I	99	6,4	94	29,88	13,89	0,46
CALIZAS	92	7	63	26,44	8,19	0,31
CALIZAS BIOCLASTICAS	11	13	69,8	43,11	18,63	0,43
FAMILIA II	103	7	69,8	28,22	11,26	0,40
SED.CLASTICAS EDAD K	83	19	81	38,49	13,65	0,35
FAMILIA III	98	19	81	38,49	13,65	0,35
FOLIADAS	44	18	89	42,98	16,65	0,39
LUTITAS	45	4	58	30,27	10,52	0,35
FAMILIA IV	89	4	89	36,62	13,59	0,37
GRANITO Y DRANODIORITA	9	10	100	41,60	30,26	0,73
CUARZODIORITA	11	13	69,8	43,11	18,63	0,43
OTRAS ROCAS	72	12,4	81,5	37,97	15,31	0,40
FAMILIA V	92	10	100	38,97	17,66	0,45
CHERT	41	10	52,5	26,41	8,16	0,31
FAMILIA VI	41	10	52,5	26,41	8,16	0,31
SED.CLASTICAS EDAD T	15	18	84	50,07	22,46	0,45
FAMILIA VII	15	18	84	50,07	22,46	0,45

TABLA DE DATOS PARA COLOMBIA POR ENSAYOS RESUMEN
Tabla 75. Tabla resumen para Colombia con diferentes ensayos.

ROCA O GRUPO	ADHERENCIA		SOLIDEZ		INDICE DE FORMA		DMA		
	F>95%	B>75%	G<18%	F<18%	IAP<35%	IAL<35%	<30	30-40	>40
BASALTO	75	66,7	64,7	75			72,22	16,67	11,11
DIABASA	93,8	64,7	80,6	80			58,82	32,35	8,82
ANDESITA	78,6	71,4	89,5	100			76,19	4,56	19,05
OTRAS ROCAS	33,3	83,3	86,4	100					
FAMILIA I	77,3	72,7	80,9	86,5	72,6	69,4	60,61	21,21	18,18
CALIZAS		85,2	93,6				82,61	9,78	7,61
CALIZAS BIOCLASTICAS		66,7	30,8				2,17	3,26	6,52
FAMILIA II		15,6	84,6		93,1	68	84,78	13,04	14,13
SEDIMENTARIAS CLÁSTICAS EDAD CRETACEA	6,3		91,2				30,12	36,14	33,73
FAMILIA III	6,3		91,2		75,59	47,06	30,12	36,14	33,73
FOLIADA	40	100	70,3	100			22,73	25	52,27
LUTITA	0	80	72,1	100			59,09	25	18,18
FAMILIA IV	76,5	67	71,3	100	52,4	37,8			
GRANITO O GRENODIORITA	0	33,33	66,7	33,3			55,56	11,11	33,33
CUARZODIORITA	0	100	100	0			22,22	33,33	66,67
OTRAS ROCAS	28	8,3	93,3	6,7			37,5	23,61	38,89
FAMILIA V	23,3	82,8	26,6	3,1	100	78,1	36,96	22,83	40,22
CHERT	90	70	100	100	60	42,1	65,85	26,83	7,32
FAMILIA VI	90	70	100	100	60	42,1	65,85	26,83	7,32
SEDIMENTARIAS CLÁSTICAS EDAD TERCIARIA	0	100	77,8		80	90,9	13,33	33,33	53,33
FAMILIA VII	0	100	77,8		80	90,9	13,33	33,33	53,33

Con base en los resultados de esta tabla respecto a la resistencia al desgaste y teniendo en cuenta las gráficas de frecuencia relativa acumulada para las diferentes familias se concluye lo siguiente:

Se confirma que las rocas de las familias I II y VI registran la mejor calidad promedio en cuanto a la resistencia al desgaste que se clasifica entre las familias de resistencia al desgaste menor de 30, así:

29,88% para el grupo de la familia I basalto, diabasa, andesita y otras rocas cristalinas félsicas; 28,22% para el grupo de la familia II calizas tipo micrita y bioclásticas y 26,41% para el grupo de la familia VI Cher y otras rocas silíceas cristalinas de origen sedimentario.

Dentro de la familia I las Diabasas son un poco más débiles que el basalto y la andesita; en la familia II la resistencia al desgaste de la caliza bioclástica (43,11%) cae dentro del grupo de resistencia moderada que contrasta notoriamente con la resistencia al desgaste de la caliza - micrita (26,44%).

Tomando el 30% de desgaste como un valor de referencia de alta calidad, las muestras de la familia 1 satisfacen este valor en el rango de 42,3% al 76,19% para las diferentes variedades de lavas que integran el grupo.

Con base en la misma referencia el porcentaje de muestras que se ubican en esta calidad para las restantes familias es como sigue:

Familia II 82% de las calizas del tipo Micrita y el 18% de las calizas bioclásticas.

Familia III el 30% de las areniscas del Cretáceo y Paleozoico.

Familia IV el 57,7% de las rocas metamórficas foliadas y solo el 22,72% de las rocas lodosas.

Familia V se ubican dentro de esta calidad varias rocas graníticas en el rango del 18,18% a 44,4% de la muestra.

Familia VI el 92% de las rocas silíceas.

Familia VII solo el 13,33% de las areniscas del Terciario.

En relación con la adherencia y teniendo en cuenta los datos de adherencia en frasco se destaca claramente que las rocas cristalinas félsicas tienen poca adherencia, en contraste con las cristalinas félsicas que presenta la mejor adherencia de todo el grupo caso diabasa, andesita. En este aspecto la investigación de castellanos no permitía hacer esta apreciación.

En relación con la valoración de la solidez se confirman los datos de la tesis de castellanos en el sentido de que las rocas con mejor durabilidad se encuentran en la familia VI (Chert) III (Arenisca) y II (calizas) que corresponden a rocas con mayor contenido de sílice y cuarzo y menor cantidad de minerales ferro magnesianos, y las menos durables las familias I (Basalto, Diabasa, Andesita y Otras Rocas) IV (Foliada y Lutita) y VII (sedimentarias clásticas edad terciaria), estos resultados confirman que las rocas más durables corresponden aquellas con bastante cuarzo sílice y carbonatos en tanto que las menos durables corresponden a las cristalinas félsicas con alto contenido de minerales ferro magnesianos.

Índice de forma: en cuanto al índice de aplanamiento la valoración de la información muestra las rocas lodosas de la familia IV, las rocas silíceas familia VI y las lavas de la familia I, son las más deficientes en cuanto a esta características lo cual coincide con la actitud litológica, considerando que la familia IV involucra las rocas foliadas y laminadas, la familia VI el Chert que se fragmenta en forma muy particular y las diabasas y basaltos que se astillan con mucha frecuencia cuando se trituran. El caso del alargamiento muestra como deficientes nuevamente las rocas lodosas de la familia IV y las silíceas de la Familia VI, e incluye las areniscas de la familia III situación que también es de común observación. En este caso los resultados difieren bastante de los de la evaluación de castellanos.

Distribución de los agregados en Colombia

En cuanto a la distribución de los agregados pétreos para pavimentos en el país se distinguen de una manera general tres amplias provincias: (1) Provincia Oriental-sección Sedimentaria, que cubre la mayor extensión, con rocas de moderada a pobre calidad de las Familias III, IV, VI y VII. Las calizas (Familia II) son de alta calidad pero se usan más que todo en la industria del concreto.

(2) Provincia Centro-Occidental, donde se ubican las rocas cristalinas Ígneas y Metamórficas masivas, que corresponden a las de mejor calidad. Se destacan las diabasas y basaltos (Familias I), los granitos (Familia V) y los esquistos y filitas (Familia IV) con calidad aceptable. (3) Provincia del Caribe, donde las zonas de rocas sedimentarias poseen también calidad deficiente; sin embargo las calizas, que son abundantes en esta región, son de calidad aceptable. Es importante destacar la escases de materiales aptos para bases y concretos en la región oriental y en la región del Caribe (Figura 39).

Finalmente los aluviones de origen tanto ígneo-metamórfico como sedimentario, abundan en los valles de los ríos y siguen constituyendo un recurso valioso salvo por la abundancia de cuarzo y la textura lisa de las gravas que no favorece la adherencia pétreo-asfalto.

Aparte de los daños en los pavimentos atribuibles a la utilización forzosa de agregados de la calidad inferior a las exigidas por las normas, muchos de los problemas se pobre calidad de los pavimentos se deben a estudios deficientes de las fuentes, inadecuados procedimientos de caracterización, deficiencias constructivas o problemas de inestabilidad en la sub-rasante, los cuales por supuesto deben considerarse separadamente y que en la mayor parte de las veces tienen que ver con deficiencias de drenaje.

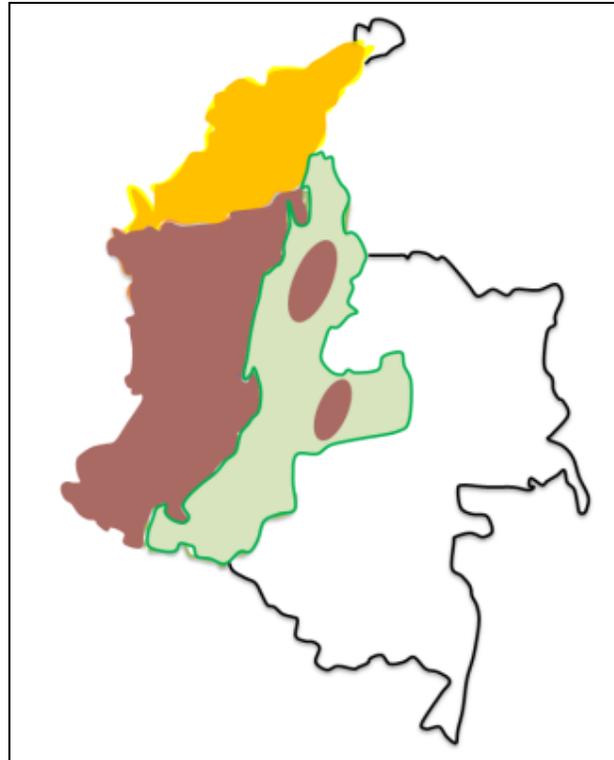


Figura 39. Distribución de los agregados en Colombia.

- Provincia Oriental con pobre calidad: Arenisca, Roca lodosa, Chert, Caliza; Familias II, III, IV, VI, VII.
- Provincia Centro - Occidental con materiales de alta calidad: Diabasa, Basalto, Andesita, Anfibolita, Cuarzita, Filita: Familias I, IV, V.
- Provincia del Caribe con materiales sedimentarios y calcáreos, estos últimos de aceptable calidad: Familias II y VII

8. CAPITULO OCTAVO ZONAS ESTRATEGICAS DE DEMANDA DE MATERIALES

8.1 INTRODUCCIÓN

Los materiales pétreos para construcción de carreteras y otras obras de ingeniería deben atender en el país muchos frentes de construcción y rehabilitación de pavimentos y concretos.

Con base en la publicación Agenda de Infraestructura en Colombia para los próximos años del Departamento Nacional de Planeación (2009), el país está comprometido en el período 2009-2019 en un ambicioso plan de construcción de carreteras y autopistas de competitividad y conectividad vial. Dentro de este programa se incluyen además varios aeropuertos, proyectos hidro-energéticos y obras portuarias en varias regiones. Por otra parte dentro de las obras de carreteras se destaca la necesidad de hacer el mantenimiento y rehabilitación de todo el sistema vial Colombiano.

Además de ese frente se destaca el ambicioso programa de construcción de obras en el distrito capital que incluyen la integración en el transporte masivo mediante las obras de Transmilenio, y el proyecto del metro, así como un denso programa de rehabilitación de las calles y vías del distrito.

Todos estos proyectos requieren del suministro de fuentes de materiales para atender los programas de ejecución de pavimentos y concretos así como su rehabilitación periódica.

A continuación se analizan estas necesidades, con el propósito de establecer las prioridades de suministro de los materiales para los próximos años.

8.2 ANÁLISIS DE DEMANDA

8.2.1 Autopistas para la competitividad y conectividad vial

8.2.1.1 Ruta del Sol

Con un corredor nuevo de 78 kilómetros (concesión 7 años) entre Villeta y Puerto Salgar y dos corredores existentes: Puerto Salgar San Roque y San

Roque Santa Marta con conexiones a Bosconia y Valledupar, con una longitud de 1071 kilómetros. (Figura 40)



Figura 40. Ruta del Sol Fuente: INCO.

8.2.1.2 Autopista de Las Américas

Integrada por 6 concesiones actuales: Córdoba Sucre, Ruta del Caribe, Cartagena Barranquilla, Barranquilla Tasajera, Tasajera Ciénaga Mamatoco y Santa Marta Riohacha Paraguachón, con una longitud de 3.057 kilómetros. (Figura 41)



Figura 41. Autopista de Las Américas Fuente: INCO.

8.2.1.3 Autopista de la Montaña

Comprende los sectores: Túnel de Occidente - El Tigre, Hatillo - Cauca, San José del Nus - Puerto Berrío y Ancón Sur- 3, con 900 kilómetros de construcción y 1251 de operación y mantenimiento. (Figura 42).



Figura 42. Autopista de la Montaña Fuente: INCO.

8.2.1.4 Ruta Los Comuneros

Integrada por 3 concesiones: Zipaquirá - Palenque, Área Metropolitana de Bucaramanga y Área Metropolitana de Cúcuta, con una longitud de 1694 kilómetros (Figura 43).



Figura 43. Ruta los Comuneros Bogotá Cúcuta Fuente: INCO.

8.2.1.5 Autopista del Llano

Comprende la carretera Bogotá Villavicencio, la Malla Vial del Meta y Arterias del Llano, con una longitud de 1.240 kilómetros (Figura 44).



Figura 44. Autopistas del Llano *Fuente: INCO.*

La Tabla 76 condensa los alcances del programa de modernización de la red vial al 2019 según lo planteado por el Departamento Nacional de Planeación (2009).

Tabla 76. Meta Visión 2019: Consolidar la red vial arterial. INVIAS Dic. /2008.

Meta Visión 2019: Consolidar la red vial arterial		
2005	2009**	2019
50% de la red arterial en buen estado.	57% de la red arterial en buen estado.	100% de la red arterial en buen estado.
8.298 Km. de red arterial pavimentada	12.979 Km. red arterial pavimentada.	16.640 Km. de red arterial pavimentada.
17% red vascular en buen estado.	22% red vascular en buen estado.	60% red vascular en buen estado.
88 millones de ton movilizadas por carreteras	165 millones de ton movilizadas por carreteras*	212 millones de ton movilizadas por carreteras.

8.2.2 Red Vial Nacional

La red vial nacional conformada por 16.640 kilómetros de carretera (Figura 45) requiere el suministro permanente de materiales para atender los programas de mantenimiento y rehabilitación.

16.640.93 km a cargo del INVIAS con 24.600km pavimentados. 6.766 km corresponden a la red primaria, de los cuales 3.380 Km están concesionados (INCO).

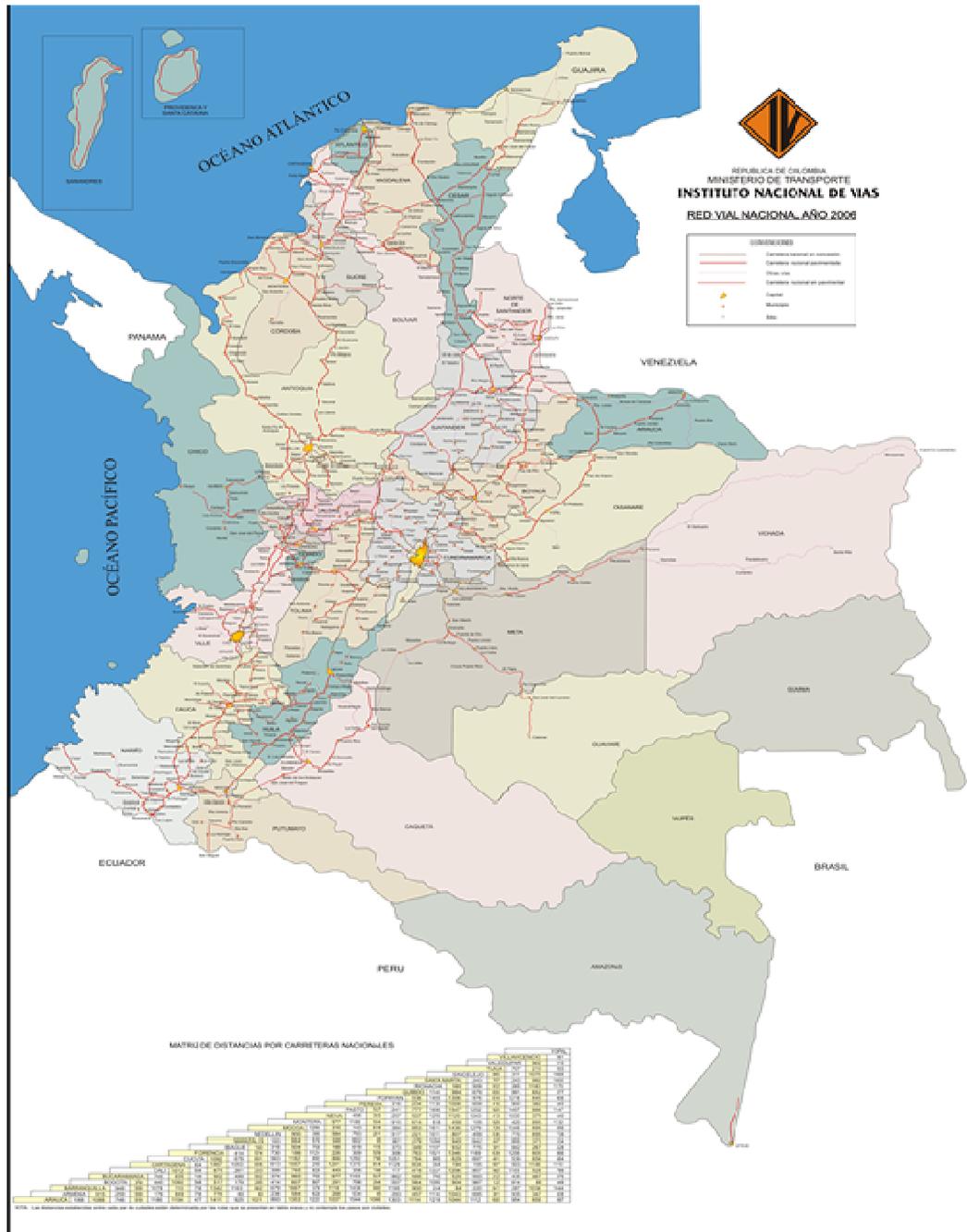


Figura 45. Red Vial Nacional Fuente: INVIAS 2006.

