

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS.....	3
LISTA DE TABLAS	12
LISTA DE FOTOS.....	16
LISTA DE PLANOS	17
LISTA DE ANEXOS.....	18
LISTA DE ADENDOS	19
 3 DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DEL ÁREA DE INFLUENCIA.....	 3.1-1
 3.1 ÁREAS DE INFLUENCIA	 3.1-1
3.1.1 Componente abiótico	3.1-1
3.1.1.1 Área de Influencia Directa.....	3.1-1
3.1.1.2 Área de Influencia Indirecta	3.1-2
3.1.2 Componente biótico	3.1-2
3.1.2.1 Área de influencia Directa.....	3.1-2
3.1.2.2 Área de Influencia Indirecta	3.1-3
3.1.3 Componente social.....	3.1-4
3.1.3.1 Área de Influencia Directa.....	3.1-4
3.1.3.2 Área de Influencia Indirecta	3.1-7
 3.2 DESCRIPCIÓN DEL MEDIO ABIÓTICO.....	 3.2-8
3.2.1 Geología	3.2-8
3.2.1.1 Área de Influencia Directa (AID)	3.2-9
3.2.1.2 Área de Influencia Indirecta (AID).....	3.2-28
3.2.2 Geomorfología.....	3.2-42
3.2.2.1 Morfogénesis.....	3.2-42
3.2.2.2 Morfografía.....	3.2-45
3.2.2.3 Morfodinámica	3.2-46
3.2.2.4 Morfoestructuras	3.2-50
3.2.3 Suelos.....	3.2-50
3.2.3.1 Área de influencia indirecta.....	3.2-50
3.2.3.2 Área de influencia directa del proyecto.....	3.2-65
3.2.3.3 Conflictos en el uso del suelo	3.2-72
3.2.4 Geotecnia	3.2-80
3.2.4.1 Zonificación Geotécnica.....	3.2-81

3.2.4.2	Calificación de amenazas	3.2-84
3.2.4.3	Características geotécnicas del subsuelo en el área del proyecto.....	3.2-88
3.2.5	Hidrología	3.2-91
3.2.5.1	Área de influencia indirecta.....	3.2-91
3.2.5.2	Área de influencia directa	3.2-98
3.2.6	Calidad de agua	3.2-114
3.2.6.1	Metodología	3.2-114
3.2.6.2	Índice de calidad de agua (ISFN)	3.2-120
3.2.6.3	Calidad físico-química y bacteriológica	3.2-131
3.2.6.4	Conclusiones y recomendaciones	3.2-193
3.2.7	Usos y usuarios del agua	3.2-194
3.2.7.1	Usos del Agua.....	3.2-195
3.2.7.2	Usuarios	3.2-197
3.2.7.3	Usos y usuarios legalmente constituidos en la CDMB	3.2-206
3.2.8	Hidrogeología	3.2-206
3.2.8.1	Área de influencia indirecta.....	3.2-206
3.2.8.2	Área de influencia directa	3.2-210
3.2.8.3	Inventario de captaciones de aguas subterráneas	3.2-215
3.2.8.4	Hidrogeoquímica.....	3.2-216
3.2.8.5	Caracterización físico-química de las aguas subterráneas	3.2-220
3.2.8.6	Relación aguas superficiales – aguas subterráneas	3.2-225
3.2.8.7	Modelo hidrogeológico conceptual del área de estudio	3.2-230
3.2.8.8	Modelo numérico hidrogeológico	3.2-232
3.2.9	Componente atmosférico	3.2-246
3.2.9.1	Análisis climatológico en el área del proyecto	3.2-246
3.2.9.2	Calidad del aire	3.2-284
3.2.9.3	Ruido.....	3.2-308

BIBLIOGRAFÍA	3.2-313
---------------------------	----------------

ANEXOS	3.2-319
---------------------	----------------

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.2-1 Columna estratigráfica generalizada	3.2-15
Figura 3.2-2 Caracterización estructural del Área de Influencia Directa –	3.2-16
Figura 3.2-3 Estructuras área de Influencia Directa.....	3.2-17
Figura 3.2-4 Características de las discontinuidades (foliación, planos de cizalla, fracturas)....	3.2-18
Figura 3.2-5 Estereogramas de discontinuidades (Hemisferio Inferior).....	3.2-19
Figura 3.2-6 División de los dominios estructurales aérea del Proyecto.	3.2-20
Figura 3.2-7 Localización de Sistemas de falla principales en el área de influencia.....	3.2-22
Figura 3.2-8 Curva de amenaza recomendada para el proyecto	3.2-24
Figura 3.2-9 Acelerograma FC.....	3.2-26
Figura 3.2-10 Acelerograma FI	3.2-26
Figura 3.2-11 Acelerograma FL	3.2-26
Figura 3.2-12 Formas espectrales en roca para los acelerogramas de diseño.....	3.2-27
Figura 3.2-13 Columna Estratigráfica Unidades A Nivel Regional	3.2-29
Figura 3.2-14 Geología Cuadrángulo H13 INGEOMINAS· Área del Proyecto.....	3.2-30
Figura 3.2-15 Esquema tectónico de Colombia	3.2-39
Figura 3.2-16 Esquema tectónico del Departamento de Santander.....	3.2-39
Figura 3.2-17 Cubrimiento de las categorías de conflicto.....	3.2-78
Figura 3.2-18 Amenazas Geotécnicas Área de Influencia Indirecta Proyecto Angostura.....	3.2-85
Figura 3.2-19 Perfil del subsuelo – Modelo geotécnico adoptado para los análisis	3.2-89
Figura 3.2-20 Distribución de subcuencas en la cuenca del río Surata	3.2-93
Figura 3.2-21 Distribución temporal de la precipitación media mensual en la cuenca del río Vetás.	3.2-98
Figura 3.2-22 Estación río Vetás – Puente Pánega. Curvas de calibración Período 1971-19983.2-100	
Figura 3.2-23 Estación río Vetás – Puente Pánega. Histograma de caudales medios mensuales multianuales. Período 1971 – 2003	3.2-102
Figura 3.2-24 Estación río Vetás – Puente Pánega. Curva de duración de caudales medios diarios. Período 1971 – 2003	3.2-103
Figura 3.2-25 Ajuste Gumbel - Caudales máximos estación río Vetás - Puente Pánega	3.2-106
Figura 3.2-26 Ajuste Log-Pearson tipo III caudales máximos estación río Vetás - Puente Pánega	3.2-106
Figura 3.2-27 Ajuste exponencial - Caudales máximos estación río Vetás - Puente Pánega	3.2-107

Figura 3.2-28 Ajuste Weibull - Caudales mínimos medios estación río Vetás - Puente Pánega. 3.2-108

Figura 3.2-29 Ajuste Gumbel - Caudales mínimos medios estación río Vetás - Puente Pánega. 3.2-109

Figura 3.2-30 Correntómetro SEBA F1 – Características Físicas 3.2-112

Figura 3.2-31 ISFN obtenido en las quebradas Angosturas y La Baja. 3.2-123

Figura 3.2-32 ISFN obtenido en los tributarios de las quebradas Angosturas y La Baja. 3.2-124

Figura 3.2-33 ISFN obtenido en la laguna y quebrada Páez 3.2-125

Figura 3.2-34 ISFN obtenido en los tributarios de la quebrada Páez. 3.2-126

Figura 3.2-35 ISFN obtenido en la quebrada Móngora. 3.2-127

Figura 3.2-36 ISFN obtenido en tributarios de la quebrada Móngora..... 3.2-127

Figura 3.2-37. ISFN obtenido en el río Vetás..... 3.2-128

Figura 3.2-38. ISFN obtenido en el río Suratá. 3.2-129

Figura 3.2-39 ISFN obtenido en la quebrada Romeral - río Cucutilla..... 3.2-130

Figura 3.2-40. ISFN obtenido en la quebrada Romeral - río Cucutilla..... 3.2-131

Figura 3.2-41 Comportamiento de OD, COD, DBO₅ y DQO en la quebrada Angosturas - La Baja (Septiembre – octubre de 2008)..... 3.2-132

Figura 3.2-42 Comportamiento de Oxígeno Disuelto, COD, DBO₅ y DQO en los tributarios de la quebrada Angosturas - La Baja (Septiembre – Octubre de 2008)..... 3.2-133

Figura 3.2-43 Comportamiento de los coliformes totales y fecales. En las quebradas Angosturas - La Baja (Septiembre – octubre de 2008) 3.2-134

Figura 3.2-44 Comportamiento de los coliformes totales y fecales en los tributarios de las quebradas Angosturas - La Baja (Septiembre – Octubre de 2008)..... 3.2-134

Figura 3.2-45 Comportamiento de nitrógeno total Kjeldahl, nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitratos y nitritos en las quebradas Angosturas - La Baja (Septiembre – octubre de 2008)..... 3.2-135

Figura 3.2-46 Comportamiento de nitrógeno total Kjeldahl, nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitratos y nitritos en los tributarios de las quebradas Angosturas - La Baja (Septiembre – Octubre de 2008) 3.2-136

Figura 3.2-47 Comportamiento de fósforo orgánico e inorgánico y ortofosfatos en las quebradas Angosturas - La Baja (Septiembre – octubre de 2008)..... 3.2-137

Figura 3.2-48 Comportamiento de fósforo orgánico e inorgánico y ortofosfatos en los tributarios de las quebradas Angosturas - La Baja (Septiembre – Octubre de 2008) 3.2-137

Figura 3.2-49 Comportamiento de sólidos totales, disueltos, suspendidos y turbiedad en las quebradas Angosturas - La Baja (Septiembre – Octubre de 2008)..... 3.2-138

Figura 3.2-50 Comportamiento de sólidos totales, disueltos, suspendidos y turbiedad en los tributarios de las quebradas Angosturas - La Baja (Septiembre – Octubre de 2008) 3.2-139

Figura 3.2-51 Comportamiento de pH y conductividad en las quebradas Angosturas - La Baja. (Septiembre – Octubre de 2008)..... 3.2-139

Figura 3.2-52 Comportamiento de de pH y conductividad en los tributarios de las quebradas Angosturas - La Baja (Septiembre – Octubre de 2008) 3.2-140

Figura 3.2-53 Comportamiento de acidez total, alcalinidad y dureza total en las quebrada Angosturas - La Baja (Septiembre – octubre de 2008).....	3.2-141
Figura 3.2-54 Comportamiento de acidez total, alcalinidad y dureza total en los tributarios de las quebradas Angosturas - La Baja (Septiembre – Octubre de 2008).....	3.2-141
Figura 3.2-55 Comportamiento de cloruros y sulfatos en las quebradas Angosturas - La Baja (Septiembre – octubre de 2008).....	3.2-143
Figura 3.2-56 Comportamiento de cloruros y sulfatos en los tributarios de las quebradas Angosturas - La Baja (Septiembre – Octubre de 2008).....	3.2-143
Figura 3.2-57 Comportamiento de metales en las quebradas Angosturas - La Baja (Septiembre – octubre de 2008)	3.2-144
Figura 3.2-58 Comportamiento de metales en los tributarios de las quebradas Angosturas - La Baja (Septiembre – Octubre de 2008).....	3.2-144
Figura 3.2-59 Comportamiento de OD, COD, DBO ₅ y DQO en la laguna y quebrada Páez (Septiembre – octubre de 2008).....	3.2-146
Figura 3.2-60 Comportamiento de oxígeno disuelto, COD, DBO ₅ y DQO en los tributarios de la quebrada Páez (Septiembre – Octubre de 2008)	3.2-147
Figura 3.2-61 Comportamiento de los coliformes totales y fecales en la laguna y quebrada Páez (Septiembre – octubre de 2008).....	3.2-148
Figura 3.2-62 Comportamiento de nitrógeno total Kjeldahl, nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitratos y nitritos en la laguna y quebrada Páez (Septiembre – octubre de 2008)	3.2-148
Figura 3.2-63 Comportamiento de nitrógeno total Kjeldahl, nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitratos y nitritos en los tributarios de la quebrada Páez (Septiembre – Octubre de 2008)	3.2-149
Figura 3.2-64 Comportamiento de sólidos totales, disueltos, suspendidos y turbiedad en la laguna y quebrada Páez (Septiembre – Octubre de 2008)	3.2-150
Figura 3.2-65 Comportamiento de sólidos totales, disueltos, suspendidos y turbiedad en los tributarios de la quebrada Páez (Septiembre – Octubre de 2008)	3.2-150
Figura 3.2-66 Comportamiento de pH y conductividad en la laguna y quebrada Páez (Septiembre – Octubre de 2008)	3.2-151
Figura 3.2-67 Comportamiento de de pH y conductividad en los tributarios de la quebrada Páez (Septiembre – Octubre de 2008).....	3.2-151
Figura 3.2-68 Comportamiento de acidez total, alcalinidad y dureza total en la laguna y quebrada Páez (Septiembre – octubre de 2008)	3.2-152
Figura 3.2-69 Comportamiento de acidez total, alcalinidad y dureza total en los tributarios de la quebrada Páez (Septiembre – Octubre de 2008)	3.2-153
Figura 3.2-70 Comportamiento de cloruros y sulfatos en la laguna y quebrada Páez (Septiembre – octubre 2008)	3.2-154
Figura 3.2-71 Comportamiento de cloruros y sulfatos en los tributarios de la quebrada Páez (Septiembre – Octubre de 2008).....	3.2-154
Figura 3.2-72 Comportamiento de metales en la laguna y quebrada Páez (Septiembre – octubre de 2008)	3.2-155

Figura 3.2-73 Comportamiento de metales en los tributarios de la quebrada Páez (Septiembre – octubre de 2008)	3.2-155
Figura 3.2-74 Comportamiento de OD, COD, DBO ₅ y DQO en la quebrada Móngora (Septiembre – octubre de 2008)	3.2-157
Figura 3.2-75 Comportamiento de oxígeno disuelto, COD, DBO ₅ y DQO en los tributarios de la quebrada Móngora (Septiembre – octubre de 2008)	3.2-157
Figura 3.2-76 Comportamiento de los coliformes totales y fecales en la quebrada Móngora (Septiembre – octubre de 2008).....	3.2-158
Figura 3.2-77 Comportamiento de los coliformes totales y fecales en los tributarios de la quebrada Móngora (Septiembre – octubre de 2008)	3.2-158
Figura 3.2-78 Comportamiento de nitrógeno total Kjeldahl, nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitratos y nitritos en la quebrada Móngora (Septiembre – octubre de 2008).....	3.2-159
Figura 3.2-79 Comportamiento de nitrógeno total Kjeldahl, nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitratos y nitritos en los tributarios de la quebrada Móngora (Septiembre – octubre de 2008)	3.2-160
Figura 3.2-80 Comportamiento de fósforo orgánico e inorgánico y ortofosfatos en la quebrada Móngora (Septiembre – octubre de 2008)	3.2-160
Figura 3.2-81 Comportamiento de fósforo orgánico e inorgánico y ortofosfatos en los tributarios de la quebrada Móngora (Septiembre – octubre de 2008)	3.2-161
Figura 3.2-82 Comportamiento de sólidos totales, disueltos, suspendidos y turbiedad en la quebrada Móngora (Septiembre – Octubre de 2008)	3.2-161
Figura 3.2-83 Comportamiento de sólidos totales, disueltos, suspendidos y turbiedad en los tributarios de la quebrada Móngora (Septiembre – octubre de 2008)	3.2-162
Figura 3.2-84 Comportamiento de pH y conductividad en la quebrada Móngora (Septiembre – octubre de 2008)	3.2-162
Figura 3.2-85 Comportamiento de de pH y conductividad en los tributarios de la quebrada Móngora. (Septiembre – octubre de 2008).....	3.2-163
Figura 3.2-86 Comportamiento de acidez total, alcalinidad y dureza total en la quebrada Móngora (Septiembre – octubre de 2008).....	3.2-164
Figura 3.2-87 Comportamiento de acidez total, alcalinidad y dureza total en los tributarios de la quebrada Móngora (Septiembre – octubre de 2008)	3.2-164
Figura 3.2-88 Comportamiento de cloruros y sulfatos en la quebrada Móngora (Septiembre – octubre de 2008)	3.2-165
Figura 3.2-89 Comportamiento de cloruros y sulfatos en los tributarios de la quebrada Móngora (Septiembre – octubre de 2008).....	3.2-165
Figura 3.2-90 Comportamiento de metales en la quebrada Móngora (Septiembre – octubre de 2008)	3.2-166
Figura 3.2-91 Comportamiento de metales en los tributarios de la quebrada Móngora (Septiembre – octubre de 2008)	3.2-166
Figura 3.2-92 Comportamiento de OD, COD, DBO ₅ y DQO en los ríos Vetás y Suratá (Septiembre – octubre de 2008)	3.2-168

Figura 3.2-93 Comportamiento de los Coliformes totales y fecales en los ríos Vetás y Suratá (Septiembre – octubre de 2008).....	3.2-168
Figura 3.2-94 Comportamiento de nitrógeno total Kjeldahl, nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitratos y nitritos en los ríos Vetás y Suratá (Septiembre – octubre de 2008).....	3.2-169
Figura 3.2-95 Comportamiento de fósforo orgánico, inorgánico y ortofosfatos en los ríos Vetás y Suratá (Septiembre – octubre de 2008).....	3.2-170
Figura 3.2-96 Comportamiento de sólidos totales, disueltos, suspendidos y turbiedad en los ríos Vetás y Suratá (Septiembre – Octubre de 2008)	3.2-171
Figura 3.2-97 Comportamiento de pH y conductividad en los ríos Vetás y Suratá (Septiembre – octubre de 2008)	3.2-171
Figura 3.2-98 Comportamiento de acidez total, alcalinidad y dureza total en los ríos Vetás y Suratá (Septiembre – octubre de 2008).....	3.2-172
Figura 3.2-99 Comportamiento de cloruros y sulfatos en los ríos Vetás y Suratá (Septiembre – octubre de 2008)	3.2-173
Figura 3.2-100 Comportamiento de metales en los ríos Vetás y Suratá. (Septiembre – octubre de 2008)	3.2-173
Figura 3.2-101 Comportamiento de OD, COD, DBO ₅ y DQO en la quebrada Romeral - río Cucutilla (Septiembre – octubre de 2008).....	3.2-175
Figura 3.2-102 Comportamiento de Oxígeno Disuelto, COD, DBO ₅ y DQO en los tributarios de la quebrada Romeral - río Cucutilla (Septiembre – Octubre de 2008)	3.2-175
Figura 3.2-103 Comportamiento de los coliformes totales y fecales en la quebrada Romeral - río Cucutilla (Septiembre – octubre de 2008).....	3.2-176
Figura 3.2-104 Comportamiento de los coliformes totales y fecales en los tributarios de la quebrada Romeral - río Cucutilla (Septiembre – Octubre de 2008).....	3.2-177
Figura 3.2-105 Comportamiento de nitrógeno total Kjeldahl, nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitratos y nitritos en la quebrada Romeral - río Cucutilla (Septiembre – octubre de 2008)	3.2-177
Figura 3.2-106 Comportamiento de nitrógeno total Kjeldahl, nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitratos y nitritos en los tributarios de la quebrada Romeral - río Cucutilla (Septiembre – Octubre de 2008)	3.2-178
Figura 3.2-107 Comportamiento de fósforo orgánico e inorgánico y ortofosfatos en la quebrada Romeral - río Cucutilla (Septiembre – octubre de 2008)	3.2-179
Figura 3.2-108 Comportamiento de fósforo orgánico e inorgánico y ortofosfatos en los principales tributarios de la quebrada Romeral - río Cucutilla (Septiembre – Octubre de 2008).....	3.2-179
Figura 3.2-109 Comportamiento de sólidos totales, disueltos, suspendidos y turbiedad en la quebrada Romeral - río Cucutilla (Septiembre – Octubre de 2008)	3.2-180
Figura 3.2-110 Comportamiento de sólidos totales, disueltos, suspendidos y turbiedad en los tributarios de la quebrada Romeral - río Cucutilla (Septiembre – Octubre de 2008).....	3.2-181
Figura 3.2-111 Comportamiento de pH y conductividad en la quebrada Romeral - río Cucutilla (Septiembre – Octubre de 2008).....	3.2-181
Figura 3.2-112 Comportamiento de de pH y conductividad en los tributarios de la quebrada Romeral - río Cucutilla (Septiembre – Octubre de 2008).....	3.2-182

Figura 3.2-113 Comportamiento de acidez total, alcalinidad y dureza total en la quebrada Romeral - río Cucutilla (Septiembre – octubre de 2008)	3.2-183
Figura 3.2-114 Comportamiento de acidez total, alcalinidad y dureza total en los tributarios de la quebrada Romeral - río Cucutilla (Septiembre – Octubre de 2008)	3.2-183
Figura 3.2-115 Comportamiento de cloruros, sulfatos y sulfuros en la quebrada Romeral - río Cucutilla (Septiembre – octubre de 2008).....	3.2-184
Figura 3.2-116 Comportamiento de cloruros, sulfatos y sulfuros en los tributarios de la quebrada Romeral - río Cucutilla (Septiembre – Octubre de 2008).....	3.2-185
Figura 3.2-117 Comportamiento de metales en la quebrada Romeral - río Cucutilla (Septiembre – octubre de 2008)	3.2-185
Figura 3.2-118 Comportamiento de metales en los tributarios de la quebrada Romeral y río Cucutilla (Septiembre – Octubre de 2008).....	3.2-186
Figura 3.2-119 Comportamiento de OD, COD, DBO ₅ y DQO en los túneles la Perezosa y Veta de Barro (Septiembre – octubre de 2008).....	3.2-187
Figura 3.2-120 Comportamiento de los coliformes totales y fecales en los túneles la Perezosa y Veta de Barro (Septiembre – octubre de 2008)	3.2-188
Figura 3.2-121 Comportamiento de nitrógeno total Kjeldahl, nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitratos y nitritos en los túneles La Perezosa y Veta de Barro (Septiembre – octubre de 2008)	3.2-189
Figura 3.2-122 Comportamiento de fósforo orgánico e inorgánico y ortofosfatos en los túneles La Perezosa y Veta de Barro (Septiembre – octubre de 2008)	3.2-189
Figura 3.2-123 Comportamiento de sólidos totales, disueltos, suspendidos y turbiedad en los túneles La Perezosa y Veta de Barro (Septiembre – octubre de 2008)	3.2-190
Figura 3.2-124 Comportamiento de pH y conductividad en los túneles La Perezosa y Veta de Barro (Septiembre – octubre de 2008).....	3.2-190
Figura 3.2-125 Comportamiento de acidez total, alcalinidad y dureza total en los túneles La Perezosa y Veta de Barro (Septiembre – octubre de 2008)	3.2-191
Figura 3.2-126 Comportamiento de cloruros, sulfatos y sulfuros en los túneles La Perezosa y Veta de Barro (Septiembre – octubre de 2008).....	3.2-192
Figura 3.2-127 Comportamiento de metales en los Túneles La Perezosa y Veta de Barro (Septiembre – octubre de 2008).....	3.2-193
Figura 3.2-128 Diagrama de Cajas en Piezómetros.....	3.2-221
Figura 3.2-129 Diagrama de Cajas. Túnel La Perezosa.....	3.2-223
Figura 3.2-130 Diagrama de Cajas. Aguas Superficiales	3.2-225
Figura 3.2-131 Diagrama Piper	3.2-226
Figura 3.2-132 Diagrama Cl+SO ₄ - Na+k.....	3.2-227
Figura 3.2-133 Diagrama HCO ₃ +SO ₄ - Fe+Mg	3.2-228
Figura 3.2-134 Diagrama SO ₄ - TDS.....	3.2-229
Figura 3.2-135 Distribución espacial de las zonas hidrogeológicas modeladas para la mina de oro Angostura.	3.2-234

Figura 3.2-136 Configuración de la red del modelo numérico en celdas de 50 metros cuadrados y detalle de las quebradas utilizadas como condición de frontera tipo río.	3.2-236
Figura 3.2-137 Calibración del modelo numérico en estado estacionario, relación de los niveles estáticos y calculados.	3.2-238
Figura 3.2-138 Estación Pluviométrica Vetás El Pozo. Histograma de Precipitación Mensual Multianual. Período 1971 - 2003	3.2-248
Figura 3.2-139 Estación Climatológica Ordinaria Los Laches. Histograma de Precipitación Mensual Multianual. Período 1971 - 2003.....	3.2-248
Figura 3.2-140 Estación Pluviométrica La Lora. Histograma de Precipitación Mensual Multianual. Período 1971 - 2003	3.2-249
Figura 3.2-141 Estación Pluviométrica Povedas. Histograma de Precipitación Mensual Multianual. Período 1971 - 2003	3.2-250
Figura 3.2-142 Estación Climatológica Ordinaria Berlín. Histograma de Precipitación Mensual Multianual. Período 1971 - 2003	3.2-250
Figura 3.2-143 Estación Pluviométrica Miraflores. Histograma de Precipitación Mensual Multianual. Período 1971 - 2003	3.2-251
Figura 3.2-144 Estación Pluviométrica Tona. Histograma de Precipitación Mensual Multianual. Período 1971 - 2003	3.2-252
Figura 3.2-145 Estación Climatológica Ordinaria Cachirí. Histograma de Precipitación Mensual Multianual. Período 1971 - 2003	3.2-252
Figura 3.2-146 Estación Climatológica Ordinaria Vivero Suratá. Histograma de Precipitación Mensual Multianual. Período 1971 - 2003	3.2-253
Figura 3.2-147 Estación Pluviométrica Huerta Grande. Histograma de Precipitación Mensual Multianual. Período 1971 - 2003	3.2-254
Figura 3.2-148 Estación Pluviométrica Matajira. Histograma de Precipitación Mensual Multianual. Período 1971 - 2003.....	3.2-254
Figura 3.2-149 Estación Pluviométrica La Caldera. Histograma de Precipitación Mensual Multianual. Período 1971 - 2003	3.2-255
Figura 3.2-150 Estación Agrometeorológica Iser Pamplona. Histograma de Precipitación mensual multianual. Período 1971 - 2003	3.2-256
Figura 3.2-151 Estación Pluviométrica Cucutilla. Histograma de Precipitación Mensual Multianual. Período 1971 - 2003.....	3.2-256
Figura 3.2-152 Estación Pluviométrica Arboledas. Histograma de Precipitación Mensual Multianual. Período 1971 - 2003	3.2-257
Figura 3.2-153 Estaciones Climatológicas Zona de Proyecto. Variación de la temperatura media anual con la elevación.....	3.2-258
Figura 3.2-154 Estación Climatológica Ordinaria Los Laches. Histograma Temperatura media mensual multianual. Período 2005 - 2007.....	3.2-259
Figura 3.2-155 Estación Climatológica Ordinaria Berlín. Histograma Temperatura media mensual multianual. Período 1969 - 2006.	3.2-261

Figura 3.2-156 Estación Climatológica Ordinaria Cachirí. Histograma Temperatura media mensual multianual. Período 1972 – 2006.	3.2-262
Figura 3.2-157 Estación Climatológica Ordinaria Vivero Suratá. Histograma Temperatura media mensual multianual. Período 1969 – 2006.....	3.2-263
Figura 3.2-158 Estación Climatológica Ordinaria La Esperanza. Histograma Temperatura media mensual multianual. Período 1973 – 2006.....	3.2-264
Figura 3.2-159 Estación Climatológica Ordinaria H.J.C. GJA. Histograma Temperatura media mensual multianual. Período 1995 – 1999.....	3.2-265
Figura 3.2-160 Estación Climatológica Ordinaria Silos. Histograma Temperatura media mensual multianual. período 1976 – 2006.....	3.2-265
Figura 3.2-161 Estación Climatológica Ordinaria Berlín. Histograma Evaporación media mensual multianual. Período 1979 – 2006.	3.2-266
Figura 3.2-162 Estación Climatológica Ordinaria Cachirí. Histograma Evaporación media mensual multianual. Período 1972 – 2006.	3.2-267
Figura 3.2-163 Estación Climatológica Ordinaria Vivero Suratá. Histograma Evaporación media mensual multianual. Período 1972 – 2006.....	3.2-268
Figura 3.2-164 Estación Climatológica Ordinaria Silos. Histograma Evaporación media mensual multianual. Período 1973 – 1985.	3.2-268
Figura 3.2-165 Estación Climatológica Ordinaria Los Laches. Histograma Humedad relativa media mensual multianual. Período 2005 – 2007.....	3.2-269
Figura 3.2-166 Estación Climatológica Ordinaria Berlín. Histograma Humedad Relativa media mensual multianual. Período 1969 – 2006.....	3.2-270
Figura 3.2-167 Estación Climatológica Ordinaria Cachirí. Histograma Humedad Relativa Media Mensual Multianual. Período 1972 – 2006.....	3.2-270
Figura 3.2-168 Estación Climatológica Ordinaria Vivero Suratá. Histograma Humedad Relativa media mensual multianual. Período 1970 – 2006.....	3.2-272
Figura 3.2-169 Estación Climatológica Ordinaria La Esperanza. Histograma Humedad Relativa media mensual multianual. Período 1979 – 2006.....	3.2-273
Figura 3.2-170 Estación Climatológica Ordinaria H.J.C. GJA. Histograma humedad relativa media mensual multianual. Período 1995 – 1999.....	3.2-274
Figura 3.2-171 Estación Climatológica Ordinaria Silos. Histograma Humedad Relativa media mensual multianual. Período 1979 – 2006.....	3.2-275
Figura 3.2-172 Estación Climatológica Ordinaria Los Laches. Distribución Porcentual del Viento. Período 2005 – 2008.	3.2-276
Figura 3.2-173 Estación Climatológica Ordinaria Los Laches. Histograma Velocidad del viento media mensual multianual. Período 2005 – 2008.....	3.2-277
Figura 3.2-174 Esquema del Balance Hídrico	3.2-279
Figura 3.2-175 Curva hipsométrica cuenca del río Vetás.....	3.2-280
Figura 3.2-176 Evapotranspiración Potencial vs Elevación. Estaciones climatológicas Berlín, Cachirí y vivero Suratá	3.2-281
Figura 3.2-177 Cuenca río vetas. Relación Precipitación – Caudal mes de enero.	3.2-284