8.2.3 Malla vial de Bogotá D.C.

De acuerdo con información del IDU (figura 46), la Malla Vial de Bogotá D. C. a Diciembre de 2009 alcanza 15.657,3 Kilómetros carril de los cuales el 94.53% (14.801,1 km-carril) corresponden al Subsistema Vial y el 5,47% (856,2 km-carril) al Subsistema de Transporte (Troncales Transmilenio).

El Subsistema Vial está compuesto por la malla vial arterial, intermedia y local. La malla vial arterial es la red de vías de mayor jerarquía que actúa como soporte de la movilidad y la accesibilidad urbana y regional y de conexión con el resto del país. La malla vial intermedia está constituida por una serie de tramos viales que permean la retícula que conforma la malla vial arterial, sirviendo como alternativa de circulación. La malla vial local está conformada por los tramos viales cuya principal función es la de permitir la accesibilidad a las unidades de vivienda.

La composición del Subsistema Vial es la siguiente:

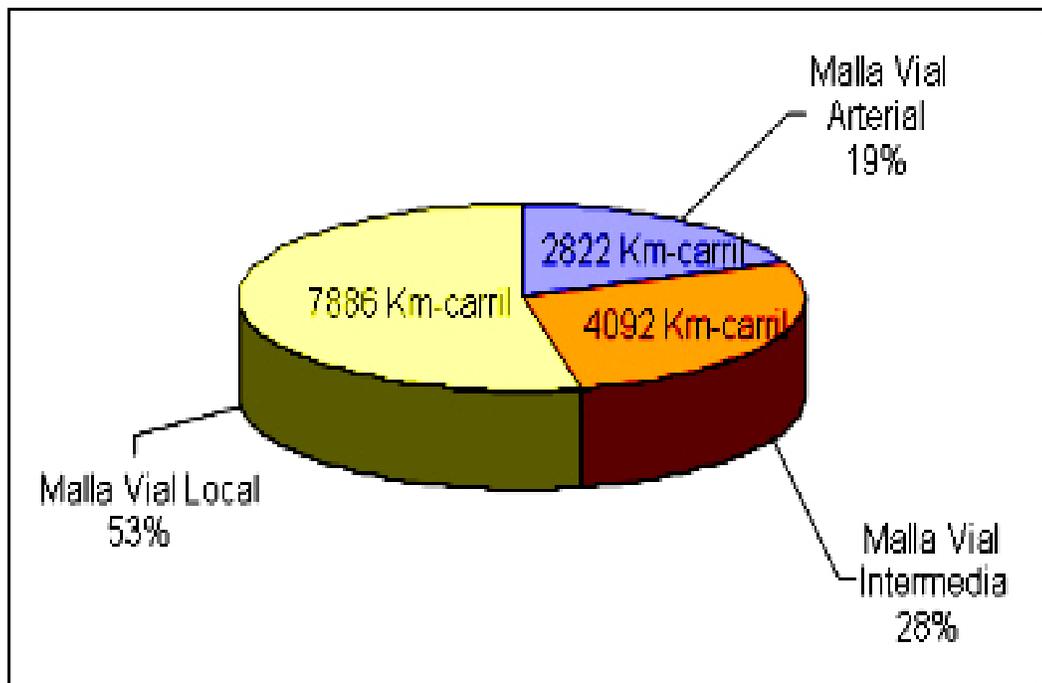


Figura 46. Base de Datos del Inventario y Diagnóstico de la Malla Vial
Fuente: IDU Diciembre de 2009.

El estado de condición de las vías se estableció con el Índice de Condición del Pavimento (ICP) y se presenta en la Figura 47.

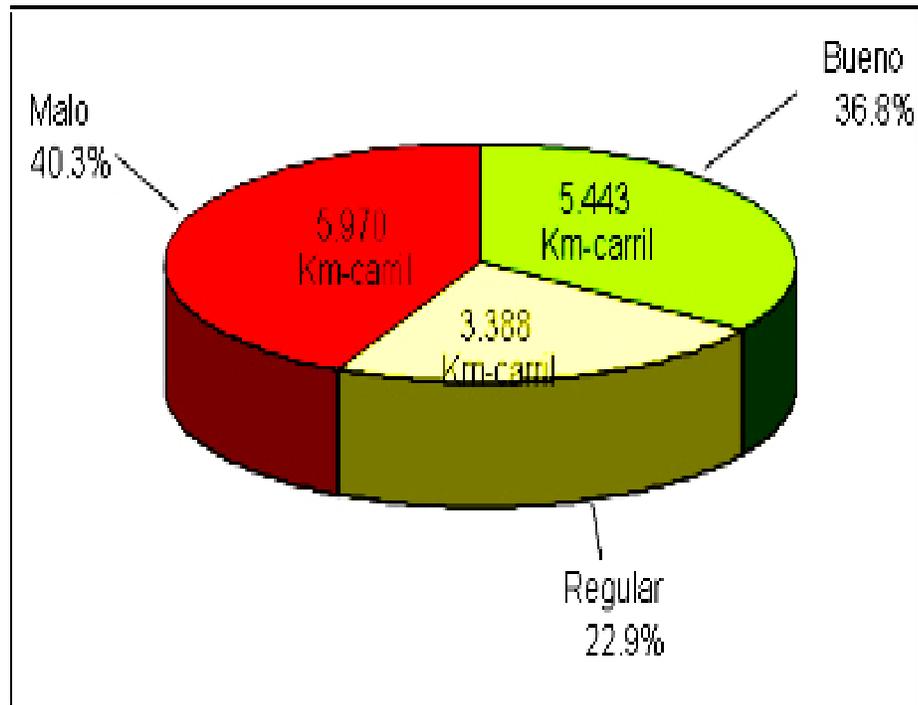


Figura 47. Base de Datos del Inventario y Diagnóstico de la Malla Vial
Fuente: IDU a Diciembre de 2009.

Dada la magnitud de la red distrital de Bogotá se requiere un alto volumen de materiales en los próximos años para atender todo el plan de mejoramiento y modernización de la malla vial.

8.2.4 Proyectos hidroenergéticos de importancia con demanda de materiales

Dentro de los proyectos hidroenergéticos incluidos en la tabla 77, tres de ellos se desarrollan en Antioquia, tres en Santander, varios en el departamento del Tolima. De estos proyectos los de mayor envergadura corresponden al Pescadero e Ituango en Antioquia y Rio Sogamoso en Santander.

Tabla 77. Proyectos Hidroenergéticos.

Departamento	Proyecto	MW
Antioquia	Ensimadas	64
Antioquia	Cañaveral	68
Antioquia	Pescadero Ituango	1800
Santander	Fonce	420
Santander	Cabrera	605
Santander	Sogamoso	1035
Tolima	Neme	512
Tolima	Varios proyectos	1700
Cauca - Putumayo	Andaquí	625
Quindío - Risaralda - Caldas	Varios proyectos	117

8.2.5 Aeropuertos y obras portuarias

En las figuras 48 y 49 se muestra la ubicación de varios aeropuertos e instalaciones portuarias a construirse en los próximos años en forma dispersa en todo el país y que requieren el suministro de materiales.

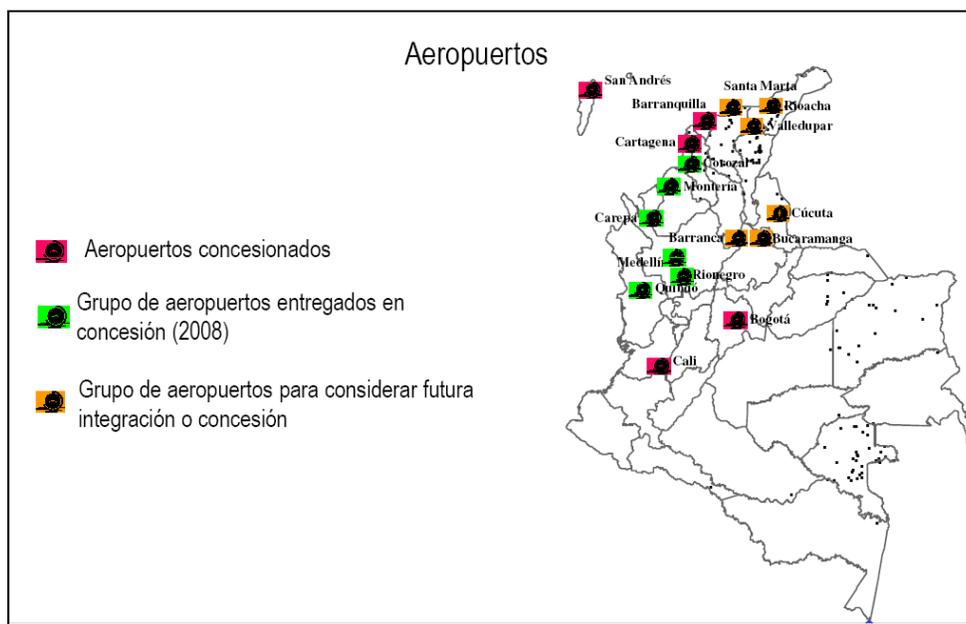


Figura 48. Aeropuertos Fuente DNP.

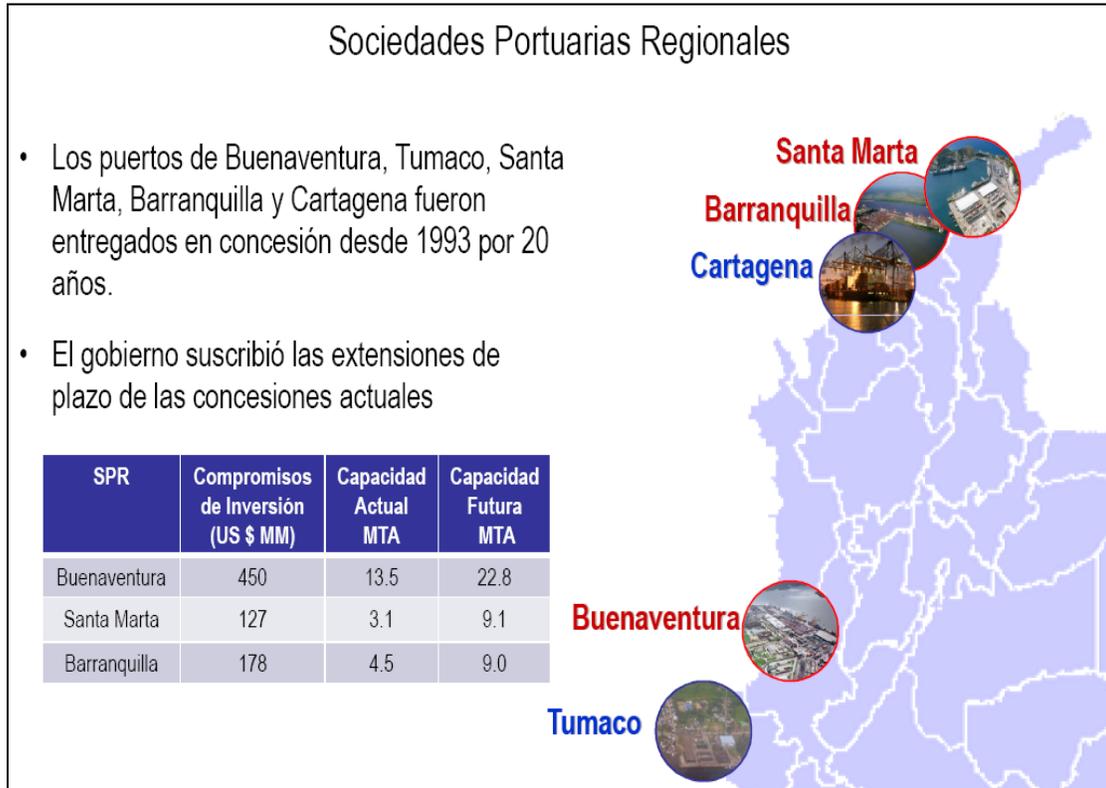


Figura 49. Sociedades Portuarias Regionales Fuente DNP.

8.3 ZONAS ESTRATÉGICAS DE DEMANDA

A continuación se sintetizan las necesidades de materiales de construcción en el país y se definen las zonas estratégicas de demanda considerando las autopistas de competitividad y conectividad (Tabla 78), la malla vial del distrito capital, la red vial nacional y demás proyectos analizados.

La Tabla 78 muestra la longitud de carreteras según se trate de las autopistas para la competitividad y conectividad vial, la malla vial de Bogotá D. C. y la Red Vial Nacional, respectivamente.

Autopistas para la competitividad y conectividad vial

Tabla 78. Lista de Proyectos para la competitividad y conectividad vial.

PROYECTOS	COBERTURA REGIONAL	LONGITUD (Km)
Ruta del Sol	Cundinamarca, Boyacá, Santander, Cesar y Magdalena	1071
Autopista de Las Américas	Córdoba, Sucre, Bolívar, Atlántico, Magdalena, Cesar	3057
Autopista de la Montaña	Antioquia, Caldas, Quindío, Risaralda	2151
Ruta Los Comuneros	Cundinamarca, Boyacá, Santander, Norte de Santander.	1694
Autopista del Llano	Meta, Casanare, Arauca	1240

A Diciembre de 2009 la malla vial de Bogotá D. C. alcanza 15.657,3 Kilómetros carril; 94.53% (14.801,1 km-carril) corresponden al Subsistema Vial y el 5,47% (856,2 km-carril) al Subsistema de Transporte (Troncales Transmilenio).

En cuanto a los proyectos hidro-energéticos de mayor tamaño y capacidad, tres de ellos se desarrollan en Antioquia, tres en Santander.

La Red Vial Nacional atiende 16.640.93 km a cargo de INVIAS con 24.600km pavimentados. 6.766 km corresponden a la red primaria, de los cuales 3.380 Km están concesionados (INCO).

También demandan el suministro de materiales los proyectos hidroenergeticos, los nuevos aeropuertos y próximas obras portuarias a construirse.

Se aprecia claramente la alta concentración de proyectos viales y energéticos en Oriente del país: departamentos de Cundinamarca, Meta, Boyacá, Santander, Norte de Santander, Casanare y Arauca, donde se requiere atender 4.600 kilómetros de carreteras con un alto porcentaje de nuevas vías y en el Distrito Capital de Bogotá, donde se concentra la mayor densidad de corredores viales con 15.657 kilómetros. Sigue en demanda de materiales la región del Caribe (departamentos de Córdoba, Sucre, Bolívar, Atlántico, Cesar y Guajira) con 3.057 kilómetros y finalmente la región centro-occidente integrada por los Departamentos de Antioquia, Caldas, Quindío y Risaralda, con 2.151 kilómetros.



La red vial cuenta con 16.640.93 km kilómetros de corredores viales y su densidad es relativamente mayor en el centro y occidente del país.

Se considera además la escases de materiales en los departamentos de las regiones Oriental y del Caribe.

Teniendo en cuenta la distribución de los corredores viales y otros proyectos en el territorio y la escases relativa de materiales en el oriente y en la zona del Caribe, se recomienda iniciar el estudio de exploración y caracterización en la zona oriental, continuarlo en la zona del Caribe y luego en el resto del país. Dentro de estas amplias regiones se deben establecer a su vez prioridades de acuerdo con un análisis más detallado que tenga en cuenta el progreso real de los proyectos entre otros factores a considerar.

9. CAPITULO NOVENO ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO EN CUNDINAMARCA, META Y BOYACÁ

9.1 INTRODUCCIÓN

Antes de de plantear el procedimiento de exploración y caracterización de fuentes de materiales de construcción, se procedió a realizar una actualización de fuentes de inventario en los departamentos de Cundinamarca, Meta y Boyacá. Además de la información en sí obtenida, como parte del proceso de exploración y caracterización, esta actividad permitió establecer los tiempos que requiere la exploración y verificar la aplicación de los procedimientos establecidos para identificar y caracterizar las fuentes, así como los aspectos logísticos.

9.2 ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE MATERIALES EN EL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA

9.2.1 Organización de la información

Con base en los resultados de los ensayos de calidad recopilados suministrados por el laboratorio de la Universidad Nacional de Colombia, y los datos de la tesis de Castellanos et al (1989), se organizó una tabla de datos para el departamento de Cundinamarca con la siguiente información (ANEXO D):

- (1) Datos generales sobre el código y tipo de fuente (Cantera o Aluvial), ubicación en el sistema vial y coordenadas.
- (2) Datos índice y de calidad de los ensayos realizados: Peso Específico, Absorción, Peso Unitario, Reactividad Potencia Alkali-Sílica (método químico), Actividad de Finos-Azul de Metileno, Durabilidad Desleimiento (Franklin); Solidez en Sulfato de Magnesio (Gruesos y Finos), Índice de Impacto, CBR (95% y 100%), Desgaste Los Ángeles, Adherencia (Frasco y Bandeja); índice de Forma (Aplanamiento-Alargamiento), Índice de Caras Fracturadas y Equivalente Arena.

Esta información se encuentra georeferenciada en el SIG de INGEOMINAS y se muestra en los mapas del (ANEXO L).

Para establecer gráficas de frecuencias relativas acumuladas de la propiedad índice Desgaste, se establecieron los siguientes rangos y agrupaciones:

Tabla 79. Rango de datos de DMA y agrupación para evaluar el ensayo de desgaste.

ENSAYO	RANGO DE ENSAYO	CALIDAD	
DMA %	0-8, 8-12, 12-18, 18-24, > 24	< 30%	< Buena
		30% – 40%	Regular
		>40%	Pobre

Para las propiedades índices de Solidez G (Gruesos) y Solidez F (Finos); Adherencia (Frasco y Bandeja), Actividad-Azul de Metileno e índice de Forma (Aplanamiento y Alargamiento) se estableció el porcentaje de datos de calidad que cumplen los requisitos establecidos en las Normas del IDU 2005 así:

Solidez: Pérdida en Sulfato de Magnesio 18% máximo

Adherencia: Frasco 95% mínimo; Bandeja 75% mínimo

Actividad Azul de Metileno: 8 máximo.