Figura 3.2-178 Equipo Hi Vol	3.2-288
Figura 3.2-179 Equipo muestreador de gases Graseby Andersen.....	3.2-288
Figura 3.2-180 Concentración de partículas suspendidas totales.	3.2-293
Figura 3.2-181 Concentración de partículas suspendidas totales.	3.2-294
Figura 3.2-182 Concentración de partículas suspendidas totales.	3.2-295
Figura 3.2-183 Concentración de partículas suspendidas totales.	3.2-295
Figura 3.2-184 Concentración de partículas menores a 10 micras.	3.2-296
Figura 3.2-185 Concentración de partículas menores a 10 micras.	3.2-297
Figura 3.2-186 Concentración de partículas menores a 10 micras.	3.2-298
Figura 3.2-187 Concentración de partículas menores a 10 micras.	3.2-299
Figura 3.2-188 Concentración de óxidos de azufre (SO ₂)	3.2-301
Figura 3.2-189 Concentración de óxidos de nitrógeno (NO _x)	3.2-303
Figura 3.2-190 Concentración de óxidos de nitrógeno (NO _x)	3.2-304
Figura 3.2-191 Concentración de óxidos de nitrógeno (NO _x)	3.2-305
Figura 3.2-192 Concentración de óxidos de nitrógeno (NO _x)	3.2-306
Figura 3.2-193 Monitoreo de ruido ambiental - día hábil	3.2-311
Figura 3.2-194 Monitoreo de ruido ambiental - día festivo	3.2-312

LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1-1 Veredas y cabeceras municipales del área de influencia directa afectadas por el proyecto.....	3.1-5
Tabla 3.1-2 Entidades territoriales del área de influencia indirecta que podrían afectarse por el proyecto.....	3.1-7
Tabla 3.2-1 Fuentes principales de Sismos en el área de influencia.....	3.2-21
Tabla 3.2-2 Parámetros de fuentes.....	3.2-22
Tabla 3.2-3 Valores de amenaza para el proyecto	3.2-23
Tabla 3.2-4 Acelerogramas de diseño para eventos de la Fuente cercana, de la Fuente Intermedia y fuente lejana	3.2-25
Tabla 3.2-5 Geomorfología área de Influencia del proyecto Angostura	3.2-42
Tabla 3.2-6 Unidades Genéticas de relieve Area del Proyecto Angostura.....	3.2-43
Tabla 3.2-7 Categorías Plano de pendientes.....	3.2-45
Tabla 3.2-8. Distribución de pendientes Área Proyecto Angosturas	3.2-46
Tabla 3.2-9 Categorías en la pirámide taxonómica a las que pertenecen los suelos que componen el mosaico edáfico de la región.....	3.2-52
Tabla 3.2-10 Descripción de las unidades cartográficas que conforman el mapa de suelos del área de estudio	3.2-54
Tabla 3.2-11 Extensiones de las consociaciones y fases de suelos presentes en las áreas de influencia indirecta, directa y afectada por obras de infraestructura.....	3.2-60
Tabla 3.2-12 Clasificación agrológica en la zona de estudio.....	3.2-62
Tabla 3.2-13 Extensión de la clasificación agrológica en el área de influencia indirecta (All), directa (AID) y afectada por obras de infraestructura	3.2-63
Tabla 3.2-14 Observaciones de los suelos durante el trabajo realizado en campo	3.2-66
Tabla 3.2-15 Descripción de suelos modales identificados durante el trabajo de campo.....	3.2-67
Tabla 3.2-16 Apreciación Textural en condiciones de campo y de laboratorio.	3.2-70
Tabla 3.2-17. Características físicas y químicas de los suelos en el área de influencia inmediata del Proyecto Angostura	3.2-71
Tabla 3.2-18. Características químicas (complejo de cambio, Fósforo) de los suelos en el área de influencia inmediata del Proyecto Angostura	3.2-71
Tabla 3.2-19 Categorías de conflicto para el área de estudio	3.2-74
Tabla 3.2-20 Distribución Tierras Sin Conflicto y/o Subutilizadas (TSC).....	3.2-79
Tabla 3.2-21 Distribución Tierras en Conflicto Bajo (TCB)	3.2-79
Tabla 3.2-22 Distribución Tierras en Conflicto Medio (TCM).....	3.2-80
Tabla 3.2-23 Distribución Tierras en Conflicto Alto o Sobreutilizadas (TCA)	3.2-80
Tabla 3.2-24 Evaluación de amenazas, factores geológicos, litología	3.2-81

Tabla 3.2-25 Calificación unidades litoestratigráficas proyecto Angostura	3.2-82
Tabla 3.2-26 Influencia de la estructura geológica en la evaluación de amenazas	3.2-83
Tabla 3.2-27 Influencia de factores morfométricos, pendientes	3.2-83
Tabla 3.2-28 Evaluación de amenazas factores ambientales usos y cobertura.....	3.2-83
Tabla 3.2-29 Evaluación de amenazas, factores ambientales, precipitación	3.2-84
Tabla 3.2-30 Calificación de amenazas por deslizamientos Proyecto Angostura	3.2-85
Tabla 3.2-31 Caracterización Geomecánica estática y dinámica para análisis.....	3.2-90
Tabla 3.2-32 Principales subcuencas del municipio de Bucaramanga.....	3.2-91
Tabla 3.2-33 Principales características morfométricas de la cuenca del río Surata	3.2-92
Tabla 3.2-34 Áreas de drenaje y precipitación media de la cuenca hasta las estaciones fluviométricas y sitios de proyecto.....	3.2-95
Tabla 3.2-35 Factores de Thiessen. Cuenca hidrográfica río Vetás.....	3.2-96
Tabla 3.2-36 Río Vetás. Serie de Precipitación Media Mensual generada a partir de la metodología de Thiessen (mm).	3.2-96
Tabla 3.2-37 Sistema de lagunas del río Vetás	3.2-98
Tabla 3.2-38 Estación río Vetás – Puente Pánega. Serie de caudales medios mensuales. Período 1971 – 2003 (m ³ /s).	3.2-101
Tabla 3.2-39 Valores característicos de la curva de duración de caudales medios diarios. Estación río Vetás – Puente Pánega.	3.2-103
Tabla 3.2-40 Rendimientos y caudal calculados en las microcuencas y sitios de interés de la zona de Proyecto.	3.2-104
Tabla 3.2-41 Resultados del análisis estadístico de caudales para diferentes períodos de retorno	3.2-105
Tabla 3.2-42 Datos de caudal mínimo medio de la serie de caudales medios diarios.....	3.2-107
Tabla 3.2-43 Resultados del análisis estadístico de caudales mínimos para diferentes períodos de retorno	3.2-108
Tabla 3.2-44 Resumen de resultados - transporte de sólidos en suspensión	3.2-113
Tabla 3.2-45 Resumen de resultados transporte de sedimentos de fondo	3.2-114
Tabla 3.2-46 Listado de puntos de muestreo para caracterización física, química y bacteriológica	3.2-116
Tabla 3.2-47 Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos determinados en cada punto de muestreo.....	3.2-119
Tabla 3.2-48 Valor asignado a cada variable de acuerdo a su importancia relativa.	3.2-121
Tabla 3.2-49 Clasificación de la calidad del agua según el IFSN.....	3.2-121
Tabla 3.2-50. Resultados del IFSN en las quebradas Angosturas y La Baja.	3.2-122
Tabla 3.2-51. Resultados del IFSN en los tributarios de las quebradas Angosturas y La Baja.	3.2-124
Tabla 3.2-52. Resultados del IFSN en la laguna y quebrada Páez.	3.2-125

Tabla 3.2-53. Resultados del IFSN en los tributarios de la quebrada Páez.	3.2-125
Tabla 3.2-54. Resultados del IFSN en la quebrada Móngora.	3.2-126
Tabla 3.2-55. Resultados del IFSN en los tributarios de la quebrada Móngora.	3.2-127
Tabla 3.2-56. Resultados del IFSN en el río Vetás.	3.2-128
Tabla 3.2-57. Resultados del IFSN en el río Suratá.	3.2-129
Tabla 3.2-58. Resultados del IFSN en la quebrada Romeral - río Cucutilla.	3.2-129
Tabla 3.2-59. Resultados del IFSN en la quebrada Romeral - río Cucutilla.	3.2-130
Tabla 3.2-60 Georeferenciación acueducto Páez.	3.2-195
Tabla 3.2-61 Georeferenciación acueducto San Antonio de Padua.	3.2-195
Tabla 3.2-62 Resumen de usos y usuarios identificados en campo.	3.2-205
Tabla 3.2-63 Dotación neta según el Nivel de Complejidad del Sistema.	3.2-205
Tabla 3.2-64 Parámetros Geohidráulicos de las Principales Unidades Hidrogeológicas del Área del Proyecto Angostura Obtenidos a Través de Pruebas de Bombeo.	3.2-214
Tabla 3.2-65 Inventario de Captaciones de Aguas Subterráneas en el Área del Proyecto Angostura.	3.2-216
Tabla 3.2-66 Resultados analíticos de muestras de agua en el área del proyecto Angostura.	3.2-218
Tabla 3.2-67 Clasificación Geoquímica de las Aguas Subterráneas Provenientes de los Piezómetros.	3.2-220
Tabla 3.2-68 Clasificación Geoquímica de las Aguas Subterráneas Provenientes del Túnel La Perezosa.	3.2-222
Tabla 3.2-69 Clasificación Geoquímica de las Aguas Superficiales.	3.2-224
Tabla 3.2-70 Unidades Hidrogeológicas Conceptualizadas en el Área del Proyecto Angostura ...	3.2-231
Tabla 3.2-71 Zonas hidrogeológicas conceptualizadas en el modelo numérico hidrogeológico.	3.2-234
Tabla 3.2-72 Caudal de aporte en l/s de las unidades hidrogeológicas que estarán más influenciadas por la apertura del tajo de explotación a cielo abierto.	3.2-240
Tabla 3.2-73 Balance del flujo de agua subterránea para la simulación del tajo minero en la Fase 1.	3.2-242
Tabla 3.2-74 Balance del flujo de agua subterránea para la simulación del tajo minero en la Fase 2.	3.2-243
Tabla 3.2-75 Balance del flujo de agua subterránea para la simulación del tajo minero en la Fase 3.	3.2-243
Tabla 3.2-76 Balance del flujo de agua subterránea para la simulación del tajo minero en la Fase 4.	3.2-244
Tabla 3.2-77 Estaciones climatológicas y de precipitación en la zona de estudio.	3.2-246
Tabla 3.2-78 Parámetros climatológicas en las estaciones hidrometeorológicas de la zona de estudio.	3.2-247
Tabla 3.2-79 Velocidad del viento predominante. Estación climatológica Los Laches.	3.2-276

Tabla 3.2-80 Balance hídrico en la cuenca del río vetas hasta la estación Puente Pánega (Valores en mm)	3.2-282
Tabla 3.2-81 Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio	3.2-290
Tabla 3.2-82 Normas locales de calidad del aire	3.2-291
Tabla 3.2-83 Estación 1 – Antena Comcel. Concentración de partículas suspendidas totales	3.2-292
Tabla 3.2-84 Estación 2 – Casco urbano del municipio de California. Concentración de partículas suspendidas totales	3.2-293
Tabla 3.2-85 Estación 3 – Casco urbano del municipio de Surata. Concentración de partículas suspendidas totales	3.2-294
Tabla 3.2-86 Casco urbano del municipio de Vetos. Concentración de partículas suspendidas totales	3.2-295
Tabla 3.2-87 Estación 1 – Antena Comcel. Concentración de partículas menores a 10 micras....	3.2-296
Tabla 3.2-88 Estación 2 – Casco urbano del Municipio de California. Concentración de partículas menores a 10 micras	3.2-297
Tabla 3.2-89 Estación 3 – Casco urbano del Municipio de Surata. Concentración de partículas menores a 10 micras	3.2-298
Tabla 3.2-90 Casco urbano del Municipio de Vetos. Concentración de partículas menores a 10 micras	3.2-299
Tabla 3.2-91 Estación 1 – Antena Comcel. Concentración de SO ₂	3.2-300
Tabla 3.2-92 Estación 2 – Casco urbano del Municipio de California. Concentración de SO ₂	3.2-300
Tabla 3.2-93 Estación 3 – Casco urbano del Municipio de Surata. Concentración de SO ₂	3.2-301
Tabla 3.2-94 Casco urbano del Municipio de Vetos. Concentración de SO ₂	3.2-302
Tabla 3.2-95 Estación 1 – Antena Comcel. Concentración de NO _x	3.2-302
Tabla 3.2-96 Estación 2 – Casco urbano del municipio de California. Concentración de NO _x	3.2-303
Tabla 3.2-97 Estación 3 – Casco urbano del municipio de Surata. Concentración de NO _x	3.2-304
Tabla 3.2-98 Casco urbano del municipio de Vetos. Concentración de NO _x	3.2-305
Tabla 3.2-99 Características de los puntos de muestreo de ruido ambiental.....	3.2-308
Tabla 3.2-100 Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental expresados en decibeles dB(A)	3.2-310
Tabla 3.2-101 Resumen de resultados – monitoreo de ruido ambiental	3.2-311

LISTA DE FOTOS

Foto 3.2-1 Neis de Bucaramanga	3.2-10
Foto 3.2-2 Rocas Ígneas Túnel La Perezosa y Túnel Veta de Barro	3.2-13
Foto 3.2-3 Procesos erosivos identificados área del Embalse de El Salado.....	3.2-48
Foto 3.2-4 Deslizamiento Mayo 17 de 2006, entrada proyecto Angostura.....	3.2-49
Foto 3.2-5 Derrumbe Mayo 17de 2006, vía California – Proyecto Angostura.	3.2-49
Foto 3.2-6 Fuentes de agua monitoreadas	3.2-110
Foto 3.2-7 Sección típica aforo por vadeo	3.2-111
Foto 3.2-8 Muestreador de sedimentos en suspensión US DH- 48	3.2-113
Foto 3.2-9 Vertimiento de basuras en la quebrada Chica Agua (antes de su desembocadura en la quebrada La Baja)	3.2-123
Foto 3.2-10 Sistema de trituración del material aurífero	3.2-196
Foto 3.2-11 Sistema artesanal en la obtención de oro y plata.....	3.2-196
Foto 3.2-12 Usos del agua en agricultura y ganadería	3.2-197
Foto 3.2-13 Quebrada La Perezosa	3.2-198
Foto 3.2-14 Vereda Angosturas - El Portillo.....	3.2-198
Foto 3.2-15 Vereda Angosturas - Caño La Bodega.....	3.2-199
Foto 3.2-16 Vereda Angosturas - El Tigre	3.2-199
Foto 3.2-17 Vereda Angosturas - La Tigra.....	3.2-200
Foto 3.2-18 Vereda La Baja – Molino triturador de material	3.2-200
Foto 3.2-19 Vereda La Baja - San Juan.....	3.2-201
Foto 3.2-20 Vereda La Baja - El Posito.....	3.2-202
Foto 3.2-21 Vereda La Baja - Parte Urbana	3.2-202
Foto 3.2-22 Vereda Agua Limpia	3.2-203
Foto 3.2-23 Municipio de California	3.2-203
Foto 3.2-24 Municipio de Matanza.....	3.2-204

LISTA DE PLANOS

PL-MA-LOC-001	Localización del proyecto
PL-MA-AIFB-001	Áreas de Influencia Indirecta – Directa componente físico y biótico
PL-MA-AIDS-002	Área de Influencia Directa – componente social
PL-MA-AIIS-003	Área de Influencia Indirecta – componente social
PL-MA-GEO-001	Geología regional
PL-MA-GEO-002	Geomorfología
PL-MA-GEO-003	Plano de pendientes
PL-MA-SUE-001	Tipos de suelo
PL-MA-SUE-002	Mapa de capacidad de uso y manejo de tierras
PL-MA-SUE-003	Mapa de conflictos de uso del suelo
PL-MA-GEOT-001	Plano de amenazas
PL-MA-HID-001	Localización de estaciones hidrometeorológicas, cuencas hidrográficas e isoyetas de precipitación
PL-MA-HID-002	Localización de estaciones hidrometeorológicas, cuencas hidrográficas y polígonos de Thiessen
PL-MA-CAGUA-001	Ubicación puntos de muestreo físico químico, bacteriológico e hidrobiológico
PL-MA-HGEO-001	Mapa Hidrogeológico
PL-MA-HGEO-002	Caracterización hidrogeológica del Área de Influencia Directa del proyecto
PL-MA-HGEO-003	Localización de puntos de agua subterránea
PL-MA-CAIRE-001	Ubicación de puntos de monitoreo de calidad de aire y medición de ruido ambiental

LISTA DE ANEXOS

Anexo 3.2.1	SUELOS.....	3.2-320
Anexo 3.2.2	HIDROLOGÍA.....	3.2-323
Anexo 3.2.3	CALIDAD DE AGUA	3.2-333
Anexo 3.2.4	USOS Y USUARIOS DEL AGUA	3.2-338
Anexo 3.2.5	HIDROGEOLOGÍA.....	3.2-342
Anexo 3.2.6	CLIMA	3.2-344
Anexo 3.2.7	RUIDO.....	3.2-349

LISTA DE ADENDOS

Adendo 3.1 Continuación de los estudios de línea Base Ambiental y Social del Proyecto Aurífero Angostura, Departamento de Santander. Informe de calidad de agua_Año 2009

Adendo 3.2 Estudio de Línea Base Ambiental Embalse El Salado

3 DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DEL ÁREA DE INFLUENCIA

3.1 ÁREAS DE INFLUENCIA

La determinación del área de influencia del proyecto implica definir el alcance espacial y temporal de los impactos que puede causar el proyecto en el ambiente físico (geomorfología, geotecnia, suelo, agua y aire), biótico (flora y fauna) y en el entorno socio-económico y en las manifestaciones culturales.

Esta determinación debe tener en cuenta la identificación precisa de las actividades que serán desarrolladas durante las diferentes etapas del proyecto: construcción, operación, cierre y post-cierre.

3.1.1 Componente abiótico

3.1.1.1 Área de Influencia Directa

Se define como Área de Influencia Directa – AID el espacio donde se ubicará la infraestructura física del Proyecto Angostura; incluye todas las instalaciones e infraestructura, así como los procesos y actividades que generarán impactos directos al ambiente durante las diferentes etapas del proyecto. El AID incluye los siguientes componentes: tajo de explotación, escombrera, acopios de material y zonas de préstamo, pilas de lixiviación, planta de procesos e infraestructura asociada, vías de acceso, presa y embalse para abastecimiento de agua y campamentos. Adicionalmente se considera el espacio físico afectado por la dispersión, hasta un nivel correspondiente al 60% de la norma vigente, de material particulado y gases, y la zona en que se percibe la afectación cualitativa y cuantitativa de corrientes de agua superficiales y subterráneas, durante la apertura y desarrollo del tajo, intervención de cuencas por el desarrollo de las pilas, construcción de la escombrera y embalse, uso del recurso hídrico para los procesos industriales, etc.

Con base en los anteriores criterios, el área de influencia directa incluye:

Microcuencas de las quebradas Angosturas, Páez, parte alta de la quebrada La Baja, microcuencas de la quebrada Móngora, La Plata y el Salado.

Sus límites físicos son:

Hacia el norte y nororiente, el límite superior de la divisoria de la cuenca del río Vetás.

Hacia el suroriente, la divisoria de aguas de la quebrada El Salado afluente del río Vetás.

Hacia el sur cauce de aguas del río Vetás.

Hacia el noroccidente divisoria de aguas de la quebrada Angosturas hasta la confluencia con la quebrada La Baja, continuando por la divisoria de aguas de la quebrada Móngora hasta la confluencia con el río Vetás.

3.1.1.2 Área de Influencia Indirecta

El Área de Influencia Indirecta – All corresponde a la zona que podría ser afectada:

- Por la dispersión de contaminantes en menor escala derivada de la operación minera, del flujo vehicular por el uso de las vías industriales y por la erosión eólica de áreas expuestas como el tajo, la escombrera, zonas de préstamo y pilas de lixiviación.
- La afectación en menor escala de drenajes naturales y flujos de aguas superficiales por aporte de sedimentos y sustancias químicas que eventualmente puedan migrar de los sistemas de contención como pozas y pilas.

Se debe tener en cuenta que las divisorias de cuencas dentro del área del proyecto representan una barrera física que distribuye el agua y que también limita el transporte de contaminantes por aire y agua.

Bajo este criterio, el área de influencia indirecta está limitada por:

El norte por la parte alta de las microcuencas de las quebradas Romeral, Crucecitas y Cruz de Lata en la cuenca del río Cucutilla.

Hacia el suroriente divisoria de aguas de la quebrada El Salado afluente del río Vetás.

Hacia el sur divisoria de aguas de la cuenca del río Vetás.

Hacia el occidente la cuenca del río Vetás y su confluencia con el Suratá y cauce del río Suratá hasta la toma del acueducto de Bucaramanga.

3.1.2 Componente biótico

3.1.2.1 Área de influencia Directa

El área de influencia directa corresponde a los espacios físicos, ocupados por ecosistemas que serán alterados por actividades del proyecto en su composición, estructura y dinámica.

Los criterios utilizados para la definición del área son:

- Ecosistemas intervenidos por obras y actividades del proyecto en los que se disminuya su extensión, y se alteren las cantidades y cualidades de elementos constitutivos (organismos y elementos abióticos como el microclima, el material de suelo, la disponibilidad de agua, entre otros); de manera que se presenten impactos como: remoción de cobertura vegetal y suelo, pérdida de hábitats (zonas de alimentación, de refugio, de reproducción y de desarrollo) y alteración de redes tróficas.
- Ecosistemas interrumpidos por obras y actividades del proyecto, disminuyendo las posibilidades de intercambio de materia y energía, y flujo genético, poniendo en riesgo su dinámica y por ende su funcionamiento “normal”; de forma que se manifiesten impactos como: pérdida o alteración de hábitats (zonas de desplazamiento, alimentación, cría, desarrollo), reducción de tamaños poblacionales (vegetación y fauna), fragmentación de corredores biológicos y alteración de redes tróficas.
- Ecosistemas alterados en su funcionamiento normal por obras y actividades del proyecto (ruido, luz, material particulado, sedimentos, entre otros) creando condiciones adversas para poblaciones y especies de flora y fauna sensibles y para pobladores que hacen uso de los recursos; en los que se encuentran impactos del tipo: alteración de la estructura y composición

de ecosistemas acuáticos y terrestres, alteración de la calidad y cantidad de las aguas, alteración de redes tróficas.

Con base en los anteriores criterios, el área de influencia directa incluye:

Microcuencas de las quebradas Angosturas, Páez, parte de la quebrada La Baja, microcuenca de la quebrada Móngora, microcuenca de las quebradas La Plata y el Salado. Las coberturas vegetales presentes en los pisos bioclimáticos Páramo y Subpáramo en el norte de la Serranía de Santurbán desde la microcuenca El Salado.

De acuerdo con los mismos criterios, el área de influencia directa está limitada por:

Al norte parte alta de las microcuencas de las quebradas Romeral, Crucecitas y Cruz de Lata en la cuenca del río Cucutilla.

Hacia el suroriente divisoria de aguas del río Vetás.

Hacia el sur franja paralela a 200 m de la vía de acceso al proyecto.

Hacia el occidente límite inferior del piso bioclimático Altoandino (cota 2800 msnm).

Sus comunidades hidrobiológicas recibirán los posibles impactos relacionados con pérdida de hábitats y modificaciones de calidad y cantidad del agua.

3.1.2.2 Área de Influencia Indirecta

El área de influencia indirecta corresponde a las áreas de ecosistemas que son alterados en su actual funcionamiento normal por la modificación de sus interacciones con ecosistemas adyacentes al AID, con los que conforman una estructura funcional amplia producto de procesos evolutivos compartidos, como los ocurridos en la llamada unidad biogeográfica de Santurbán.

Los ecosistemas presentes en esta zona recibirán los posibles impactos de manera indirecta, en cuanto a:

1. Alteración de los tamaños poblacionales de sus especies
2. Alteración de redes tróficas
3. Fragmentación de corredores biológicos
4. Modificaciones en la calidad del agua

El área de influencia está delimitada de la siguiente forma:

Al norte por la parte alta de las microcuencas de las quebradas Romeral, Crucecitas y Cruz de Lata en la cuenca del río Cucutilla.

Hacia el suroriente, por la divisoria de aguas del río Vetás.

Hacia el sur, por la divisoria de aguas de la cuenca del río Vetás.

Hacia el occidente, por la cuenca del río Vetás y su confluencia con el Suratá y cauce del río Suratá hasta la toma del acueducto de Bucaramanga.

3.1.3 Componente social

El área de influencia social comprende las áreas hasta donde se pueden extender los efectos de las actividades que implica el Proyecto Auroargentífero Angostura y está determinada por las unidades territoriales cuyas condiciones sean modificadas o alteradas por el Proyecto.

Los cambios en las unidades territoriales que se presentan como resultado de los efectos del proyecto, son los impactos que éste genera en la dinámica social, económica, política, organizativa y cultural de sus grupos de población.

Las modificaciones resultantes pueden darse de manera concentrada y están asociados a los efectos ocasionados por actividades directas, que se realizan en sitios específicos como son: la explotación del tajo minero, las pilas de lixiviación, plantas de proceso, instalaciones de operación, reservorio de agua, áreas de disposición de materiales, vías industriales y de acceso al proyecto, y otras instalaciones requeridas.

Otros impactos pueden abarcar un espacio mayor y extenderse por varias entidades jurídico-administrativas y alcanzar grupos de población que tengan relación con las áreas involucradas, estando localizados en sectores más distantes de la zona directa de intervención. Todas las zonas que resulten afectadas por alguna condición determinan el área de influencia y la manera de referirlas es determinando las unidades territoriales específicas: sea en la vereda como unidad mínima o directa o como perteneciente a una unidad territorial mayor como un municipio, provincia o región.

Para definir las áreas de influencia del Proyecto Auroargentífero Angostura, se determinaron los siguientes criterios:

- Zonas de intervención directa del proyecto, ya sea por afectaciones o modificaciones en su territorio o en sus dinámicas socioeconómicas, vinculadas a las unidades territoriales, de las instalaciones del proyecto, forman el área de influencia directa.
- Zonas de impacto directo del proyecto, que requieren modificaciones en su territorio, para implementación del proyecto, componen el área de influencia directa.
- Zonas aledañas al proyecto que se puedan ver afectadas o que sean percibidas por las comunidades o autoridades como zonas de posible afectación, constituyen el área de influencia indirecta.

3.1.3.1 Área de Influencia Directa

En el área de influencia directa se incluyen las veredas que serán afectadas por las obras y actividades del Proyecto.

En consecuencia se identificaron las seis veredas del Municipio de California: Angosturas, La Baja, Centro, Cerrillos, Santa Úrsula y Pantanos, y su cabecera municipal, dado que en este municipio se encuentra el yacimiento del mineral y será el primero en recibir los impactos positivos o negativos, generados durante las diferentes etapas del Proyecto.

El Municipio de Surata porque es el centro poblado más cercano y de mejor acceso al Proyecto y porque será el lugar que ayude a amortiguar el fenómeno migratorio que se dará especialmente en

la etapa de construcción para la que se calcula se requerirá de aproximadamente 1500 trabajadores (se espera que al menos 1000 de ellos sean provistos por las poblaciones cercanas). Del municipio de Suratá se define como área de influencia directa la cabecera municipal y las veredas San Francisco, Nueva Vereda, Palchal, Báchiga, Pánega y Santa Bárbara por la proximidad a la vía principal que conduce de Bucaramanga hasta el Proyecto siendo esta la única vía de gran importancia.

El Municipio de Vetas se toma con la totalidad de sus veredas, es decir, Móngora, Chorrera, Ortigón, Chopo, Borrero y El Salado y la cabecera municipal, por requerirse para zonas de depósito, reservorio y otras obras y la proximidad al municipio de California, por la obra de ampliación de la carretera Vetas-Berlín, y porque se espera que también aporte al total de mano de obra requerida tanto en la construcción como en la operación.

Del municipio de Tona, también hace parte del Área de Influencia Directa el Corregimiento de Berlín y las veredas Alizal, Tembladal y Cuestaboba por ser en estas veredas por donde pasa la carretera que constituye el ingreso principal al área del Proyecto.

Del municipio de Matanza, se determina la cabecera municipal, por ser centro posible de recepción de población, y las veredas El Salado, La Playa y la Quejera por el corredor vial para el Proyecto.

En el Tabla 3.1-1 se presenta el resumen de las veredas y cabeceras municipales del área de influencia directa afectadas por el proyecto:

Tabla 3.1-1 Veredas y cabeceras municipales del área de influencia directa afectadas por el proyecto

Área	Posibles efectos
Por el tajo minero, pilas de lixiviación, plantas de proceso, y otra infraestructura asociada Municipio California	Incomodidades o riesgos a la población aledaña. Cambio en el uso del suelo. Alteración de evidencias arqueológicas coloniales y prehispánicas. Generación de expectativas Generación de empleo Afectación de la calidad del aire y del agua
• Vereda Angosturas	
Por la construcción de depósito de estériles Municipio Vetas	
• Vereda Móngora	Afectación de la bocatoma del acueducto de la quebrada El Salado Generación de expectativas Generación de empleo Afectación de la calidad del aire y del agua
Por la construcción del reservorio de agua, campamentos y otras obras anexas Municipio Vetas	
• Vereda El Salado	Incremento de ingresos municipales Cambios en la dinámica política del municipio Alteración en la organización social y comunitaria
Por la construcción del reservorio de agua Municipio Vetas	
• Vereda Borrero	Alteración en la dinámica económica Cambios culturales por tipo de vinculación de mano de obra para el proyecto Generación de expectativas Generación de empleo
Municipio de California	
Municipio de California	
• Vereda Angostura	
• Vereda La Baja	
• Vereda Centro	
• Vereda Cerrillos	
• Vereda Pantanos	

Área	Posibles efectos
Vereda Santa Úrsula	
Municipio de Vetás - Vereda Móngora - Vereda El Salado - Vereda Borrero - Vereda Ortegón - Vereda Chopo - Vereda Centro	Alteración en la dinámica económica Cambios culturales por tipo de vinculación de mano de obra para el proyecto Generación de expectativas Generación de empleo
Cabecera municipal de: - Municipio de California - Municipio de Vetás - Municipio de Suratá - Municipio de Matanza - Corregimiento de Berlín del municipio de Tona	Presión migratoria Cambios en la economía local Posible incremento de conflictos Posible afectación a la seguridad ciudadana Alteración de las condiciones de salubridad Generación de expectativas Generación de empleo
Por corredores viales 100m a cada margen de los corredores viales de: Municipio de Tona - Vereda Tembladal - Vereda Alizal - Vereda Cuestaboba Municipio de Suratá - Vereda San Francisco - Nueva Vereda - Vereda Palchal - Vereda Báchiga - Vereda Bucaré - Vereda Pánega - Vereda Santa Bárbara Municipio de Matanza - Vereda El Salado - Vereda La Playa - Vereda Ovejera	Posible afectación a predios e infraestructura por paso de maquinaria y vehículos pesados y aumento de tránsito. Posible incremento de accidentalidad

3.1.3.2 Área de Influencia Indirecta

La definición del Área de Influencia Indirecta se realiza a partir de la identificación de las zonas en que se ubica el Proyecto Auroargentífero Angostura, desde la cobertura de los ámbitos departamental y municipal, sobre los cuales se considera que se puedan llegar a presentar impactos indirectos del mismo.

En este sentido, el ámbito departamental corresponde a Santander, por el desarrollo del proyecto en su jurisdicción, el ámbito municipal corresponde a los municipios Matanza, Charta, California, Vetás, Suratá y Tona de la Provincia de Soto Norte y al municipio de Cucutilla de Norte de Santander por estar muy cerca del desarrollo del proyecto, y el municipio de Bucaramanga por ser el polo de desarrollo de la región.

A continuación en el Tabla 3.1-2 se presentan las entidades territoriales del área de influencia indirecta que podrán ser afectadas en su dinámica socioeconómica, política, organizativa y cultural por el proyecto.

Tabla 3.1-2 Entidades territoriales del área de influencia indirecta que podrían afectarse por el proyecto

Área	Posibles efectos
Departamento Santander	Interés regional Regalías Dinámica socioeconómica
De la Provincia Soto Norte: Municipios - California - Vetas - Suratá- zona rural - Matanza - Tona Los municipios Vetás y California están definidos como área de influencia directa	Inmediaciones del proyecto, expectativas por regalías, oferta de empleo e impactos ambientales. Para los municipios de Suratá, Vetás y Tona, desestímulo de actividades agropecuarias por oferta de empleo en el proyecto. Para los municipios de California y Vetás, restricción minera por controles y obligaciones ambientales, o competencia por el uso del suelo con la concesión minera. Desarrollo desigual de las unidades territoriales
Charta	Expectativas por regalías, oferta de empleo y efectos ambientales.
Bucaramanga	Oferta de bienes y servicios para el proyecto, transporte de insumos, materiales y equipos.
Departamento Norte de Santander Municipio de Cucutilla	Inmediaciones del proyecto, parque regional Sisavita, expectativas por empleo, efectos ambientales y regalías, afectación del Páramo de Santurbán.

En el plano PL-MA-AIFB-001 desde el punto de vista físico-biótico, y en los planos PL-MA-AIDS-002 y PL-MA-AIIS-003 se muestra el área de influencia directa y el área de influencia indirecta del proyecto Angostura desde el punto de vista social. Desde el punto de vista físico-biótico se ha tomado la envolvente máxima obtenida según los criterios utilizados en la definición de las respectivas áreas.

3.2 DESCRIPCIÓN DEL MEDIO ABIÓTICO

3.2.1 Geología

La subcuenca del río Vetás asiento geográfico del proyecto, es una cuenca intermontana geológicamente localizada entre las cuencas sedimentarias de Maracaibo y del Valle Medio del Magdalena Medio, que tienen como basamento el denominado Macizo de Santander localizado al oriente de la falla de Bucaramanga y al occidente del sistema de fallas de Servitá y Chitagá, en la cordillera oriental de Colombia. El proyecto Angostura se sitúa en el sector norte de la subcuenca del río Vetás y al occidente de la Falla de Cucutilla; su área de influencia indirecta incluye además de la subcuenca hasta la confluencia del río Vetás con el río Surata la microcuenca de la quebrada Corral de Piedra limitada al Noroccidente por la Cuchilla de Monsalve (Ver plano PL-MA-GEO-001).

El principal rasgo geológico en el área de influencia indirecta lo constituyen los cerros de composición ígneo metamórfica y el sistemas de fallas de dirección sur norte que los separan y afectan principalmente a las rocas ígneo metamórficas del macizo de Santander. Los procesos geomorfológicos antiguos principales corresponden a los flujos de escombros y lodos producto de los deshielos procedentes del páramo de Berlín, que conformaron los depósitos de morrenas y las terrazas fluvio glaciares y/o coluvio aluviales, colgadas, que se encuentran en las zonas altas de las quebradas Angosturas, Páez, Móngora y El Salado y que se extienden en las márgenes de las quebradas La Baja, Móngora y del río Vetás principalmente en la confluencia de las quebradas.

Las rocas más antiguas cartografiadas en este sector de la subcuenca del río Vetás pertenecen a las formaciones neís de Bucaramanga y Silgará que conforman el llamado Macizo de Santander y su edad se remonta al Precámbrico, y afloran en toda el área de influencia. La erosión de estas unidades en las orogenias jurásicas originó los depósitos molásicos que conformaron finalmente las rocas de las formaciones Jordán y Girón. Es importante aclarar que durante estas orogenias es evidente la actividad de las fallas que permite explicar la ausencia de los estratos de la formación Girón causados por el movimiento relativo de los bloques localizados al oriente y occidente de la falla del río Suratá.

Después de este levantamiento y como consecuencia de la Orogenia Alpina el área fue sumergida en gran parte y el mar cretáceo generó depósitos de rocas con espesores cercanos a los 3.000 metros. Estos depósitos cretáceos se adelgazan hacia el oriente, donde el macizo sirvió como dintel a este mar cretáceo permitiendo entradas del océano al este, desde la provincia de García Rovira por el lado del golfo de Maracaibo.

El hecho de que el macizo fuese borde de esta cuenca sedimentaria hace que las rocas sedimentarias cretáceas (Formaciones: Tambor, Rosablanca, Paja y Tablazo) que afloran hacia el sector occidental en la parte baja de la microcuenca Corral de piedra y hacia la margen derecha del río Vetás en el sector del casco urbano de California, tengan cambios faciales y espesores diferentes a los reportados por la literatura geológica de las cuencas sedimentarias del Valle Medio del Magdalena Medio y Catatumbo; por esta razón se dificulta una correlación “*en sensus strictus*” de estas unidades.

A finales del terciario y principios del cuaternario se presentaron levantamientos considerables del bloque localizado al este de la falla de Bucaramanga, a esta actividad tectónica reciente se pueden asociar los sistemas de fallas Transversales a las fallas de orientación sur-norte que afectan principalmente a las rocas cretáceas, los deshielos glaciares generaron algunos depósitos de morrenas principalmente el de las quebradas Angosturas, Páez, Móngora, El Salado, Agua tendida, Piedrahilada y Cuntas aguas debajo de los cuales se encuentran pequeñas terrazas

coluvio - aluviales entre las que se destacan las terrazas coluvio aluviales de Móngora y el de la quebrada La Baja.

Son comunes en toda el área venas de cuarzo, filones mineralizados y bandas de minerales arcillosos, epidota, sericita y clorita en zonas de alteración.

La mineralización está asociada a fluidos hidrotermales asociados a un sistema tipo pórfido, que encontraron como roca caja los neises de la formación neis de Bucaramanga y los intrusivos ácidos de edad jura-triásico. La edad de la mineralización se ha considerado como terciaria o más reciente.

El control estructural de la mineralización es importante, formando trenes estructurales de orientación noreste asociados al sistema de fallas de la quebrada La Baja - La Honda- Angosturas, Móngora – Romeral y La Perezosa y este oeste de la quebrada Páez y Venaderos, donde las vetillas, venas y bandas mineralizadas contienen la mineralización de oro y plata.

3.2.1.1 Área de Influencia Directa (AID)

3.2.1.1.1 Unidades litológicas

En el área de influencia directa afloran rocas metamórficas del precámbrico y paleozoico, rocas ígneas principalmente del jurasico y depósitos no consolidados recientes.

- **Rocas metamórficas de alto grado Neis de Bucaramanga**

- Paraneis (pDb pDbh)

Son rocas metamórficas de origen sedimentario, constituyen las rocas más antiguas que afloran en el territorio santandereano y presentan alto y medio grado de metamorfismo de tipo dinamo-térmico regional. Consta de una secuencia de paraneises cuarzofeldespáticos, hornbléndicos, micáceos y granatíferos y cantidades subordinadas de anfibolitas, migmatitas, cuarcitas, mármoles y esporádicamente granulitas, presentan un aspecto bandeado y masivo, sin conservar una distribución uniforme dentro del área.

Se ha clasificado como un neis hornbléndico-biotítico de grano medio a grueso, está constituido por plagioclasas (40-60%), hornblenda (10-26%), biotita (5-15%) y cuarzo (10-20%).

Esta unidad metamórfica es la roca de mayor importancia por cubrir un alto porcentaje del área total y ser en ella donde se emplazan la gran cantidad de cuerpos félsicos enriquecidos a partir de las discontinuidades dadas por el patrón estructural que esta presenta. Su reconocimiento en campo se dificulta por las alteraciones hidrotermales que enmascaran la roca; en afloramiento se encuentra bastante oxidada con patinas de hematita, limonita e ilmenita producto de la oxidación de sulfuros.

En el sector donde se tiene proyectado el tajo (zona de explotación de mineral) a cielo abierto para explotación, se han identificado varios afloramientos asociados a esta unidad como el neis biotítico-hornbléndico, observable sobre la vías a Veta de Barro y a Los Laches, clasificada como una roca de facie anfibolita, estructura néisica, textura lepidoblastica, melanocrática, con bandas de 1mm de

anfíboles, cuarzo y micas alargadas y deformes con alteración sericítica moderada y argilización baja.

– Ortoneis (pEpa)

Es un cuerpo metamórfico de origen ígneo, constituido por neises cuarzofeldespáticos con variaciones de textura y composición a granito y tonalita, con estructura néisica aspecto masivo y composición félsica a intermedia; presenta edades entre el Proterozoico superior y Paleozoico inferior. Esta unidad aflora en una franja alargada con dirección Norte-Sur localizada en el área del proyecto enmarcada entre las Fallas Romeral-Cucutilla, igualmente se presenta intruyendo en algunos sectores el Complejo Bucaramanga.

En la Foto 3.2-1 Neis de Bucaramanga se presenta un afloramiento típico del Ortoneis en las galerías exploratorias

Foto 3.2-1 Neis de Bucaramanga

Afloramiento entrada túnel Veta de Barro <i>Fuente: Gradex Ingeniería S.A 2.009</i>	Frente de la galería exploratoria, en ella se observa un claro ejemplo de la mezcla litológica típica en el sector, donde la roca ígnea plutónica de edad jurásica (Jcs) intruye la roca metamórfica (PEbm). <i>Fuente: INGETEC 2.008</i>
Afloramiento túnel Veta de Barro <i>Fuente Gradex Ingeniería S.A 2.009 neiss</i>	

En el sector donde se tiene proyectado el tajo se han identificado varios afloramientos asociados a ésta unidad como los neises cuarzo-feldespático localizado en la zona noreste, al borde de la

carretera a Los Laches, se identifica como una roca de color rosado - grisáceo, maciza, brillo vítreo, de grano fino a medio, formada por bandas claras de cuarzo y feldespato, y oscuras de biotita bien diferenciadas; se encuentran venillas de epidota y carbonatos rellenando fracturas.

- **Rocas metamórficas de bajo grado Formación Silgara (pDs)**

Son rocas clásticas afectadas por metamorfismo de bajo grado, con foliaciones paralelas que conforman estructuras en capas laminadas con fuerte plegamiento; comprende rocas pelíticas (esquistos micáceos, granatíferos y estaurólíticos), rocas semipelíticas (esquistos cuarzo-feldespáticos, micáceos, cuarzosos, cuarcitas feldespáticas, cuarcitas moscovíticas), rocas máficas (esquistos anfibolíticas) y rocas carbonatadas (mármol); generan perfiles gruesos de suelo arcilloso a arcillolimoso de color amarillo a rojizo que desarrollan abundante cobertura vegetal.

En el área del proyecto se presentan como afloramientos diseminados en el sector de Veta de Barro y la quebrada el Pozo clasificadas como filitas, esquistos y cuarcitas con grado de metamorfismo de grado bajo a medio, y una franja con tendencia Norte-Sur que se encuentra en el sector Este limitada por la falla del Salado.

- **Rocas Ígneas**

En el sector afloran gran cantidad de cuerpos intrusivos de edad jurásica, los cuales han aprovechado las zonas de debilidad propiciadas por el intenso fracturamiento al que está sometido el Neis de Bucaramanga, que hace las veces de roca caja.

En lo general se trata de cuerpos félsicos con variaciones texturales y composicionales que dependen de las condiciones de emplazamiento a las que han sido expuestos. Según las unidades que son reportadas en el sector las que mejor se le correlacionan son:

- Rocas Ígneas Batolito de Santa Bárbara (Jcs)

El cuerpo principal se extiende desde el páramo de Berlín hasta la Falla de Bucaramanga; tiene forma alargada con 60 Km de longitud y entre 5 y 12 Km de ancho.

Se encuentran fuertemente silicificados y presenta una seritización y argilización moderada a baja.

Su contacto es intrusivo con el Neis biotítico-horbléndico; próximo a estos contactos se presenta un enriquecimiento de biotitas, atribuidas a la asimilación de material de la roca encajante.

En el sector de interés se puede relacionar con los cuerpos ubicados en el Noreste del municipio de California donde afloran cuerpos de composición félsica que se pueden correlacionar con esta unidad, intruyendo las rocas del Neis de Bucaramanga. Dichos cuerpos presentan variaciones locales en textura y composición de tonalita a cuarzo monzonita que no presentan tamaños cartografiados a las escalas empleadas.

- Rocas Ígneas Batolito de Rionegro y Plutón de Paramo Rico (Jgd)

En el sector se correlaciona con las unidades aflorantes hacia el Sur del municipio de California, entre los ríos Vetas (Norte) y Charta (Sur); se caracteriza por ser un cuerpo intrusivo Equigranular de color gris verdoso, fanerítico a porfirítico con variaciones locales en composición de granodiorita a tonalita, está constituido por Hornblenda, biotita, Cuarzo y Plagioclasas.

Se presenta cortando el Neis de Bucaramanga y a su vez es cortado por la intrusión de los pórfidos Dacíticos-Andesíticos de Tronadora y San Celestino, se encuentra alterado y mineralizado selectivamente por las soluciones hidrotermales que encuentran las condiciones ideales condiciones de fracturamiento y permeabilidad.

Localmente se presenta el emplazamiento de vetas y bandas de sulfuros masivos conformados por Pirita, Marcasita, Esfalerita, Calcopirita y Galena.

- Cuarzomonzonita de la Corcova, Alasquita y Pórfidos dacíticos (JRcgp, JRa, JRcg - JRcl)

Estos cuerpos ígneos que por su composición se encuentran asociados al Batolito de La Corcova afloran en tres sectores; el mayor (**JRcgp**) en la quebrada La Baja, en las márgenes del río Vetas aguas abajo de la confluencia de la quebrada Botija y hasta la quebrada La Lejía, un cuerpo menor (**JRcg**) La variedad Alasquita (**JRa**) aflora a lo largo de la quebrada La Baja aguas arriba de la confluencia con el río Vetas.

Las rocas porfiríticas de California de composición Dacítica (**dp**) se presentan como diques, silos y pequeños cuerpos, de forma irregular se encuentran dos cuerpo denominados Stock de la Baja y Stock del camino a Vetas, que corresponden a pórfidos dacíticos intruyendo principalmente a la Alasquita a lo largo de la vía California- Vetas estos cuerpos parecen estar controlados por la falla de La Baja y otras fallas menores. Cuerpos pegmatíticos y diques máficos de menos de un metro de espesor en dirección N50°E se encuentran del Salado.

La composición corresponde básicamente a Cuarzomonzonitas con algunas variaciones de acuerdo con la nomenclatura del INGEOMINAS; la Cuarzo monzonita biotítica gris de grano fino (**JRcl**), la que tiene granito, biotítico y muscovítico (**JRcg**) y la que presenta aplitas y pórfidos (**JRcgp**).

La Alasquita (**JRa**) es una variedad holocristalina, fanerítica, leucocrática de grano fino a medio de color blanco grisáceo en roca fresca que presenta bastante alteración hidrotermal, principalmente silicificación y piritización, compuesta principalmente por: Cuarzo 30-40%, Feldespato Potásico – Ortoclasa 40-60%, plagioclasa 10-20%, Muscovita 3% y Biotita 2%.

Las cuarzomonzonitas son rocas ígneas compuestas por Cuarzo de 0-20%, Feldespato 35 a 65% y Plagioclasas 35 a 65% y porcentajes menores de Apatito, Esfena, Circón y Magnetita.

- Tonalita - Granodiorita, (TRtgd)

Aflora en todo el centro del área de la microcuenca, a este cuerpo están asociadas las mineralizaciones de oro y plata ampliamente explotadas en las cuencas de la quebradas: La Baja y La Chorrera, La Botija, Cusaman, Peña Negra, El Chopo, La Plata, Móngora, Mataperros), La Catalina, Las Animas, El Cacique y El Oratorio. En el área de Vetas se encuentra el denominado Stock granodiorítico del Volcán que se presenta como ventanas de erosión, sobre el curso de las quebradas El Volcán, Reina de Oro y en el río Vetas.

Este cuerpo formado en su mayoría por una roca de carácter ácido, de texturas porfírica a fanerítica media donde los porfidoblastos están constituidos por: Cuarzo Bipiramidal 15-20%), Feldespato potásico ortoclase microclina 5-13%, Plagioclasas 33-60%, Biotita 15-25% y Hornblenda 5-25%; Los accesorios diseminados más importantes son Pirita, Apatito y Esfena y corresponden al 5%, los minerales de alteración más comunes son Caolinita, Sericita producto de alteración de mica Muscovita y Clorita.

Las venas auríferas son cuerpos semitabulares, rellenas de cuarzo gris, localmente con textura brechoide, con fragmentos de cuarzo, plagioclase y pirita diseminada y en venillas, cementadas por cuarzo criptocristalino gris oscuro y la presencia de otros sulfuros (principalmente galena) en cantidades bajas. Cuando se presentan alteradas, el color varía desde gris verdoso oscuro hacia la parte central a un tono pardo amarillento hacia la roca caja; generalmente esta zona es bastante arcillosa con un alto contenido en óxidos de hierro; Los espesores de los filones varían entre 0.2 a 1 metro aproximadamente, incluyendo la salbanda, aunque no siempre está bien marcada.

El Stock granodiorítico presenta la siguiente composición; Plagioclase (Albita y Oligoclase) 37-45%, Cuarzo 15-35%, Feldespato potásico 15-20%, Biotita 3-10% y Microclina 4%. Los diques de cuarzo asociados a fracturas diagonales a la falla de La baja y a los pórfidos granodioríticos, presentan mineralizaciones de Uranio.

Foto 3.2-2 Rocas Ígneas Túnel La Perezosa y Túnel Veta de Barro

Intrusivo JRa Túnel la Perezosa	Intrusivo JRa Túnel Veta de Barro
Fuente Gradex Ingeniería S.A 2.009	

- **Depósitos inconsolidados**

- Depósitos cuaternarios Morrenas –Depósitos Fluvio Glaciares (Qtf)

Las morrenas laterales y frontales se encuentran en las cabeceras de las quebradas: El Salado, El Volcán, Cuntas, Laguna Seca, Jaimes, Pamplona, Piedrahilada, Agua Tendida, La Pareja, Agua Negra, La Páez y Angosturas. Las Morrenas están compuestas por bloques, guijarros y gravas muy angulares, de esfericidad media a baja y espesores de hasta 15 metros en su parte frontal, la

proporción de bloques y matriz varia de una zona a otra y va desde depósitos clasto soportados a matriz soportados, en otras áreas solo se observan los cantos lavados y sin matriz.

- Depósitos cuaternarios Terrazas coluvio-aluviales (Qtf-Qtcol)

Estos depósitos están asociados a flujos de escombros, producto de los deshielos en las partes altas de las quebradas afluentes del río Vetás. Se localizan en la confluencia con el río: La del Salado, Borrero, Agua Tendida, La Chorrera, y Móngora. Están conformadas por fragmentos de areniscas y ortoneis estereométricos (cantos, guijos, guijarros y gravas) angulares y de esfericidad media, embebidos en una matriz areno – limosa su espesor varía entre 3 y 10 metros.

- Depósitos de Vertiente (Qdv)

Estos depósitos en forma de abanico que están ubicados en la margen de la quebrada La Baja consisten en bloques, cantos y guijarros subredondeados a redondeados en una matriz arcillo arenosa. La distribución de los cantos es caótica, ya que por la alta pendiente de las laderas y la rapidez del flujo no alcanza a existir una selección de los materiales, que por génesis indican que su transporte ha ocurrido más como flujos producto de la saturación. Se incluyen también los depósitos producto de desprendimientos recientes especialmente en las bocas de antiguas minas.

- Terrazas Aluviales (Qal- Qt)

En el área de influencia directa se destacan las terrazas presentes en inmediaciones del río vetas aguas debajo de la confluencia del Salado, están compuestas por cantos, guijos, guijarros y gravas subredondeados y de esfericidad media y alta, con barras de arenas, su espesor varía entre 2 y 3 metros.

- Depósitos de Minería Contaminados (Qrm)

En las zonas mineras de Vetás y California se pudieron cartografiar por lo menos tres zonas donde es evidente la disposición de los limos arenosos producto del beneficio con cianuro de la minería, el más sobresaliente corresponde al de la quebrada El Volcán en el municipio de Vetás. Los depósitos de este tipo abundan en las inmediaciones de las minas localizadas a lo largo del cauce de la quebrada La Baja.

- **Columna estratigráfica**

En la Figura 3.2-1 se presenta la columna estratigráfica generalizada del área de Influencia directa del proyecto, la distribución se presenta en el plano PL-MA-GEO-001.

Figura 3.2-1 Columna estratigráfica generalizada

Fuente: Gradex Ingeniería S.A 2.009

- **Perfiles y cortes geológicos**

En el plano PL-MA-GEO-001, se aprecian los cortes geológicos y perfiles para el área de influencia directa del proyecto Auroargentífero Angostura.

- Rasgos estructurales

El área de influencia directa se encuentra entre los sistemas de las fallas de la Baja y Cucutilla que afectan las rocas ígneas (intrusivos Jurasicos) que instruyen a las rocas metamórficas antiguas del neis y Ortoneis recubiertas parcialmente por depósitos inconsolidados fluvio glaciares y de vertiente y localmente los depósitos de residuos de minería.

En la Figura 3.2-2 se presenta el marco tectónico del área de influencia directa.

**Figura 3.2-2 Caracterización estructural del Área de Influencia Directa –
AID**

Fuente Ingetec 2.0087 Caracterización geológica estructural a nivel local del área de influencia del proyecto Angostura realizada por Johannes Hornner (2005).

- **Estructuras**

- Falla de Romeral-Cucutilla

Mediante análisis de imágenes satelitales y fotografías aéreas, se puede definir como un lineamiento subvertical con una tendencia general Nor-Noreste, siendo la mayor estructura presente en el área correspondiente al proyecto Angostura, enmarcando el sector de interés en su flanco Este. Afecta principalmente las rocas ígneas y metamórficas, siendo correlacionable con el patrón estructural que presenta el neis de Bucaramanga, como son la esquistosidad, la foliación, y los pliegues presentes dentro de esta unidad, e inclusive alineamiento de minerales en las intrusiones graníticas.

– Falla de La Baja-Angostura

Se comporta de forma similar a la ya mencionada falla de Romeral-Cucutilla, siendo un lineamiento subvertical con una tendencia dextralateral Nor-Noreste, a ella se le asocian como lineamientos satélites los rasgos estructurales que confinan drenajes subparalelos presentes en el área de proyecto, tales como Páez, La Perezosa, El Pozo, Venaderos, y Hoyaonda (Figura 3.2-3).

Figura 3.2-3 Estructuras área de Influencia Directa

Fuente: INGETEC 2.008 Parte alta del sector de Veta de Barro, en ella se observa un plano asociado a la Falla Angostura-La Baja con una tendencia Nor-Noreste y localmente con buzamiento subvertical Noroeste, genera deslizamiento de tipo planar.

De igual forma se correlaciona con el patrón estructural que presenta el gneis de Bucaramanga (esquistosidad, foliación y plegamiento) y se considera satélite tanto de la falla Romeral-Cucutilla como a su vez de la falla de Boconó.

– Discontinuidades

Hasta el momento en el área se han caracterizado un total de 809 datos de discontinuidades ([f] fracturas, [sh] fallas/planos de cizalla, [s] planos de foliación) que han sido cartografiados en superficie y analizados de acuerdo con las normas ISRM durante el desarrollo de los estudios de prefactibilidad del proyecto Angostura. En la Figura 3.2-4 y la Figura 3.2-5 se muestra una visión general de las características y orientación de las discontinuidades en la zona del tajo.

Figura 3.2-4 Características de las discontinuidades (foliación, planos de cizalla, fracturas).

Fuente. Figura 11 Zonificación geotécnica preliminar del macizo rocoso de Angostura, municipio de California – Santander tesis de grado Geotecnia Ambiental (Navas –Vargas UDES 2.008))

Figura 3.2-5 Estereogramas de discontinuidades (Hemisferio Inferior).

Fuente. Figura 12 Zonificación geotécnica preliminar del macizo rocoso de Angostura, municipio de California – Santander tesis de grado Geotecnia Ambiental (Navas –Vargas UDES 2.008)

Como muestra la Figura 3.2-4 la foliación y los planos de cizalla se correlacionan y presentan características similares.

Con el fin de evaluar la probabilidad de ocurrencia de falla asociada a las 809 discontinuidades identificadas en campo, se integró la información con las direcciones probables de las paredes del talud del tajo propuesto por Hatch (2007) con el software DIPS (rocscience, Toronto), encontrándose que el área del tajo puede ser diferenciada en cuatro dominios estructurales de acuerdo con la dirección de las discontinuidades y en cada uno de estos dominios es posible que se presenten fallas de tipo planar, en cuña y volcamiento (Figura 3.2-6), los límites entre los dominios estructurales son zonas de falla, tales como la falla de la Perezosa y la falla del Pozo.

Figura 3.2-6 División de los dominios estructurales aérea del Proyecto.



Fuente. Figura 13 Zonificación geotécnica preliminar del macizo rocoso de Angostura, municipio de California – Santander tesis de grado Geotecnia Ambiental (Navas –Vargas UDES 2.008)

- **Identificación y localización de las amenazas naturales**

- Amenaza por remoción en masa

La identificación de las zonas inestables se realiza en el ítem 3.2.2 donde se caracterizan los procesos erosivos para cada uno de las unidades de relieve identificadas.

- **Amenaza Sísmica**

La información de amenaza sísmica se basó en los resultados del Estudio de estimación de la amenaza sísmica y respuesta local para el proyecto de Angostura, realizado por Ingeniería y Georiesgos IGR Ltda en diciembre de 2.008 para Greystar Resources LTD.

– Análisis de la Tectónica

De acuerdo con el documentos Estudio realizado por Ingeniería y Georiesgos IGR Ltda y del estudio de Microzonificación Sísmica de Bucaramanga, las fallas que más directamente están relacionadas con el Área del proyecto Angostura y que mayor influencia sísmica podrían tener en un momento dado son el sistema de fallas Bucaramanga - Santa Marta y la falla del Suárez. Esto no quiere decir que el Área Metropolitana sísmicamente no podría estar influenciada por otras fallas regionales como las de Boconó en Venezuela, el Bordo Llanero, Yopal, Guacáramo, Pajarito, Chitagá, La Salina, Palestina, Abrego y Soapaga, entre otras.

En el campo cercano también se localiza la fuente denominada Nido de Bucaramanga, la cual es la de mayor actividad del país. Esta fuente genera eventos de magnitud media a alta, a profundidades superiores a 100 Km (particularmente a 150Km), los cuales al llegar a superficie presentan una apreciable atenuación, por tal motivo para el análisis de la recurrencia se separan los sismos entre 0-60 Km y los sismos superiores a 60 Km para no sesgar el análisis ni los parámetros.

En la Tabla 3.2-1 se presenta el listado de fallas que se utilizan para el estudio, en la Figura 3.2-7, se observan los sistemas de fallas principales y su localización en el área de influencia.

Tabla 3.2-1 Fuentes principales de Sismos en el área de influencia

No.	Fuente	No.	Fuente
1	Boconó	6	Puerto Rondón
2	Bucaramanga santa Marta Norte	7	Salinas
3	Cimitarra	8	Sopaga
4	Frontal	9	Suarez
5	Perija	10	Uribante Caparrando

Fuente: Tabla 2 Estudio de estimación de la amenaza sísmica y respuesta local para el proyecto de Angostura realizado por Ingeniería y Georiesgos IGR Ltda en diciembre de 2.008

Figura 3.2-7 Localización de Sistemas de falla principales en el área de influencia

Fuente: Figura 3.1 Estudio de estimación de la amenaza sísmica y respuesta local para el proyecto de Angostura realizado por Ingeniería y Georriesgos IGR Ltda en diciembre de 2.008

- Cuantificación de la Amenaza Sísmica método Determinista

De acuerdo con los sistemas tectónicos de campo lejano y cercano, definidos en el estudio de IGR Ltda se establecieron las distancias mínimas al centro del proyecto (ver Tabla 3.2-2).