Índices de Forma Aplanamiento–Alargamiento 35% máximo.

Absorción G (Gravas) y Absorción A (Arenas)

Tabla 80. Rango de absorción para graficar el mencionado ensayo.

ENSAYO	RANGO DE ENSAYO
ABSORCIÓN %	0 – 0,5, 0,5 – 1, 1-1,5, 1,5 -2.

Se adopta como criterio la clasificación de las rocas en siete familias según las propuestas de Juan Montero (1980) y Castellanos y Gómez (1989)

Familia I Basalto, Diabasa, Andesita y otras rocas cristalinas félsicas.

Familia II Caliza Micrita, Caliza Bioclástica

Familia III Areniscas y Conglomerados Edad del Cretáceo - Paleozoico

Familia IV Metamórficas Foliadas (Esquistos y otras), Clásticas Laminadas limolita silíceas

Familia V Granito - Granodiorita, Cuarzodiorita, otras rocas

Familia VI Chert

Familia VII Arenisca y Conglomerado de Edad Terciario

9.2.2 Datos de calidad para las diferentes familias

A continuación se presentan tablas que contienen datos de calidad para las diferentes familias de comportamiento similar, los cuales son analizados considerando la frecuencia absoluta, relativa y relativa acumulada y los requisitos de calidad indicadores del criterio de aceptación o rechazo. En cada tabla se indica finalmente el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación correspondiente al procedimiento estadístico descriptivo de las muestras. Así mismo las gráficas de frecuencia acumulada para desgaste y absorción donde aplique.

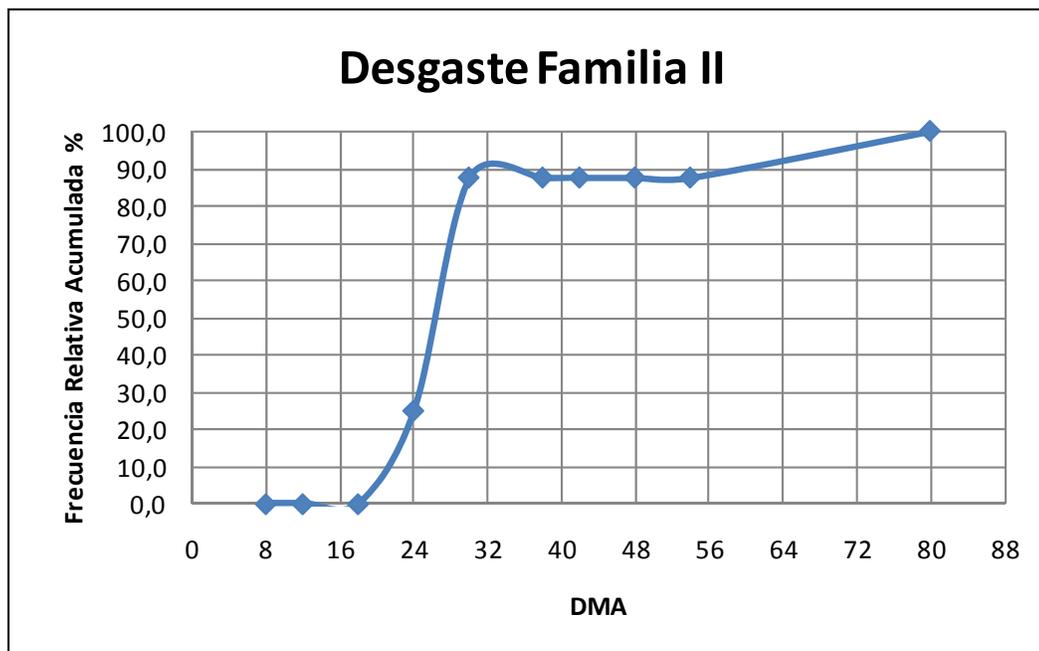


Figura 50. Frecuencia relativa acumulada en función del DMA.

FAMILIA II CALIZA MICRITA, CALIZA BIOCLÁSTICA Y TOTAL DE LA FAMILIA II.

Tabla 81. Desgaste Familia II.

Desgaste										
MICRITAS										
Datos	Rangos		No. Datos	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Promedio	Desviación Estándar	Coeficiente de Variación	
21	0	8	8	0	0,0	0,0	29,375	12,64	0,43	
23	8	12		0	0,0	0,0				
25	12	18		0	0,0	0,0				
25	18	24		2	25,0	25,0				
25	24	30		5	62,5	87,5				
26	30	38		0	0,0	87,5				
30	38	42		0	0,0	87,5				
60	42	48		0	0,0	87,5				
	48	54		0	0,0	87,5				
	54	80		1	12,5	100,0				
	80	96		0	0,0					
			0	0,0						
			0	0,0						
			Total	8	100					
							Agrupación		%	
							< 30	7	187,5	
							30 - 40	10	87,5	
							> 40	1	12,5	
							Total	8		

Tabla 82. Solidez gruesos.

Solidez Gruesos				
MICRITAS				
Datos	Rangos	No. Datos	Frecuencia	%
82,9	<18	7	2	28,57
4	>18		5	71,43
12,2	Total		7	
25,1				
25,6				
55,4				
75,7				

Tabla 83. Absorción.

Absorción						
MICRITAS						
Datos	Rangos		No. Datos	Frecuencia		
				Absoluta	Relativa Acumulada	Relativa acumulada %
0,431	0	0,5	6	2	33,33	0
0,439	0,5	1		4	66,67	100,00
0,65	1	1,5		6	100	
0,925	1,5	2				
0,945	2	2,5				
0,976	2,5	3				

Tabla 84. Índices de forma.

Índices de Forma				
MICRITAS				
Datos		Rangos	IAP %	IAL %
14	17	< 35	100,00	85,71
14	19	>35	0,00	14,29
22	24	Total	100	100
24	27			
29	33			
30	34			
32	41			

Tabla 85. Actividad de finos azul de metileno.

Actividad de finos Azul de Metileno				
MICRITAS				
Datos	Rangos	Total	Frecuencia	%
1	> 8	4	3	75
2	< 8		1	25
2		Total	4	
13				

Tabla 86. Adherencia frasco.

Adherencia Frasco				
CALIZA Y MICRITA				
Datos	Rangos	Total	Frecuencia	%
>95	> 95	1	1	100
	< 95		0	0
		Total	1	

Tabla 87. Adherencia en bandeja.

Adherencia Bandeja				
MICRITAS				
Datos	Rangos	Total	Frecuencia	%
77	> 95	1	0	0
	< 95		1	100
		Total	1	

FAMILIA III ARENISCAS Y CONGLOMERADOS EDAD DEL CRETÁCEO – PALEOZOICO

Tabla 88. Desgaste Familia III.

Desgaste los Ángeles												
ARENISCA Y CONGLOMERADO EDAD CRETACEO Y PALEOZOICO												
Datos	Rangos		No. Datos	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación			
18	0	8	44	0	0,0	0,0	39,875	14,54	0,36			
19	8	12		0	0,0	0,0						
24	12	18		1	2,3	2,3						
24	18	24		3	6,8	9,1						
26	24	30		10	22,7	31,8						
28	30	38		9	20,5	52,3						
28	38	42		10	22,7	75,0						
29	42	48		2	4,5	79,5						
29	48	54		1	2,3	81,8						
30	54	80		7	15,9	97,7						
30	80	96		1	2,3	100,0				Agrupación		%
30				0	0,0					< 20	2	4,55
30				0	0,0					20 - 40	29	65,91
30				Total	44	100				> 40	13	29,55
31						Total	44					
32												
32												
33												
34												
36												

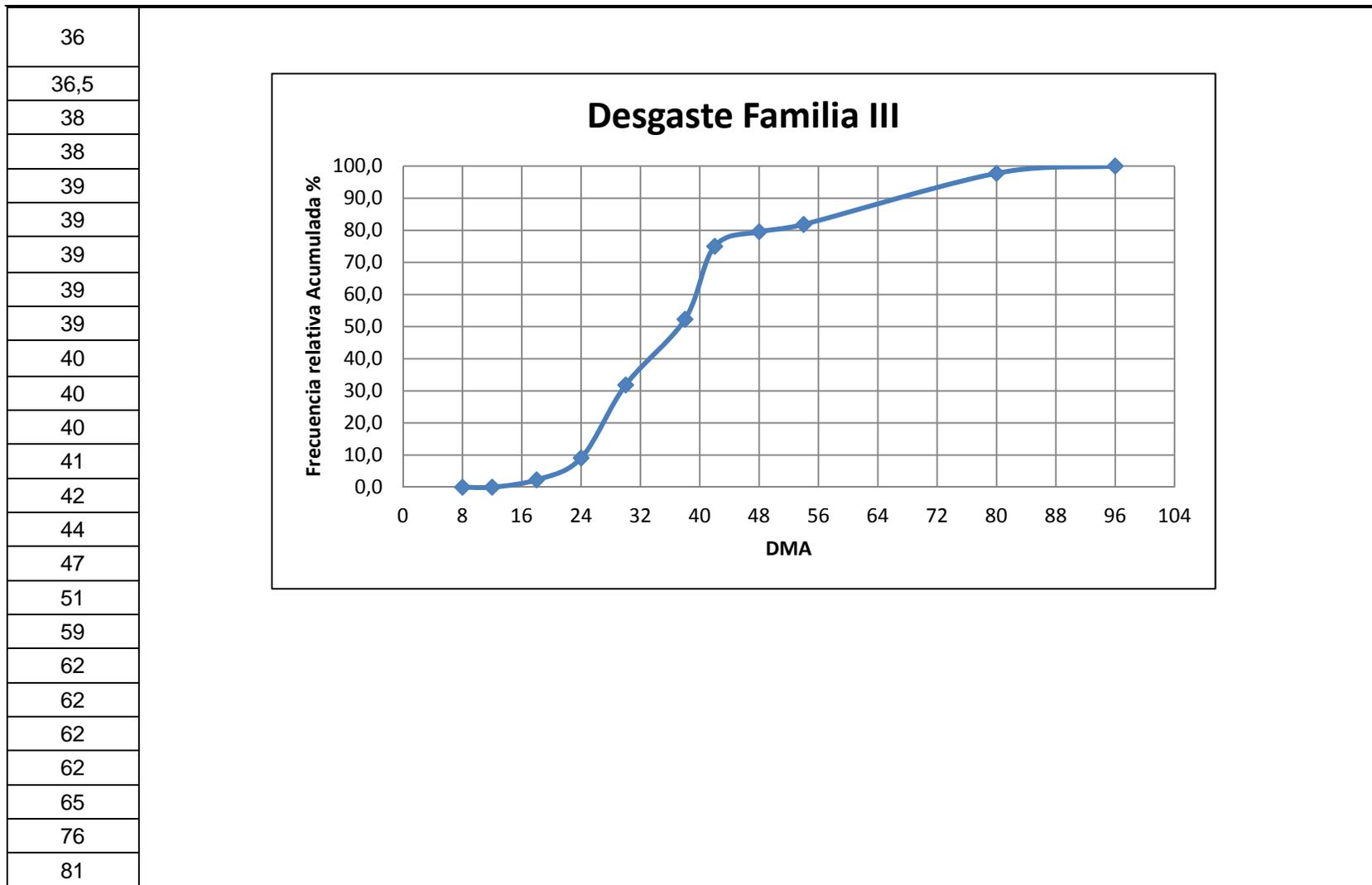


Figura 51. Desgaste Familia III.

Tabla 89. Solidez gruesos.

Solidez Gruesos				
ARENISCA Y CONGLOMERADO EDAD CRETACEO Y PALEOZOICO				
Datos	Rangos	No. Datos	Frecuencia Absoluta	% Frecuencia Relativa
4	<18	29	19	65,52
1,8	>18		10	34,48
2,5	Total		29	
2,8				
2,8				
2,9				
3,3				
5				
6				
7				
8				
8,2				
9				
11,3				
12				
12,9				
13,5				
16,6				
17				
20,1				
32,4				
34				
40,5				
52,1				
59,5				
61				
61,9				
67,5				
76,1				

Tabla 90. Absorción de gruesos.

Absorción Gruesos						
ARENISCA Y CONGLOMERADO EDAD CRETACEO Y PALEOZOICO						
Datos	Rangos		No. Datos	Frecuencia		
				Absoluta	Relativa Acumulada	Relativa acumulada %
0,431	0	0,5	6	2	33,33	0
0,439	0,5	1		4	66,67	100,00
0,65	1	1,5		6	100	
0,925	1,5	2				
0,945	2	2,5				
0,976	2,5	3				

Tabla 91. Absorción de finos.

Absorción Finos						
ARENISCA Y CONGLOMERADO EDAD CRETACEO Y PALEOZOICO						
Datos	Rangos		No. Datos	Frecuencia		
				Absoluta	Relativa Acumulada	Relativa acumulada %
8	0	0,5	2	0	0	0
15,15	0,5	1		0	0	0
	1	1,5		0	0	0
	1,5	2		0	0	0
	2	2,5		0	0	0
	2,5	3		0	0	0
	3	3,5		0	0	0
	3,5	4		0	0	0
	4	4,5		0	0	0
	4,5	5		0	0	0
	5	5,5		0	0	0
	5,5	6		0	0	0
	6	6,5		0	0	0
	6,5	7		0	0	0
	7	7,5		0	0	0
	7,5	8		1	50	50
	8	8,5		0	0	50
	8,5	9		0	0	50
	9	9,5	0	0	50	
	9,5	10	0	0	50	
	10	10,5	0	0	50	
	10,5	11	0	0	50	
	11	11,5	0	0	50	
	11,5	12	0	0	50	
	12	12,5	0	0	50	
	12,5	13	0	0	50	
	13	13,5	0	0	50	
	13,5	14	0	0	50	
	14	14,5	0	0	50	
	14,5	15	0	0	50	
	15	15,5	1	50	100	
	15,5	16	0	0		
			2	100		

Tabla 92. Índices de forma.

Índices de forma				
ARENISCA Y CONGLOMERADO EDAD CRETACEO Y PALEOZOICO				
Datos		Rangos	IAP % Frecuencia Relativa	IAL % Frecuencia Relativa
27	11	< 35	92,31	61,54
10	14	>35	7,69	38,46
12	15	Total	100	100,00
12	15			
13	16			
16	18			
19	22			
19	24			
19	24			
20	25			
20	25			
21	27			
23	32			
24	34			
26	34			
26	35			
26	38			
27	39			
27	39			
29	39			
29	41			
30	43			
32	44			
34	44			
39	45			
68	64			

Tabla 93. Actividad de finos azul de metileno.

Actividad de finos Azul de Metileno				
ARENISCA Y CONGLOMERADO EDAD CRETACEO Y PALEOZOICO				
Datos	Rangos	Total	Frecuencia relativa	%Frecuencia Relativa acumulada
1,3	> 8	8	0	0
1,5	< 8		8	100
2			8	
3				
3,8				
4				
5,8				
6.5				

FAMILIA IV METAMÓRFICAS FOLIADAS (ESQUISTOS Y OTRAS), CLÁSTICAS LAMINADAS (LIMOLITA SILÍCEA Y OTRAS)

Tabla 94. Desgaste Familia IV.

Desgaste los Ángeles												
FOLIADAS Y LODOSAS												
Datos	Rangos		No. Datos	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación			
19	0	8	18	0	0,0	0,0	35,22	11,19	0,32			
25	8	12		0	0,0	0,0						
26	12	18		0	0,0	0,0						
28	18	24		1	5,6	5,6						
28	24	30		8	44,4	50,0						
29	30	38		3	16,7	66,7						
29	38	42		3	16,7	83,3						
30	42	48		3	16,7	100,0						
30	48	54		0	0,0	100,0						
31	54	80		0	0,0	100,0						
33	80	96		0	0,0	100,0				Agrupación		%
33				0	0,0					< 30	9	50
39				0	0,0					30 - 40	4	22,2
41			Total	18	100	> 40	5	27,78				
47						Total	18					
54												
54												
58												

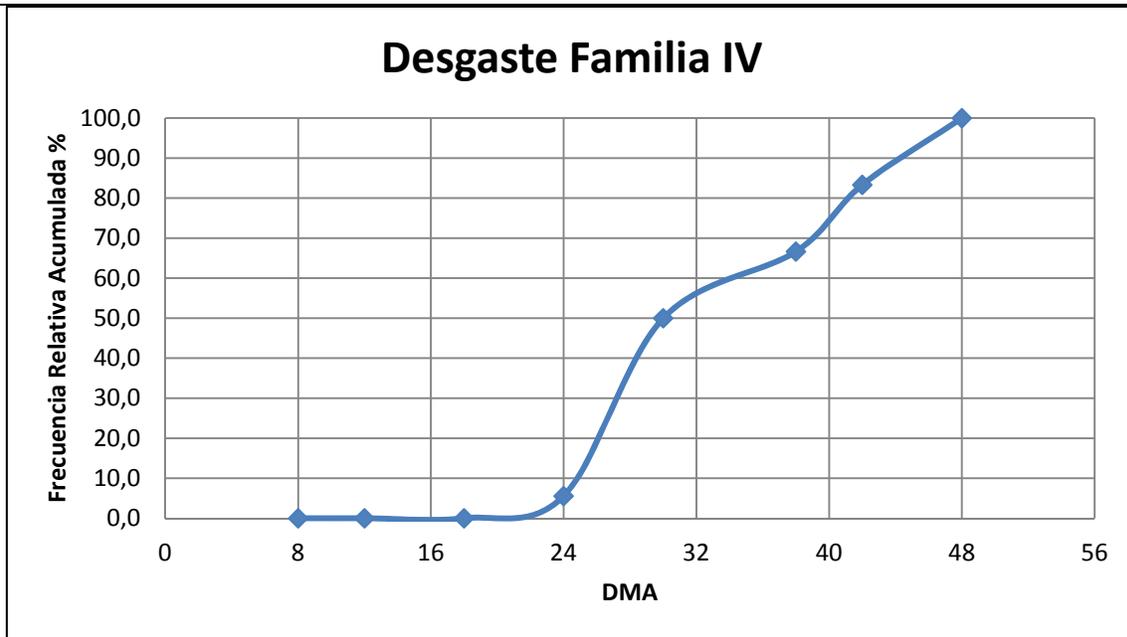


Figura 52. Desgaste Familia IV.

Tabla 95. Solidez gruesos.

Solidez Gruesos				
FOLIADAS Y LODOSAS				
Datos	Rangos	No. Datos	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa acumulada
4	<18	19	7	36,84
5	>18		12	63,16
5,3	Total		19	
5,5				
6,8				
8,03				
11				
13				
15				
17,2				
27				
56,1				
60,2				
68,7				
74,6				
75,3				
76,3				
82,6				
94,3				

Tabla 96. Solidez finos.

Solidez Finos				
CUARZO - ARENISCA				
Datos	Rangos	No. Datos	Frecuencia Absoluta	% Frecuencia Relativa Acumulada
50,3	<18	1	0	0,00
	>18		1	100,00
		Total	1	

Tabla 97. Absorción.

FOLIADAS Y LODOSAS						
Datos	Rangos		No. Datos	Frecuencia		
				Absoluta	Relativa Acumulada	Relativa acumulada %
1,026	0	0,5	18	0	0,00	0
2,40	0,5	1		0	0,00	0,00
3,507	1	1,5		1	5,56	5,56
3,706	1,5	2		0	0,00	5,56
4,285	2	2,5		1	5,56	11,11
4,357	2,5	3		0	0,00	11,11
5,23	3	3,5		0	0,00	11,11
5,903	3,5	4		2	11,11	22,22
5,981	4	4,5		2	11,11	33,33
6,071	4,5	5		0	0,00	33,33
6,24	5	5,5		1	5,56	38,89
6,4	5,5	6		2	11,11	50,00
6,667	6	6,5		3	16,67	66,67
6,854	6,5	7		3	16,67	83,33
6,945	7	7,5		1	5,56	88,89
7,29	7,5	8		0	0,00	88,89
8,43	8	8,5		1	5,56	94,44
14,48		>14		1	5,56	100,00
				18	100,00	

Tabla 98. Índices de forma.

FOLIADAS Y LODOSAS				
Datos		Rangos	IAP % Frecuencia Relativa	IAL % Frecuencia Relativa
10	15	< 35	71,43	42,86
12	15	>35	28,57	57,14
13	19	Total	100	100,00
16	24			
16	25			
22	27			
22	31			
25	36			
33	40			
33	43			
37	43			
43	45			
43	47			
50	50			

Tabla 99. Actividad de finos azul de metileno.

FOLIADAS Y LODOSAS				
Datos	Rangos	Total	Frecuencia Absoluta	% Frecuencia Relativa
0,8	> 8	11	10	90,9090909
2,8	< 8		1	9,09090909
3,3			11	
3,8				
4				
4,8				
5,3				
5,3				
7,8				
8				
34,8				

Tabla 100. Adherencia en frasco.

FOLIADAS Y LODOSAS				
Datos	Rangos	Total	Frecuencia Absoluta	% Frecuencia Relativa
>95	> 95	1	1	100
	< 95		0	0
			1	

Tabla 101. Adherencia en bandeja.

FOLIADAS Y LODOSAS				
Datos	Rangos	Total	Frecuencia absoluta	% Frecuencia Relativa
87	> 95	1	0	0
	< 95		1	100
			1	

FAMILIA VI CHERT

Tabla 102. Desgaste Familia IV.

Desgaste												
CHERT												
Datos	Rangos		No. Datos	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación			
12	0	8	6	0	0,0	0,0	24,00	7,56	0,32			
21	8	12		1	16,7	16,7						
22	12	18		0	0,0	16,7						
26	18	24		2	33,3	50,0						
29	24	30		2	33,3	83,3						
34	30	38		1	16,7	100,0						
	38	42		0	0,0	100,0						
	42	48		0	0,0	100,0						
	48	54		0	0,0	100,0						
	54	80		0	0,0	100,0						
	80	96		0	0,0	100,0						
				0	0,0					Agrupación		%
				0	0,0					< 20	1	16,67
			0	0,0		20 - 40	5	83,33				
			Total	6	100	> 40	0	0,00				
						Total	6					

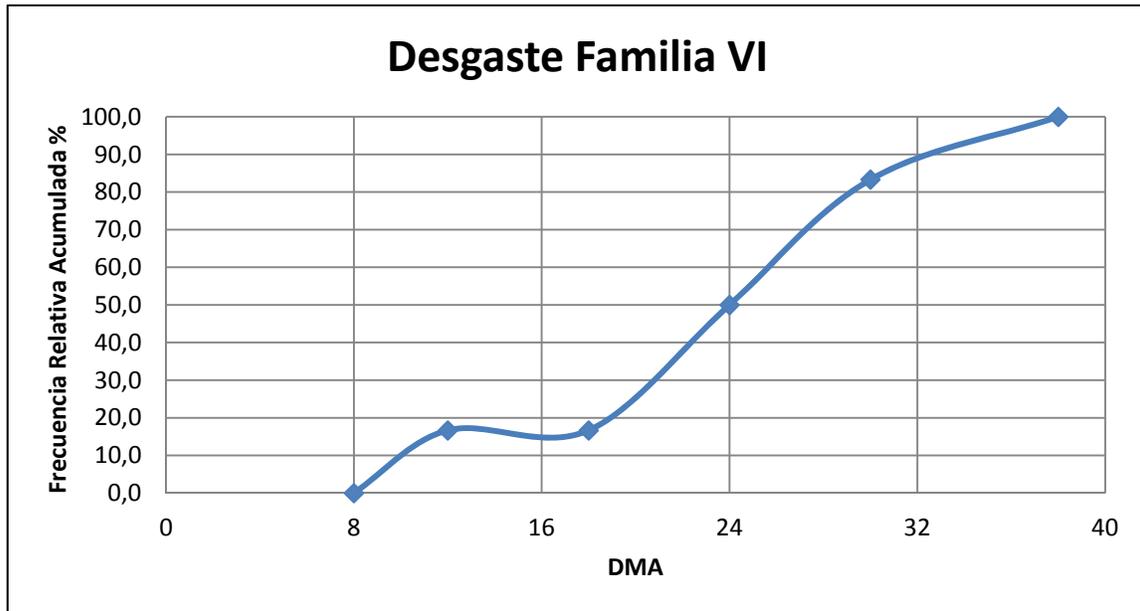


Figura 53. Desgaste Familia IV.

Tabla 103. Solidez gruesos Familia IV.

Solidez Gruesos				
CHERT				
Datos	Rangos	No. Datos	Frecuencia Absoluta	% Frecuencia Relativa
2	<18	5	3	60,00
3,5	>18		2	40,00
7,1	Total		5	
27,7				
61				

Tabla 104. Absorción Familia IV.

Absorción						
CHERT						
Datos	Rangos	No. Datos	Frecuencia			
			Absoluta	Relativa Acumulada	Relativa acumulada %	
2,509	0 0,5	2	0	0,00	0	
3,08	0,5 1		0	0,00	0,00	
	1 1,5		0	0,00	0,00	
	1,5 2		0	0,00	0,00	
	2 2,5		0	0,00	0,00	
	2,5 3		1	50,00	50,00	
	3 3,5		1	50,00	100,00	
	3,5 4		0	0,00	100,00	
	4 4,5		0	0,00	100,00	
	4,5 5		0	0,00	100,00	
	5 5,5		0	0,00	100,00	
	5,5 6		0	0,00	100,00	
	6 6,5		0	0,00	100,00	
	6,5 7		0	0,00	100,00	
	7 7,5		0	0,00	100,00	
	7,5 8		0	0,00	100,00	
	8 8,5		0	0,00	100,00	
	>14		0	0,00	100,00	
			2	100,00		

Tabla 105. Índices de forma Familia IV.

Índices de forma				
CHERT				
Datos		Rangos	IAP % Frecuencia Relativa	IAL % Frecuencia Relativa
13	18	< 35	66,67	83,33
21	27	>35	33,33	16,67
24	28	Total	100	100,00
28	30			
37	34			
41	47			

Tabla 106. Actividad de finos azul de metileno Familia IV.

Actividad de finos Azul de Metileno				
CHERT				
Datos	Rangos	Total	Frecuencia Absoluta	% Frecuencia Relativa
0,8	> 8	3	0	0
2,5	< 8		3	100
2,8			3	

Tabla 107. Adherencia en frasco Familia IV.

Adherencia Frasco				
CHERT				
Datos	Rangos	Total	Frecuencia Absoluta	% Frecuencia Relativa
>95	> 95	1	1	100
	< 95		0	0
			1	

Tabla 108. Adherencia en bandeja Familia IV.

Adherencia Bandeja				
CHERT				
Datos	Rangos	Total	Frecuencia Absoluta	% Frecuencia Relativa
94	> 95	1	0	0
	< 95		1	100
			1	

FAMILIA VII ARENISCA Y CONGLOMERADO DE EDAD TERCIARIO
Tabla 109. Desgaste Familia VII.

Desgaste									
ARENISCA Y CONGLOMERADO EDAD TERCIARIO									
Datos	Rangos		No. Datos	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación
22	0	8	15	0	0,0	0,0	46,97	18,77	0,40
23	8	12		0	0,0	0,0			
30	12	18		0	0,0	0,0			
36	18	24		2	13,3	13,3			
37	24	30		1	6,7	20,0			
38	30	38		3	20,0	40,0			
38,5	38	42		1	6,7	46,7			
48	42	48		2	13,3	60,0			
48	48	54		3	20,0	80,0			
50	54	80		3	20,0	100,0			
52	80	96		0	0,0	100,0			
54				0	0,0				
64			0	0,0					
71			Total	15	100				
93									
							Agrupación		%
							< 30	3	20
							30 - 40	4	26,66
							> 40	8	53,33
							Total	15	

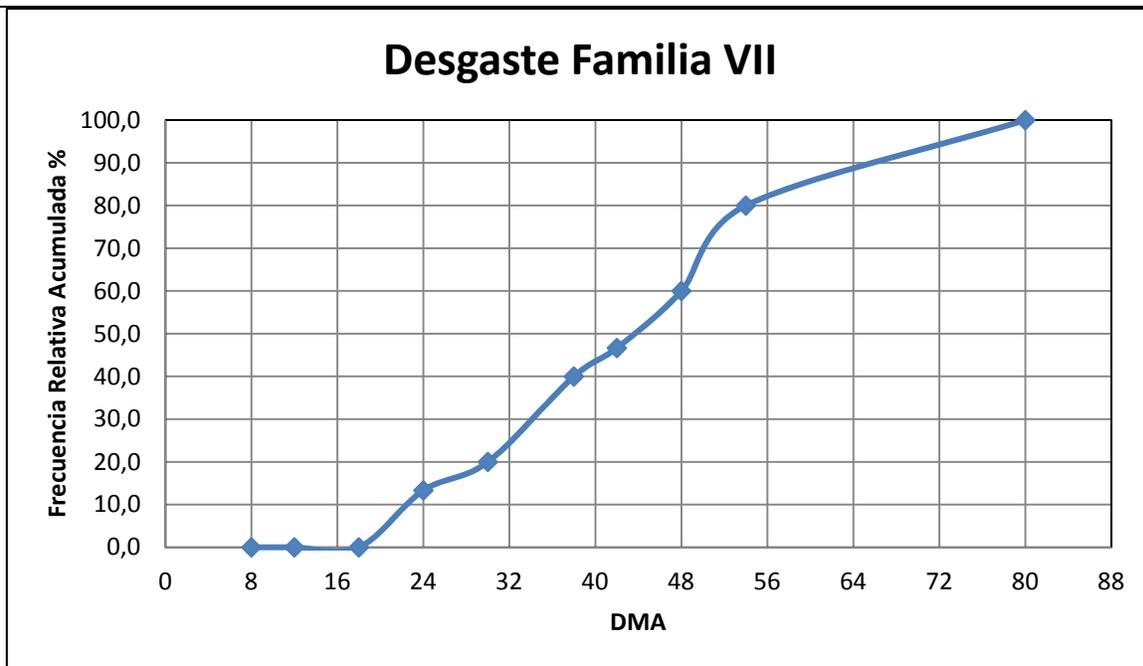


Figura 54. Desgaste Familia VII.

Tabla 110. Solidez gruesos Familia VII.

Solidez Gruesos				
ARENISCA Y CONGLOMERADO EDAD TERCIARIO				
Datos	Rangos	No. Datos	Frecuencia Absoluta	% Frecuencia Relativa
1,8	<18	5	4	80,00
4,8	>18		1	20,00
9,6	Total		5	
12				
23,6				

Tabla 111. Absorción Familia VII.

Absorción						
ARENISCA Y CONGLOMERADO EDAD TERCIARIO						
Datos	Rangos		No. Datos	Frecuencia		
				Absoluta	Relativa Acumulada	Relativa acumulada %
0,83	0	0,5	3	0	0,00	0
3,56	0,5	1		1	33,33	33,33
4,369	1	1,5		0	0,00	33,33
	1,5	2		0	0,00	33,33
	2	2,5		0	0,00	33,33
	2,5	3		0	0,00	33,33
	3	3,5		0	0,00	33,33
	3,5	4		1	33,33	66,67
	4	4,5		1	33,33	100,00
	4,5	5		0	0,00	100,00
	5	5,5		0	0,00	100,00
	5,5	6		0	0,00	100,00
	6	6,5		0	0,00	100,00
	6,5	7		0	0,00	100,00
	7	7,5		0	0,00	100,00
	7,5	8		0	0,00	100,00
	8	8,5		0	0,00	100,00
		>14		0	0,00	100,00
				3	100,00	

Tabla 112. Índices de forma Familia VII.

Índices de Forma				
ARENISCA Y CONGLOMERADO EDAD TERCIARIO				
Datos		Rangos	IAP % Frecuencia Relativa	IAL % Frecuencia Relativa
14	16	< 35	75,00	100,00
16	21	>35	25,00	0,00
19	25	Total	100	100,00
50	34			

Tabla 113. Actividad de finos azul de metileno
Familia VII.

Actividad de finos Azul de Metileno				
ARENISCA Y CONGLOMERADO EDAD TERCIARIO				
Datos	Rangos	Total	Frecuencia Absoluta	% Frecuencia Relativa
1,5	> 8	2	0	0,00
3,3	< 8		2	100,00
			2	

Tabla 114. Adherencia en frasco Familia VII.

Adherencia Frasco				
ARENISCA Y CONGLOMERADO EDAD TERCIARIO				
Datos	Rangos	Total	Frecuencia Absoluta	% Frecuencia Relativa
>95	> 95	2	2	100
>95	< 95		0	0
			2	

Tabla 115. Adherencia en bandeja.

Adherencia Bandeja				
ARENISCA Y CONGLOMERADO EDAD TERCIARIO				
Datos	Rangos	Total	Frecuencia Absoluta	% Frecuencia Relativa
91	> 95	2	1	50
73	< 95		1	50
			2	

FAMILIAS ALUVIALES
Aluvial Ígneo Metamórfico

Tabla 116. Desgaste familia AIM.

Desgaste								
ALUVIAL IGNEO METAMORFICO								
Datos	Rangos	No. Datos	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación
19	0 8	4	0	0,0	0,0	24,25	6,65	0,27
22	8 12		0	0,0	0,0			
22	12 18		0	0,0	0,0			
34	18 24		3	75,0	75,0			
	24 30		0	0,0	75,0			
	30 38		1	25,0	100,0			
	38 42		0	0,0	100,0			
	42 48		0	0,0	100,0			
	48 54		0	0,0	100,0			
	54 80		0	0,0	100,0			
	80 96		0	0,0	100,0			
			0	0,0				
			0	0,0				
		Total	4	100				
						Agrupación		%
						< 20	1	25,00
						20 - 40	2	50,00
						> 40	1	25,00
						Total	4	

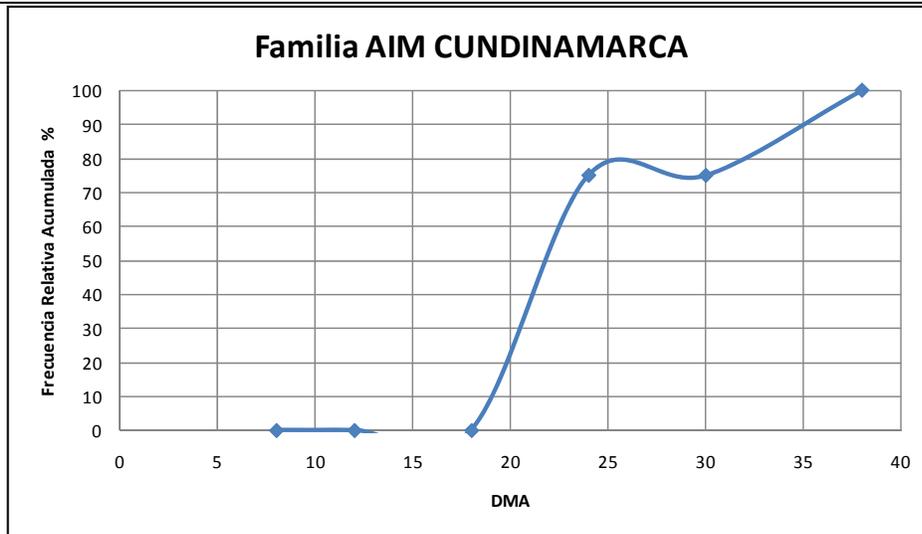


Figura 55. Desgaste Familia AIM.

Tabla 117. Solidez gruesos Familia AIM.

Solidez Gruesos				
ALUVIAL IGNEO METAMORFICO				
Datos	Rangos	No. Datos	Frecuencia Absoluta	% Frecuencia Relativa
0,6	<18	2	2	100,00
4,7	>18		0	0,00
Total			2	

Tabla 118. Absorción Familia AIM.

Absorción						
ALUVIAL IGNEO METAMORFICO						
Datos	Rangos		No. Datos	Frecuencia		
				Absoluta	Relativa	Relativa acumulada
0,849	0	0,5	1	0	0,00	0
	0,5	1		1	100,00	100,00
	1	1,5		0	0,00	100,00

Tabla 119. Índices de forma Familia AIM.

Índices de forma				
ALUVIAL IGNEO METAMORFICO				
Datos		Rangos	IAP % Frecuencia Relativa	IAL % Frecuencia Relativa
17	22	< 35	100,00	50,00
22	47	>35	0,00	50,00
		Total	100	100,00

Tabla 120. Actividad de finos azul de metileno.