Tabla 3.2-2 Parámetros de fuentes

Fuente	Distancia Eje			Geometría		
	Mínima	Promedio	Máxima	Buzamiento	Profundidad	Tipo
Boconó	62,90	156,45	250,00	90°	60	Rumbo
Bucaramanga santa Marta Norte	27,30	69,15	111,00	90°	60	Rumbo
Cimitarra	138,20	173,10	208,00	90°	60	Rumbo
Frontal	75,40	136,20	197,00	45°	60	Inversa
Perija	217,00	235,50	254,00	-45°	60	Inversa
Puerto Rondón	221,00	235,50	250,00	90°	60	Rumbo
Salinas	75,00	94,00	113,00	-45°	60	Inversa
Suarez	32,20	92,75	153,30	90°	60	Inversa
Uribante Caparrando	88,5	169,25	250,0	60°	60	Inversa

Fuente Tabla 4 Estudio de estimación de la amenaza sísmica y respuesta local para el proyecto de Angostura realizado por Ingeniería y Georriesgos IGR Ltda en diciembre de 2.008

Teniendo en cuenta la comparación de distancias (Tabla 3.2-2) se puede observar que las fallas más cercanas son la falla Suarez y la falla Bucaramanga Santamarta Norte a menos de 50 km, de acuerdo con estos parámetros se realizó el cálculo de la aceleración horizontal máxima AHM para ecuaciones tradicionales antes de estudio AIS 1995, y se usaron ecuaciones alternativas diferentes.

– Definición de amenaza sísmica para el proyecto

Desde el punto de vista de aplicación del estudio de amenaza sísmica realizado se considera que el criterio más conveniente es tomar un valor ponderado entre las 4 curvas que mejor representan las ecuaciones de atenuación: Martinez y Ojeda (por ser la ecuación más actualizada a nivel nacional), Cornell, Donovan y McGuire (por ser las ecuaciones internacionales más empleadas en el país). Aunque esto puede resultar discutible, lo sería aun más el hecho escoger una única ecuación ya que por las incertidumbres asociadas al empleo de estas ecuaciones en el medio tectónico colombiano no son completamente cuantificadas o validadas. Por ejemplo, el reciente sismo de Quetame de $M_s = 5,7$ (mayo 26 de 2008) generó en la población de Quetame (Cund), cerca del epicentro, una AHM mayor de 0,50g, mientras que el valor esperado del estudio de AIS para una $M_s = 7,5$ era de 0,30g, lo cual muestra que las incertidumbres asociadas a las ecuaciones de atenuación y al efecto de campo cercano, los cuales aun no son bien conocidos en nuestro medio. De acuerdo con lo anterior se puede establecer los valores de amenaza que se presentan en la Tabla 3.2-3 para el proyecto, según el periodo de retorno:

Tabla 3.2-3 Valores de amenaza para el proyecto

Periodo de Retorno (años)	AHM
200	0.27
475	0.35
950	0.4

Fuente: Capítulo 5 Estudio de estimación de la amenaza sísmica y respuesta local para el proyecto de Angostura realizado por Ingeniería y Georriesgos IGR Ltda en diciembre de 2.008

El valor propuesto de AHM para un periodo de retorno de 475 años difiere del propuesto por la AIS. Vale la pena comentar que la metodología y base de datos de eventos empleados en el estudio de AIS (1996) no son similares a las utilizadas en este estudio. Para el estudio de AIS se empleó un catálogo de del orden de 11500 eventos que cubrían hasta 1995, mientras que para este estudio se empleó un catálogo del orden de 68000 eventos hasta 2007.

De otro lado, teniendo en cuenta la experiencia de eventos recientes en el país (Quindío 1999, Quetame 2008, etc), el efecto del campo cercano ha generado valores mayores de AHM a los calculados con las metodologías convencionales de amenaza sísmica de campo intermedio o lejano, por lo cual dejar un excedente de AHM cubre este tipo de eventos, posibles en el área de estudio.

Figura 3.2-8 Curva de amenaza recomendada para el proyecto

Fuente Figura 5.1 Estudio de estimación de la amenaza sísmica y respuesta local para el proyecto de Angostura realizado por Ingeniería y Georriesgos IGR Ltda en diciembre de 2.008

Es importante tener en cuenta que este valor de aceleración máxima se producirá tan solo en una fracción muy pequeña del evento sísmico y no durante toda su duración por tal motivo los análisis de estabilidad de taludes no se deben realizar con el valor AHM, es práctica usual a nivel internacional dependiendo del grado de caracterización de las sismofuentes y de la atenuación de los materiales utilizar valores entre (0.5-0.66)AHM, para el caso de Colombia es usual trabajar con 0.66AMH , la nueva normativa sismorresistente que se encuentra próxima a publicar recomendará este valor.

- Cuantificación de la amenaza

Con base en los resultados, se tienen tres sistemas sismogénicos principales:

Fuente Cercana: Corresponde a un evento en el dominio del Campo Cercano proveniente de alguna de las fallas cercanas al proyecto (Suárez, Bucaramanga Santa Marta), localizadas a distancias inferiores a 30 Km. De la zona del proyecto, con foco de poca profundidad y cuya magnitud máxima probable Ms varía entre 6,0 y 7. La aceleración máxima horizontal a nivel de roca que domina la señal está entre 0,35g. Los acelerogramas típicos son de corta duración y de período fundamental pequeño ($T < 0,2$ s).

Fuente Intermedia o Regional: Corresponde a un evento sísmico generado en el sistema de Falla Frontal Bocono y Uribante Caparrando intermedia, a una distancia entre 80 y 120 Km. del área de estudio, de profundidad del orden 60 a 80km. Estas fuentes contribuyen con un gran porcentaje de la amenaza sísmica y los eventos generados pueden alcanzar una magnitud máxima probable Ms entre 5,5 y 8,0. A nivel de roca se esperan por esta fuente, aceleraciones horizontales máximas aproximadas entre 0,12g. Los acelerogramas típicos son de duración intermedia y de período fundamental entre 0,20 - 0,50 s.

Fuente Lejana: Para el caso de una fuente muy distante, como podría ser el caso de sismos que ocurran en la zona de subducción y que se encuentra a unos 300 Km. de distancia en línea recta hasta la zona de estudio, no existen registros disponibles en Colombia. A nivel de roca se esperan por esta fuente, aceleraciones horizontales máximas aproximadas entre 0,03 – 0,04g. Los acelerogramas típicos son de duración intermedia y de período fundamental mayores 1s.

- Acelerogramas representativos:

Teniendo en cuenta que la evaluación de la respuesta dinámica del subsuelo requiere que la amenaza sísmica se exprese como señales en el dominio del tiempo (aceleración .vs. tiempo), se emplearon familias de acelerogramas históricos provenientes de eventos fuertes generados por sistemas tectónicos similares (en forma de ruptura de la falla y contenido frecuencial) y eventos internacionales recientes que causaron grandes daños en ambientes tectónicos parecidos, de acuerdo con los criterios compilados por García H. y Sierra E. (2003), señalados en el capítulo 2 del estudio de IGR Ltda.

Es así como dentro de las familias mencionadas, se emplearon los acelerogramas para representar a cada una de las fuentes sísmicas. Ver Tabla 3.2-4 y de la Figura 3.2-9 a la Figura 3.2-12

Tabla 3.2-4 Acelerogramas de diseño para eventos de la Fuente cercana, de la Fuente Intermedia y fuente lejana

Sismos	Estación	Frecuencia	Periodo Fundamental	Fuente	Dt (s)	No. puntos registro	Amáx (g)
Quindío Deconvolucionado			0,151	Cercana	0,005	4096	0,2000
Kobe ESCALADO	Okayama	2,97	0,3367	Intermedia	0,02	4001	0,1200
Kobe	Okayama	2,97	0,3367	Intermedia	0,02	4001	0,0770
México	CU01	0,488	2,0492	Lejana	0,02	4096	0,0310

Fuente Tabla 3.1 Estudio de estimación de la amenaza sísmica y respuesta local para el proyecto de Angostura realizado por Ingeniería y Georriesgos IGR Ltda en diciembre de 2.008

Figura 3.2-9 Acelerograma FC

Quindío

Figura 3.2-10 Acelerograma FI

Figura 3.2-11 Acelerograma FL

Figura 3.2-12 Formas espectrales en roca para los acelerogramas de diseño

Fuente Figura 3.4 Estudio de estimación de la amenaza sísmica y respuesta local para el proyecto de Angostura realizado por Ingeniería y Georriesgos IGR Ltda en diciembre de 2.008

Fuente Cercana: Para obtener las señales que representaran un evento sísmico originado por las fallas que constituyen la Fuente Local se revisó el inventario disponible de acelerogramas históricos, nacionales e internacionales, que cumplieran las condiciones de sismo de Fuente Local localizados a distancias inferiores a 30 Km. registrado en roca o suelo muy firme (para evitar efecto de sitio) y aceleración pico escalada a $AH_{max} = 0,35g$.

Para tener en cuenta el efecto de las fuentes locales cercanas al área de estudio, como es el caso de alguno de los ramales orientales la falla Romeral se considera la señal del sismo de del Quindío (Armenia componente NS), obtenida por deconvolución analítica hasta la roca en profundidad y escalada a un valor pico de aceleración de 0,35 g para terreno firme.

La forma del correspondiente espectro de respuesta del acelerograma considerado para la Fuente Cercana, para un amortiguamiento del 5%.

De esta forma, la fuente cercana fue representada por un acelerograma de diseño. En adelante, este sismo se designará como FC.

Fuente Intermedia: Para obtener la señal que represente un evento sísmico originado por las fallas que constituyen la Fuente Intermedia se revisó el inventario disponible de acelerogramas históricos, nacionales e internacionales, que cumplieran las condiciones de sismo anteriormente descritas, registrado en roca o suelo muy firme y aceleración pico escalada a aceleraciones $AH_{max} = 0,10$ a $0,12g$.

Para considerar el efecto de la fuente sísmica correspondiente, se selecciono el acelerograma correspondiente al sismo de Kobe estación Okayama.

La forma del correspondiente espectro del acelerograma escalados considerado, para un amortiguamiento del 5%, se presentan en la Figura 3.2-10. Los eventos de esta fuente tendrán por nomenclatura, de aquí en adelante, FI.

Fuente Lejana: Para obtener las señales que representaran un evento sísmico originado por fallas que constituyen la Fuente lejana del tipo subducción se revisó el inventario disponible de

acelerogramas históricos, nacionales e internacionales, que cumplieran las condiciones de sismo anteriormente descritas, registrado en roca o suelo muy firme y aceleración pico escalada a aceleraciones $AH_{max} = 0,03$ a $0,04$ g. El acelerograma que cumplió estas condiciones se muestran en la Figura 3.2-12 y sus parámetros en la Tabla 3.2-4

Para considerar el efecto de la fuente sísmica correspondiente a la Zona de Subducción, se seleccionó el acelerograma del sismo de Michoacán registrado en ciudad de México en la estación CU01.

La forma de los correspondientes espectros de los acelerogramas escalados considerados para la Fuente Frontal, para un amortiguamiento del 5%.

Así, la fuente fue representada con un registro sísmico. Los eventos de esta fuente tendrán por nomenclatura, de aquí en adelante, FL.

Los parámetros geomecánicos empleados en las modelaciones para la determinación de los espectros de respuesta se presentan en el numeral 3.2.4.

3.2.1.2 Área de Influencia Indirecta (AID)

A nivel regional se asocia a rocas de metamorfismo dinámico térmico de alto grado (Neis de Bucaramanga y Ortoneis de Berlín) y de bajo grado (Formación Silgara); las cuales son intruidas por rocas ígneas Mesozoicas a Cenozoicas de diferentes composiciones, que se presentan como cuerpos intrusivos donde se muestran tendencias de emplazamiento N-NE y localmente metagabros en las zonas tectónicamente inestables.

Durante el cretácico se depositan secuencias transgresivas marinas, que posteriormente en el Mioceno fueron remontadas tectónicamente como parte de la deformación Andina, produciendo replegamiento de la secuencia sobre el basamento, conformadas por limolitas negras, blandas y duras localmente calcáreas, hacia la parte superior ocurren mantos de carbón, conglomerados y areniscas aparecen hacia la parte inferior.

En la Figura 3.2-13 se muestra la columna estratigráfica de las unidades presentes a nivel regional.

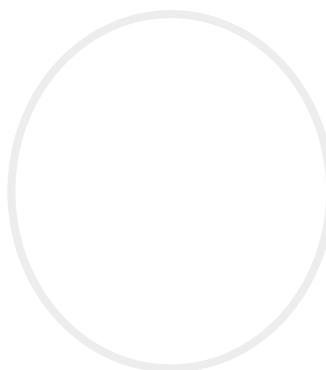
Figura 3.2-13 Columna Estratigráfica Unidades A Nivel Regional

3.2.1.2.1 Unidades litológicas

Las unidades lito - estratigráficas que afloran en el área de acuerdo con la información analizada y el reconocimiento de campo, utilizando la nomenclatura de la cuenca del Magdalena organizadas por su edad y origen en rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias; también se incluyen los depósitos cuaternarios.

En el plano PL-MA-GEO-001 se presenta su distribución de acuerdo con el área del proyecto y en la Figura 3.2-14, la interpretación de INGEOMINAS – Instituto Colombiano de Geología y Minería.

Figura 3.2-14 Geología Cuadrángulo H13 INGEOMINAS- Área del Proyecto



Fuente INGEOMINAS 1.970 Pamplona  Área del Proyecto Angosturas

A continuación se describen las unidades litoestratigráficas identificadas, su ubicación, composición uso potencial y las características geotécnicas generales.

- **Rocas metamórficas precámbricas Neis de Bucaramanga (pEpa, pDb pDbh)**

Localización: La unidad del Neis se encuentra dividida en dos variedades Ortoneis y paraneis este ultimo diferenciado en dos unidades.

El paraneis (pEpa) aflora en cuatro sectores de la subcuenca del río Vetás a saber; en el costado nororiental de la microcuenca en las cabeceras de las quebradas El Volcán y El Salado, como una cuña al oriente de Páramo Rico en el área de drenaje de la quebrada Agua Negra, al sur del páramo de Monsalve en extremo norte del área de drenaje de la quebrada Angosturas y como pequeños relictos al occidente del páramo de Romeral en la misma área

El paraneis (pDb) aflora formando una faja alrededor de los cuerpos intrusivos que afloran en el centro de la microcuenca, el contacto con estos cuerpos ígneos es intrusivo tanto al norte como al oriente en las áreas de drenaje de las quebradas El Volcán y El Salado.

Composición: La unidad Neis de Bucaramanga propiamente dicha (pEpa y pDb) está compuesta por rocas clasificadas como paraneis pelítico, semipelítico y arenáceo; esquistos y cantidades subordinadas de neis calcáreo, mármol, neis hornbléndico y anfibolita, que corresponden a rocas metasedimentarias de alto grado de metamorfismo.

En el sector de la quebrada La Baja se presenta afloramientos irregularmente distribuidos con neis y esquistos cuarzofeldespático (pEpa), frecuentemente son cruzados o inyectados por material granítico. Estos conjuntos rocosos o “complejos migmatíticos” de las que se distinguen dos clases Las primeras son rocas masivas con texturas xenoblásticas o granoblástica, el segundo tipo se desarrolla alrededor de las intrusiones Jura – Triásicas.

Al sur oriente de acuerdo con los trabajos de tesis desarrollados en el sector, el neis biotítico-hornbléndico se compone de: neises biotíticos, neises hornbléndicos y localmente cuarcitas y niveles pegmatíticos, las rocas se presentan con una estructura de bandeamiento, donde alternan niveles claros y oscuros (niveles leucocráticos y melanocráticos), con disposiciones casi tabulares; los niveles mencionados se presentan en rocas de estructura néisica y/o bandeada donde la parte leucocrática está compuesta principalmente por cuarzo, plagioclasa y en menor cantidad biotita, los espesores de estos niveles varía de 35 a 50 centímetros. La parte melanocrática está compuesta principalmente por cuarzo, plagioclasa, biotita, y hornblenda en abundancia. La composición mineralógica del neis de Bucaramanga en el área de Cuntas y de La Baja sería la siguiente:

Minerales	Cuntas	La Baja
Cuarzo	7-35%	15-20%
Feldespato Potásico Ortoclasa	1-25%	20-30%
Plagioclasa	14-45%	30-50%
Biotita	6-10%	15-20%
Hornblenda	0-45%	
Epidota	0-5%	
Granate	0-2%	
Sillimanita	0-8%	

Los lentes de anfibolitas están compuestos principalmente por Hornblenda (55%) y Plagioclasa (27%) contenidos menores de Biotita (2-5%), Epidota (1-5%) Esfena (1-3%) total de la roca.

Usos potenciales: El principal uso de estas rocas metamórficas radica en el uso de algunos Neis y ortoneis como ornamentales en la industria de la construcción, los minerales asociados podrían ser utilizados en diferentes industrias por ejemplo:

1. Cuarzo para la industria del vidrio y los cementos.
2. Anfíboles las variedades fibrosas como material asbestiforme.
3. Feldespatos y Plagioclasas para la industria de la cerámica.
4. Sillimanita para la industria de porcelanas refractarias.
5. Granate como gema de poco valor y para la elaboración de papeles abrasivos.
6. Vermiculita, producto de la alteración de la biotita, se utiliza en aislamientos de calor y sonido.

Características Geotécnicas Generales. Esta unidad se caracteriza por presentar una meteorización que varía entre media y moderada con bajo grado de fracturamiento, sus características geotécnicas permiten clasificarlas dada su composición y edad como Rocas Tipo I; la foliación presenta dos orientaciones; la principal de dirección nordeste con buzamientos al noroeste y al suroeste inclinada ente 40° y 80° la segunda de orientación noroeste con inclinaciones entre 45° y 70° principalmente hacia el nordeste.

- **Rocas Ígneas Cuarzomonzonita, Alasquita y Pórfidos dacíticos (JRcgp, JRa, JRcg – JRcl Jcs y Jgd)**

Localización: Estos cuerpos ígneos que por su composición se encuentran asociados al Batolito de La Corcova afloran en tres sectores; el mayor (JRcgp) en el área de la quebrada La Baja), y en las márgenes del río Vetas aguas abajo de la confluencia de la quebrada Botija y hasta la quebrada La Lejía, un cuerpo menor (JRcg) al nororiente del municipio de Vetas en el área del Volcán y el menor en el área que continua hacia el sur en la microcuenca del río Charta concretamente en la

quebrada La Cana. La variedad Alasquita (JRa) aflora a lo largo de la quebrada La Baja aguas arriba de la confluencia con el río Vetás.

Las rocas porfiríticas de California de composición Dacítica (Jgp) se presentan como diques, silos y pequeños cuerpos de forma irregular, se encuentran dos cuerpo denominados Stock de la Baja y Stock del camino a Vetás, que corresponden a pórfidos dacíticos intruyendo principalmente a la Alasquita a lo largo de la vía California- Vetás, y las lutitas de la Formación Tambor en la cuenca alta de la quebrada, estos cuerpos parecen estar controlados por la falla de La Baja y otras fallas menores.

Cuerpos pegmatíticos y diques máficos de menos de un metro de espesor en dirección N50°E se encuentran en el área de Angostura.

Composición: La composición corresponde básicamente a Cuarzomonzonitas con algunas variaciones de acuerdo con la nomenclatura del INGEOMINAS; la Cuarzo monzonita biotítica gris de grano fino (JRcl), la que tiene granito, biotítico y muscovítico (JRcg) y la que presenta aplitas y pórfidos (JRcgp).

La Alasquita (JRa) es una variedad holocristalina, fanerítica, leucocrática de grano fino a medio de color blanco grisáceo en roca fresca que presenta bastante alteración hidrotermal, principalmente silicificación y piritización, compuesta principalmente por: Cuarzo 30-40%, Feldespato Potásico – Ortoclasa 40-60%, plagioclasa 10-20%, Muscovita 3% y Biotita 2%.

Las cuarzomonzonitas son rocas ígneas compuestas por Cuarzo de 0-20%, Feldespato 35 a 65% y Plagioclasas 35 a 65% y porcentajes menores de Apatito, Esfena, Circón y Magnetita.

Usos potenciales: Las cuarzomonzonitas podrían ser mena de Cuarzo, Feldespato y Plagioclasas estos minerales molidos pueden ser usados en la elaboración de productos cerámicos. Los minerales accesorios tiene diferentes usos así por ejemplo el Apatito es fuente de fosfatos, La Esfena como fuente de óxido de Titanio y pigmento en pintura y el Circón para la elaboración de productos refractarios o como gema. Además algunos filones de cuarzo presentan minerales Uraníferos como (Caufinita, Pechblenda, Torbernita, Zeunerita, Uranociscita, y Autunita).

En la mina de El Silencio durante las perforaciones exploratorias adelantadas por la compañía Greystar se produjo el hallazgo de aguas termales, estas aguas carbonatadas contienen temperaturas de hasta 40°C centígrados en superficie y pueden ser explotadas como agua mineral y/o con fines turísticos.

Características Geotécnicas Generales. En la zona estas rocas ígneas presentan una meteorización que varía entre media y alta, y un bajo grado de fracturamiento produciendo suelos residuales arenosos, características geotécnicas, que permiten clasificarla como roca Tipo II.

- **Tonalita - Granodiorita, (TRtgd)**

Localización: Aflora en todo el centro del área de la microcuenca y este cuerpo están asociadas las mineralizaciones de oro y plata ampliamente explotadas en la región desde la Cuchilla El Arbolito y páramo Rico al sur hasta la quebrada La Baja y el páramo Los Puentes al norte, en las áreas de drenaje la quebrada Chumbulla alta y media; Santo Eccehomo, La Chorrera, La Botija, Cusaman, Peña Negra, El Chopo, La Plata, Móngora, Mataperros), La Catalina, Las Animas, El cacique y El Oratorio y la loma El Popo.

En el área de Vetas se encuentra el denominado Stock granodiorítico del Volcán que se presenta como ventanas de erosión, sobre el curso de las quebradas El Volcán, Reina de Oro y en el río Vetas.

Composición. Este cuerpo formado en su mayoría por una roca de carácter ácido, de texturas porfírica a fanerítica media donde los porfidoblastos están constituidos por: Cuarzo Bipiramidal 15-20%), Feldespato potásico ortoclasa microclina 5-13%, Plagioclasas 33-60%, Biotita 15-25% y Hornblenda 5-25%; Los accesorios diseminados más importantes son Pirita, Apatito y Esfena y corresponden al 5%, los minerales de alteración más comunes son Caolinita, Sericita producto de alteración de mica Muscovita y Clorita.

Las venas auríferas son cuerpos semitabulares, rellenas de cuarzo gris, localmente con textura brechoide, con fragmentos de cuarzo, plagioclasa y pirita diseminada y en venillas, cementadas por cuarzo criptocristalino gris oscuro y la presencia de otros sulfuros (principalmente galena) en cantidades bajas. Cuando se presentan alteradas, el color varía desde gris verdoso oscuro hacia la parte central a un tono pardo amarillento hacia la roca caja; generalmente esta zona es bastante arcillosa con un alto contenido en óxidos de hierro; Los espesores de los filones varían entre 0.2 a 1 metro aproximadamente, incluyendo la salbanda, aunque no siempre está bien marcada.

El Stock granodiorítico presenta la siguiente composición; Plagioclasa(Albita y Oligoclasa) 37-45%, Cuarzo 15-35%, Feldespato potásico 15-20%, Biotita 3-10% y Microclina 4%.

Los diques de cuarzo asociados a fracturas diagonales a la falla de La baja y a los pórfidos granodioríticos, presentan mineralizaciones de Uranio.

Uso potencial: Las mineralizaciones con oro y plata se localizan en el área cercana al contacto de la Granodiorita Porfírica con la Alasquita, la distribución de los filones se encuentra controlada estructuralmente por un sistema de diaclasas con orientaciones N50°-60°W y N 80°-90°E; con buzamientos 50°-80° al SE y al SW, el tenor de oro en los filones varía entre 5 y 19 gr/ton y de plata entre 20 y 69 gr/ton.

Las zonas mas silicificadas son buena fuente de agregados pétreos para la industria de la construcción, además contienen minerales con diversos usos:

1. Pirita se beneficia corrientemente por el oro y el cobre asociado a ella.
2. Cuarzo para la industria del vidrio y los cementos. Las variedades fibrosas de Anfíboles se utilizan como material asbestiforme.
3. Feldespatos y Plagioclasas para la industria de la cerámica.
4. Apatito como fuente de fosfato para fertilizantes
5. Esfena fuente de óxido de titanio y como pigmento en pintura
6. Caolinita producto de alteración de los feldespatos se usa en la industria de porcelanas. Granate como gema de poco valor y para la elaboración de papeles abrasivos
7. Vermiculita, producto de la alteración de la biotita, se utiliza en aislamientos de calor y sonido.

Características Geotécnicas Generales: En la zona estas rocas ígneas presentan una meteorización que varía entre media y alta, y un bajo grado de fracturamiento produciendo suelos residuales arenosos, características geotécnicas estas, que permiten clasificarla como roca Tipo II.

- **Rocas sedimentarias del jura triásico Formación Girón**

Localización: Aflora al norte del área de estudio al oriente de la falla de Surata.

Composición: Areniscas conglomeráticas y conglomerados gris amarillentos.

Usos potenciales: Las areniscas sirven como fuentes puntuales de agregados pétreos se utilizan como material de préstamo para conformación de terraplenes.

Características Geotécnicas Generales: En la zona esta unidad presenta una meteorización que varía entre baja y media y un bajo grado de fracturamiento. Se clasifica como roca Tipo II; la estratificación presenta orientación noroeste con buzamientos hacia el sur oeste entre 40° y 45°.

- **Rocas sedimentarias del cretáceo**

- Formación Tambor (Kita)

Localización: En el área de estudio, esta formación aflora en el extremo occidental de la microcuenca, en fajas de dirección noroeste en la quebrada: Corral de Piedra y en el río Vetás y al nor occidente del casco urbano de California.

Composición: En el sector de California está constituida por capas de areniscas de grano medio a grueso con niveles conglomeráticos de hasta un metro de espesor sobre las que se encuentran; limolitas micáceas de color rojo a morado intercaladas con capas de areniscas de grano fino y color claro. En el tope predominan shales grises. El espesor total alcanza los 250 metros.

Usos potenciales: Las areniscas sirven como fuentes puntuales de agregados pétreos y podrían ser menas de minerales como cuarzo para las industrias del cemento, del vidrio o para productos cerámicos.

Características Geotécnicas Generales: En la zona esta unidad presenta una meteorización que varía entre baja y media y un bajo grado de fracturamiento. Se clasifica como roca Tipo II; la estratificación presenta orientación norte sur con buzamientos hacia el oeste entre 35° y 50°.

- Formación Rosablanca (Kir)

Localización: En el área de estudio, esta formación aflora en la faja de orientación sur norte paralelas a la formación Tambor, al norte del Casco urbano de California y acuñada entre la formación tambor y Paja en el sector occidental del área de estudio se encuentran afloramientos de roca fresca.

Composición: Calizas micríticas y fosilíferas negras a gris claro, duras, en bancos de hasta 3 metros de espesor con intercalaciones delgadas de shales calcáreos negro a gris oscuro, fílsiles, es común la presencia de calcita recristalizada de hasta 4 milímetros de espesor. Se presentan dos niveles de Caliza esparítica, fosilífera y un nivel intermedio constituido por shales gris claro. El espesor de la unidad es de hasta 200 metros.

Usos potenciales: Las calizas sirven como fuentes puntuales de agregados pétreos y podría ser mena para las industrias del cemento y/o para cal agrícola.

Características Geotécnicas Generales: En la zona esta unidad presenta una meteorización que varía entre baja y media y un bajo grado de fracturamiento. Se clasifica como roca Tipo II; la estratificación presenta orientaciones desde nor-noreste hasta oeste con buzamientos preferencialmente hacia el oeste entre 20° y 35°, alcanzando los 90° en el contacto fallado con el Ortoneis al este de la falla Cristalina.

– Formación Paja (Kip)

Localización: Forma franjas estrechas de dirección sur norte que suprayacen a las calizas de la formación Rosablanca su espesor alcanza los 100 metros. Debido al fallamiento se encuentran plegadas.

Composición: Litológicamente constituida por lodolitas y lodolita arenosa, no calcárea, gris oscuro a negra, micáceas, físlas, con delgada laminación interna, poco consolidadas y fácilmente erosionables.

Usos potenciales: Ninguno conocido.

Características Geotécnicas Generales: En la zona esta unidad presenta una meteorización que varía entre media y alta y un bajo grado de fracturamiento, dada su composición arcillosa se clasifica como roca Tipo III; la estratificación presenta una orientación paralela a la de la infrayacente formación Rosablanca, orientaciones sur norte con buzamientos preferencialmente hacia el oeste entre 20° y 40°.

– Formación Tablazo (Kit)

Localización: Se encuentra dentro de la faja de orientación sur noroeste limitada por las formaciones Paja al oeste y Rosablanca al este acunadas contra las fallas de La Vega al norte de California y Curos al sur del área de estudio.

Composición: Esta compuesta en su parte inferior por areniscas cuarzosas de grano fino, micáceas de color gris con laminación interna subparalela, intercaladas con lodolitas color gris oscuro muy físlas, en la parte superior predominan calizas micríticas, fosilíferas, negras y lodolitas calcáreas negras físlas con nódulos arcillosos.

Usos potenciales: Las lutitas y areniscas sirven como fuentes para ladrillos y los esporádicos bancos de calizas para cal agrícola.

Características Geotécnicas Generales: En la zona esta unidad presenta una meteorización que varía entre baja y media y un bajo grado de fracturamiento. Se clasifica como roca Tipo I; la estratificación presenta una orientación paralela a la de la infrayacente formación Paja, orientaciones sur norte con buzamientos preferencialmente hacia el oeste entre 35° y 50°.

– Formación Simití (Kis)

Localización: Aflora en dos faja de orientación sur - norte, la primera al occidente de la microcuenca de la quebrada corral de Piedra al norte de la falla Carrizal y la segunda al sur de la falla Carrizal hasta la divisoria de la quebrada Chumbulla.