Actividad de finos Azul de Metileno				
ALUVIAL IGNEO METAMORFICO				
Datos	Rangos	Total	Frecuencia absoluta	% Frecuencia Relativa
1	> 8	1	0	0,00
0	< 8		1	100,00
			1	

Tabla 121. Adherencia en frasco Familia VII.

Adherencia Frasco				
ALUVIAL IGNEO METAMORFICO				
Datos	Rangos	Total	Frecuencia Absoluta	% frecuencia Relativa
>95	> 95	1	1	100
>95	< 95		0	0
			1	

Tabla 122. Adherencia en bandeja.

Adherencia Bandeja				
ALUVIAL IGNEO METAMORFICO				
Datos	Rangos	Total	Frecuencia Absoluta	% Frecuencia Relativa
87	> 95	1	0	0
			1	100

ALUVIAL SEDIMENTARIO

Tabla 123. Desgaste Familia AS.

Desgaste										
ALUVION SEDIMENTARIO										
Datos	Rangos		No. Datos	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Promedio	Desviación Estándar	Coeficiente de Variación	
15	0	8	16	0	0,0	0,0	28,69	5,64	0,20	
22	8	12		0	0,0	0,0				
26	12	18		1	6,3	6,3				
26	18	24		1	6,3	12,5				
26	24	30		8	50,0	62,5				
27	30	38		5	31,3	93,8				
27	38	42		1	6,3	100,0				
27	42	48		0	0,0	100,0				
29	48	54		0	0,0	100,0				
30	54	80		0	0,0	100,0				
31	80	96		0	0,0	100,0				
32				0	0,0		Agrupación		%	
32				0	0,0		< 30	10	62,5	
35			Total	16	100		30 - 40	5	31,25	
35							> 40	1	6,25	
39							Total	16		

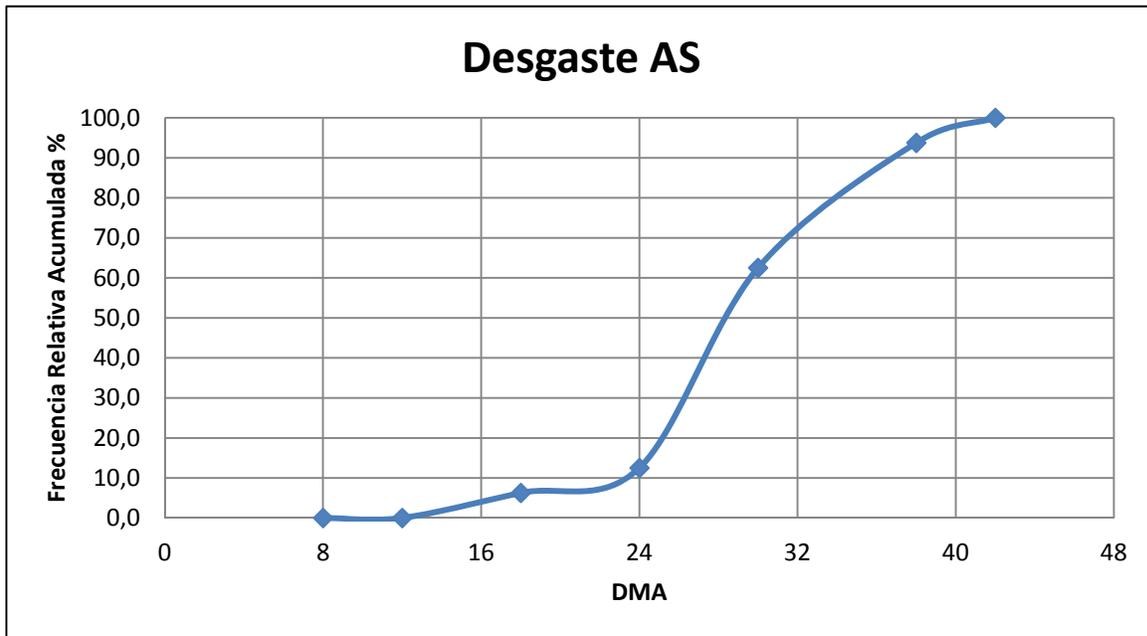


Figura 56. Frecuencia Relativa Acumulada en función de DMA Familia AS.

Tabla 124. Solidez gruesos Familia AS.

Solidez Gruesos				
ALUVION SEDIMENTARIO				
Datos	Rangos	No. Datos	Frecuencia absoluta	% Frecuencia Relativa
2,6	<18	15	15	100,00
3,8	>18		0	0,00
4	Total		15	
5,4				
6				
6,1				
7				
9				
9,6				
10				
10				
13,5				
14				
14,5				
16,5				

Tabla 125. Solidez finos Familia AS.

Solidez Finos				
CUARZO - ARENISCA				
Datos	Rangos	No. Datos	Frecuencia Absoluta	% Frecuencia Relativa
13,3	<18	1	1	100,00
	>18		0	0,00
	Total		1	

Tabla 126. Absorción Familia AS.

Absorción						
ALUVION SEDIMENTARIO						
Datos	Rangos		No. Datos	Frecuencia		
				Absoluta	Relativa Acumulada	Relativa acumulada %
1,238	0	0,5	8	0	0,00	0
1,439	0,5	1		0	0,00	0,00
1,523	1	1,5		2	25,00	25,00
1,523	1,5	2		4	50,00	75,00
1,526	2	2,5		0	0,00	75,00
1,79	2,5	3		0	0,00	75,00
3,371	3	3,5		1	12,50	87,50
4,565	3,5	4		0	0,00	87,50
	4	4,5		0	0,00	87,50
	4,5	5		1	12,50	100,00
	5	5,5		0	0,00	100,00
	5,5	6		0	0,00	100,00
	6	6,5		0	0,00	100,00
	6,5	7		0	0,00	100,00
	7	7,5		0	0,00	100,00
	7,5	8		0	0,00	100,00
	8	8,5		0	0,00	100,00
		>14		0	0,00	100,00
		Total	8	8	100,00	

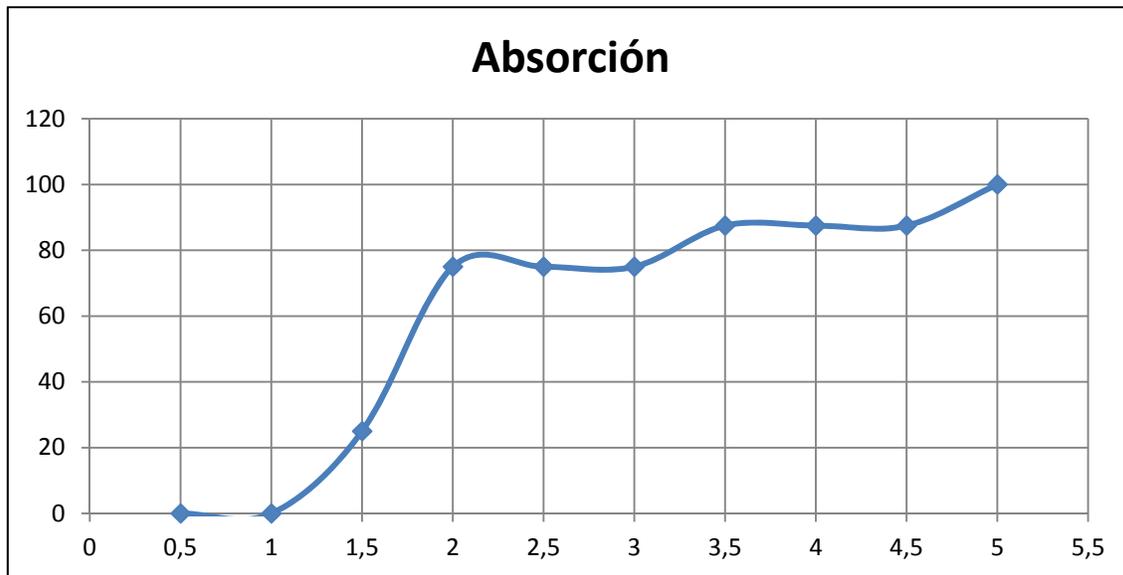


Figura 57. Frecuencia relativa acumulada en función DMA % familia AS.

Tabla 127. Índices de forma Familia AS.

Índices de Forma				
ALUVION SEDIMENTARIO				
Datos		Rangos	IAP % frecuencia relativa	IAL %
IAP %	IAL %			
		< 35	93,75	81,25
2	1	>35	6,25	18,75
7	5	Total	100	100,00
8	11			
8	16			
13	17			
13	17			
14	18			
14	20			
16	21			
22	22			
25	26			
25	28			
27	29			
29	36			
34	53			
116	54			

Tabla 128. Actividad de finos azul de metileno.

Actividad de finos Azul de Metileno				
ALUVION SEDIMENTARIO				
Datos	Rangos	Total	Frecuencia absoluta	% frecuencia relativa
1	> 8	7	1	14,29
1,8	< 8		6	85,71
2		Total	7	
2,8				
3,3				
6				
11,3				

Tabla 129. Adherencia frasco.

Adherencia Frasco				
ALUVION SEDIMENTARIO				
Datos	Rangos	Total	Frecuencia absoluta	% frecuencia relativa
>95	> 95	5	5	100
>95	< 95		0	0
>95		Total	5	
>95				
>95				

Tabla 130. Adherencia bandeja

Adherencia Bandeja				
ALUVION SEDIMENTARIO				
Datos	Rangos	Total	Frecuencia absoluta	% frecuencia relativa
87	> 95	5	0	0
68	< 95		5	100
72		Total	5	
81				
88				

Tabla 131. Resumen de distribución por familias para Cundinamarca.

ROCA O GRUPO	ADHERENCIA		SOLIDEZ		INDICE DE FORMA		DMA			Actividad Azul de Metileno
	F>95%	B>75%	G<18%	F<18%	IAP<35%	IAL<35%	<30	30-40	>40	
FAMILIA II	100	100	28,57	0	100	85,71	87,5	0	12,5	25
FAMILIA III			65,52	0	92,31	61,54	31,81	13,64	0	100
FAMILIA IV	100	100	36,84	0	71,43	42,86	50	22,22	27,8	9,09
FAMILIA VI	100	100	60		66,67	83,33	83,3	16,67	0	100
FAMILIA VII	100	50	80		75	100	20	26,66	53,3	100
AIM	100	100	100		100	50	75	25	0	100
AIS	100	60	100	100	93,75	81,25	62,5	31,25	6,25	85,71

ROCA O GRUPO	No. Datos	Rango	Promedio	Desviación Estándar	Coficiente de Variación
CALIZAS	8	21-60	29,37	12,64	0,43
FAMILIA II	10	21-62	29,37	12,64	0,43
SEDIMENTARIAS CLÁSTICAS EDAD CRETACEA	44	18-81	39,87	14,54	0,36
FAMILIA III	44	18-82	39,87	14,54	0,36
FAMILIA IV	18	19-58	35,22	11,19	0,32
CHERT	6	12-34	24	7,56	0,32
FAMILIA VI	6	12-36	24	7,56	0,32
SEDIMENTARIAS CLÁSTICAS EDAD Terciaria	15	22-93	46,97	18,77	0,4
FAMILIA VII	16	22-94	46,97	18,77	0,4
AIM	4	19-34	24,25	6,65	0,27
AIS	16	15-39	28,69	5,64	0,2

9.2.3 Materiales en el Departamento de Boyacá

FAMILIA II CALIZA MICRITA, CALIZA BIOCLÁSTICA Y TOTAL DE LA FAMILIA II.

Tabla 132. Desgaste Familia II.

Desgaste												
CALIZAS (MICRITAS)												
Datos	Rangos		No. Datos	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación			
7	0	8	26	1	3,8	0,0	23,35	8,08	0,35			
11	8	12		2	7,7	11,5						
12	12	18		5	19,2	30,8						
13	18	24		6	23,1	53,8						
17	24	30		9	34,6	88,5						
17	30	38		2	7,7	96,2						
18	38	42		0	0,0	96,2						
18	42	48		1	3,8	100,0						
21	48	54		0	0,0	100,0						
21	54	80		0	0,0	100,0						
21	80	96		0	0,0	100,0						
22				0	0,0					Agrupación		%
23				0	0,0					< 20	8	30,77
24				Total	26	100				20 - 40	17	65,38
25						> 40	1	3,85				
25						Total	26					
26												
29												
29												
29												
30												
30												
30												
31												
35												
43												

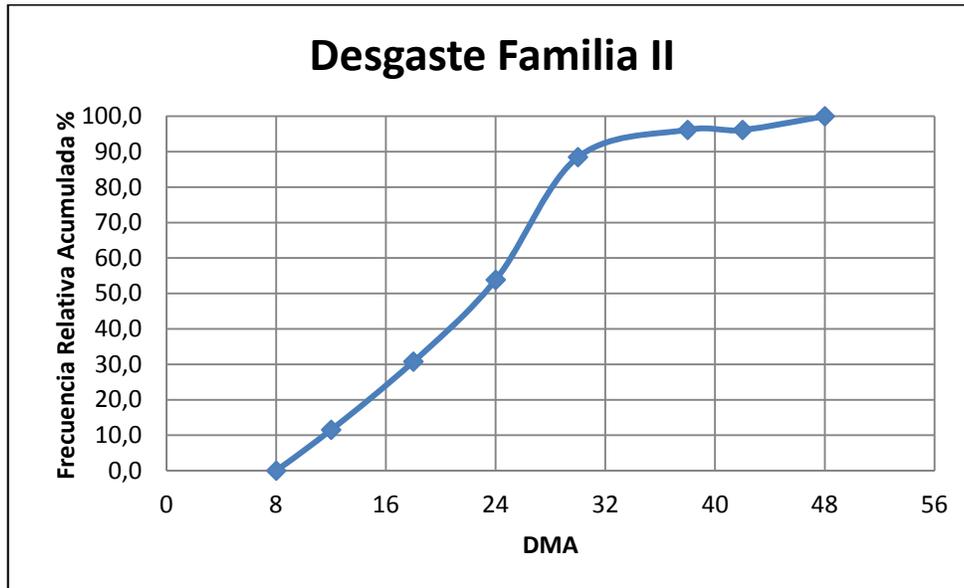


Figura 58. Desgaste Familia II.

Tabla 133. Solidez gruesos Familia II.

Solidez Gruesos				
CALIZAS (MICRITAS)				
Datos	Rangos	No. Datos	Frecuencia	%
4	<18	23	17	73,91
1	>18		6	26,09
1,1	Total		23	
1,1				
1,3				
1,7				
2,2				
2,6				
2,8				
3,1				
3,6				
4				
5				
5				
8				
14				
15				
25,1				
25,6				
44				
47				
55,4				
75,7				

Tabla 134. Abstracción Familia II

Absorción						
CALIZAS (MICRITAS)						
Datos	Rangos		No. Datos	Frecuencia		
				Absoluta	Relativa Acumulada	Relativa acumulada %
0,41	0	0,5	3	5	21,74	0
0,431	0,5	1		8	34,78	56,52
0,439	1	1,5		3	13,04	69,57
0,45	1,5	2		2	8,70	78,26
0,46	2	2,5		2	8,70	86,96
0,53	2,5	3		1	4,35	91,30
0,54	3	3,5		1	4,35	95,65
0,65	3,5	4		1	4,35	100,00
0,69				23		
0,75						
0,76						
0,9						
0,925						
1,1						
1,2						
1,42						
1,7						
1,9						
2,3						
2,4						
2,63						
3,05						
3,8						

Tabla 135. Índices de forma Familia II

Índices de Forma				
CALIZAS (MICRITAS)				
Datos		Rangos	IAP %	IAL %
13	19	< 35	94,74	54,55
14	20	>35	5,26	45,45
18	25	Total	100	100
20	25			
21	27			
21	27			
22	28			
22	30			
24	33			
25	33			
25	34			
26	34			
29	40			
29	40			
31	41			
33	41			
34	45			
35	46			
43	47			
	48			
	50			
	52			

Tabla 136. Actividad de finos azul de metileno.

Actividad de finos Azul de Metileno				
CALIZAS (MICRITAS)				
Datos	Rangos	Total	Frecuencia	%
2	> 8	3	2	66,67
2	< 8		1	33,33
13		Total	3	



FAMILIA III ARENISCAS Y CONGLOMERADOS EDAD DEL CRETÁCEO - PALEOZOICO Y TOTAL DE LA FAMILIA III.

Tabla 137. Desgaste Familia III

Desgaste									
ARENISCA Y CONGLOMERADO EDAD CRETACEO Y PALEOZOICO									
Datos	Rangos		No. Datos	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Promedio	Desviación Estándar	Coficiente de Variación
23	0	8	41	0	0,0	0,0	37,15	10,01	0,27
27	8	12		0	0,0	0,0			
27	12	18		0	0,0	0,0			
28	18	24		1	2,4	2,4			
28	24	30		12	29,3	31,7			
28	30	38		14	34,1	65,9			
29	38	42		3	7,3	73,2			
29	42	48		7	17,1	90,2			
30	48	54		3	7,3	97,6			
30	54	80		1	2,4	100,0			
30	80	96		0	0,0	100,0			
30				0	0,0				
30			0	0,0		< 20	0	0,00	
30			0	0,0		20 - 40	28	68,29	
31			Total	41	100	> 40	13	31,71	
31						Total	41		
33									
33									
33									

34
34
35
35
36
37
37
37
37
40
42
42
43
44
44
45
47
47
48
50
50
50
79

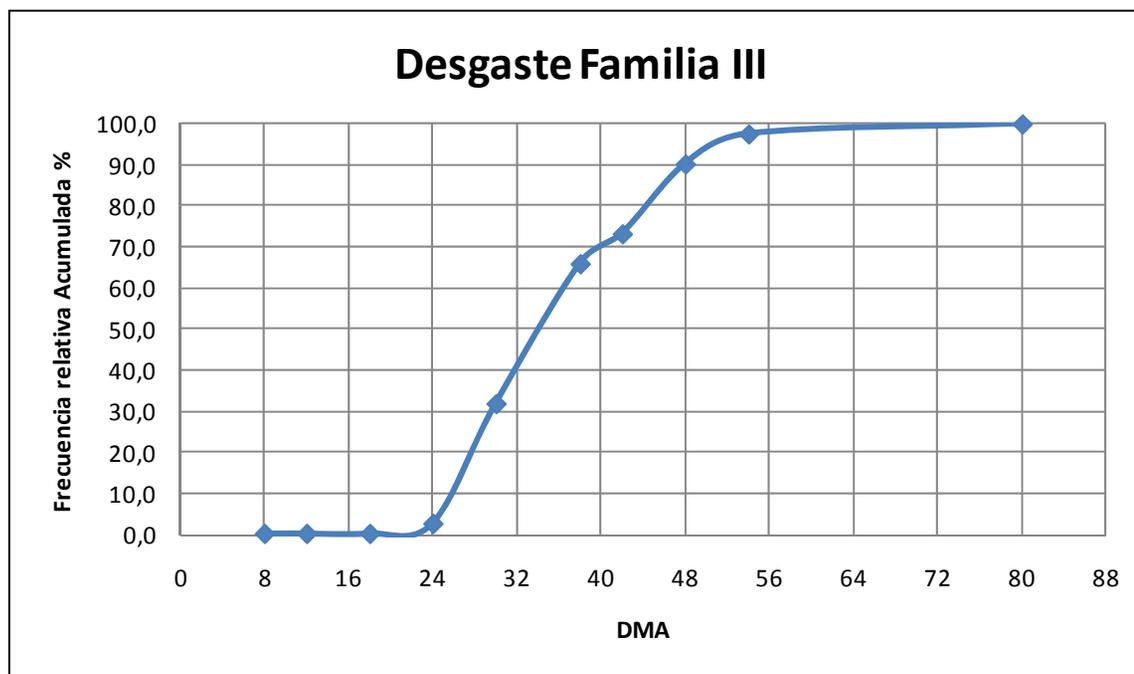


Figura 59. Frecuencia relativa acumulada en función del % DMA para la Familia II.