Composición: Consiste en una sucesión de calizas duras azulosas, fosilíferas en la parte superior y margas o calizas arcillosas en la inferior y una intercalación de areniscas grises cuarzosas de grano fino a medio y lutitas gris claro fisibles en el área predominan los niveles inferiores compuesto por lutitas calcáreas grises con bancos pequeños de calizas arcillosas.

Usos potenciales: Las lutitas sirven como fuentes para ladrillos los suelos residuales son muy susceptibles a la erosión.

Características Geotécnicas Generales. En la zona esta unidad presenta una meteorización que varía entre media y alta, plegadas y un moderado grado de fracturamiento. Se clasifica como roca Tipo III; la estratificación presenta una orientación general en dirección nordeste con buzamientos al suroeste inclinado entre 30° y 90° afectados por fallamiento.

– Formación Luna (Ksl)

Localización: Esta formación aflora en el sector más occidental del área en una faja de orientación norte sur en las áreas de drenaje Nos 9 y 10, en laderas de pendientes moderas y altas a lado y lado del río su principal característica es el replegamiento.

Su contacto con la infrayacente Formación Simití es concordante, mientras su contacto con la suprayacente Formación Umir es una inconformidad y presenta un período de erosión anterior a la depositación de las lutitas de la formación Umir.

Composición: Lutita calcárea dura; calizas arcillosas y chert delgadamente estratificado, de color gris oscuro a negro; con nódulos de hasta 60 cm de diámetro de composición calcárea.

Usos potenciales. En la literatura se han reportado en la parte superior de la secuencia niveles de roca fosfórica que no es muy evidente en el área, los niveles lutíticos se han empleado pulverizados en algunas pinturas anti corrosivas, los niveles lutíticos son utilizados como material de recebo para vías.

Características Geotécnicas Generales: En la zona esta unidad presenta una meteorización que varía entre baja y media, plegadas y un con un alto grado de fracturamiento. Se clasifica como roca Tipo III; la estratificación presenta una orientación general en dirección noroeste con buzamientos al suroeste y al nordeste inclinados entre 35° y 75°.

– Depósitos cuaternarios Morrenas –Depósitos Fluvio Glaciares (Qtf)

Localización: En el área del río Vetás las morrenas laterales y frontales se encuentran en las cabeceras de las siguientes quebradas: El Salado, El Volcán, Cuntas, Laguna Seca, Jaimes, Pamplona, Piedrahilada, Agua Tendida, La Pareja, Agua Negra, La Páez y Angosturas.

Composición: Las Morrenas están compuestas por bloques, guijarros y gravas muy angulares, de esfericidad media a baja y espesores de hasta 15 metros en su parte frontal, la proporción de bloques y matriz varia de una zona a otra y va desde depósitos clasto soportados a matriz soportados, en otras áreas solo se observan los cantos lavados y sin matriz.

Usos potenciales: No se recomienda ningún uso específico dada su poca extensión, su función principal es el de constituirse en una zona recarga de acuíferos.

Características Geotécnicas Generales: A esta unidad, dada su consolidación, se la considera de estabilidad media y se clasifica como material Tipo III.

– Terrazas coluvio-aluviales (Qtf-Qtcol)

Localización: Estos depósitos asociados a flujos de escombros, producto de los deshielos en las partes altas de las quebradas afluentes del río Vetás se localizan en la confluencia con el río las principales son. La del Salado, Borrero, Mogotococo, Agua Tendida, La Chorrera, Móngora y La Baja (hacienda Llano Redondo y en la confluencia de la quebrada Páez y Angosturas en el área de la antigua mina La Bodega, estas tienen superficies de 1 a 5 hectáreas.

Composición: Fragmentos de areniscas y ortoneis heterométricos (cantos, guijos, guijarros y gravas) angulares y de esfericidad media, embebidos en una matriz areno – limosa su espesor varía entre 3 y 10 metros.

Usos potenciales: No se recomienda ningún uso específico dada su poca extensión, su función principal es el de constituirse en una zona recarga de acuíferos y su uso en actividades agropecuarias.

Características Geotécnicas Generales: A esta unidad, dada su consolidación, se la considera de estabilidad media y se clasifica como material Tipo III.

– Depósitos de Vertiente (Qdv)

Localización: Estos depósitos tienen una forma de abanico y marcan antiguas zonas inestables, están ubicados en la margen del río Vetás y la quebrada la Baja principalmente sobre laderas de lutitas y neis; consisten en bloques, cantos y guijarros subredondeados a redondeados en una matriz arcillo arenosa. La distribución de los cantos es caótica, ya que por la alta pendiente de las laderas y la rapidez del flujo no alcanza a existir una selección de los materiales, que por génesis indican que su transporte ha ocurrido más como flujos producto de la saturación.

Composición: Los depósitos de vertiente tiende a ser gravo soportados limoarenosos con cantos < 40 cm predominando los tamaños de 10 a 20 cm. Su esfericidad puede ir de media (cantos de areniscas) a baja (lutitas) y en su mayoría son angulares. Su estabilidad es media y buena su espesor promedio no sobrepasa los 3 metros pero pueden alcanzar hasta los 5 metros.

Usos potenciales: No se recomienda ningún uso específico dada su poca extensión, su principal uso son las actividades agropecuarias.

Características Geotécnicas Generales: A esta unidad, dada su consolidación, se la considera de estabilidad media y se clasifica como material Tipo III

– Terrazas Aluviales (Qal- Qt)

Localización: Son franjas de terreno bajas dispuestas a lo largo del río Vetás, donde eventualmente podría desbordarse, la principal corresponde a la situada en la confluencia del río Vetás con el Surata aguas abajo de la confluencia de la quebrada Chumbulla.

En algunas quebradas corresponden a antiguos flujos y avalanchas de lodo que bajaron por la ladera, hasta estabilizarse, algunos depósitos anteriormente descritos fueron redepositados por las corrientes actuales.

Composición. Cantos, guijos, guijarros y gravas subredondeados y de esfericidad media y alta, con barras de arenas, su espesor varía entre 2 y 3 metros.

Usos potenciales: Su función principal es el de constituirse en una zona recarga de acuíferos y su uso en actividades agropecuarias.

En el cauce se explotan arenas y gravas en forma artesanal principalmente en el sector de Pánaga (confluencia con el río Suratá).

Características Geotécnicas Generales: A esta unidad, dada su consolidación, se la considera de estabilidad media y se clasifica como material Tipo III.

– Depósitos de Minería Contaminados (Qrm)

En las zonas mineras de Vetás y California se pudieron cartografiar por lo menos tres zonas donde es evidente la disposición de los limos arenosos producto del beneficio con cianuro de la minería el más sobresaliente corresponde al de la quebrada El Volcán en el municipio de Vetás.

3.2.1.2.2 Rasgos estructurales

El noreste de Los Andes en territorio colombiano se caracteriza por ser tectónicamente dinámico; su conformación está relacionada con la interacción de las placas tectónicas de Nazca (W), Cocos (NW), Caribe (SW) y Suramérica (W), presentado un origen y conformación geológica compleja (ver Figura 3.2-15).

La zona del proyecto presenta un estilo estructural que se caracteriza dentro del departamento de Santander, como el fallamiento en bloques de la región oriental, diferenciable de los plegamientos en la región central, y el graben del Magdalena.

De acuerdo con el INGEOMINAS (2001) la caracterización tectónica del territorio de Santander se ha subdividido en tres provincias tectónicas como son la del Macizo de Santander, que está conformada por los bloques de Floresta, Cucutilla, Pamplona y de Ocaña; la del Valle Medio del Magdalena, y la de la Cordillera Oriental, de conformidad con el esquema tectónico, presentado por Clavijo, et al. (1993). El Proyecto Angostura se encuentra ubicada dentro del la provincia del Macizo de Santander Bloque de Ocaña (Figura 3.2-16).

Figura 3.2-15 Esquema tectónico de Colombia

Figura 3.2-16 Esquema tectónico del Departamento de Santander

El Bloque de Ocaña, se caracteriza tectónicamente por presentar un estilo estructural de fallamiento en bloques menores, separados por fallas inversas de dirección predominantemente SW-NE. Se presenta como un bloque levantado; está constituido esencialmente por rocas ígneas triásico-jurásicas y metamórficas precámbricas y paleozoicas. Este bloque está limitado al occidente por la Falla Bucaramanga-Santa Marta y al suroriente por la Falla de Baraya.

La región oriental comprende el Macizo de Santander (Según Ingeominas, 2001); en donde predomina un sistema de fallamiento en bloques, de rumbo norte-sur a noreste y un sector de pliegues anticlinales y sinclinales estrechos, ubicados en el extremo más oriental del departamento de Santander.

En esta región se destacan principalmente las siguientes fallas geológicas regionales que modelan la tectónica del sector:

Falla de Bucaramanga-Santa Marta: Rasgo estructural más evidente y de gran extensión que cruza la región centro-oriental del Departamento de Santander, en dirección aproximada N20°W y cuyo trazo rectilíneo se expresa claramente en imágenes de satélites y fotografías aéreas. Se considera que su mayor actividad ocurrió a partir del Mioceno superior simultáneamente con la orogenia andina, generando una afectación importante sobre las unidades comprendidas en el área del Proyecto Angostura, siendo importante mencionar que a pesar de su gran influencia no se encuentran dentro del área cartografiada rasgos directamente relacionados con este lineamiento.

En la microcuenca del río Vetás se pueden diferenciar 3 grupos de fallas a saber:

- Grupo No.1 Fallas de dirección Sur - Norte

Estas fallas parecen corresponder al sistema más antiguo y son fallas predominantemente estratigráficas inferidas en los contactos de las formaciones sedimentarias y probablemente asociadas al plegamiento de las mismas, su actividad reciente es poco evidente. Dentro de este sistema de occidente a oriente en diferentes estudios se han podido caracterizar las siguientes:

1. Falla El Salado: es una falla dextral normal de alto ángulo en la que el bloque occidental está levantado respecto al oriental, esta falla se encuentra en el límite oriental de la cuenca y afecta la quebrada El Salado que nace en Laguna verde.
2. La Falla de Vetás: es una falla normal con una dirección aproximada sur norte, de alto ángulo buza entre 60° y 80° al NW al norte es desplazada por la falla de El Volcán, al sur recibe el nombre de falla de Cruz de Peña.
3. Falla la Vega: es una falla inversa de dirección sur norte de bajo ángulo de 35° al W.

Otras dos fallas de la misma dirección sur Norte fueron identificadas en las quebradas la Venta y la Higuera al oriente del municipio de California, son fallas de menor longitud pero que desplazan fallas de orientación sudeste noroeste más recientes.

Además una serie de lineamientos situados en el bloque oriental de la falla del río Cucutilla y que aparecen cortados por sistemas más jóvenes harían parte de estas estructuras antiguas.

- Grupo No. 2 Fallas de dirección Sudoeste –Noreste Sistema de Fallas del río Suratá.

La falla de Suratá forma parte de un grupo de fallas verticales que se presentan al Este de la Falla Bucaramanga - Santa Marta (Localizada al occidente de la microcuenca), y que tienen aproximadamente el mismo rumbo de la Falla de Boconó. (Localizada al oriente de la microcuenca). Con rumbo predominante N15°E, su trazo sigue el curso del Río Suratá, y se

prolonga desde el Departamento de Norte de Santander. Se comporta como una falla inversa, de ángulo alto y su plano de falla buza al noroccidente. (Ingeominas 2001).

Esta falla presenta movimientos contemporáneos y también posteriores a los de la de Bucaramanga – Santa Marta, a la cual desplazó en sentido lateral derecho en aproximadamente 750 m; también presenta movimientos en los depósitos del cuaternario del valle del río Suratá, que son indicios de actividad reciente.

Este sistema presenta una dirección general N 40° E, las fallas buzan hacia el NW 60° a 70°, tienen una componente vertical inversa y un desplazamiento en la horizontal de aproximadamente 3 kilómetros por lo que también se pueden considerar rumbo deslizantes.

Con esta orientación se han identificado cinco fallas principales:

1. La falla de Suratá propiamente dicha, al occidente fuera de la microcuenca, que marca el contacto entre las filitas y esquistos de la Formación Silgará con las formaciones cretáceas, y que al suroccidente del Municipio de Suratá se divide en tres trazos que continúan hacia el Alto de Cachiri en un corredor de 1.5 kilómetros de ancho promedio.
2. La falla de la Virgen situada al sur oriente del municipio de Matanza, pone en ese sector en contacto las areniscas de la formación Girón con las filitas y esquistos de la formación Silgará y en el sector sur occidental desplaza los contactos de las formaciones Simití y la Luna en sentido izquierdo con levantamiento del bloque noroccidental.
3. Falla de Boquelobo: es una falla menor de movimiento sinistral y de orientación sur sudeste - noroeste este.
4. Falla El Prado situada al oriente del municipio de California, pone en contacto las rocas cretáceas con los intrusivos jura triásicos su movimiento es sinistral aparentemente esta desplazada por dos fallas menores de orientación sur norte identificadas en las quebradas la Venta y la Higuera.
5. La falla de la quebrada La Baja y Angosturas que al norte tiene una dirección N20°E donde pone en contacto las rocas cristalinas del Jurásico con el neis de Bucaramanga se considera una falla de rumbo sinistral, esta permitió el emplazamiento de la Granodiorita Porfírica y sirvió como control a la posterior mineralización, la mayor parte de los filones presentes en el área, se encuentran específicamente cerca al contacto entre la Granodiorita Porfírica y la Alasquita; con dirección preferencial N50°-60°W, siguiendo el patrón estructural dominante en la zona; indicando una marcada relación con la presencia de la Falla de la Quebrada La Baja; corresponde a un lineamiento subvertical con una tendencia dextrolateral nor-noreste, a ella se le asocian como lineamientos satélites los rasgos estructurales que confinan drenajes subparalelos presentes en el área de proyecto Angosturas, tales como Páez, La Perezosa, Pozo, Venaderos, y Hoyahonda
6. La falla del río Cucutilla, o Romeral-Cucutilla en el área del proyecto Angosturas, es la mayor estructura presente en la subcuenca y afecta las rocas ígneas y metamórficas; a este sistema están asociadas varias estructuras entre la que cabe mencionar la falla de la quebrada de Las Calles de dirección N35° a 40°E buzando unos 70° situada al oriente de la subcuenca; corresponde a un lineamiento subvertical con una tendencia general nor-noreste,
7. Falla El Volcán es una falla de movimiento sinistral de orientación sur sudeste- noroeste este, controla el cauce de las quebradas El Volcán y casa Vieja.

- Grupo No. 3 Fallas de dirección Sudeste –Noroeste

La principal de estas estructuras se encuentra al sur del área y corresponde a la Falla del Río Charta, se extiende desde el Páramo de Santurbán, hasta el municipio de Charta su continuidad hacia el occidente no es tan evidente, muestra poco desplazamiento vertical aparente, pero

apreciable desplazamiento horizontal sinistral. Esta falla pone en contacto el Neis de Bucaramanga con el Ortoneis.

Otras fallas de este grupo de menor longitud están asociadas al sistema de fallas de Surata al que desplazan y se nombraron de acuerdo con las quebradas o sitios conocidos en la región, las más importantes de norte a sur son:

1. Falla de la quebrada Carrizal.
2. Falla de la quebrada Los Curos.

Este sistema es el menos estudiado de los tres y fue cartografiado durante el desarrollo de los estudios de la vía Bucaramanga - Cúcuta sector Bucaramanga - Alto del Escorial, a escala 1:1.000, las principales evidencias para su definición son:

1. El desplazamiento lateral izquierdo de hasta en 500 metros de los depósitos cuaternarios más antiguos.
2. La presencia de zonas de brecha.
3. El alineamiento del curso de las quebradas y/o de flujos de escombros.

3.2.2 Geomorfología

Esta zona del macizo de Santander entre las cuecas del Magdalena y El Maracaibo donde predominan las rocas ígneo metamórficas la geomorfología tiene un claro control estructural donde los procesos morfogenéticos corresponden a la erosión glaciática y la acción fluvial secundaria acentuadas por la acción antrópica, a continuación se describen las unidades geomorfológicas diferenciadas a escala 1:10.000 (Ver plano PL-MA-GEO-002).

3.2.2.1 Morfogénesis

En el área de influencia del proyecto se pueden diferenciar dos unidades genéticas de relieve con ocho paisajes y 34 geoformas asociadas a diferentes unidades litoestratigráficas que se resumen en la Tabla 3.2-5.

Tabla 3.2-5 Geomorfología área de Influencia del proyecto Angostura

Unidad Genética de Relieve	Paisaje	Subpaisaje	Geoforma	Símbolo
Relieve Montañoso Glacifluvial	Campo de morrenas	Morrenas laterales	Laderas ligeramente onduladas	ML-lo
			Laderas fuertemente onduladas	ML-fo
			Laderas escarpadas	ML-le
			Laderas muy escarpadas	ML-lme
		Morrenas terminales	Laderas inclinadas	MT-li
			Laderas fuertemente onduladas	MT-fo
			Laderas escarpadas	MT-le
			Afloramiento Rocoso	MT-Ar
		Vallecito glaciático	Superficies inclinadas	VG-si
			Superficies ligeramente onduladas	VG-lo
			Superficies fuertemente onduladas	VG-fo
			Superficies escarpadas	VG-se
Relieve Montañoso Fluvio Erosional	Montañas denudativas en granodioritas	Glacis coluvial	Laderas fuertemente onduladas	GC-fo
			Laderas ligeramente onduladas	MDG-llo
			Laderas fuertemente onduladas	MDG-lfo
			Laderas escarpadas	MDG-le
			Laderas muy escarpadas	MDG-lme

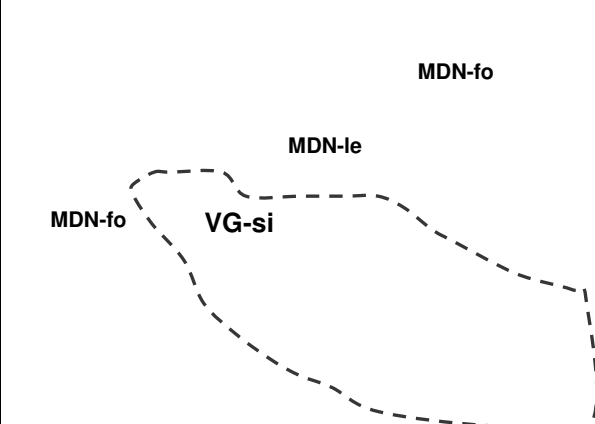
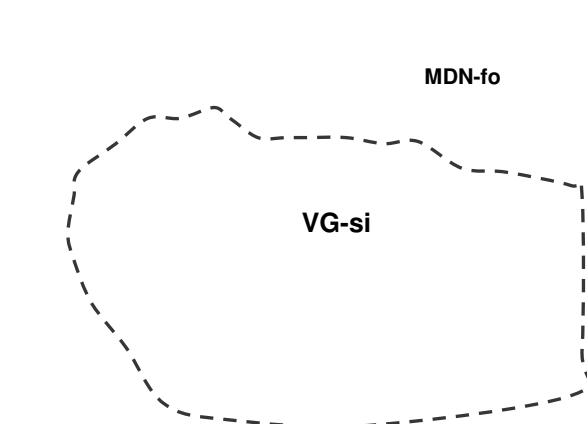
Unidad Genética de Relieve	Paisaje	Subpaisaje	Geoforma	Símbolo
	Montañas denudativas en Tonalitas		Laderas ligeramente onduladas	MDT-Ilo
			Laderas fuertemente onduladas	MDT-Ifo
			Laderas escarpadas	MDT-Ie
			Laderas muy escarpadas	MDT-Ime
	Montañas denudativas en neis		Laderas fuertemente onduladas	MDN-fo
			Laderas escarpadas	MDN-lee
			Laderas escarpadas	MDN-Ie
			Laderas muy escarpadas	MDN-Ime
	Montañas denudativas en Ortoneis		Laderas ligeramente onduladas	MDN-Ie
			Laderas fuertemente onduladas	MDN-Ie
			Laderas escarpadas	MDN-Ie
	Vallecito Aluvial		Superficies inclinadas	VA-si
			Laderas inclinadas	VA-li
			Laderas ligeramente onduladas	VA-Ie
	Glacis de Acumulación		Laderas fuertemente onduladas	GA-Ifo
			Laderas escarpadas	GA-Ie
			Laderas muy escarpadas	GA-Ime

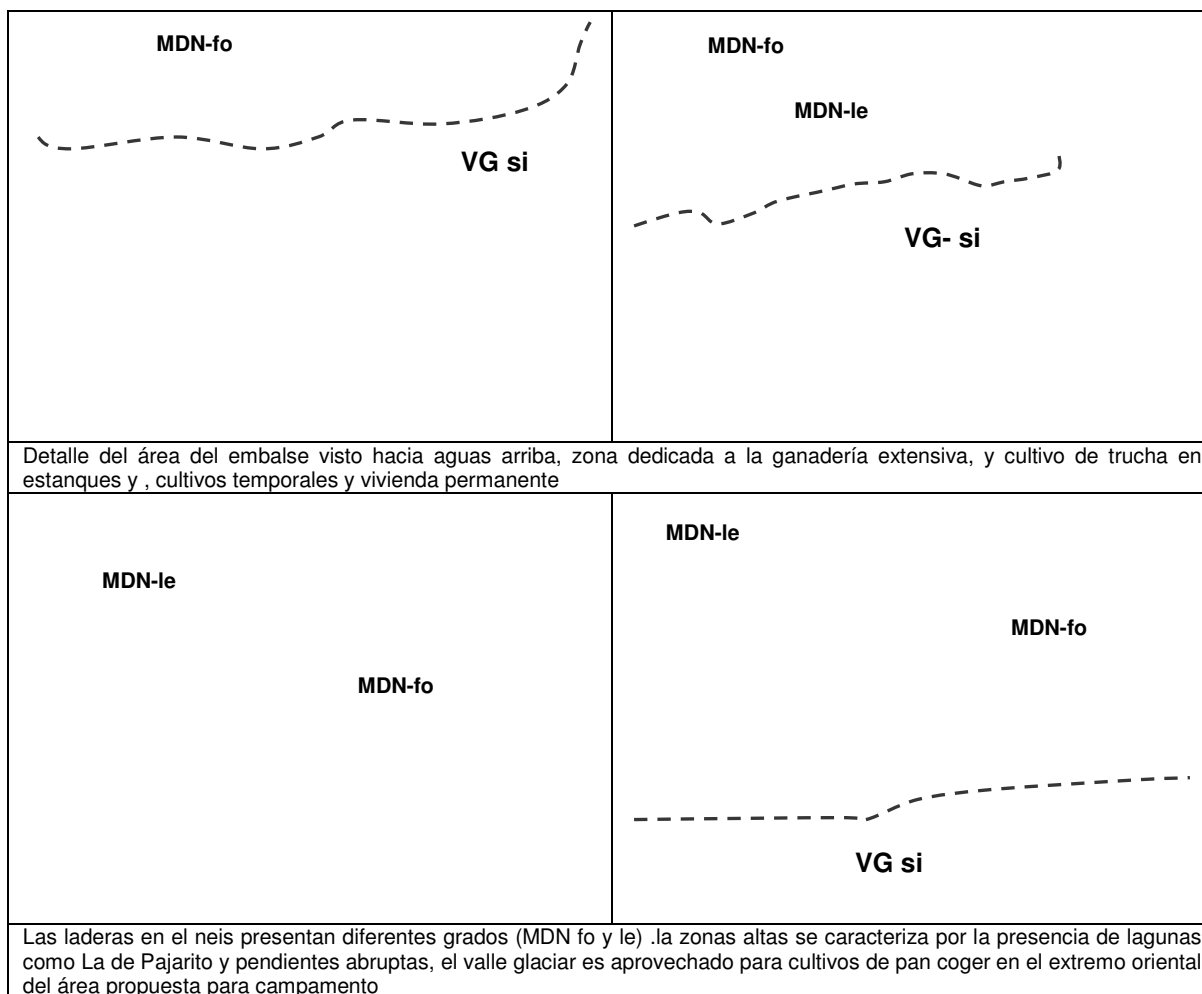
Fuente: Gradex Ingeniería S.A 2.009

En la Tabla 3.2-6 se describe la ubicación de estas unidades sobre fotografías en el sector del pit y en el embalse del salado.

Tabla 3.2-6 Unidades Genéticas de relieve Area del Proyecto Angostura

	
Panorámica Relieve Montañoso Fluvio Erosiona área del Pit laderas escarpadas y muy escarpadas en neis y rocas ígneas	Panorámica Relieve Montañoso Fluvio Erosiona aguas abajo área del proyecto Q La Baja laderas escarpadas y muy escarpadas en neis y rocas ígneas

En la zona del proyecto dada la actividad minera las laderas se encuentran desprovistas de vegetación en algunos puntos y en otros están siendo objeto de recuperación	
	
Relieve Montañoso Glacifluvial, nótese la forma del valle Glaciario (VG si) disectado por la quebrada y las laderas de neis (MDN fo y le) en ambos flancos	Área del campamento parte alta del valle Glaciario (VG si) las laderas de neis ((MDN fo) son menos inclinadas



3.2.2.2 Morfografía

Como se observa en la Tabla 3.2-7, las geoformas fueron diferenciadas de acuerdo con el grado de pendiente desde ligeramente inclinadas hasta muy escarpadas de acuerdo con el grado de inclinación de las mismas, además de esta apreciación se elaboro el mapa de pendientes con las siguientes categorías propuestas por el IGAC para clasificación para lo cual se utilizaron las pendientes agregando una categoría adicional mayor al 100% para emplearlo en análisis geotécnicos (Ver plano PL-MA-GEO-003).

Tabla 3.2-7 Categorías Plano de pendientes

Porcentaje de pendiente		Categorías	
De	A	IGAC	
0	3	a	Planas
3	7	b	Inclinadas
7	12	c	Ligeramente onduladas

Porcentaje de pendiente		Categorías	
De	A	IGAC	
12	25	d	Fuertemente onduladas
25	50	e	Escarpadas
50	75	f	Muy escarpadas
75	100	g	
>100			

En la Tabla 3.2-8 y en el plano PL-MA-GEO-003 se presenta la distribución de los diferentes grados de pendiente en el área de influencia directa e indirecta del proyecto.

Tabla 3.2-8. Distribución de pendientes Área Proyecto Angosturas

Rango	Área de Influencia Directa		Área de Influencia Indirecta		Área Total	
Pendiente %	Área hectáreas	%	Área hectáreas	%	Área hectáreas	%
0-3	192,69	2,30%	310,43	3,68%	503,12	2,99%
3-7	8,12	0,10%	22,74	0,27%	30,86	0,18%
7-12	37,81	0,45%	54,12	0,64%	91,93	0,55%
12-25	435,51	5,19%	1.048,07	12,41%	1.483,58	8,81%
25-50	5.072,84	60,44%	2.831,94	33,54%	7.904,78	46,95%
50-75	2.221,21	26,46%	3.498,04	41,43%	5.719,24	33,97%
75-100	315,72	3,76%	528,88	6,26%	844,60	5,02%
>100	109,71	1,31%	150,03	1,78%	259,74	1,54%
Total	8.393,61	100,00%	8.444,25	100,00%	16.837,86	100,00%

Fuente. Gradex Ingeniería S.A 2.009

Como se aprecia en la Tabla 3.2-8 el 81,5% del área se encontraría en áreas con pendientes entre el 25% y 75%, y el 6% con pendientes muy altas confirmándose la característica montañosa dada al área del proyecto.

3.2.2.3 Morfodinámica

Para el análisis de los proceso Morfodinámicos es necesario tener en consideración los siguientes aspectos:

1. La mayoría de la población de la subcuenca del río Vetás vive de la minería del oro, la cual se realiza a través de socavones, donde extraen el material del interior de la tierra y lo benefician a la orilla de las quebradas La Baja, Angosturas, Páez y el Volcán, trayendo consigo aportes considerables de sedimentos a estas quebradas y a los ríos que estas aportan y los problemas asociados con la formación de cárcavas.

Las áreas de explotación minera anteriormente mencionadas se encuentran plenamente identificadas y son descritas a continuación:

- La primera al lado del casco urbano del municipio de Vetás, la cual presenta una gran montaña completamente erosionada y diezmada, formando un microrelieve completamente alterado.

- La segunda en el municipio de Vetás, en el área denominada el Volcán, donde existe una pequeña microcuenca de la quebrada Volcán, totalmente erosionada en surcos y cárcavas, debido a la actividad minera.
- La tercera en el municipio de California, localizada entre las quebradas de Angostura y Páez donde se encuentra localizado el proyecto antigua zona de explotación la cual presenta erosión asociada a los taludes de las vías adecuadas para la exploración minera.
- La cuarta, se localiza a todo lo largo de la quebrada La Baja, en el municipio de California, que es el área de beneficio de todas las minas existente en sus alrededores.

Además de estos frentes, existen varios sitios a niveles puntuales donde existe extracción de material, a través de socavones, los cuales se distribuyen principalmente en la parte alta del municipio de California, en la vía que de California conduce a la Angostura.

2. La existencia actual de una gran cantidad de bocas de mina, da como resultado final una transformación de la geomorfología natural de estas áreas.
3. Las unidades geomorfológicas de origen denudativo están generalmente cubiertas por depósitos coluviales, que presentan una inestabilidad con vulnerabilidad media ante los fenómenos sísmicos.
4. Los materiales sobrantes de corte en el mantenimiento vial generalmente son depositados en las laderas inmediatamente opuestas a cada uno de los taludes sin ningún tipo de manejo ambiental, generando un depósito de tipo antrópico poco consolidado y altamente saturado que se comporta como masas de volúmenes considerables que ahogan la vegetación preexistente y se presentan altamente inestables.
5. Los materiales estériles generados por la excavación de las galerías exploratorias son inadecuadamente expuestos a condiciones de intemperismo y consecuente degradación, factores que a futuro generaran consecuencias de tipo contaminante en la rehabilitación del área intervenida.
6. Los cortes en la vía exhiben sectores con altas pendientes en taludes de roca con alturas mayores a 15m, que presentan planos de discontinuidades desfavorables al eje vial, generando caídas de roca por volteo.
7. En el distrito minero de California, hasta el momento, la actividad extractiva se ha realizado a pequeña escala, mediante el sistema de socavones, el cual ha generado en época de invierno, colapsos (10) de mediana magnitud en los últimos 5 años, ocasionando pérdidas económicas, representados en afectación a la infraestructura vial (taconamiento de la vía por no más de 2 días) y en algunas ocasiones a maquinaria menor utilizada en el beneficio artesanal a lo largo del cauce de la quebrada La Baja.
8. El área correspondiente a erosión provocada por la explotación minera estimada en el año 2.002 por Gradex Ingeniería S.A era de 102,5 hectáreas y representan el 0,5% de toda la subcuenca; sin embargo, y teniendo en cuenta que esto es la parte superficial, y que este tipo de minería se realiza por socavón, no se pudo determinar la longitud y cantidades de túneles existentes en la cuenca, que en algún momento pueden ocasionar deslizamientos, con las consecuencia que estos provocan.

9. La formación de Terracetas por sobre pastoreo o “patas de vacas” son más frecuentes en laderas fuertes de montañas y colinas, con cobertura de pastos, apareciendo microdeslizamientos múltiples de tipo laminar.

A continuación se describen los procesos identificados en las áreas objeto de intervención de las dos unidades genéticas de relieve anteriormente descritas.

3.2.2.3.1 *Procesos erosivos identificados en Relieve Montañoso Glacifluvial*

Un sector típico para identificar los procesos erosivos que ocurren en este tipo de unidad corresponde al área propuesta para el embalse en el sector del Salado. Estos procesos corresponden a la erosión laminar y en surcos y a eventuales terracetas por sobrepastoreo en las laderas de neis pobres en suelo y que son utilizadas para ganadería extensiva.

En la Foto 3.2-3 se describen algunos de los procesos identificados en el reconocimiento de campo.

Foto 3.2-3 Procesos erosivos identificados área del Embalse de El Salado

Erosión laminar y eventuales terracetas por sobrepastoreo en las laderas, al momento del reconocimiento no se observó pastoreo de ganado pero la cobertura predominante corresponde a pastos usados con este fin	

3.2.2.3.2 Procesos erosivos identificados en Relieve Montañoso Fluvio Erosional

En este tipo de relieve se encuentran localizadas la mayoría de explotaciones mineras donde además de los procesos de erosión laminar y en surcos y a eventuales terracetas por sobrepastoreo, anteriormente descritos, se presentan procesos de remoción en masa activos localizados en el área de influencia directa y que corresponden a desprendimientos de suelos. Ver Foto 3.2-4 y Foto 3.2-5.

Con respecto al área del proyecto se puede anotar que dentro del área objeto del estudio no se adelantan actualmente labores de explotación y se están realizando actividades de exploración y estudios complementarios que requieren de perforaciones con equipos rotopecusores.

Foto 3.2-4 Deslizamiento Mayo 17 de 2006, entrada proyecto Angostura.

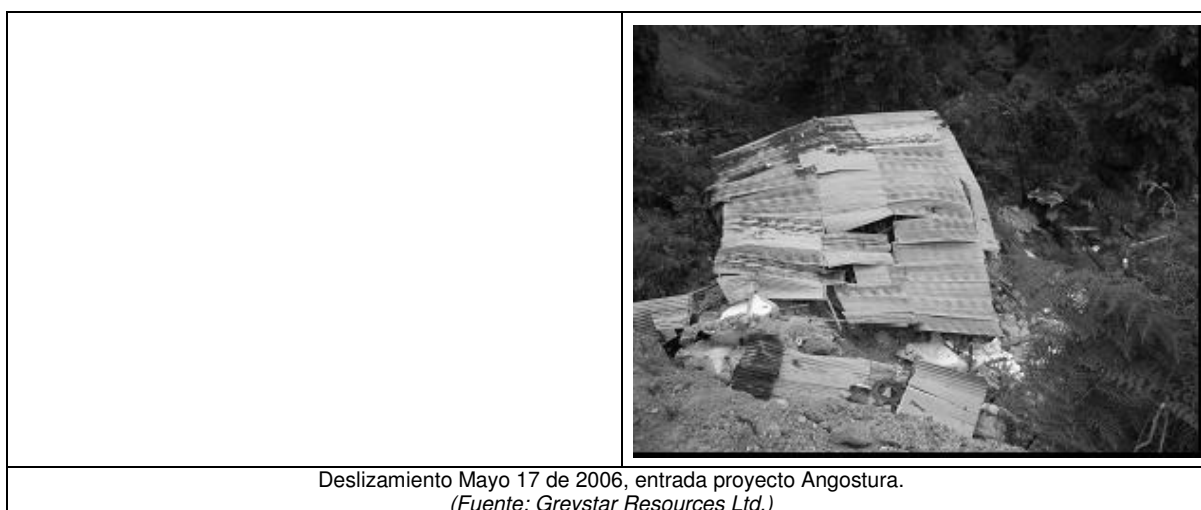


Foto 3.2-5 Derrumbe Mayo 17 de 2006, vía California – Proyecto Angostura.



3.2.2.4 Morfoestructuras

Los principales rasgos morfoestructurales corresponden a las fallas de La Baja, Cucutilla ampliamente descritas en los geológicas a nivel regional y a nivel local.

3.2.3 Suelos

El conocimiento del comportamiento suelo es fundamental en el análisis del entorno físico y socioeconómico del área en la que se pretende desarrollar el proyecto de minería del oro que contienen los estratos geológicos del paisaje de alta montaña, cerca de la línea divisoria de aguas de las cuencas de los ríos Suratá (Santander) y Cucutilla (Norte de Santander).

El suelo por ser el resultado de la acción combinada de los factores climáticos, geomorfológicos, geológicos y del conjunto de organismos vivos incluyendo el hombre, a través del tiempo, facilita entender la naturaleza y la complejidad de los ecosistemas de los que hace parte, permite identificar los efectos positivos y negativos de la actividad antrópica y es una base de criterio objetivo para predecir los impactos de la extracción del metal precioso que podrían ocurrir en el futuro, tanto en la zona de influencia inmediata de la mina, como en las cuencas hidrográficas altas de los ríos mencionados.

El aporte del estudio edafológico al análisis ambiental se centra en tres aspectos importantes; el primero hace parte de la línea base en relación con el medio físico-biológico de la zona de interés; el segundo tiene que ver con la definición de la vocación o capacidad de uso de las tierras y el tercero está relacionado con la determinación de la vulnerabilidad del área ante la acción de los factores ambientales y la actividad humana.

3.2.3.1 Área de influencia indirecta

3.2.3.1.1 Metodología

El análisis edafológico de la zona de influencia indirecta del Proyecto Aurífero Angostura se llevó a efecto consultando los estudios de suelos que ha realizado en la región el Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC, los cuales corresponden a los levantamientos agrologicos de los departamentos de Santander y Norte de Santander publicados en los años 2000 y 2004, respectivamente.

En las condiciones anotadas el mapa de suelos del área de influencia indirecta del proyecto fue el resultado del ensamble de las cartas temáticas departamentales luego de actualizar la taxonomía y de correlacionar los suelos que conforman las unidades cartográficas, a ambos lados del límite departamental, utilizando para efecto criterios de tipo climático, geomorfológico y geológico.

Una carta temática que resultó muy útil para identificar las provincias de humedad en la zona estudiada fue el Mapa Ecológico de Colombia (Plancha No. 9) elaborado de acuerdo al sistema de formaciones vegetales de Holdridge y publicado por el IGAC en 1977. Una vez conocidos y caracterizados todos los componentes del mosaico edáfico del área de interés se procedió a clasificar las tierras por su capacidad de uso y manejo utilizando para el efecto el sistema de las

ocho clases que desde tiempo atrás adoptó el IGAC (2007)¹. Las cuatro primeras clases tienen capacidad para ser utilizadas en agricultura con cultivos limpios y ganadería intensiva tecnificada; la clase 5 es potencialmente apta para fines agrícolas si se superan sus limitaciones de drenaje, pedregosidad, u otros similares removibles; las clases 6 y 7 son muy susceptibles al deterioro por lo que deben utilizarse en sistemas agro-silvo-pastoriles, cultivos permanentes, ganadería extensiva muy bien manejada, reforestación y bosque nativo. La clase 8, por la extrema vulnerabilidad de las tierras y/o por el valor estratégico que tienen las tierras como reguladoras y protectoras del recurso agua, constituyen áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza.

El sistema de agrupación de las tierras por su capacidad de uso contempla un segundo nivel categórico (subclases) cuyo fundamento son las limitaciones por pendiente (p), erosión (e), excesivo de humedad (h), problemas físicos y químicos en el suelo (s) y condiciones climáticas extremas (c).

La tercera categoría la constituyen los grupos de capacidad los cuales son muy específicos desde el punto de vista de la capacidad de uso y manejo de la tierra por lo que su aplicación se restringe a los estudios detallados de escala grande (>1:25 000).

Es importante destacar que el análisis del componente suelo en la zona de estudio se hizo con base en información secundaria (estudio de suelos de los departamentos de Santander y Norte de Santander, cuya cartografía temática es de escala 1:100.000) y se complementó con descripciones de suelos en el campo distribuidas éstas en los diferentes frentes de trabajo de la Compañía Minera. Por lo anterior, y por la naturaleza misma del estudio que se llevó a efecto, la vocación de los suelos, denominada también uso potencial, se definió a nivel de clase y subclase.

3.2.3.1.2 Caracterización edáfica de los suelos del área de influencia

Los suelos del área de influencia regional del Proyecto Aurífero Angostura pertenecen al paisaje de alta montaña (M), entre los 2000 y 3800 msnm. En esa amplia franja los tipos de relieve corresponden a filas y vigas, crestas homoclinales, escarpes, lomas y colinas, glaciares y vallecitos intermontanos.

Los materiales parentales son areniscas, limonitas, lutitas, filitas, granodioritas, cuarzodioritas, granitos, esquistos, neises, depósitos clásticos gravigénicos e hidrogravigénicos y aluviones mixtos; hay cenizas volcánicas en algunos sitios.

Desde el punto de vista climático el área comprende, de arriba abajo: el piso extremadamente frío húmedo a muy húmedo (páramo; altura >3600 msnm), el muy frío húmedo a muy húmedo (subpáramo; altura 3000 - 3600 msnm), el frío húmedo y el muy húmedo (altura; 2000 – 3000 msnm).

La combinación de los factores mencionados conforman ambientes edafogenéticos homogéneos en cada una de los cuales se constituyeron las unidades cartográficas del mapa de suelos que, en este caso, corresponden a ocho (8) asociaciones, siete (7) consociaciones y un complejo.

¹ IGAC, 2007 Metodología para la Clasificación de las Tierras por su Capacidad de Uso. Subdirección de Agrología. Bogotá D.C. 61 p.

- **La Edafodiversidad**

Los suelos que componen el mosaico edáfico de la región pertenecen a las categorías en la pirámide taxonómica que se presentan en la Tabla 3.2-9.

Tabla 3.2-9 Categorías en la pirámide taxonómica a las que pertenecen los suelos que componen el mosaico edáfico de la región

ORDEN	GRAN GRUPO	SUBGRUPO
Entisoles	Cryorthent	Cryorthent lítico
	Udorthent	Udorthent típico Udorthent lítico
	Fluvaquent	Fluvaquent típico Fluvaquent aérico
Inceptisoles	Dystrocryept	Dystrocryept típico
	Dystrudept	Dystrudept típico Dystrudept húmico Dystrudept lítico Dystrudept ándico Dystrudept fluvéntico
Andisoles	Melanudand	Melanudand típico
	Hapludand	Hapludand típico
Mollisoles	Hapludoll	Hapludoll típico Hapludoll lítico
Histosoles	Haplohemist	Haplohemist típico

El IGAC estableció una simbología unificada para identificar las unidades cartográficas de suelos que, para efectos de la zona de influencia del proyecto, está conformada por tres letras mayúsculas cuyo significado es el siguiente:

La primera (M) indica el paisaje de montaña en el cual están ubicados todos los suelos estudiados. La segunda identifica la franja climática, así:

E: Extremadamente frío, muy húmedo

H: Muy húmedo

L: Frío húmedo

K: Frío muy húmedo

La tercera letra se refiere a las unidades de suelos que se identificaron y se delimitaron en cada franja climática del paisaje de montaña.

Es interesante anotar que se presentan afloramientos rocosos en cinco unidades de mapeo. En el páramo este fenómeno constituye, al menos, el 50% del área ocupada por la asociación MEA.

La edafodiversidad en la zona de influencia del proyecto minero está dada no solo por el número de clases taxonómicas, sino también por la variación de las características fisicoquímicas de los suelos.

La profundidad efectiva para el normal desarrollo de las raíces de las plantas oscila desde muy superficial hasta profunda; el drenaje tiende a ser excesivo en las laderas más inclinadas de la montaña, bueno en condiciones topográficas más suaves y pobre en sectores plano depresionales (valles intermontanos y algunas áreas de los glaciares).

La textura es una de las características más variables entre suelos y en el perfil. Los estudios del IGAC reportan altos contenidos de arena y gravilla en unos y abundante arcilla en otros, con tendencia al predominio de la primera clase de partículas.

En relación con las propiedades químicas hay un claro predominio de los suelos ácidos bajos en saturación de bases, altos en aluminio tóxico para muchas especies vegetales y con niveles bajos de fertilidad.

En materia de edofogénesis se puede afirmar que los suelos son, en general, jóvenes; algunos, como los entisoles, presentan muy poco desarrollo; los inceptisoles, los andisoles y los mollisoles tienen un grado más avanzado de evolución como lo demuestra la presencia del horizonte B (cámbico) en el perfil del suelo. Los histosoles, por su carácter orgánico y la semidescomposición de las fibras vegetales, están en un estado intermedio de evolución genética.

3.2.3.1.3 Descripción de los suelos

En la descripción de la asociación o consociación, se señala el tipo de perfil de los suelos que componen las unidades cartográficas mencionadas. La información fue tomada de los estudios de suelos elaborados por el IGAC los cuales están citados en la descripción de la metodología.

La información secundaria mencionada permitió conocer el patrón de distribución de los suelos en la zona de influencia del Proyecto Minero; las características morfológicas (perfil y horizonte) y físico-químicas constituyen los criterios fundamentales para definir la vocación de las tierras que es el objetivo central del análisis agrologico.

Los perfiles de suelo, tal como se observan en la naturaleza, están constituidos por capas que corren más o menos paralelas a la superficie del terreno y cuyas características particulares son el resultado de la edafogénesis.

Los horizontes del suelo se señalan con letras mayúsculas (O, A, B, C, R) y los subhorizontes con letras minúsculas. El horizonte O es de naturaleza principalmente orgánica; el A es una mezcla íntima de materiales orgánicos y minerales y se encuentra, por lo general, en la superficie del suelo; el B es un horizonte en el que se aprecia la tendencia y la fuerza del proceso genético; hay horizontes B por enriquecimiento de sustancias translocadas (iluvación) y por transformación o alteración de los minerales primarios y/o por formación de estructura. El C está conformado por material parental poco alterado; el R corresponde a la roca madre no alterada. En las descripciones de las unidades de suelos es usual utilizar la secuencia de los horizontes principales para señalar el perfil y su grado de evolución.

La descripción de cada una de las unidades cartográficas que conforman el mapa de suelos del área de estudio se presenta en la Tabla 3.2-10 (ver plano PL-MA-SUE-001).

Tabla 3.2-10 Descripción de las unidades cartográficas que conforman el mapa de suelos del área de estudio

CLIMA	TIPO DE DRENAJE	LITOLOGÍA Y/O SEDIMENTOS	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS SUELOS	UNIDADES CARTOGRÁFICAS Y COMPONENTES TAXONÓMICOS UNIDADES /SUBGRUPO	%	SÍMBOLO	FASES
Extremadamente frío muy húmedo	Crestones escarpes filas y vigas	Areniscas, neis, esquistos, granodioritas	Superficiales y muy superficiales, bien a excesivamente drenados, texturas franco arenosa y franca, muy ácidos, con niveles altos de aluminio, fertilidad baja a muy baja	Asociación Afloramientos rocosos Cryorthents líticos Dystrocryepts líticos	50 30 20	MEA	f g
Muy frío húmedo a muy húmedo	Crestas homoclinales abruptas	Areniscas, neis, esquistos	Superficiales a moderadamente profundos, drenaje excesivo, muy ácidos, altos niveles de aluminio, fertilidad baja	Asociación Dystrudepts húmicos Udorthents típicos Afloramientos rocosos	40 30 20	MHA	g
	Filas y vigas	Granodioritas cuarzo dioritas, paraneiss, granitos, cenizas volcánicas	Superficiales y profundos, drenaje excesivo, texturas franco arenosa, arenosa franca, franco arcillosa, muy ácidos, saturación de aluminio alta, fertilidad baja	Asociación Dystrudepts húmicos, líticos Dystrudepts ándicos Melanudands típicos	40 30 25	MHB	f g

CLIMA	TIPO DE DRENAJE	LITOLOGÍA Y/O SEDIMENTOS	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS SUELOS	UNIDADES CARTOGRÁFICAS Y COMPONENTES TAXONÓMICOS UNIDADES /SUBGRUPO	%	SÍMBOLO	FASES
	Lomas y colinas	Areniscas y arcillolitas	Profundos con inclusiones de suelos superficiales, bien drenados, texturas franco arenosas, francas y franco arcillosas, muy ácidos con alta saturación de aluminio y fertilidad baja	Asociación Dystrudepts húmicos Dystrudepts típicos Dystrudepts líticos	40 30 25	MHC	e2
Frío húmedo	Filas y vigas	Limolitas, lutitas con intercalaciones de areniscas, cenizas volcánicas en algunos sectores	Moderadamente profundos y profundos; excesivamente drenados, texturas franca arcillo arenosa, franco arcillosa y arcillosa; ácidos, fertilidad baja	Asociación Udorthents típicos Dystrudepts típicos Dystrudepts húmicos Hapludands típicos	35 25 25 10	MLA	f2 g
		Granodiorita, cuarzo monzonita y paraneiss	Profundos, excesivamente drenados, textura franco arenosa, franco arcillo arenosa, arcillosa, muy ácidos, nivel de fertilidad baja	Asociación Dystrudepts típicos Dystrudepts húmicos, ándicos Hapludolls líticos	45 40 10	MLB	g
	Lomas y colinas	Cenizas alteradas sobre areniscas y arcillolitas sectorizadas	Profundos, bien drenados, textura franco arenosa, franco arcillo arenosa, arcillosa y arcillo limosa, muy ácidos, aluminio en niveles tóxicos, fertilidad baja.	Consociación Dystrudepts húmicos, ándicos Udorthents típicos	85 10	MLD	e e2

FASES	
Pendiente	
Clase	%
e	25-50
f	50-75
g	>75
Erosión	
Clase	Símbolo
Ligera	1
Moderada	2

- **Suelos de Clima Extremadamente Muy Húmedo**

- Asociación MEA

Afloramientos rocosos (50%)

Cryorthents líticos (30%)

Distrocryepts líticos (20%)

Esta unidad cartográfica ocurre en la franja más alta de la montaña, a alturas superiores a los 3600 msnm, lo que corresponde al páramo propiamente dicho, ecosistema estratégico para la preservación y la regulación de las aguas que allí se generan. Los tipos de relieve que predominan son los crestones, los escarpes, las filas y las vigas; la topografía es escarpada, con pendientes que, por lo general, superan el 75%.

Los afloramientos rocosos son muy comunes en la asociación al punto de que ocupan el 50% del área. La litología que obra como material parental de los suelos corresponde a granodioritas, cuarzomozonitas, areniscas, neiss y esquistos.

Los suelos tienen un grado incipiente de evolución (Entisoles), aunque ocurren algunos sectores en los que se evidencia un mayor desarrollo genético (Inceptisoles); los primeros están localizados en los sectores medios y bajos de las laderas; su perfil es del tipo A-R; los segundos ocupan áreas de menor pendiente, generalmente al pie de las laderas; el perfil es igual al anterior en cuanto a la nomenclatura de horizontes, pero en este caso el A es grueso por lo que reúne todas las condiciones para ser considerado epiedón úmbrico, razón por la cual el suelo se considera inceptisol a pesar de carecer de un horizonte B cámbico.

Los suelos son superficiales a muy superficiales, bien a excesivamente drenados, tienen texturas franco arenosas y francas, son muy ácidos, altos en aluminio intercambiable, bajos en calcio, magnesio y fósforo y con un nivel bajo a muy bajo de fertilidad.

En la zona de estudio se identificaron dos fases por pendiente y erosión:

MEA f: Relieve escarpado, pendiente 50-75%

Esta fase cubre una extensión de 162,5 ha en el área de influencia indirecta, correspondiendo al 1,0 % de ésta. Esta fase no se encuentra dentro del área de influencia directa.

MEA g: Relieve muy escarpado, pendientes superiores al 75%.

Dentro del área de influencia indirecta, esta unidad alcanza una extensión de 5363,5 ha, conformándose como la unidad más extensa del área de influencia indirecta, ocupando el 31,8% de la misma.

Dentro del área de influencia directa, también ocupa la mayor extensión, con 3297,5 ha, que corresponde al 53,6% de toda el área de influencia directa.

Dentro del área directamente afectada por las obras de infraestructura, ocupa una extensión de 635,6 ha que corresponde al 58,5% del área total.

- **Suelos de Clima Muy Frío Húmedo a Muy Húmedo**

- Asociación MHA

Dystrudepts húmicos (40%)

Udorthents típicos (30%)

Aforamientos rocosos (20%)

La asociación está ubicada en la franja de subpáramo (3000-3600 msnm) en el tipo de relieve conocido con el nombre de crestas homoclinales abruptas (pendientes mayores del 75%); el material de origen de los suelos está constituido por areniscas, neís y esquistos.

Los suelos son superficiales a moderadamente profundos, bien a excesivamente drenados y poco a moderadamente desarrollados. Los inceptisoles presentan texturas francas a franco arcillosas y los entisoles franco arenosa a franco arillo arenosa; en ambos casos la acidez es muy alta; hay poco calcio, magnesio, potasio y fósforo, baja saturación de bases, contenido alto de aluminio activo y el nivel de fertilidad es bajo.

En el levantamiento general solo se identificó, en el área de estudio, una fase por pendiente:

MHA g: Relieve muy escarpado, pendientes mayores del 75%.

Dentro del área de influencia indirecta, esta fase cubre 872,1 ha, correspondiente al 5,2% de toda el AII. Dentro el área de influencia directa no se encuentra presente.

- Asociación MHB

Dystrudepts húmicos (40%)

Dystrudepts ándicos (30%)

Melanudands típicos (25%)

Ocupa esta unidad, como la anterior, áreas de subpáramo en las que el tipo de relieve corresponde a filas y vigas con litología ígnea (granodioritas, cuarzodioritas, granitos y depósitos de cenizas volcánicas). La topografía dominante es escarpada a muy escapada, con pendientes 50-75% y mayores de 75%; hay sectores con erosión moderada.

Los suelos de la asociación son evolucionados en grado moderado, superficiales y profundos, y bien a excesivamente drenados.

Los Dystrudepts húmicos líticos, ocupan los sectores altos y medios de la unidad y tienen perfil A – R en el que el horizonte superior es grueso de color negro y bien estructurado por lo que clasifica como un epipedón úmbrico lo que lleva al suelo al orden de los inceptisoles; las texturas son franco arenosas.

Los Dystrudepts ándicos están en las partes medias y bajas del paisaje y presentan perfil A – Bw – C con texturas arenosa franca y franco arenosa; son profundos.

Los suelos derivados de cenizas volcánicas se hallan en las cimas del paisaje en donde han desarrollado un perfil del tipo A – Bw – C; las texturas son francas en la sección superior y arcillosas y franco arcillosas en la profundidad.

Desde el punto de vista químico son suelos muy ácidos, pobres en nutrientes, altos en aluminio activo y con un nivel de fertilidad bajo.

En la zona de estudio se identificó una fase por pendiente y erosión:

MHB g: Relieve muy escarpado, pendientes mayores del 75%.

En el área de influencia indirecta cubre 4372,9 ha, que corresponde al 26% del total del AI. La mayoría de esta unidad se encuentra dentro del área de influencia directa, con un total de 1964,3 ha, que corresponde al 31,9% del AI. Dentro del área directamente afectada por las obras de infraestructura ocupa un área de 449,3 ha, que corresponden al 41,4% del área total.

– Asociación MHC

Dystrudepts húmicos (40%)

Dystrudepts típicos (30%)

Dystrudepts líticos (25%)

Es la tercera asociación de suelos ubicada en el subpáramo; el tipo de relieve se denomina lomas y colinas; el material parental corresponde a areniscas y arcillolitas; la topografía es moderada a fuertemente ondulada con pendientes dominantes 25 – 50%; hay erosión moderada.

Desde el punto de vista genético solamente la Dystrudepts húmicos presentan horizonte B; en los otros dos componentes edáficos de la unidad el horizonte A es úmbrico lo que se considera un requisito suficiente para llevar los suelos al orden Inceptisol.

Los suelos con horizonte B cámbico tienen la siguiente secuencia textural: franco arenosa – franco arcillosa; en el resto de los suelos hay mayores contenidos de arena (franco arenosos); en estos hay abundante presencia de fragmentos gruesos en el perfil.

Los suelos, en toda la unidad, son profundos, con sectores en los que hay escasa profundidad efectiva para el desarrollo de las raíces de las plantas. El drenaje natural es bueno. Químicamente son muy ácidos, con alta saturación de aluminio, pobres en nutrientes y con un nivel de fertilidad bajo.

Hay en el área de estudio una fase por pendiente y erosión:

MHC e2: Relieve fuertemente ondulado, pendientes 25-50%, erosión moderada.

Esta fase solo se encuentra presente dentro del área de influencia indirecta y ocupa una extensión total 1,3 ha, correspondiente al 0,01% de esta área.

- **Suelos de Clima Frío Húmedo**

– Asociación MLA

Udorthents típicos (35%)

Dystrudepts típicos (25%)

Dystrudepts húmicos (25%)

Hapludands típicos (10%)

Esta unidad de suelos asociados es la primera de una gama de tres asociaciones, dos consociaciones y un complejo que fueron identificados y delimitados en el piso térmico frío (2000 – 3000 msnm) y en la provincia húmeda de la zona de estudio. Geomorfológicamente corresponde al tipo de relieve denominado filas y vigas, en condiciones topográficas escarpadas con pendientes 50-75% y muy escarpadas con pendientes superiores al 75%.

El material parental es de origen sedimentario con inclusiones ígneas; está constituido por limonitas, lulitas y cenizas volcánicas en algunos sectores.

Los entisoles ocupan las partes altas de las laderas; tienen un perfil de tipo A-C con muy poco desarrollo genético y textura franco arcillosa con gravilla la cual aumenta hasta un 70% en el horizonte C.

Los inceptisoles ocurren en las partes altas, medias y bajas de las filas y vigas; el perfil es del tipo A – Bw – C; las texturas en el Dystrudept típico son franco arcillosas y en el Dystrudept húmico son franco arcillo arenosa y arcillosa.

En términos generales los suelos son moderadamente profundos y profundos, excesivamente drenados. Clínicamente son muy ácidos, pobres en nutrientes, altos en aluminio y de fertilidad baja.

Se identificaron dos por pendiente y erosión

MLA f2: Relieve escarpado; pendientes 50-75%, erosión moderada

En el área de influencia indirecta cubre 900,7 ha, correspondiente al 5,3% del AII. Dentro del área de influencia directa no se encuentra presente.

MLA g: Relieve muy escarpado; pendientes mayores del 75%.

Cubre 338,2 ha en el área de influencia indirecta, que corresponde al 2% del total. Dentro del área de influencia directa no se encuentra presente.

– Asociación MLB

Dystrudepts típicos (45%)

Dystrudepts húmicos, ándicos (40%)

Hapludolls líticos (10%)

Comparte esta unidad con la anterior, el tipo de relieve de filas y vigas; la litología a partir de la cual se originaron los suelos corresponde a granodioritas, cuarzo monzonitas y para neiss; la topografía es escarpada (pendientes 50-75%) y muy escarpada (pendientes superiores al 75%), con fases por erosión moderada.

Los suelos tienen signos de evolución genética moderada (perfiles A-B y A-AB-B-2B en el Dystrudept típico y en el húmico, ándico, respectivamente); son suelos profundos con texturas franca arenosa, franco arcillo arenosa y arcillosa; el drenaje es excesivo.

Los análisis de laboratorio señalan un grado de acidez moderado a fuerte, pobreza en nutrientes para las plantas, alta saturación de aluminio, y un nivel de fertilidad bajo.

En el levantamiento general solo se identificó, en el área de estudio, una fase por pendiente:

MLB g: Relieve muy escarpado, pendientes mayores del 75%.

Esta fase cubre una extensión de 2501,4 ha en el área de influencia indirecta, correspondiendo al 14,9 % de ésta. Toda esta fase se encuentra en el área de influencia directa, que para este caso corresponde al 14,5%. Dentro del área directamente afectada por las obras de infraestructura ocupa un área de 1,1 ha, que corresponde al 0,1% del área total.

– Consociación MLD

Dystrudepts húmicos, ándicos (85%)
 Udorthents típicos (10%)

Se distribuye la unidad en el tipo de relieve denominado lomas y colinas del paisaje montañoso en el piso térmico frío húmedo. La topografía es fuertemente ondulada con pendientes 25-50%; hay fases por erosión moderada.

Los suelos se derivan de cenizas volcánicas alteradas, depositadas sobre areniscas y arcillolitas sectorizadas; son profundos, bien drenados, con texturas franco arenosa, franco arcillo arenosa, arcillosa y arcillo limosa. El perfil es del tipo A-Bw-C.

Los análisis químicos mostraron que los suelos son muy ácidos, pobres en nutrientes, altos en aluminio activo, distróficos (baja saturación de bases) y con un nivel de fertilidad baja.

La consociación presenta una fases por pendiente y erosión:

MLD e: Relieve fuertemente ondulado, pendiente 25-50%.