Tabla 138. Solidez gruesos Familia III.

Solidez Gruesos				
ARENISCA Y CONGLOMERADO EDAD CRETACEO Y PALEOZOICO				
Datos	Rangos	No. Datos	Frecuencia	%
1,5	<18	30	29	96,67
1,6	>18		1	3,33
2,5	Total		30	
2,6				
2,8				
2,9				
2,9				
3				
3				
3,1				
3,4				
4,1				
4,4				
4,7				
5				
6,7				
7				
7				
8				
8				
9,1				
10				
10				
11				
11,6				
12,9				
13,8				
17				
17				
76,3				

Tabla 139. Absorción gruesos Familia III.

Absorción Gruesos						
ARENISCA Y CONGLOMERADO EDAD CRETACEO Y PALEOZOICO						
Datos	Rangos	No. Datos	Frecuencia			
			Absoluta	Relativa Acumulada		Relativa acumulada %
0,8	0	0,5	7	0	0,00	0
0,85	0,5	1		3	11,54	11,54
0,994	1	1,5		7	26,92	38,46
1,067	1,5	2		4	15,38	53,85
1,1	2	2,5		3	11,54	65,38
1,14	2,5	3		0	0,00	65,38
1,16	3	3,5		2	7,69	73,08
1,24	3,5	4		0	0,00	73,08
1,31	4	4,5		2	7,69	80,77
1,5	4,5	5		0	0,00	80,77
1,51	5	5,5		1	3,85	84,62
1,6	5,5	6		1	3,85	88,46
1,68	6	6,5		1	3,85	92,31
1,785	6,5	7		1	3,85	96,15
1,96	7	7,5		0	0,00	96,15
2,03	7,5	8		0	0,00	96,15
2,14	8	8,5		0	0,00	96,15
2,38	8,5	9		0	0,00	96,15
3,27	9	9,5		0	0,00	96,15
3,34	9,5	10		0	0,00	96,15
4,02	10	10,5		0	0,00	96,15
4,38	10,5	11		0	0,00	96,15
5,2	11	11,5		0	0,00	96,15
5,6	11,5	12		0	0,00	96,15
6,05	12	12,5		0	0,00	96,15
6,945	12,5	13		0	0,00	96,15
14,48	13	13,5		0	0,00	96,15
	13,5	14		0	0,00	96,15
	14	14,5		1	3,85	100,00
	14,5	15		26		

Tabla 140. Índices de forma de la Familia II.

ARENISCA Y CONGLOMERADO EDAD CRETACEO Y PALEOZOICO				
Datos		Rangos	IAP %	IAL %
9	22	< 35	85,00	65,22
10	24	>35	15,00	34,78
22		Total	100	100,00
23	25			
23	26			
25	28			
25	29			
25	29			
27	33			
29	33			
29	33			
30	34			
31	34			
32	34			
33	35			
34	36			
34	39			
37	41			
37	41			
41	44			
	45			
	47			
	52			

Tabla 141. Actividad de finos azul de metileno Familia III.

Actividad de finos Azul de Metileno				
ARENISCA Y CONGLOMERADO EDAD CRETACEO Y PALEOZOICO				
Datos	Rangos	Total	Frecuencia absoluta	% Frecuencia relativa
3,8	> 8	2	0	0
3,8	< 8		2	100



FAMILIA IV METAMÓRFICAS FOLIADAS (ESQUISTOS Y OTRAS), CLÁSTICAS LAMINADAS (LIMOLITA SILÍCEA Y OTRAS) Y TOTAL FAMILIA IV

Tabla 142. Desgaste los ángeles Familia III.

FOLIADAS Y LODOSAS									
Datos	Rangos		No. Datos	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación
19	0	8	9	0	0,0	0,0	28,44	5,81	0,20
23	8	12		0	0,0	0,0			
24	12	18		0	0,0	0,0			
26	18	24		3	33,3	33,3			
30	24	30		2	22,2	55,6			
31	30	38		4	44,4	100,0			
32	38	42		0	0,0	100,0			
34	42	48		0	0,0	100,0			
37	48	54		0	0,0	100,0			
	54	80		0	0,0	100,0			
	80	96		0	0,0	100,0			
					0	0,0			
				0	0,0		< 30	5	11,11
				0	0,0		30 - 40	4	88,89
			Total	9	100		> 40	0	0,00
							Total	9	

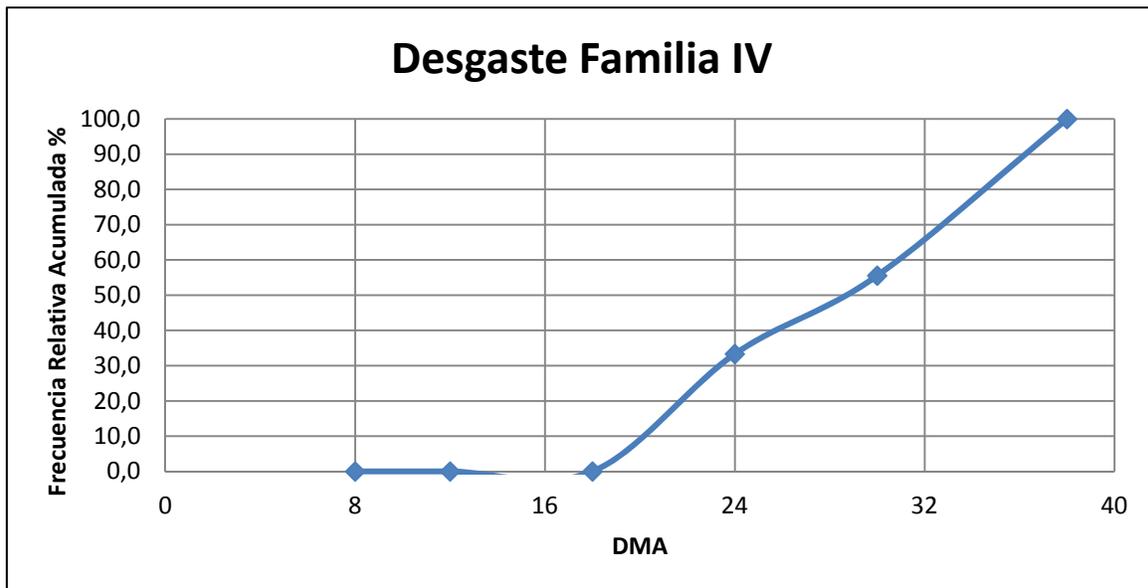


Figura 60. Relativa frecuencia acumulada en función del % DMA.

Tabla 143. Solidez en gruesos Familia IV.

Solidez Gruesos				
FOLIADAS Y LODOSAS				
Datos	Rangos	No. Datos	Frecuencia absoluta	% Frecuencia relativa
2,1	<18	10	10	100,00
3,2	>18		0	0,00
4,9	Total		10	
5,8				
7,3				
8,8				
8,9				
9,5				
11				
17				

Tabla 144. Absorción Familia IV.

Absorción						
FOLIADAS Y LODOSAS						
Datos	Rangos		No. Datos	Frecuencia		
				Absoluta	Relativa Acumulada	Relativa acumulada %
0,97	0	0,5	10	0	0,00	0
1,24	0,5	1		1	10,00	10,00
3,88	1	1,5		1	10,00	20,00
3,88	1,5	2		0	0,00	20,00
4,35	2	2,5		0	0,00	20,00
4,42	2,5	3		0	0,00	20,00
4,59	3	3,5		0	0,00	20,00
5,12	3,5	4		2	20,00	40,00
6,04	4	4,5		2	20,00	60,00
6,53	4,5	5		1	10,00	70,00
	5	5,5		1	10,00	80,00
	5,5	6		0	0,00	80,00
	6	6,5		1	10,00	90,00
	6,5	7		1	10,00	100,00
	7	7,5	0	0,00	100,00	
	7,5	8	0	0,00	100,00	
	8	8,5	0	0,00	100,00	
		>14	0	0,00	100,00	
				10	100,00	

Tabla 145. Índices de forma Familia IV.

Índices de Forma				
FOLIADAS Y LODOSAS				
Datos		Rangos	IAP % Frecuencia relativa	IAL %
13	23	< 35	71,43	28,57
17	32	>35	28,57	71,43
32	37	Total	100	100,00
35	43			
35	50			
36	52			
46	58			



FAMILIA V GRANITO - GRANODIORITA, CUARZO DIORITA, OTRAS ROCAS Y TOTAL DE LA FAMILIA V.

Tabla 146. Desgaste Familia V.

Desgaste														
GRANITO Y GRANODIORITA														
Datos	Rangos		No. Datos	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Promedio	Desviación Estándar	Coeficiente de Variación					
16	0	8	3	0	0,0	0,0	20,33	7,51	0,37					
16	8	12		0	0,0	0,0								
29	12	18		2	66,7	66,7								
	18	24		0	0,0	66,7								
	24	30		1	33,3	100,0								
	30	38		0	0,0	100,0								
	38	42		0	0,0	100,0								
	42	48		0	0,0	100,0								
	48	54		0	0,0	100,0								
	54	80		0	0,0	100,0								
	80	96		0	0,0	100,0								
				0	0,0									
				0	0,0									
			Total	3	100									
							Agrupación		%					
							< 30	3	100					
							30 - 40	1	0					
							> 40	0	0,00					
							Total	3						

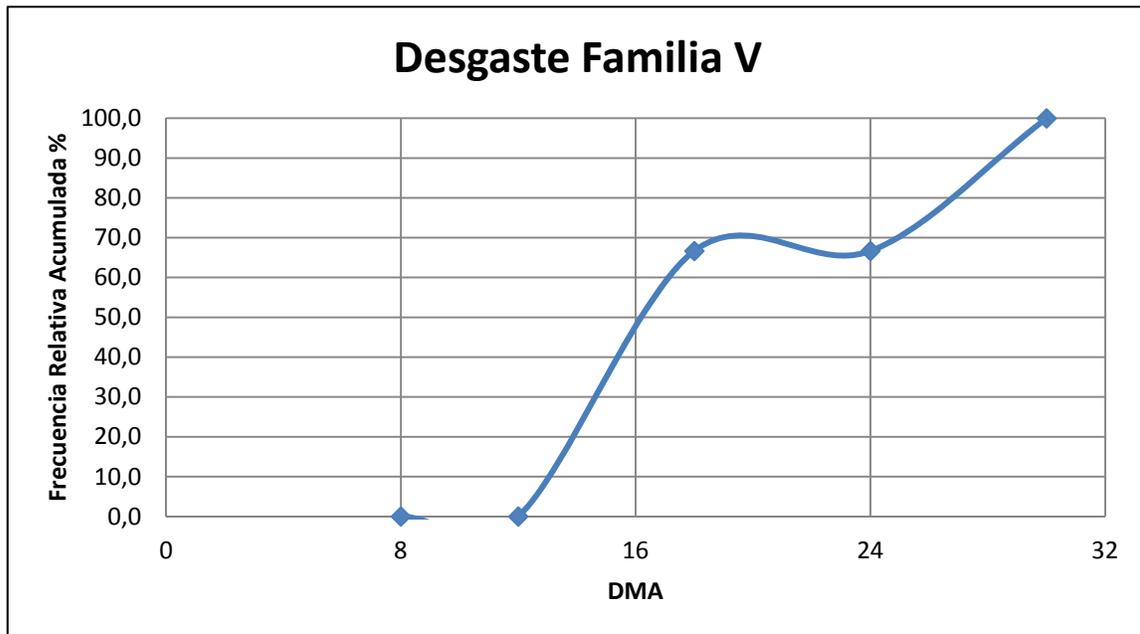


Figura 61. Frecuencia relativa acumulada en función DMA %.

Tabla 147. Solidez gruesos Familia V.

Solidez Gruesos				
GRANITO Y GRANODIORITA				
Datos	Rangos	No. Datos	Frecuencia absoluta	% frecuencia relativa
1,3	<18	2	2	100,00
1,9	>18		0	0,00
Total			2	

Tabla 148. Solidez finos Familia V.

Solidez Finos				
CUARZO - ARENISCA				
Datos	Rangos	No. Datos	Frecuencia absoluta	% frecuencia relativa
50,3	<18	1	0	0,00
	>18		1	100,00
Total			1	

Tabla 149. Absorción Familia V.

Absorción						
GRANITO Y GRANODIORITA						
Datos	Rangos		No. Datos	Frecuencia		
				Absoluta	Relativa	Relativa acumulada %
0,57	0	0,5	2	0	0,00	0
0,58	0,5	1		2	100,00	100,00

Tabla 150. Índices de forma Familia V.

Índices de Forma				
GRANITO Y GRANODIORITA				
Datos		Rangos	IAP %	IAL % Frecuencia relativa
17	31	< 35	100,00	0,00
28	35	>35	0,00	100,00
		Total	100	100,00



FAMILIA VI CHERT

Tabla 151. Desgaste Familia VI.

Desgaste												
CHERT												
Datos	Rangos		No. Datos	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Promedio	Desviación Estándar	Coficiente de Variación			
10	0	8	22	0	0,0	0,0	26,41	9,79	0,37			
13	8	12		1	4,5	4,5						
15	12	18		2	9,1	13,6						
19	18	24		7	31,8	45,5						
20	24	30		7	31,8	77,3						
22	30	38		1	4,5	81,8						
22	38	42		3	13,6	95,5						
23	42	48		0	0,0	95,5						
24	48	54		1	4,5	100,0						
24	54	80		0	0,0	100,0						
25	80	96		0	0,0	100,0				Agrupación		%
25				0	0,0					< 30	17	77,27
25				0	0,0					30 - 40	2	9,09
26				Total	22	100				> 40	3	13,64
26						Total	22					
26												
27												
29												
33												
39												
41												
42												
51												

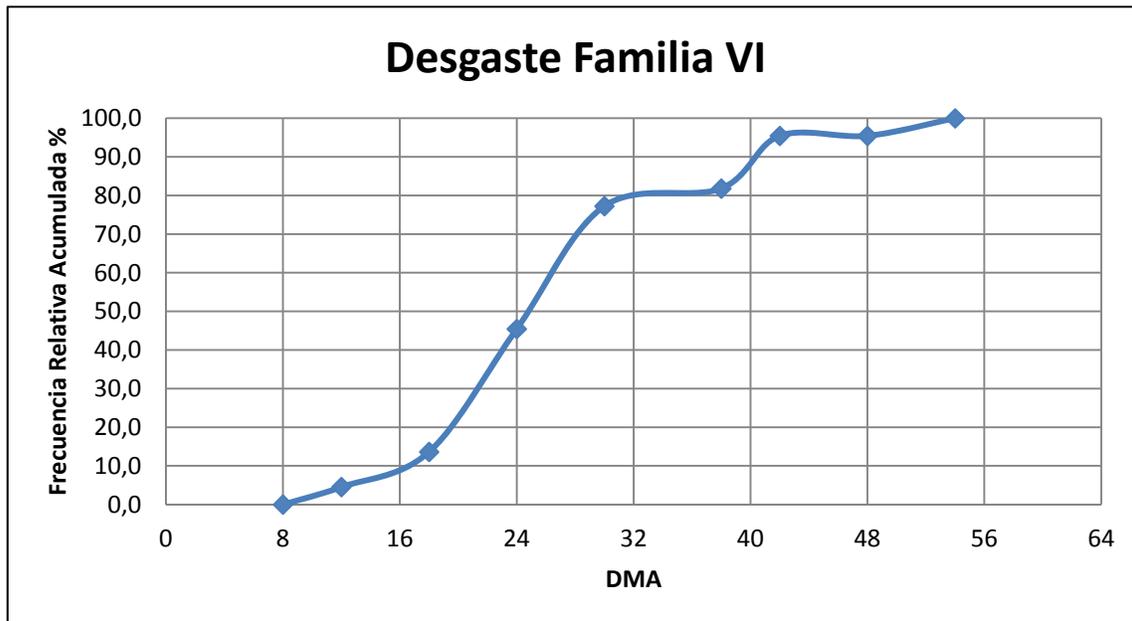


Figura 62. Frecuencia relativa acumulada en función DMA %.

Tabla 152. Solidez gruesos Familia VI.

Solidez Gruesos				
CHERT				
Datos	Rangos	No. Datos	Frecuencia absoluta	% frecuencia relativa
2,9	<18	19	18	94,74
1	>18		1	5,26
1	Total		19	
1,3				
1,5				
2,2				
2,4				
2,9				
3,1				
3,1				
3,7				
3,9				
3,9				
6				
7				
7,8				
8,1				
14,3				
19				

Tabla 153. Absorción Familia V.

Absorción						
CHERT						
Datos	Rangos		No. Datos	Frecuencia		
				Absoluta	Relativa Acumulada	Relativa acumulada
0,83	0	0,5	16	0	0,00	0
0,85	0,5	1		2	12,50	12,50
1,08	1	1,5		2	12,50	25,00
1,41	1,5	2		2	12,50	37,50
1,93	2	2,5		1	6,25	43,75
1,94	2,5	3		1	6,25	50,00
2,22	3	3,5		1	6,25	56,25
2,91	3,5	4		2	12,50	68,75
3,14	4	4,5		1	6,25	75,00
3,6	4,5	5		1	6,25	81,25
3,7	5	5,5		0	0,00	81,25
4,44	5,5	6		1	6,25	87,50
4,55	6	6,5		0	0,00	87,50
5,65	6,5	7		0	0,00	87,50
7,4	7	7,5		1	6,25	93,75
8,03	7,5	8		0	0,00	93,75
	8	8,5		1	6,25	100,00
		>14		0	0,00	100,00
				16	100,00	

Tabla 154. Índices de forma.

Índices de Forma				
CHERT				
Datos		Rangos	IAP %	IAL % Frecuencia relativa
17	14	< 35	85,71	53,33
23	24	>35	14,29	46,67
24	24	Total	100	100,00
24	30			
25	31			
27	32			
27	33			
27	35			
29	36			
32	37			
32	38			
33	40			
39	40			
63	41			
	49			



FAMILIA VII ARENISCA Y CONGLOMERADO DE EDAD TERCIARIO Y TOTAL DE LA FAMILIA VII.

Tabla 155. Desgaste Familia VII.

Desgaste														
ARENISCA Y CONGLOMERADO EDAD TERCIARIO														
Datos	Rangos		No. Datos	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Promedio	Desviación Estándar	Coeficiente de Variación					
22	0	8	6	0	0,0	0,0	35,83	14,62	0,41					
22	8	12		0	0,0	0,0								
29	12	18		0	0,0	0,0								
40	18	24		2	33,3	33,3								
42	24	30		1	16,7	50,0								
60	30	38		0	0,0	50,0								
	38	42		2	33,3	83,3								
	42	48		0	0,0	83,3								
	48	54		0	0,0	83,3								
	54	80		1	16,7	100,0								
	80	96		0	0,0	100,0								
				0	0,0						Agrupación		%	
				0	0,0						< 30	3	50,0	
			0	0,0		30 - 40	1	16,66						
			Total	6	100	> 40	2	33,33						
						Total	6							

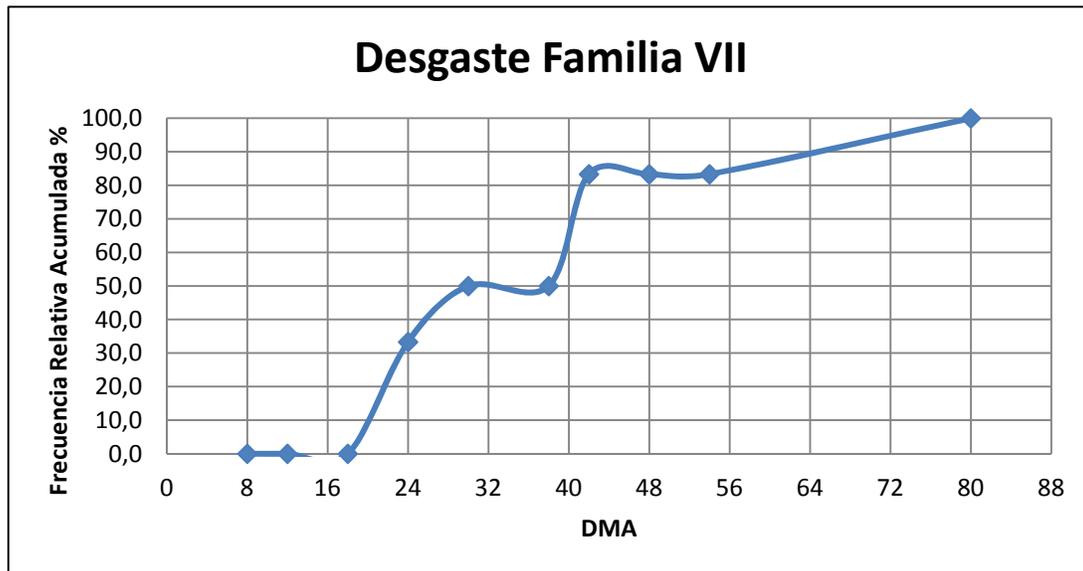


Figura 63. Relativa frecuencia, acumulada en función DMA % Familia VII.

Tabla 156. Solidez gruesos Familia VII.

Solidez Gruesos				
ARENISCA Y CONGLOMERADO EDAD TERCIARIO				
Datos	Rangos	No. Datos	Frecuencia absoluta	% Frecuencia relativa
4	<18	2	2	100,00
8	>18		0	0,00
Total			2	

Tabla 157. Absorción Familia VII.

Absorción						
ARENISCA Y CONGLOMERADO EDAD TERCIARIO						
Datos	Rangos		No. Datos	Frecuencia		
				Absoluta	Relativa Acumulada	Relativa acumulada
4,17	0	0,5	8	2	25,00	0
0,46	0,5	1		1	12,50	37,50
0,5	1	1,5		2	25,00	62,50
0,67	1,5	2		2	25,00	87,50
1,34	2	2,5		0	0,00	87,50
1,4	2,5	3		0	0,00	87,50
1,51	3	3,5		0	0,00	87,50
1,8	3,5	4		0	0,00	87,50
	4	4,5		1	12,50	100,00

Tabla 158. Índices de forma Familia VII.

Índices de Forma				
ARENISCA Y CONGLOMERADO EDAD TERCIARIO				
Datos		Rangos	IAP % frecuencia relativa	IAL %
23	27	< 35	100,00	66,67
	34	>35	0,00	33,33
	72	Total	100	100,00

Tabla 159. Adherencia frasco Familia VII.

Adherencia Frasco				
ARENISCA Y CONGLOMERADO EDAD TERCIARIO				
Datos	Rangos	Total	Frecuencia absoluta	% frecuencia relativa
>95	> 95	1	1	100
	< 95		0	0
			1	

Tabla 160. Adherencia Familia VII.

Adherencia Bandeja				
ARENISCA Y CONGLOMERADO EDAD TERCIARIO				
Datos	Rangos	Total	Frecuencia absoluta	% frecuencia relativa
92	> 95	1	0	0
	< 95		1	100
			1	

Tabla 161. Resume de distribución por familias para Boyacá.

ROCA O GRUPO	ADHERENCIA		SOLIDEZ		INDICE DE FORMA		DMA		
	F>95%	B>75%	G<18%	F<18%	IAP<35%	IAL<35%	<30	30-40	>40
FAMILIA II			73,91		94,74	54,55	88,46	7,69	
FAMILIA III			96,67		85,00	65,22	31,71	36,58	31,71
FAMILIA IV			100,00		71,43	28,57	55,55	44,44	0,00
FAMILIA V			100,00	100,00	100,00		100,00	0,00	0,00
FAMILIA VI			94,74	0,00	94,74	53,33	77,27	9,09	4,54
FAMILIA VII	100,00	0,00	100,00		100,00	66,67	50,00	16,66	33,33

ROCA O GRUPO	No. Datos	Rango	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación
CALIZAS	26	7-43	23,35	8,08	0,35
FAMILIA II	28	7-45	23,35	8,08	0,35
SEDIMENTARIAS CLÁSTICAS EDAD CRETACEA	41	23-79	37,15	10,01	0,27
FAMILIA III	41	23-80	37,15	10,01	0,27
FAMILIA IV	9	19-37	28,44	5,81	0,2
FAMILIA V	3	16-29	20,33	7,51	0,37
FAMILIA VI	22	10-41	26,41	9,79	0,37
FAMILIA VII	6	22-60	35,83	14,62	0,41

9.3 MATERIALES EN EL DEPARTAMENTO DE META

FAMILIA V GRANITO - GRANODIORITA, CUARZO DIORITA, OTRAS ROCAS Y TOTAL DE LA FAMILIA V.

Tabla 162. Desgaste familiar.

Desgaste									
GRANITO Y GRANODIORITA									
Datos	Rangos		No. Datos	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Promedio	Desviación Estándar	Coeficiente de Variación
31	0	8	2	0	0,0	0,0	33,00	2,83	0,09
35	8	12		0	0,0	0,0			
	12	18		0	0,0	0,0			
	18	24		0	0,0	0,0			
	24	30		0	0,0	0,0			
	30	38		2	100,0	100,0			
	38	42		0	0,0	100,0			
	42	48		0	0,0	100,0			
	48	54		0	0,0	100,0			
	54	80		0	0,0	100,0			
	80	96		0	0,0	100,0			
				0	0,0	< 30	0	0,00	
				0	0,0	30 - 40	2	100,00	
			Total	2	100	> 40	0	0,00	
						Total	2		

Tabla 163. Solidez gruesos Familia V.

Solidez Gruesos				
GRANITO Y GRANODIORITA				
Datos	Rangos	No. Datos	Frecuencia absoluta	% Frecuencia relativa
10,00	<18	2	2	100,00
4,00	>18		0	0,00
		Total	2	

Tabla 164. Absorción gravas Familia V.

Absorción Gravav						
GRANITO Y GRANODIORITA						
Datos	Rangos		No. Datos	Frecuencia		
				Absoluta	Relativa	Relativa acumulada
1,40	0	0,5	2	0	0,00	0
1,10	0,5	1		0	0,00	0,00
	1	1,5		2	100,00	100,00
	1,5	2		0	0,00	100,00
	2	2,5		0	0,00	100,00
	2,5	3		0	0,00	100,00
	3	3,5		0	0,00	100,00
	3,5	4		0	0,00	100,00
	4	4,5		0	0,00	100,00
	4,5	5		0	0,00	100,00
	5	5,5		0	0,00	100,00
	5,5	6		0	0,00	100,00
	6	6,5		0	0,00	100,00
	6,5	7		0	0,00	100,00
	7	7,5		0	0,00	100,00
	7,5	8		0	0,00	100,00
	8	8,5		0	0,00	100,00
		>14	0	0,00	100,00	
				2	100,00	

Tabla 165. Absorción arenas Familia V.

Absorción Arenas						
GRANITO Y GRANODIORITA						
Datos	Rangos		No. Datos	Frecuencia		
				Absoluta	Relativa	Relativa acumulada
1,90	0	0,5	2	0	0,00	0
1,20	0,5	1		0	0,00	0,00
	1	1,5		1	50,00	50,00
	1,5	2		1	50,00	100,00
	2	2,5		0	0,00	100,00
	2,5	3		0	0,00	100,00
	3	3,5		0	0,00	100,00
	3,5	4		0	0,00	100,00
	4	4,5		0	0,00	100,00
	4,5	5		0	0,00	100,00
	5	5,5		0	0,00	100,00
	5,5	6		0	0,00	100,00
	6	6,5		0	0,00	100,00
	6,5	7		0	0,00	100,00
	7	7,5		0	0,00	100,00
	7,5	8		0	0,00	100,00
	8	8,5		0	0,00	100,00
		>14	0	0,00	100,00	
				2	100,00	

Tabla 166. Índices de forma Familia V.

Índices de Forma				
GRANITO Y GRANODIORITA				
Datos		Rangos	IAP frecuencia relativa	IAL frecuencia relativa
13	52	< 35	100,00	0,00
		>35	0,00	100,00
		Total	100	100,00

FAMILIA ALUVIAL
Aluvial Ígneo Metamórfico

Tabla 167. Desgaste AIM.

Desgaste											
ALUVIAL IGNEO METAMORFICO											
Datos	Rangos		No. Datos	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación		
68	0	8	27	0	0,0	0,0	28,41	9,85	0,35		
47	8	12		0	0,0	0,0					
33	12	18		0	0,0	0,0					
32	18	24		9	33,3	33,3					
32	24	30		12	44,4	77,8					
31	30	38		4	14,8	92,6					
30	38	42		0	0,0	92,6					
30	42	48		1	3,7	96,3					
30	48	54		0	0,0	96,3					
30	54	80		1	3,7	100,0					
29	80	96		0	0,0	100,0				Agrupación	%
28				0	0,0					< 30	21
28			0	0,0		30 - 40	4	14,81			
27			Total	27	100	> 40	2	7,41			
27						Total	27				
25											
25											
25											
24											
23											
23											
21											
21											
20											
20											
20											
18											

Tabla 168. Solidez gruesos AIM.

Solidez Gruesos				
ALUVIAL IGNEO METAMORFICO				
Datos	Rangos	No. Datos	Frecuencia	%
0,5	<18	26	26	100,00
0,7	>18		0	0,00
0,9	Total		26	
1				
1,4				
1,4				
1,5				
1,9				
2				
2				
2,2				
2,2				
2,3				
2,7				
3				
3,3				
3,9				
4,7				
5				
5				
5,4				
5,6				
6				
6				
6,6				
7				

Tabla 169. Absorción gravas AIM.

Absorción Gravas						
ALUVIAL IGNEO METAMORFICO						
Datos	Rangos		No. Datos	Frecuencia		
				Absoluta	Relativa Acumulada	Relativa acumulada %
0,69	0	0,5	30	0	0,00	0
0,78	0,5	1		10	33,33	33,33
0,80	1	1,5		14	46,67	80,00
0,82	1,5	2		2	6,67	86,67
0,86	2	2,5		2	6,67	93,33
0,92	2,5	3		0	0,00	93,33
0,92	3	3,5		2	6,67	100,00
0,99	3,5	4		0	0,00	100,00
1,00	4	4,5		0	0,00	100,00
1,00	4,5	5		0	0,00	100,00
1,02	5	5,5		0	0,00	100,00
1,07	5,5	6		0	0,00	100,00
1,13	6	6,5		0	0,00	100,00
1,15	6,5	7		0	0,00	100,00
1,19	7	7,5		0	0,00	100,00
1,19	7,5	8		0	0,00	100,00
1,19	8	8,5		0	0,00	100,00
1,20		>14		0	0,00	100,00
1,21				30	100,00	
1,21						
1,22						
1,35						
1,38						
1,38						
1,73						
1,73						
2,27						
2,48						
3,18						
3,50						

Tabla 170. Absorción arenas AIM.

Absorción Arenas						
ALUVIAL IGNEO METAMORFICO						
Datos	Rangos		No. Datos	Frecuencia		
				Absoluta	Relativa Acumulada	Relativa acumulada %
0,26	0	0,5	26	3	11,54	0
0,32	0,5	1		2	7,69	19,23
0,35	1	1,5		14	53,85	73,08
0,59	1,5	2		7	26,92	100,00
1,00	2	2,5		0	0,00	100,00
1,04	2,5	3		0	0,00	100,00
1,05	3	3,5		0	0,00	100,00
1,06	3,5	4		0	0,00	100,00
1,10	4	4,5		0	0,00	100,00
1,10	4,5	5		0	0,00	100,00
1,10	5	5,5		0	0,00	100,00
1,24	5,5	6		0	0,00	100,00
1,29	6	6,5		0	0,00	100,00
1,33	6,5	7		0	0,00	100,00
1,33	7	7,5		0	0,00	100,00
1,33	7,5	8		0	0,00	100,00
1,40	8	8,5		0	0,00	100,00
1,41		>14		0	0,00	100,00
1,50				26	100,00	
1,54						
1,60						
1,68						
1,73						
1,79						
1,85						
1,88						

Tabla 171. Índices de forma AIM.

Índices de Forma				
ALUVIAL IGNEO METAMORFICO				
Datos		Rangos	IAP %	IAL %
11	10	< 35	92,00	42,31
14	20	>35	8,00	57,69
15	23	Total	100	100,00
18	23			
18	25			
19	26			
20	29			
21	30			
21	31			
22	31			
22	34			
22	36			
24	36			
25	37			
26	37			
26	37			
30	37			
30	39			
30	39			
30	41			
32	43			
33	46			
35	46			
42	47			
69	48			
	57			

FAMILIA ALUVIONES

ALUVIAL SEDIMENTARIO

Tabla 174. Desgaste AS.

Desgaste												
ALUVIAL SEDIMENTARIO												
Datos	Rangos		No. Datos	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación			
32	0	8	12	0	0,0	0,0	36,92	7,62	0,21			
26	8	12		0	0,0	0,0						
29	12	18		0	0,0	0,0						
30	18	24		0	0,0	0,0						
31	24	30		2	16,7	16,7						
36	30	38		5	41,7	58,3						
36	38	42		1	8,3	66,7						
39	42	48		3	25,0	91,7						
44	48	54		1	8,3	100,0						
45	54	80		0	0,0	100,0						
46	80	96		0	0,0	100,0				Agrupación		%
49				0	0,0					< 30	2	16,67
				0	0,0					30 - 40	6	50,00
			Total	12	100	> 40	4	33,33				
						Total	12					

Tabla 175. Solidez gruesos AS.

Solidez Gruesos				
ALUVIAL SEDIMENTARIO				
Datos	Rangos	No. Datos	Frecuencia absoluta	% frecuencia relativa
0,5	<18	26	26	100,00
0,7	>18		0	0,00
0,9	Total		26	
1				
1,4				
1,4				
1,5				
1,9				
2				
2				
2,2				
2,2				
2,3				
2,7				
3				
3,3				
3,9				
4,7				
5				
5				
5,4				
5,6				
6				
6				
6,6				
7				

Tabla 176. Absorción gruesos familia AS.

Absorción Gravas						
ALUVIAL SEDIMENTARIO						
Datos	Rangos		No. Datos	Frecuencia		
				Absoluta	Relativa Acumulada	Relativa acumulada %
0,69	0	0,5	30	0	0,00	0
0,78	0,5	1		10	33,33	33,33
0,80	1	1,5		14	46,67	80,00
0,82	1,5	2		2	6,67	86,67
0,86	2	2,5		2	6,67	93,33
0,92	2,5	3		0	0,00	93,33
0,92	3	3,5		2	6,67	100,00
0,99	3,5	4		0	0,00	100,00
1,00	4	4,5		0	0,00	100,00
1,00	4,5	5		0	0,00	100,00
1,02	5	5,5		0	0,00	100,00
1,07	5,5	6		0	0,00	100,00
1,13	6	6,5		0	0,00	100,00
1,15	6,5	7		0	0,00	100,00
1,19	7	7,5		0	0,00	100,00
1,19	7,5	8		0	0,00	100,00
1,19	8	8,5		0	0,00	100,00
1,20		>14		0	0,00	100,00
1,21				30	100,00	
1,21						
1,22						
1,35						
1,38						
1,38						
1,73						
1,73						
2,27						
2,48						
3,18						
3,50						

Tabla 177. Índices de forma Familia AS.