Esta fase sólo se identificó en el área de influencia indirecta, con 275,5 ha (1,6%)

En la Tabla 3.2-11 se presentan las extensiones y porcentajes de las diferentes fases de suelos identificadas en las áreas de influencia indirecta y directa para el proyecto.

Tabla 3.2-11 Extensiones de las consociaciones y fases de suelos presentes en las áreas de influencia indirecta, directa y afectada por obras de infraestructura.

Consociaciones y fases de suelos	Área de influencia indirecta - All		Área de influencia directa - AID		Área afectada por obras de infraestructura	
	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
MEA f	162,5	1,0	-	-	-	-
MEA g	5363,5	31,8	3297,5	53,6	635,6	58,5
MHA g	872,1	5,2	-	-	-	-
MKCG	139,4	0,8	-	-	-	-
MHB g	4372,9	26,0	1964,3	31,9	449,3	41,4
MHC e2	1,3	0,01	-	-	-	-
MLA f2	900,7	5,3	-	-	-	-

Consociaciones y fases de suelos	Área de influencia indirecta - All		Área de influencia directa - AID		Área afectada por obras de infraestructura	
	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
MLA g	1387,9	8,2	-	-	-	-
MLB g	2501,4	14,9	893,2	14,5	1,1	0,1
MLD e	275,5	1,6	-	-	-	-
MLAg	338,2	2,0	-	-	-	-
Sin información	524,6	3,1	-	-	-	-
TOTAL	1840,0	100	6155,0	100	1086	100

3.2.3.1.4 Capacidad de uso y manejo de las tierras

Definir la capacidad de uso y manejo de las tierras de la zona de influencia del Proyecto Aurífero Angostura es el objetivo más importante del análisis del componente suelo en el entorno físico-biológico por la naturaleza de los ecosistemas involucrados directamente en la explotación minera.

- **Factores limitantes del uso de las tierras**

Las limitantes para la utilización de las tierras con fines diferentes a los de conservación y protección del medio natural están relacionadas con las condiciones climáticas que caracterizan a los ecosistemas ubicados en la alta montaña: bajas temperaturas, alta precipitación pluvial, nubosidad casi permanente, ocurrencia de heladas y vientos fuertes en algunas temporadas del año.

Adicionalmente, hay áreas extensas en las que la topografía es escarpada a muy escarpada con pendientes 50-75% y mayores del 75% en las que el drenaje natural es excesivo, lo que implica que durante los aguaceros se produzca escurrimiento fuerte que se torna turbulento en áreas que han perdido la cobertura vegetal original.

La pluviosidad y el relieve abrupto se conjugan para imprimirle al área una vulnerabilidad muy alta ante la acción de los factores atmosféricos y la actividad antrópica.

El suelo tiene propiedades físicas y químicas que no son favorables para el crecimiento de una amplia gama de plantas; estas son la fuerte acidez, la presencia de aluminio activo en proporciones tóxicas, la pobreza marcada en calcio, magnesio, potasio y fósforo y el nivel de fertilidad bajo.

En la franja cuya altitud supera los 3600 msnm, la función ecosistémica limita el uso de la tierra a la conservación de la naturaleza.

3.2.3.1.5 Clasificación agrológica y usos del suelo

La agrupación de los suelos de acuerdo a su capacidad de uso y manejo utilizando el sistema de las clases agrológicas, explicado en el numeral dedicado a la metodología seleccionada para llevar a efecto el estudio de los suelos, señala la ocurrencia de tierras para agricultura, de áreas para el desarrollo ganadero, zonas de vocación forestal y de amplios sectores que deben ser dedicados a la conservación y/o recuperación de la naturaleza.

Específicamente la clasificación agrológica demostró que en la zona de influencia indirecta del proyecto los suelos pertenecen a las clases y subclases de tierras que se presentan en la Tabla 3.2-12

Tabla 3.2-12 Clasificación agrológica en la zona de estudio.

Manejo	Clase /Subclase Agrológica	Unidades de Suelos Símbolos	Características de las Tierras
Tierras para ganadería, cultivos permanentes, sistemas agro-silvo-pastoriles y/o reforestación GAR	VI ec	MLD e2	Están localizadas en los pisos térmicos frío y muy frío, en topografía muy quebrada con pendientes 25-50%, excepto un pequeño valle en el que los suelos son muy pobremente drenados y el relieve plano. El sistema ideal en estas condiciones es el agro-silvo-pastoril para producir alimentos y proteger el suelo. Los cultivos permanentes y/o la plantación de árboles se ajustan bastante bien a las condiciones de vulnerabilidad del área. La ganadería debe ser manejada con especial cuidado, evitando el sobrepastoreo.
	VI p	MLD e	
Tierras para bosque protector productor BPP	VII pc	MHB f MHC e2	Ocurren en el piso térmico frío húmedo a muy húmedo, en topografía escarpada con pendientes 50-75%; un sector pertenece al subpáramo. Hay áreas con erosión moderada. La susceptibilidad al deterioro es muy alta.
	VII pe	MLA f2	Los suelos, a pesar de las fuertes pendientes tienen suficiente profundidad efectiva para el anclaje y la nutrición de la vegetación arbórea. El bosque en las condiciones expuestas es protector y puede ser utilizado bajo las normas y el espíritu del desarrollo sostenible.
Tierras para la conservación del medio natural CMN	VIII pc	MEA g MEA f MHA g MHB g	Están ubicadas en el páramo (Altitud > 3600 msnm) y en los sectores muy escarpados del subpáramo (3000 - 3600 msnm); las pendientes superan, en general, el 75% de inclinación. La susceptibilidad al deterioro es, en extremo, alta. La vocación de estos suelos es de protección y conservación.
Tierras para la protección con cobertura vegetal permanente multiestrata	VIII p	MLA g MLB g	Aparecen en el piso térmico frío húmedo a muy húmedo (2000 - 3000 msnm) en condiciones de topografía muy escarpada con pendientes mayores del 75%. La susceptibilidad al deterioro es en extremo alta; los

Manejo	Clase /Subclase Agrológica	Unidades de Suelos Símbolos	Características de las Tierras
CVP			suelos son moderadamente profundos y superficiales en algunos sectores. A diferencia de la unidad anterior, en esta crece el bosque el cual, bien sea nativo o plantado, tiene un carácter exclusivamente protector de las cuencas, la biodiversidad, las aguas y la belleza escénica.

En la Tabla 3.2-13 se presenta la extensión de las cuatro clases agrológicas identificadas en el área de influencia indirecta del proyecto. De las 16840 ha correspondientes al AII, el 63,96 % corresponden a tierras cuya vocación es la conservación del medio natural (CMN/VIII pc), seguidas por las tierras aptas para protección con cobertura vegetal permanente multiestratos con el 25,9 %. Las otras dos unidades presentaron menos del 8% de la extensión total.

Tabla 3.2-13 Extensión de la clasificación agrológica en el área de influencia indirecta (AII), directa (AID) y afectada por obras de infraestructura

		AII		AID		Área afectada por obras de infraestructura	
Clase / Subclase agrológica	Símbolo	Extensión (ha)	%	Extensión (ha)	%	Extensión (ha)	%
Tierras para la conservación del medio natural	CMN/VIII pc	10771,0	63,96	5261,8	85,5	1084,9	99,9
Tierras para la protección con cobertura vegetal permanente multiestratos	CVP/VIII p	4366,9	25,93	893,2	14,5	1,1	0,1
Tierras para bosque protector productor	BPP VII pc	902,1	5,36	-	-	-	-
Tierras para ganadería, cultivos permanentes, sistemas agro-silvo-pastoriles y/o reforestación	GAR VI /pe	275,5	1,64	-	-	-	-
Sin información		524,6	3,12	-	-	-	-
Total		16840,0	100,0	6155,0	100,0	1086,0	100

A continuación se describen las unidades de uso y manejo presentadas en la Tabla 3.2-12 (ver plano PL-MA-SUE-002).

- **Tierras para la Conservación del Medio Natural (CMN).**

Las tierras de esta agrupación pertenecen a la Clase VIII agrológica, subclase pc (por pendientes muy inclinadas y clima muy frío) porque están ubicados en el páramo (más de 3600 msnm) y en los sectores muy escarpados del subpáramo (3000-3600 msnm). Todas coinciden en presentarse en pendientes mayores del 75% lo que las hace muy vulnerables ante la acción de los factores

ambientales y la actividad del hombre. En gran parte de estas franjas altitudinales el bosque, como tal, no existe.

Los suelos involucrados en la unidad para la conservación del medio natural son los que conforman las siguientes asociaciones:

MEA g	MHB g
MHA g	MEA f

Dentro del área de influencia directa, 5.261,8 ha (85,5 %) corresponden a esta unidad de uso potencial del suelo. Para el área directamente afectada por las obras de infraestructura presentan una extensión de 1084,9 ha, correspondiente al 99,9% del área total.

- **Tierras para la Protección con Cobertura Vegetal Permanente Multiestrata – CVP**

Se incluyeron en esta agrupación las tierras de la clase agrológica VIII, subclase p (por pendientes mayores del 75%), en condiciones de clima frío húmedo a muy húmedo y topografía muy escarpada; los suelos son moderadamente profundos y superficiales en algunos sectores; la susceptibilidad al deterioro es alta en extremo y ésta es la principal razón por la que, desde el punto de vista del ordenamiento forestal, a los bosques nativos existentes y a las plantaciones que se lleven a efecto se les da un carácter exclusivamente protector. El único escudo protector del medio físico, en condiciones de topografía tan abrupta, es la cobertura vegetal permanente de múltiples estratos o sea el bosque nativo primario o secundario.

Los suelos incluidos en la agrupación pertenecen a las unidades cartográficas siguientes:

Asociaciones	MLA g
	MLB g

En el área de influencia directa, esta unidad cubre 893,2 ha (14,5%). Dentro del área directamente afectada por las obras de infraestructura cubre 1,1 ha, correspondiente al 0,1% del área total.

- **Tierras para Bosque Protector-Productor – BPP**

Son tierras de la clase agrológica VII, subclase p (pendiente), pc (pendiente, clima), pe (pendiente, erosión), ubicadas en el piso térmico frío húmedo a muy húmedo, en condiciones topográficas escarpadas (pendientes 50-75%); un sector se encuentra en el subpáramo en el que el clima es muy frío húmedo; otras áreas tienen evidencias de erosión moderada. A pesar de las fuertes pendientes los suelos tienen una profundidad efectiva para el anclaje y la nutrición de las raíces de la vegetación arbórea, suficiente en la mayor parte del área.

En las condiciones expuestas el bosque no solo es una cobertura vegetal protectora muy efectiva, sino que puede hacerse de este recurso una utilización económica a condición de que sea sostenible.

El uso agrícola y/o ganadero está excluido definitivamente de las posibilidades de aprovechamiento de las tierras, así que su ocurrencia en la zona constituye un conflicto severo cuyas consecuencias

se reflejan en el desencadenamiento de procesos erosivos, de pérdida de la biodiversidad, de degradación de las cuencas hidrográficas y de disminución del recurso hídrico en cantidad y calidad.

Las unidades cartográficas de suelos que conforman la agrupación son:

Asociaciones	MHB f
	MLA
	f2MHC
	e2

Esta unidad no se encuentra dentro del área de influencia directa.

- **Tierras para ganadería. Cultivos Permanentes, Sistemas Agro-Silvo-Pastoriles y/o Reforestación – GAR**

Estas tierras pertenecen a la clase agrológica VI, subclases por pendientes muy inclinadas (p), clima muy frío (c) y por humedad excesiva en el suelo acompañado por presencia abundante de fragmentos gruesos (h). La topografía es muy quebrada con pendientes dominantes 25-50%, excepto en un pequeño vallecito cuyo relieve es plano y su drenaje muy pobre. Ocurren en los pisos térmicos frío y muy frío.

Las unidades de suelos involucrados en la agrupación son:

Asociaciones:	MLD e2
	MLD e

Esta unidad no se encuentra dentro del área de influencia directa.

3.2.3.2 Área de influencia directa del proyecto

3.2.3.2.1 Metodología

Una vez analizado el componente edáfico a nivel regional la atención se centró en el área de influencia inmediata del proyecto lo que implicó la ejecución de dos actividades fundamentales no solo para profundizar en el conocimiento de los suelos, sino para expresar cartográficamente su patrón de distribución a la escala 1:25.000. Estas fueron: a) la elaboración de un mapa de pendientes; b) la descripción en el campo, de perfiles de suelos en sitios seleccionados de acuerdo a variaciones significativas del relieve y/o del material geológico a partir del cual se han desarrollado los suelos.

El mapa de pendientes se ejecutó utilizando un modelo tridimensional del terreno con curvas de nivel cada 50 metros en una escala 1:25.000. Las clases de pendiente identificadas corresponden a agrupaciones según los límites de variación utilizados por los edafólogos en sus trabajos de reconocimiento de suelos: 0-3%, 3-7%, 7-12%, 12-25%, 25-50%, 50-75% y mayores del 75%.

Las observaciones detalladas de los suelos, durante el trabajo de campo, se hicieron en siete áreas demarcadas por la empresa minera como los sitios seleccionados como frentes para el desarrollo de infraestructura y explotación minera.

La selección de los sitios para llevar a efecto la descripción de los suelos se hizo teniendo en cuenta el piso térmico, el tipo de relieve y la forma de la tierra y la clase de pendientes predominante en el lugar. Las características internas y externas de los perfiles de suelos se registraron en cajuelas o minicalcatas de 40x50x50 cm, las cuales dejan al descubierto los horizontes superficiales orgánicos (o) y orgánico-minerales (A); cuando el suelo ha desarrollado horizonte B este queda visible en su totalidad o en su mayor parte para analizar el desarrollo genético del suelo y si está ausente, el edafólogo concentra su atención en la caracterización y evolución del material intemperizado (horizonte C) y/o inalterado (horizonte R).

Desde el punto de vista de la representatividad de los suelos descritos con respecto al mosaico edáfico de toda la zona de influencia inmediata del proyecto, los frentes de trabajo demarcados por la Empresa Greystar Resources Ltd., sirvieron como zonas piloto porque, en su conjunto, obedecen a las condiciones geomorfológicas, climáticas, geológicas y edafológicas que predominan en las cuencas altas (ecosistemas alto andinos) involucrados en el proyecto minero.

Las zonas de muestreo, los perfiles descritos, la posición geomorfológico, la pendiente del terreno, la altura sobre el nivel del mar, se relacionan en la

Tabla 3.2-14. En el Anexo 3.2.1 se presenta un anexo fotográfico, la información recopilada durante el trabajo de campo y los resultados de laboratorio reportados por el IGAC.

La toma de muestras para la caracterización físico-química en el laboratorio solo se hizo en el caso de los perfiles modales, los cuales precisamente se identificaron mediante los muestreos; como lo sugiere la

Tabla 3.2-14 en el que se señalan con un asterisco (*) los suelos representativos a la vez que los demás se denominan replicas de los anteriores. La palabra modal viene de moda (estadística) de tal manera que las propiedades de los suelos modales son extensivas al resto de las poblaciones edáficas que tipifican.

Tabla 3.2-14 Observaciones de los suelos durante el trabajo realizado en campo

Zona (Frente)	Perfil No.	Posición Geomorfológico	Pendiente (%)	Altura (msnm)
Romeral	01*	Ladera	25-50	3628
	02*	Ladera	7-12	3600
	03*	Vega	0-3	3580
	04	Ladera	50-75	3577
	05*	Terraza	7-12	3545
Kelpa	07*	Ladera	>75	3528
	08*	Ladera	>75	3516
	09	Coluvio	25-50	3330
Angosturas	17*	Ladera	>75	3433
	18	Terraza	12-25	3427
	19	Ladera	>75	3615

Zona (Frente)	Perfil No.	Posición Geomorfológico	Pendiente (%)	Altura (msnm)
	20*	Ladera	>75	3699
Cruz de Lata	21	Cima	3-7	3756
	22	Terraza	3.77-12	3531
	23*	Ladera	>75	3392
	24	Ladera	>75	3258
Móngora	25*	Ladera	>75	3173
	26*	Ladera	>75	3378
Páez	27	Terraza	3-7	3329
	28	Ladera	>75	3339
	29*	Ladera	>75	2856
Campamento	30	Ladera	>75	3060
	31	Ladera	>75	3063
	32	Ladera	>75	3183
	33	Ladera	>75	3286
	34	Cima	7-12	3444

* Descripción de suelos representativos; los demás perfiles corresponden a réplicas
 Es interesante resaltar que en las zonas (frentes) denominados Angosturas, Cruz de Lata, Páez y Campamentos los afloramientos rocosos dominan en las laderas del paisaje montañoso.

3.2.3.2.2 Características particulares de los suelos

Los suelos descritos en cada uno de los frentes de trabajo comparten entre sí varias características comunes; estas son: la topografía muy escarpada con pendientes superiores al 75% en la inclinación de las laderas; la presencia, en cuatro de las zonas, de planos aluviales estrechos con vegas y terrazas (Romeral, Angosturas, Cruz de Lata, Páez); los afloramientos rocosos ocupan áreas extensas y hay suelos superficiales debido a contactos líticos en la sección superior del perfil en Romeral, Angosturas, Cruz de Lata y Campamentos; las cenizas volcánicas como material parental de los suelos ocurren en Angosturas, Cruz de Lata y Páez. Once de las observaciones realizadas se hicieron en suelos ubicados a alturas superiores a los 3500 msnm, catorce entre los 3000 y los 3500 msnm y una sola se llevó a efecto en el piso térmico frío (2856 msnm).

Las clases de suelos modales identificados durante el trabajo de campo se exponen de acuerdo con la zona (frente) seleccionada, la posición geomorfológico, la altura (msnm), y la pendiente del terreno (ver Tabla 3.2-15)

Tabla 3.2-15 Descripción de suelos modales identificados durante el trabajo de campo

Zona (Frente)	Perfil No.	Aspectos Geomorfológicos/ Fisiográficos	Pendiente %	Altura msnm	Taxonómica Subgrupos
Romeral	01	Ladera	25-50	3628	Dystrocryepts líticos
	02	Ladera	7-12	3600	Dystrocryepts típicos

Zona (Frente)	Perfil No.	Aspectos Geomorfológicos/ Fisiográficos	Pendiente %	Altura msnm	Taxonómica Subgrupos
	03	Vega	0-3	3580	Cryohemists fluvacuenticos
	05	Terraza	7-12	3545	Dystrocryepts húmicos
Quelpa	08	Ladera	>75	3516	Dystrudepts húmicos
Angosturas	17	Ladera	>75	3433	Melanudands típicos
	20	Ladera	>75	3699	Dystrocryepts típicos
Cruz de Lata	23	Ladera	>75	3392	Dystrudepts húmicos
Móngora	25	Ladera	>75	3173	Dystrudepts típicos
Páez	26	Ladera	>75	3338	Hapludands típicos
Campamento	29	Ladera	>75	2856	Udorthents líticos

- **Suelos del Páramo**

Los datos de la Tabla 3.2-15 indican que en el páramo propiamente dicho alturas cercanas o superiores a los 3600 msnm los suelos pertenecen al orden de los Inceptisoles y, en menor proporción, a los Histosoles.

Los primeros corresponden a los subgrupos Dystrocryepts típicos, líticos y húmicos y los suelos orgánicos a los Cryohemists fluvacuenticos. Geomorfológicamente ocurren en laderas de vigas con pendientes 7-12%, 25-50% y 50-75%, y en los vallecitos cuya topografía es plana (0-3%) y moderadamente inclinada (7-12%).

Los materiales geológicos son areniscas, neis y esquistos en la vertiente montañosa y sedimentos aluviales y coluviales en los vallecitos. Los suelos son superficiales a profundos y varían en el grado de evolución desde escaso a moderado. Es frecuente el caso en el que la razón por la que el suelo es Inceptisol radica en la presencia del epiedón úmbico; en otros sectores de las laderas empinadas hay formación de horizonte B. El drenaje natural en posición de ladera es bueno a excesivo y en los vallecitos fluctúa entre imperfecto y pobre.

La zona de muestreo se denomina Romeral en la cartografía de Greystar y los perfiles que tomaron como representativos del mosaico edáfico en el área son P-01; P-02; P-03; P-05.

- **Suelos del subpáramo**

La mayor parte de los suelos descritos y muestreados en la franja altitudinal ubicada entre los 3000 y los 3600 msnm pertenecen a los órdenes Inceptisol, Andisol, Entisol e Histosol.

En el primer caso los subgrupos predominantes en las laderas de las vertientes de los ríos Cucutilla y Suratá son los Dystrudepts húmicos, los típicos. Los suelos derivados de cenizas volcánicas forman parte de los Melanudands típicos y los Hapludands típicos. Los suelos caracterizados por su estado incipiente de evolución son los Udorthents líticos y los de naturaleza orgánica cumplen con los requisitos para ser considerados Udifolists típicos.

En el subpáramo están localizadas las zonas de muestreo denominadas en los mapas de la empresa minera Felpa (en la franja limítrofe con el páramo), Angosturas, Cruz de Lata, Móngora, Páez y Campamento.

Los suelos son, en general, bien a excesivamente drenados y fluctúan en la profundidad disponible para el anclaje y el normal desarrollo de las raíces de las plantas, desde muy superficiales hasta profundas. Los materiales a partir de los cuales se han desarrollado los suelos son de naturaleza sedimentaria y metamórfica; hay sectores en los que ocurren capas de cenizas volcánicas y acumulaciones de materia orgánica.

La evolución edafogenética en la franja del subpáramo varía desde incipiente en los Entisoles y los Inceptisoles que carecen de horizonte B; los que tienen este horizonte subsuperficial y los Andisoles son más desarrollados.

3.2.3.2.3 Función y vulnerabilidad de los suelos

Teniendo en cuenta el conocimiento de los suelos para el área de influencia indirecta descrito anteriormente, se puede afirmar que la capacidad de uso y manejo de las tierras del páramo es la conservación y/o la recuperación de la naturaleza y la protección mediante una cobertura vegetal permanente de las áreas muy escarpadas cuyas pendientes superan el 75% de inclinación.

En ambas situaciones la función de los suelos y de los ecosistemas a los que pertenecen es la preservación y regulación de las aguas, la conservación de las cuencas hidrográficas y la biodiversidad.

La mayoría de las zonas de descripción de los suelos hacen parte de microcuencas importantes para la captación de agua; en cuatro de estas áreas se describieron perfiles de suelos en los valles intramontanos (vegas, terrazas).

De igual forma, es posible afirmar que la zona es, en la mayor parte de su territorio, muy vulnerable ante la acción de los factores ambientales y la actividad del hombre. En efecto, la mirada detallada de los suelos en las zonas seleccionadas para el muestreo señala un predominio de la topografía muy escarpada con pendientes mayores del 75%.

3.2.3.2.4 Características físico-químicas

La **textura** determinada en el laboratorio difiere de la apreciación hecha en campo. El Laboratorio Nacional de Suelos del IGAC, afirma que la mayoría de las muestras de suelo analizadas no dispersaron apropiadamente, por lo que el contenido de arcilla puede ser mayor, dando de esta forma, la razón a la determinación de la clase textural en condiciones de campo. La Tabla 3.2-16 ilustra la apreciación textural obtenida en campo y en laboratorio.

Tabla 3.2-16 Apreciación Textural en condiciones de campo y de laboratorio.

Subgrupos de Suelos	Perfil No.	Clase Textural	
		Campo*	Laboratorio**
Dystrocryepts líticos	01	FAr L	FA
Dystrocryepts típicos	02	FAr L	FA
Cryochemists fluvacuénticos	03	FAr L	FA
Dystrocryepts húmicos	05	FAr L	FA
Dystrudepts húmicos	08	FAr	FA
Melanudands típicos	17	FAr	FA
Dystrocryepts típicos	20	FAr	FA
Dystrudepts húmicos	23	FAr	FA
Dystrudepts típicos	25	FAr	FAr A
Hapludands típicos	26	FAr	FA
Udorthents líticos	29	AF	FA

* FAr L: Franco arcillo limoso

FAr: Franco arcilloso

AF: Arenoso franco

** FA: Franco arenoso

FAr A: Franco arcillo arenoso

Desde el punto de vista **químico** los suelos del área de influencia inmediata del Proyecto Angostura tienen características similares. El **pH** por ejemplo, varía desde 4,3 (extremadamente ácido) hasta 5,4 (fuertemente ácido), (ver Tabla 3.2-17); los valores de **aluminio intercambiables** y el **porcentaje de saturación** de este elemento correlacionan con el grado de acidez y por eso hay cifras, en el segundo parámetro, que superan con creces el 80%.

La materia orgánica es alta en los perfiles 03, 20, 21 y 34, baja en los perfiles 09, 23, 24, 25, 30 y 31 y media en los demás suelos analizados (ver Tabla 3.2-17). Dada las condiciones de clima (muy frío en el subpáramo y extremadamente frío en el páramo) debía haber acumulación de material orgánico en diferentes grados de descomposición en la mayoría de los suelos estudiados así que los niveles medios y bajos encontrados pueden estar relacionados con procesos de erosión en los sectores de topografía escarpada y con la existencia de conflictos de uso (ganadería en áreas de conservación).

Los valores de la capacidad de intercambio oscilan desde 16,9 meq/100gr (medio) hasta 66,1 meq/100gr (muy alto). La ocurrencia de cenizas volcánicas en algunas áreas, la materia orgánica humificada y la arcilla son los principales responsables de la alta capacidad de los suelos para retener e intercambiar cationes. No ocurre lo mismo con el calcio, el magnesio, el potasio, el sodio y el fósforo los cuales se presentan en los suelos en cantidades muy bajas (límites de variación: 0,01 – 6,7 meq/100gr, con predominio de cifras entre 0,01 y 3,1 meq/100gr). Este hecho da como resultado una saturación de bases muy baja (inferior al 20%) y un nivel de fertilidad bajo generalizado.

Tabla 3.2-18 presenta la fase química de los suelos estudiados, analizado a la luz de las coberturas vegetales nativas propias de los ecosistemas estratégicos conocidos como páramo y subpáramo, e indica la capacidad de adaptación de la flora no solo a las características edáficas descritas, sino a las condiciones climáticas extremas de la alta montaña.

Tabla 3.2-17. Características físicas y químicas de los suelos en el área de influencia inmediata del Proyecto Angostura

Zona de Muestreo*	Perfil No.	Granulometría			Textura	pH R 1:1	Aluminio		Materia Orgánica %
		Arena %	Limo %	Arcilla %			Meq/100g	Sat. %	
ROMERAL	01	64.6	27.0	8.3	FA	4.7	6.5	80.1	8.8
	02	65.9	23.5	10.7	FA	4.9	2.2	33.7	7.0
	03	64.5	24.6	10.9	FA	4.3	2.4	23.3	10.6
	04	62.7	24.9	12.4	FA	5.0	1.6	24.7	5.9
	05	64.6	22.9	12.5	FA	4.6	6.3	88.1	7.5
QUELPA	08	73.1	20.7	6.2	FA	4.6	4.9	89.3	7.4
	09	77.6	14.3	8.1	AF	4.5	3.9	86.0	3.9
ANGOSTURAS	17	64.9	22.7	12.4	FA	4.6	4.4	91.7	5.4
	18	69.1	20.6	10.3	FA	5.3	0.9	15.6	5.5
	20	66.4	23.1	10.5	FA	4.6	5.2	88.2	12.3
CRUZ DE LATA	21	76.7	14.8	8.5	FA	4.6	7.1	79.8	11.1
	22	63.9	27.6	8.5	FA	4.8	6.1	71.1	6.0
	23	71.0	20.7	8.3	FA	5.4	0.3	3.0	3.8
MÓNGORA	24	49.0	26.5	24.5	FAR A	4.6	2.4	85.3	3.7
	25	56.5	20.7	22.8	FAR A	4.4	5.1	92.8	3.5
PÁEZ	26	68.4	21.1	10.6	FA	4.1	7.6	93.0	7.5
	27	58.3	22.9	18.7	FA	5.4	1.4	19.6	8.0
CAMPAMENTO	28	62.8	22.7	14.5	FA	4.7	2.6	81.6	6.9
	30	69.6	16.2	14.2	FA	4.9	0.7	13.9	2.9
	31	52.4	18.6	29.0	FAR A	4.5	8.3	86.9	5.0
	34	49.8	27.2	23.0	F	4.7	6.3	79.5	11.5

* Corresponde a los frentes de trabajo de la Compañía Greystar Resources Ltd.

Tabla 3.2-18. Características químicas (complejo de cambio, Fósforo) de los suelos en el área de influencia inmediata del Proyecto Angostura

Zona de Muestreo*	Perfil	Complejo de Cambio (meq/100gr)							
		CIC**	Calcio	Magnesio	Potasio	Sodio	B.T. ***	SB%	Fósforo PPM
ROMERAL	01	32.7	1.1	0.1	0.25	0.19	1.6	5.0	1.2
	02	38.0	2.9	1.1	0.16	0.23	4.4	11.5	1.7
	03	66.1	4.3	2.1	0.52	0.90	7.9	11.9	9.9
	04	25.5	2.6	2.1	0.10	0.17	5.0	19.6	4.0
	05	33.0	0.3	0.2	0.37	0.08	0.9	2.6	4.0
QUELPA	08	30.2	0.12	0.12	0.26	0.08	0.6	1.9	2.1
	09	16.9	0.20	0.12	0.23	0.08	0.63	3.7	5.0
ANGOSTURAS	17	20.9	0.01	0.06	0.28	0.05	0.40	1.9	2.6
	18	23.9	3.1	0.78	0.92	0.05	4.9	20.4	20.0
	20	40.4	0.1	0.19	0.32	0.08	0.69	1.7	3.1
CRUZ DE	21	46.8	0.9	0.3	0.4	0.11	1.8	3.9	1.7

Zona de Muestreo*	Perfil	Complejo de Cambio (meq/100gr)							
		CIC**	Calcio	Magnesio	Potasio	Sodio	B.T. ***	SB%	Fósforo PPM
LATA	22	50.2	1.4	0.5	0.4	0.16	2.5	4.9	4.5
	23	23.4	6.7	1.3	0.3	0.15	8.4	35.8	2.6
MÓNGORA	24	16.2	0.1	0.1	0.2	0.09	0.4	2.6	0.3
	25	30.1	0.1	0.1	0.1	0.09	0.4	1.3	0.8
PÁEZ	26	54.9	0.1	0.2	0.24	0.08	0.6	1.0	4.0
	27	34.6	4.2	0.75	0.74	0.09	5.8	16.8	6.9
CAMPAMENTO	28	29.9	0.28	0.09	0.17	0.05	0.6	1.97	4.0
	30	28.0	3.1	0.72	0.52	0.15	4.5	16.0	5.4
	31	30.9	0.11	0.22	0.84	0.08	1.3	4.1	1.7
	34	36.7	0.75	0.41	0.37	0.10	1.6	4.4	0.31

*Corresponden a los frentes de trabajo de la Empresa Greystar Resources Ltd.