Absorción Arenas						
ALUVIAL IGNEO METAMORFICO						
Datos	Rangos		No. Datos	Frecuencia		
				Absoluta	Relativa Acumulada	Relativa acumulada %
0,26	0	0,5	26	3	11,54	0
0,32	0,5	1		2	7,69	19,23
0,35	1	1,5		14	53,85	73,08
0,59	1,5	2		7	26,92	100,00
1,00	2	2,5		0	0,00	100,00
1,04	2,5	3		0	0,00	100,00
1,05	3	3,5		0	0,00	100,00
1,06	3,5	4		0	0,00	100,00
1,10	4	4,5		0	0,00	100,00
1,10	4,5	5		0	0,00	100,00
1,10	5	5,5		0	0,00	100,00
1,24	5,5	6		0	0,00	100,00
1,29	6	6,5		0	0,00	100,00
1,33	6,5	7		0	0,00	100,00
1,33	7	7,5		0	0,00	100,00
1,33	7,5	8		0	0,00	100,00
1,40	8	8,5		0	0,00	100,00
1,41		>14		0	0,00	100,00
1,50				26	100,00	
1,54						
1,60						
1,68						
1,73						
1,79						
1,85						
1,88						

Tabla 178. Índices de forma Familia AS.

Índices de Forma				
ALUVIAL SEDIMENTARIO				
Datos		Rangos	IAP %	IAL %
11	10	< 35	92,00	42,31
14	20	>35	8,00	57,69
15	23	Total	100	100,00
18	23			
18	25			
19	26			
20	29			
21	30			
21	31			
22	31			
22	34			
22	36			
24	36			
25	37			
26	37			
26	37			
30	37			
30	39			
30	39			
30	41			
32	43			
33	46			
35	46			
42	47			
69	48			
	57			

Tabla 179. Adherencia frascos familia AS.

Adherencia Frasco				
ALUVIAL SEDIMENTARIO				
Datos	Rangos	Total	Frecuencia	%
>95	> 95	18	18	100
>95	< 95		0	0
>95			18	
>95				
>95				
>95				
>95				
>95				
>95				

TABLA RESUMEN DE META

Tabla 181. Resumen distribución Meta.

ROCA O GRUPO	No. Datos	Rango	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación
FAMILIA V	2	31-35	33	2,83	0,09
AIM	27	18-68	28,41	9,85	0,35
AIS	12	32-49	36,92	7,62	0,21

ROCA O GRUPO	ADHERENCIA		SOLIDEZ		INDICE DE FORMA		DMA		
	F>95%	B>75%	G<18%	F<18%	IAP<35%	IAL<35%	<30	30-40	>40
FAMILIA V			100		100	0	0	100	0
AIM	100	88,89	100	0	92	42,31	77,78	14,81	7,41
AIS	100	88,89	100				16,67	50	33,33

10. CAPITULO DECIMO PROPUESTA DEL PROGRAMA DE EXPLORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN

La propuesta que a continuación se presenta se fundamenta en el contenido en los capítulos anteriores en relación con la recuperación y análisis de la información conceptual y técnica analizada, y toda la información disponible validada, según lo expuesto.

10.1 RECAPITULACIÓN

En los capítulos del 1 al 3 se relacionan los antecedentes, objetivos y alcances del proyecto de exploración y caracterización de materiales de construcción. Se destaca la investigación sobre materiales de construcción en Colombia entre 1980 y 1989 la cual se consolida en el trabajo de Universidad Nacional de Colombia Castellanos R. N. & Gómez M. V., (1989), el cual permite agrupar los agregados pétreos en siete familias de comportamiento similar y establecer una zonificación de materiales.

En el capítulo 4 se establece la metodología a seguir en la elaboración del programa de exploración y caracterización de materiales a realizar por INGEOMINAS en los próximos años.

En el capítulo 5 se recopila y analiza la información conceptual de interés que cubre los aspectos petrológicos y climáticos de los agregados, así como la documentación técnica directa disponible. Con base en el análisis de la parte conceptual se actualiza el conocimiento sobre los procedimientos para evaluar la resistencia y durabilidad de los agregados. En la parte técnica se compendia nueva información técnica de materiales tanto del nivel nacional como de los departamentos de Meta y Cundinamarca en particular. La evaluación técnica de los materiales en los 3 departamentos citados, hace parte del programa de exploración.

Con base en el estudio piloto de materiales en la Sabana de Bogotá en el capítulo 6 se procede a establecer una guía y formato a ser utilizados por parte de INGEOMINAS en el estudio de exploración y caracterización en los próximos años.

En el capítulo 7 se destaca el ambiente geológico y climático que determina la génesis de los materiales y su comportamiento futuro especialmente en relación con la durabilidad de los agregados pétreos. Se describe en detalle la manera como se

validó la información de calidad de los materiales condensada en el trabajo de la Universidad Nacional de Colombia de Castellanos et al (1989), la cual fue complementada previamente con los resultados de la evaluación de materiales de la zona piloto de la Sabana de Bogotá. Se confirma así mismo la zonificación propuesta para la distribución de los materiales.

En el capítulo 8 se recopila información sobre futuros proyectos de infraestructura y desarrollo en diferentes frentes de la construcción en el nivel requerido para visualizar las zonas estratégicas de demanda de materiales en el país.

En el capítulo 9 se describe la actualización de fuentes de materiales en los departamentos de Cundinamarca, Meta y Boyacá, lo cual hace parte del proyecto de exploración en sí, y permite clarificar los procedimientos y tiempos requeridos en los estudios que se están programando.

Se dispone ahora de una base de datos y mapas preliminares de materiales de los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Meta con una discriminación especial respecto de la resistencia al desgaste ajustándose a tres rangos de calidad: calidad alta, para materiales con desgaste menor del 30%; calidad moderada para materiales con un rango de 30-40% y calidad baja para materiales mayores a 40%.

Toda la información anteriormente comentada en esta recapitulación se considera como el soporte de las actividades subsiguientes del proyecto de exploración y caracterización a realizar por INGEOMINAS en los próximos años.

10.2 PROPUESTA DEL PROGRAMA DE EXPLORACIÓN PARA LOS PROXIMOS 5 AÑOS

Teniendo en cuenta lo expuesto, y el resultado del análisis de demanda descrito en el capítulo anterior, se recomienda continuar en el 2011 los estudios de exploración y caracterización en el Oriente del país cubriendo en una primera etapa los departamentos de Cundinamarca, Meta, Boyacá, Santander, Norte de Santander, Casanare y Arauca. En esta región se realizan actualmente o se estructuran proyectos de trascendencia como la Ruta del Sol, la Ruta de los Comuneros (Zipaquirá – Palenque y zonas metropolitanas de Bucaramanga y Cúcuta) y la Autopista del Llano. Estos proyectos en su conjunto cubren un total de 4005 kilómetros. El caso de Distrito Capital de Bogotá es un caso especial: Concentra para los próximos años un total de 16.000 Km de Corredores viales que demandan un alto volumen de materiales para la construcción de pavimentos y concretos; esto refuerza la prioridad de investigar los materiales en la región de Cundinamarca y departamentos vecinos. (En la Tabla 179 se condensan los proyectos citados).

Para una segunda etapa se recomienda explorar materiales en la región del Caribe donde se concentran los 6 proyectos concesionados de la Costa Atlántica con una longitud de 3.057 Km.

En el más largo plazo se podrían investigar los materiales en los departamentos de Antioquia Caldas y Valle (2012).

Posteriormente otras regiones y proyectos así: 2013 los departamentos de Antioquia, Caldas, Quindío, Risaralda y Valle; 2014 los departamentos de Tolima, Huila y Caquetá y 2015 los departamentos de Cauca, Nariño, Putumayo y otros departamentos con nuevos proyectos.

En la tabla 179 se presenta una síntesis de las regiones a investigar en los próximos 5 años según las prioridades establecidas y se identifican los proyectos particulares que se pueden atender.

10.3 PROYECTO DE EXPLORACIÓN PREVISTO PARA EL AÑO 2011

A continuación se describen las actividades de exploración y caracterización sugeridas para el año 2011, en los Departamentos de Cundinamarca, Meta, Boyacá, Santander, Norte de Santander, Casanare y Arauca.

De acuerdo con el programa general de atención, se recomienda terminar la exploración y caracterización en los Departamentos de Cundinamarca (evaluada ya en un 90%); Meta (evaluado ya en un 60%); Boyacá (listo en un 50%); Santander, Norte de Santander, Casanare y Arauca (por evaluar en su totalidad).

10.3.1 Personal requerido

Para la realización de los estudios de exploración y caracterización el INGEOMINAS debe contar con un coordinador especializado y con experiencia en el tema y un equipo profesional de geólogos e ingenieros capacitados en los procedimientos y técnicas de la ingeniería de materiales, con alguna experiencia en sistemas de información geográfica-SIG, ensayos de calidad y análisis petrográficos. Se requiere tener apoyo de dos auxiliares de ingeniería.



Tabla 182. Proyectos de infraestructura y desarrollo que demandan el suministro de fuentes de materiales según la prioridad de atención recomendada.

AÑO	DEPARTAMENTOS	OBSERVACIONES
2011	CUNDINAMARCA, META, BOYACA, SANTANDER, NORTE DE SANTANDER CASANARE Y ARAUCA	Cubre el oriente del país constituida predominantemente por rocas sedimentarias y rocas cristalinas en Santander. Atiende proyectos importantes como lo son: dentro de las autopistas de competitividad y conectividad la Ruta del Sol, la Ruta de los Comuneros (Zipaquirá – Palenque y zonas metropolitanas de Bucaramanga y Cúcuta) y la Autopista del Llano (4.005 km); la carretera Bogotá – Girardot (120 km) la densa malla vial de Bogotá D. C. (16.000 km); tres proyectos hidro-energéticos en Santander; aeropuertos y proyectos de expansión urbana en general.
2012	CESAR, MAGDALENA Y COSTA ATLANTICA	Atiende Proyectos viales como: trayecto final de la Ruta del Sol; la Autopista de Las Américas/concesiones Córdoba Sucre, Ruta del Caribe, Cartagena Barranquilla, Barranquilla Tasajera, Tasajera Ciénaga Mamatoco y Santa Marta Riohacha Paraguachón, con una longitud de 3.057 kilómetros; puertos de Santa Marta, Cartagena y Barranquilla; aeropuertos y proyectos de extensión urbana del Caribe.
2013	ANTIOQUIA, CALDAS, QUINDIÓ, RISARALDA Y VALLE	Atiende Proyectos de gran importancia como la Ruta de la montaña, Nueva independencia; la carretera Bogotá - Buenaventura y puerto de Buenaventura, proyectos hidro-energéticos, aeropuertos y expansión urbana en estas zonas.
2014	TOLIMA, HUILA Y CAQUETA	Proyectos Hidro - energéticos, corredores viales y Expansión Urbana de la Zona
2015	CAUCA, NARIÑO, PUTUMAYO Y DEPARTAMENTOS CON NUEVOS PROYECTOS	Proyectos Hidro - energéticos, Proyectos de tercera generación como Rumichaca - pasto, Expansión Urbana de la Zona. Y nuevas solicitudes de proyectos futuros.

10.3.2 Actividades previstas de Exploración y Caracterización.

10.3.2.1 Etapa preparatoria

Este equipo profesional debe recoger y analizar la información básica de referencia disponible sobre geología, minería etc. y preparar inicialmente los mapas base que consisten en ubicar las fuentes conocidas en mapas departamentales y preparar tablas de base de datos de calidad en Excel, tomado como fuente el informe de la Universidad Nacional de Castellanos et al (1989); se deben seguir los procedimientos empleados en el estudio preliminar las fuentes de Cundinamarca, Meta y Boyacá (capítulo 9). Los profesionales que participan en el estudio deberán familiarizarse con la génesis de los pétreos, sus características físicas y mecánicas según las solicitudes de calidad de resistencia, durabilidad/solidez, índices de forma, adherencia y demás propiedades índice (capítulos 3 y 5); y conocer además la clasificación de los agregados en 7 familias de comportamiento similar así como la zonificación (capítulos 3 y 7).

Inducción sobre las actividades a realizar en el campo, las cuales consisten en identificar las fuentes con GPS, describirlas con base en el formato que se presenta y explica en el capítulo 6.

10.3.2.2 Programación de actividades de campo

Teniendo en cuenta las zonas a estudiar se deben programar salidas de campo las cuales giran alrededor de tres propósitos: socializar el proyecto, recoger información en las dependencias regionales y caracterizar las fuentes mediante su descripción (formato) y toma de muestras para ensayos índice de micro Deval, Desgaste los Ángeles, Solidez, Absorción, Durabilidad desleimiento y otros según se programe.

Es muy conveniente, tal como se hizo en 2009 y 2010, establecer contactos iniciales con las entidades y empresas que se vinculan al proyecto.

Se recomienda establecer dos frentes de trabajo:

Frente 1: Santander, Norte de Santander y Arauca; Frente 2: Cundinamarca, Boyacá, Meta y Casanare.

Las actividades de campo comprenden una primera visita de inducción y socialización de una semana que involucra solicitud de información secundaria en las regiones. Esta primera visita se podría realizar a finales de febrero.

Cada grupo llevara a cabo dos visitas de campo para toma de muestras con duración de 20 días cada una. Estas dos visitas se podrían realizar:

La segunda del primero al veinte de abril y la tercera del primero al veinte de julio.

Los ensayos de laboratorio deben hacerse intercalados con las visitas de campo y dejar los meses de octubre, noviembre y diciembre para consolidar los resultados.

10.3.2.3 Realización de Ensayos de propiedades índice y análisis petrográficas macro y micro

Se debe prever oportunamente por parte del INGEOMINAS la manera como se va a cumplir esta actividad tan importante. En parte los ensayos de Desgaste (DMA) y micro Deval se podrían realizar en la entidad dependiendo de que se adecuen los laboratorios de ensayos y se cuente con el personal requerido para realizar esta tarea.

10.3.2.4 Análisis y transferencia de resultados

En forma coordinada con la participación de todo el grupo de trabajo.

10.3.2.5 Fomento a la investigación

10.3.2.6 Creación de la base de datos

Esta actividad requiere una gestión de alto nivel que permita involucrar a todas las entidades involucradas de una u otra forma en estudios

10.3.2.7 Informe

11. CAPÍTULO ONCE CONCLUSIONES

- Dentro del proyecto SUB 09-25 Exploración de Materiales de Construcción en el año de 2010 se adelantaron varias actividades previas a la iniciación en firme del proyecto de exploración y caracterización.
- En relación con la información conceptual se recopiló y analizó la información disponible sobre el tema de los materiales de construcción. El principal aporte se relaciona con la necesidad de revisar los procedimientos de ingeniería de materiales (ensayos y otros) para evaluar la resistencia y durabilidad de las rocas introduciendo nuevos conceptos y ensayos índice como el micro Deval y los índices climáticos.
- Para fortalecer la actualización de conocimientos se realizó un curso-seminario con la participación de expertos internacionales en el cual se trataron entre otros los temas de durabilidad y reacción álcali –sílica.
- Para complementar la actividad de capacitación se promovió la redacción de un manual preliminar sobre análisis petrográficos.
- Se estableció una guía y formato para la identificación y caracterización de las fuentes de materiales a ser utilizados en el proyecto de exploración que se propone realizar el INGEOMINAS.
- Se logró establecer la distribución de los agregados pétreos usados como materiales de construcción de pavimentos, concretos y otras obras de ingeniería en el país, dándole validez a la clasificación y zonificación en el país de las fuentes de materiales, propuestas en investigaciones realizadas a través de proyectos de grado y posgrado por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia el período 1980-1989. La información correspondiente fue complementada a través del proyecto.

-
- En virtud de la zonificación establecida se destaca la escasez de materiales de buena calidad en la Cordillera Oriental de Colombia, lo cual afecta los proyectos de carreteras y otros en los Departamentos de Cundinamarca, Meta, Santander, Norte de Santander, Casanare y Arauca, y en menor grado la región del Caribe.
 - Con base en el análisis de datos sobre proyectos de infraestructura y desarrollo a realizarse en los próximos años, se logró establecer las zonas demanda y sus prioridades.
 - Se logró establecer un programa de exploración y caracterización a realizarse en los próximos 5 años, el cual considera las actividades de oficina, campo y laboratorio requeridas,
 - Se recomienda iniciar el programa de exploración y caracterización en el próximo año de 2011, en los departamentos de Cundinamarca, Meta, Boyacá, Santander, Casanare y Arauca.

12. BIBLIOGRAFÍA

- ASTM-C295 (2008) Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete.
- Barrero D. et al 2007, Colombian Sedimentary Basins: nomenclatura, Boundaries, and Geology, a New Proposal; Agencia Nacional de Hidrocarburos.
- British Standards Institution. BSI- 1.951 Curvas Acumulativas de distribución de valores de desgaste y agrupación de rocas por calidad.
- E. J. Tarbuck. F. K. Lutgens, (2005) Ciencias de la Tierra , pp 402
- Geol. Soc. Eng. Geol, S. R. N 17, Aggregates (2001) ed. Por Smith & Collins.
- Geología del Departamento de Cundinamarca, Ingeominas (1999). Por Acosta J. y Ulloa C.
- Geología del Departamento de Boyacá, Ingeominas (1999). Por Acosta J., Solano O. y Rodríguez A.
- Geología del Departamento del Meta, Ingeominas (2002). Por Rodriguez A.
- Krynine D. P. And JUDD W. R. (1980) Principios de Geología y Geotecnia para Ingenieros pp 392- 395.
- Ministerio de Obras Públicas y Transporte (1984) Estudio de Fuentes de Materiales para Construcción y Conservación de Carreteras.
- Restrepo J. J. y Toussait J. F. (1988) Terranes and Continental Accretion in the Colombian Andes Episodes, 11, pp 189-193
- UNAL, Geol, J. Montero-Olarte (1980) Clasificación Petrológica de agregados para pavimentos, Tesis de posgrado en Geotecnia.
- UNAL, Castellanos, R. N., y Gómez, M. V., (1989) Evaluación del Potencial de Fuentes de Materiales en la Red Vial Nacional y Estudio de Demanda.
- West. T. R. (1995) Geology Applied To Engineering pp 92-93.