**Capacidad de Intercambio Catiónico

***Bases totales

3.2.3.3 Conflictos en el uso del suelo

El proyecto minero Angostura, en razón de su ubicación en sectores de alta montaña con presencia de ecosistemas de páramo y subpáramo, áreas sometidas a la explotación agropecuaria y a la extracción de oro, ha conllevado a la generación de impactos directos que afectan sus valores ecológicos y paisajísticos, como son los recursos bosque, la vegetación nativa del páramo y por consiguiente los demás recursos asociados, como el agua, el suelo y la fauna, que han dado paso a la paramización de las partes altas por pérdida del bosque alto andino y andino y la incorporación de tierras altas a la actividad agropecuaria principalmente; adicionalmente la actividad minera ha generado suelos desprotegidos con total pérdida de sus horizontes.

En efecto la actividad minera inició con la llegada de los primeros colonos a la zona, posteriormente con el desarrollo continuo de las actividades económicas productivas, determinando una modificación en los usos del suelo de forma sectorizada, que en algunos sectores, si se compara con los objetivos específicos de la aptitud o uso potencial mayor de las tierras, como la conservación, la preservación o el uso sustentable, pueden establecer los principales conflictos existentes en relación con el aprovechamiento del recurso suelo y demás elementos ambientales interrelacionados.

Como aspecto diagnostico complementario del componte suelo y en general del medio natural y a fin de apoyar y facilitar la concepción del plan de manejo ambiental del proyecto minero, se presentan a continuación los resultados de la determinación de los conflictos de uso del suelo, con énfasis en el estado de aprovechamiento y deterioro de las tierras.

3.2.3.3.1 Criterios metodológicos del análisis de conflictos

- **Aspectos generales**

La calificación de los conflictos de uso del suelo corresponde al desarrollo de un análisis lógico y secuencial fundamentado en un proceso de confrontación simultanea de las temáticas definidas

como uso actual y cobertura vegetal vs uso potencial mayor del suelo, el cual permite establecer la existencia o no de conflictos, para determinar así, el mayor o menor grado de la discrepancia entre el aprovechamiento actual de las tierras y la oferta edáfica.

Como resultado de este análisis se establecen las diferentes categorías de conflicto, resultantes de cruzar el uso actual y tipos de cobertura existentes con el uso potencial mayor, que mediante la utilización del Sistema de Información Geográfica, permite generar el plano PL-MA-SUE-003 representativo de conflictos, el cual muestra la espacialización de los diferentes grados de conflictos del área directa e indirecta de la zona de estudio del proyecto.

En desarrollo del presente estudio se adoptan las siguientes categorías de conflicto respecto del uso del suelo.

- **Categorías de conflicto**

- Tierras Sin Conflicto o Subutilizadas (TSC)

Comprende aquellas tierras en las cuales el ecosistema natural, el agroecosistema o los usos presentes, guardan correspondencia total con respecto al uso potencial, no sufriendo el recurso suelo deterioro ambiental de mayor significancia, permitiendo mantener actividades adecuadas, concordantes con su capacidad natural productiva, incluye las tierras subutilizadas, las cuales son utilizadas por encima de su capacidad de soporte. Igualmente incorpora esta categoría aquellas tierras que a pesar de su aptitud para diferentes tipos e intensidades de uso, no presentan aprovechamiento actual.

- Tierras en Conflicto Bajo (TCB):

Tierras cuya explotación, actividad económica y/o uso actual, están próximas a la vocación de uso potencial proyectado, evidenciando una ligera inconsistencia entre la cobertura vegetal o uso actual y el uso potencial mayor, mostrando así un nivel de intensidad de explotación por encima del recomendado, con el consiguiente deterioro paulatino y progresivo por el incremento de procesos erosivos, la disminución de la fertilidad natural y el deterioro asociado la flora y la fauna; aspectos que de no ser atendidos promoverán alteraciones mayores.

- Tierras en Conflicto Medio (TCM):

Identifica aquellas tierras en las que el uso actual según tipo de cobertura vegetal existente, se encuentran de forma moderada por encima de su uso potencial mayor establecido, afectando medianamente su producción sustentable, ya que se disminuye la productividad y la capacidad de regeneración de las tierras; adicionalmente, este conflicto se refleja en la pérdida de la flora nativa y por consiguiente en la disminución de los hábitats de fauna.

– Tierras en Conflicto Alto o Sobreutilizadas (TCA):

Estas tierras se caracterizan por presentar un aprovechamiento o uso actual intensivo o inadecuado, con afectación del medio natural, sobrepasando su capacidad natural productiva y de soporte en un grado severo; siendo incompatibles con el uso potencial mayor propuesto; presentan graves riesgos de tipo ecológico y social, que evidencian en algunos sectores la degradación avanzada tanto actual como potencial, no solo de los suelos sino de los otros elementos asociados, como son el agua, la flora y la fauna.

Se resumen, los principios o criterios que se tienen en cuenta para la evaluación de cada posible cruce, son los siguientes:

- ❖ Preceptos ambientales básicos de tipo conservacionista, de preservación o de uso sostenible, delimitación de sectores de páramo y subpáramo.
- ❖ Unidad de cobertura existente o de partida
 - Estado de conservación de las vegetación natural existente
 - Porte de la vegetación dominante
 - Tipo de cultivos y/o pastos
 - Sistema productivo implementado
 - Susceptibilidad a la erosión
- ❖ Categoría de uso potencial propuesto
 - Demandas medio ambientales
 - Bondades de los sistemas o explotaciones recomendados en el uso potencial a implementar

3.2.3.3.2 Análisis de conflictos

El análisis simultáneo de las temáticas en evaluación, permiten establecer la espacialización de las categorías de conflicto a través del mapa respectivo, mostrando los siguientes resultados y características de conflictos, que se muestran en la Tabla 3.2-19 con las respectivas áreas y porcentajes para el área de estudio.

Tabla 3.2-19 Categorías de conflicto para el área de estudio

SÍMBOLO	CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	ZONA DE INFLUENCIA DIRECTA		ZONA DE INFLUENCIA INDIRECTA		TOTAL ZONA DE INFLUENCIA	
			EXTENSIÓN		EXTENSIÓN		EXTENSIÓN	
			ha.	%	ha.	%	ha.	%
TSC	TIERRAS SIN CONFLICTOS	Tierras en las cuales los usos presentes guardan total correspondencia con el uso potencial, no	5.056,32	82,14	7.043,43	65,92	12.099,75	71,85

SÍMBOLO	CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	ZONA DE INFLUENCIA DIRECTA		ZONA DE INFLUENCIA INDIRECTA		TOTAL ZONA DE INFLUENCIA	
			EXTENSIÓN		EXTENSIÓN		EXTENSIÓN	
			ha.	%	ha.	%	ha.	%
		sufriendo el recurso suelo deterioro ambiental de mayor significancia, permitiendo mantener actividades productivas adecuadas en los sectores con vocación agropecuaria y los procesos de conservación y preservación en los lugares de alta fragilidad y alto valor ambiental.						
TCB	TIERRAS EN CONFLICTO BAJO	Tierras cuya explotación o uso actual, esta próximo al uso potencial mayor proyectado de acuerdo con la cobertura vegetal presente, pero evidenciando deterioro progresivo ante el incremento de procesos erosivos, disminución de la fertilidad natural y afectación de la flora nativa, existiendo proceso de regeneración natural que no son auspiciados pudiendo	234,14	3,81	1.755,05	16,43	1.989,19	11,81

SÍMBOLO	CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	ZONA DE INFLUENCIA DIRECTA		ZONA DE INFLUENCIA INDIRECTA		TOTAL ZONA DE INFLUENCIA	
			EXTENSIÓN		EXTENSIÓN		EXTENSIÓN	
			ha.	%	ha.	%	ha.	%
		retroceder los mismos.						
TCM	TIERRAS EN CONFLICTO MEDIO	Tierras en las que el uso actual determinado según tipo de cobertura vegetal existente, se encuentra de forma moderada por encima del uso potencial mayor establecido, afectando medianamente su producción sustentable, potencializando la generación de procesos erosivos y la presencia de fenómenos de remoción en masa, restringiendo los relictos de vegetación nativa que eliminan los hábitats naturales para la fauna y la flora y disminuyen así la oferta hídrica.	309,59	5,03	1.026,67	9,61	1.336,26	7,94

SÍMBOLO	CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	ZONA DE INFLUENCIA DIRECTA		ZONA DE INFLUENCIA INDIRECTA		TOTAL ZONA DE INFLUENCIA	
			EXTENSIÓN		EXTENSIÓN		EXTENSIÓN	
			ha.	%	ha.	%	ha.	%
TCA	TIERRAS EN CONFLICTO ALTO	Tierras en las cuales los usos existentes y por consiguiente sus coberturas asociadas no corresponden a su uso potencial mayor definido, estando intervenidas o utilizadas por encima de su capacidad de soporte, propiciando el incremento del deterioro del recurso suelo y los recursos naturales asociados, fragmentando los ecosistemas, rompiendo la conectividad ecológica y disminuyendo la oferta de recursos naturales para el mantenimiento de equilibrio natural.	554,95	9,02	859,85	8,05	1.414,80	8,40
TOTAL			6.155	100	10.685	100	16.840	100

La representación gráfica para las dos zonas de estudio (directa e indirecta) se presentan en la Figura 3.2-17.

Figura 3.2-17 Cubrimiento de las categorías de conflicto

TSC: Tierras Sin Conflictos o Subutilizadas
TCB: Tierras en Conflicto Bajo
TCM: Tierras en Conflicto Medio
TCA: Tierras en Conflicto Alto o Sobreutilizadas

- **Tierras Sin Conflicto y/o Subutilizadas (TSC)**

Este conflicto corresponde a aquellos terrenos donde existen condiciones de oferta ambiental propicias para el desarrollo de los usos actuales, no presentando mayormente la generación de procesos erosivos potenciales, fenómenos de remoción en masa, pérdida de la fertilidad natural, o alteración de recursos asociados. Básicamente corresponden a los sectores que aún conservan rasgos nativos representados por la vegetación de páramo y subpáramo, el bosque andino y algunos sectores de rastrojos altos, adicionalmente se incluyen las tierras dedicadas a la actividad pecuaria en sectores de bajas pendientes principalmente, en donde este sistema productivo es viable.

En estas tierras, el mantenimiento de su condición actual debe ser apoyado con la adopción de políticas de exclusión para la protección y acciones de manejo para la conservación tanto de la parte alta como de los bosques aun existentes, manteniendo las condiciones que se conservan. Para las tierras en actividad pecuaria principalmente, se deberán implementar prácticas de conservación de suelos y manejo de aguas y de forma paralela el empleo de sistemas de producción que incorporen el desarrollo de nuevas tecnologías y adecuados principios de sustentabilidad, que debe incluir nuevos modelos de explotación pecuaria de tipo multiestrato en pendientes moderadas a fuertes y regulaciones para el uso de recursos naturales, en especial el agua.

Bajo la concepción de protección y conservación del medio natural se establece para el área total de estudio, 12.099,75 ha., que corresponden al 71,85% de la misma y por zona directa e indirecta se dividen así:

Tabla 3.2-20 Distribución Tierras Sin Conflicto y/o Subutilizadas (TSC)

Zona de Influencia	Hectárea	%
Directa	5.056,32	82,14
Indirecta	7.043,43	65,92

- **Tierras en Conflicto Bajo (TCB)**

Corresponde este tipo de conflictos a las tierras que permiten la continuidad de los tipos de uso existentes y por consiguiente de sus coberturas, siempre y cuando se adopten adecuadas prácticas de conservación de suelos y manejo de aguas, sin ocasionar perjuicios al recurso y por consiguiente al medio natural. Estos terrenos corresponden en especial a aquellas zonas en las cuales se realizó de tiempo atrás una actividad de explotación y posteriormente por abandono o rotación, en especial de la pecuaria, se incorporaron a la regeneración natural; están representadas por las coberturas relacionadas con los rastrojos altos, debiendo propiciar el restablecimiento de sus condiciones iniciales, pudiendo ser incorporadas a la actividad forestal de tipo protector productor o netamente protector, con la implementación de manejo técnico de las plantaciones. Adicionalmente integra pastos naturales y patos en rastrojo en terrenos aptos para el desarrollo agrícola controlado y los sistemas silvopastoriles; también rastrojos bajos de los sectores con potencial silvopastoril. Se establece para el área total de estudio, 1.989,19 ha., que corresponden al 11,81% de la misma y por zona directa e indirecta se dividen así:

Tabla 3.2-21 Distribución Tierras en Conflicto Bajo (TCB)

Zona de Influencia	Hectárea	%
Directa	234,14	3,81
Indirecta	1.755,05	16,43

- **Tierras en Conflicto Medio (TCM)**

Comprende aquellos terrenos que actualmente están ocupados por actividades pecuarias, en pendiente moderadas a fuertes principalmente, con presencia en un bajo porcentaje de explotaciones agrícolas, identificando algún nivel técnico de manejo y la presencia de fenómenos conocidos como patas de vaca y terracetas como consecuencia de la actividad ganadera; adicionalmente se incluyen los rastrojos bajos y altos, también los terrenos en actividad pecuaria de transición y de baja intensidad representada por los pastos enrastrados y arbolados; labores estas que se llevan a cabo en terrenos con potencialidades hacia la conservación y la protección

De acuerdo con sus características estas tierras solo permiten según su uso potencial mayor, el desarrollo de actividades orientadas a la conservación y la protección del medio natural. Igualmente estas tierras presentan de manera regular rasgos visibles de deterioro de los recursos, en especial por la presencia de procesos erosivos activos y/o potenciales, destrucción de la vegetación nativa y agotamiento del suelo y demás recursos asociados, pudiendo propiciar procesos de regeneración natural de estas tierras.

Se establece para esta categoría el área total de estudio, 1.336,26 ha., que corresponden al 7,94% de la misma y por zona directa e indirecta se dividen así:

Tabla 3.2-22 Distribución Tierras en Conflicto Medio (TCM)

Zona de Influencia	Hectárea	%
Directa	309,59	5,03
Indirecta	1.026,67	9,61

- **Tierras en Conflicto Alto o Sobreutilizadas (TCA)**

Este tipo de conflicto que posee el mayor impacto para la zona, hace referencia principalmente a los terrenos que se presentan en el sector alto, explotados por medio de sistemas pecuarios, pastos naturales, en donde las gramíneas de otras zonas altitudinales han colonizado el páramo y subpáramo afectando la funcionalidad de estos ecosistemas a través de la alteración de su condición inicial; incluye también los sectores en donde ha desaparecido el bosque andino en su parte alta, dando paso a la paramización o colonización del pajonal; adicionalmente incorpora las tierras de fuertes pendiente que están siendo explotadas ya sea por la actividad ganadera o extractiva de recursos naturales, así como las tierras eriales como producto de la actividad minera, exponiendo los suelos a procesos erosivos de tipo severo a muy severo principalmente, lo cual acarrea la pérdida paulatina de los suelos y fenómenos de remoción en masa. Los anteriores sectores tienden a presentar bajos a nulos rendimientos en lo relacionado con la prestación de los servicios ambientales que suministran, por la disminución marcada de la riqueza ecosistémica.

Estas tierras deben ser orientadas a los usos de preservación en las partes altas de páramo y subpáramo, a la conservación en las partes altas de bosque andino por medio de acciones de repoblamiento; los sectores desmontados eliminando la actividad ganadera en terrenos de alta y fuertes pendientes, incorporando igualmente sistemas de producción amables con el medio natural y acciones para la restauración ecológica de las tierras eriales; regulando de la misma forma la extracción o explotación de los recursos naturales. Se establece para esta categoría el área total de estudio, 1.414,80 ha., que corresponden al 8,40% de la misma y por zona directa e indirecta se dividen así:

Tabla 3.2-23 Distribución Tierras en Conflicto Alto o Sobreutilizadas (TCA)

Zona de Influencia	Hectárea	%
Directa	554,95	9,02
Indirecta	859,85	8,05

3.2.4 Geotecnia

Los análisis geotécnicos dentro del estudio se realizan a dos escalas a nivel del área de influencia directa mediante métodos semicuantitativos y área de influencia Indirecta y a nivel local mediante procesos determinísticos para el área de influencia puntual estos últimos permitirán calibrar los resultados del primer ejercicio.

3.2.4.1 Zonificación Geotécnica

Para la evaluación de amenazas asociadas a procesos de remoción en masa, en el área de influencia indirecta se propone utilizar la metodología empleada en el 2.002 por Gradex Ingeniería S.A, enriquecida por los resultados de las evaluaciones geotécnicas puntuales desarrolladas para el diseño, en esta metodología se analizarán los siguientes factores:

I. Geológicos

Litología.
 Estructura.

II. Morfométricos

Pendiente.
 Relieve relativo.

III. Ambientales

Tipo de Cobertura y/o Uso actual del suelo.
 Precipitación máxima y media anual.

3.2.4.1.1 Factores geológicos Litología y estructural

Incluye una valoración del tipo de material desde rocas muy estables dependiendo de la composición litológica y del grado de meteorización, siendo 0,2 el valor para las condiciones menos susceptibles y 2,0 para las más susceptibles como se ilustra en la Tabla 3.2-24.

Tabla 3.2-24 Evaluación de amenazas, factores geológicos, litología

Factores geológicos						
Factor	Descripción	Categoría	Peso	Grado de meteorización consolidación	Factor	Peso final
	Tipo de material	Formación geológica				
LITOLOGÍA	Tipo I Migmatitas Mármoles Calizas Calcoarenitas.	Neis de Bucaramanga	0.11	BAJO	2.00	0.2
				MEDIO	3.00	0.3
				ALTO	4.00	0.4
		Fm. Rosa Blanca	0.22	BAJO	2.00	0.2
				MEDIO	3.00	0.3
				ALTO	4.00	0.4
		Fm. Tablazo	0.33	BAJO	2.00	0.7
				MEDIO	3.00	1.0
				ALTO	4.00	1.3
	Tipo II Conglomerados Areniscas, Areniscas con algo de lutitas, Rocas Ígneas Ácidas	Fm. Girón (Conglomerados y areniscas)	0.82	BAJO	1.10	0.9
				MEDIO	1.25	1.0
				ALTO	1.50	1.2
		Fm. Girón (Limolitas rojas)	0.87	BAJO	1.10	1.0
				MEDIO	1.25	1.1
				ALTO	1.50	1.3
		Fm. Tambor	0.92	BAJO	1.10	1.0
				MEDIO	1.25	1.2
				ALTO	1.50	1.4
		Cuarzo monzonita y granito	0.97	BAJO	1.10	1.1
				MEDIO	1.25	1.2
				ALTO	1.50	1.5

Factores geológicos						
Factor	Descripción	Categoría	Peso	Grado de meteorización y/o consolidación	Factor	Peso final
	Tipo de material	Formación geológica				
	Tipo III Coluviones Antiguos, Esquistos Lutitas calcáreas, Limolitas arcillosas y Lutitas Carbonáceas. Coluviones recientes.	Fm. Silgará Esquistos	1.02	BAJO	1.10	1.2
				MEDIO	1.25	1.3
				ALTO	1.50	1.6
		Terrazas Coluvio Aluviales, Depósitos Fluvio Glaciares	1.07	BAJO	1.10	1.3
				MEDIO	1.25	1.4
				ALTO	1.50	1.7
		Fm. La Luna	1.14	BAJO	1.10	1.3
				MEDIO	1.25	1.4
				ALTO	1.50	1.7
		Fm. Simiti	1.21	BAJO	1.10	1.3
				MEDIO	1.25	1.5
				ALTO	1.50	1.8
		Fm. Umir Fm.Paja	1.28	BAJO	1.10	1.4
				MEDIO	1.25	1.6
				ALTO	1.50	1.9
		Coluviones, Terrazas aluviales bajas, Rellenos	1.35	BAJO	1.10	1.5
				MEDIO	1.25	1.7
				ALTO	1.50	2.0

Fuente Gradex Ingeniería S.A 2.002

Con base en esta primera calificación y la actualización cartográfica desarrollada para el proyecto y todas las unidades identificadas se calificaron cada una de acuerdo a los valores relacionados en la Tabla 3.2-25.

Tabla 3.2-25 Calificación unidades litoestratigráficas proyecto Angostura

Litología	Calificación	Litología	Calificación
pDo	0,2	Qt	1,3
pDod	0,2	Qtcol	1,3
pEpa	0,2	Qtf	1,3
pDbh	0,3	Kita	1,4
Kir	0,4	Ksl	1,7
pDb	0,4	Qal -Qt	1,8
Jg	1,2	Kis	1,8
JRcl	1,2	Ksu	1,9
JRcg	1,2	Kip	1,9
dp	1,2	Qm	2,0
Trtgd	1,2	Qcol	2,0
Kit	1,3	Qdv	2,0
Pds	1,3		

3.2.4.1.2 Estructura

Adicionalmente se hace una valoración de la estructura a la que se ha agregado la distancia mínima a sistemas de fallas activas que no se consideraba en la propuesta de Ambalagan (1.982); este factor también suma 2,0 para las condiciones más críticas y 0,7 para las más estables, como se ilustra en la Tabla 3.2-26.

Tabla 3.2-26 Influencia de la estructura geológica en la evaluación de amenazas

Factores geológicos			
Factor	Descripción		Peso final
Estructura	Distancia mínima a sistemas de fallas activos	Más de 1000 metros	0.10
		750 a 1000 metros	0.20
		500 a 750 metros	0.30
		250 a 500 metros	0.40
		Menos de 250 metros	0.50
	Angulo entre la dirección del talud y la dirección general de las discontinuidades	Más de 30°	0.20
		21° a 30°	0.25
		11° a 20°	0.30
		6° a 10°	0.40
		Menos de 5°	0.50
	Buzamiento de las discontinuidades	Menos de 15°	0.20
		16° a 25°	0.25
		26° a 35°	0.30
		36° a 45°	0.40
		Más de 45°	0.50

Fuente Gradex Ingeniería S.A 2.009

3.2.4.1.3 Factores topográficos - Pendientes

La principal consideración morfométrica en el análisis de estabilidad es la pendiente natural del terreno, las pendientes superiores a 100 % se califican con 2,0 y las menores de 15 grados con 0,5 como se muestra en la Tabla 3.2-27.

Tabla 3.2-27 Influencia de factores morfométricos, pendientes

Factores morfométricos		
Factor	Categoría	Peso
Pendiente	menos de 15°	0,50
	16° a 25°	0,80
	26° a 35°	1,20
	36° a 45°	1,70
	más de 45°	2,00

Fuente Gradex Ingeniería S.A 2.009

3.2.4.1.4 Factores Ambientales - Uso actual del suelo y cobertura vegetal

En cuanto a los aspectos ambientales el principal factor es el asociado a la cobertura y uso actual del suelo, para el presente trabajo se propone calificar la vegetación y los usos del suelo en cuatro categorías de acuerdo a su mayor o menor capacidad para preservar y proteger los suelos; utilizando las definiciones dadas en el plano de usos del suelo y cobertura vegetal la calificación sería la mostrada en la Tabla 3.2-28.

Tabla 3.2-28 Evaluación de amenazas factores ambientales usos y cobertura

Descripción	Cobertura	Símbolo	Puntaje
Tipo I Vegetación protectora	Matorral	Ma	0,00
	Pajonal con arbustos y árboles	Pja	0,00
	Pajonal	Pj	0,10
	Pajonal con matorral	Pjm	0,10

Descripción	Cobertura	Símbolo	Puntaje
	Bosque andino	Ba	0,10
	Bosques alto andino	Baa	0,10
	Bosque plantado	Bp	0,20
	Rastrojos Altos	Ra	0,30
Tipo II Vegetación silvo agrícola protectora	Rastrojos Bajos	Rb	0,50
	Pastos naturales de subpáramo	Pns	1,00
	Pastos enrastrados	Pr	1,00
	Pastos árbolados	Pa	1,20
	Centros Urbanos	Zu	1,50
	Pastos naturales	Pn	1,80
Tipo III Vegetación con pastoreo	Cultivos transitorios	Ct	2,00
	Afloramiento rocosos	Af	2,00
	Tierras eriales	Te	2,00
Tipo IV Aéreas sin cobertura o con cultivos anuales y/o de uso industrial o urbano	Campos de rocas	Cr	2,00
	Lagunas glaciáricas	Ca	2,00
	Centros de explotación minera	Zm	2,00

Fuente Gradex Ingeniería S.A 2.009

3.2.4.1.5 Precipitación

Otro aspecto ambiental importante es el relacionado con la presencia de agua, debido a que el agua es un detonante de los procesos erosivos, cuando la cantidad de agua excede la de retención del suelo o cuando las condiciones cambian en forma significativa. Para poder medir estas variaciones en la precipitación se propone calcular un índice que mida la relación de la desviación de la máxima precipitación mensual con respecto a la desviación standard de la precipitación media mensual, entre menor sea esta relación significa que son escasos los aguaceros y por ende las probabilidades que estos se presenten menos frecuentes, el otro aspecto a considerar es la precipitación misma que tiene que ver con la presencia de agua a mayor precipitación se espera una mayor vulnerabilidad a los deslizamientos (Ver Tabla 3.2-29).

Tabla 3.2-29 Evaluación de amenazas, factores ambientales, precipitación

Isoyetas	Puntaje
>1450	0,50
1350,00	0,40
1250,00	0,30
1150,00	0,20
1050,00	0,10
950,00	0,00

Fuente Gradex Ingeniería S.A 2.009

3.2.4.2 Calificación de amenazas

Con base en la sumatoria de los factores anteriormente descritos se pueden establecer categorías de amenazas por procesos de remoción en masa (Ver plano PL-MA-GEOT-001 y Tabla 3.2-30 Calificación de amenazas por deslizamientos Proyecto Angostura

Grado de Amenaza Área de influencia Directa	Hectáreas	% del AID	% del Área Total
Alta	118,49	1,93%	0,70%
Media	4.295,26	69,77%	25,50%

Baja	1.741,25	28,30%	10,34%
Total AID	6.155	100,00%	36,54%
Grado de Amenaza Área de influencia Indirecta	Hectáreas	% del AII	% del Área Total
Alta	1.238,09	11,59%	7,35%
Media	7.641,95	71,52%	45,38%
Baja	1.804,96	16,89%	10,72%
Total AII	10.685	100,00%	63,45%
Grado de Amenaza Área Total	Hectáreas	% del Área Total	
Alta	1.356,57	8,06%	
Media	11.937,21	70,89%	
Baja	3.546,22	21,05%	
Total	16.840	100,00%	

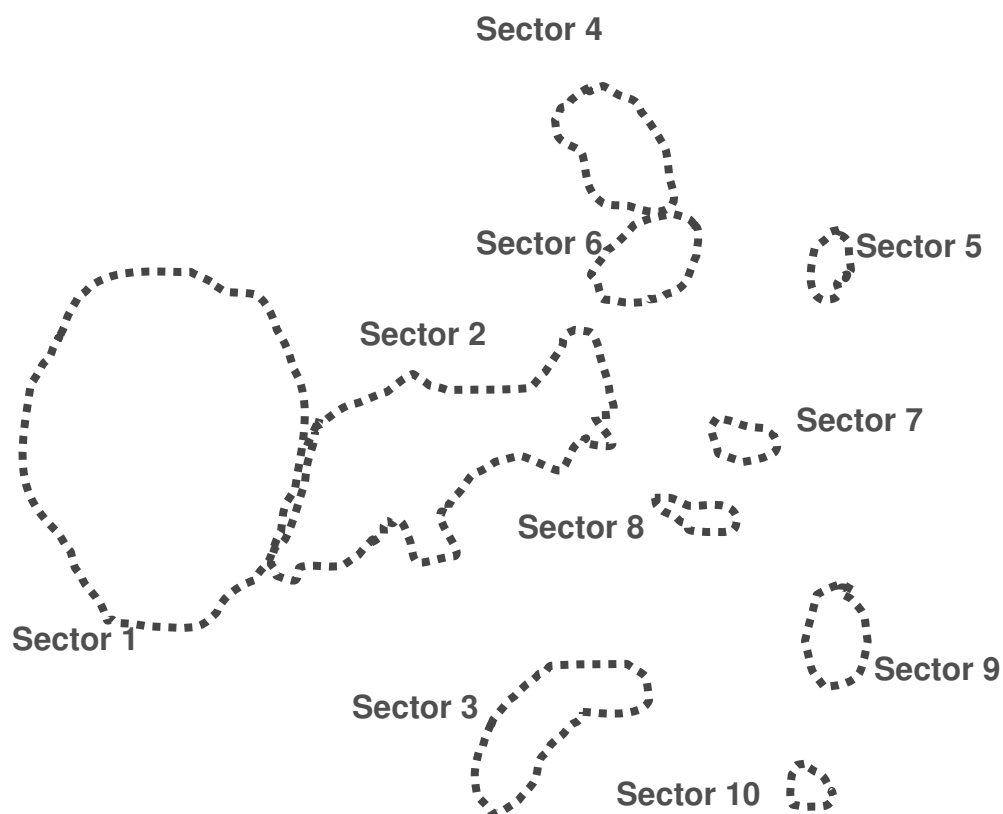
Figura 3.2-18).

De acuerdo con el plano PL-MA-GEOT-001 la distribución de las zonas de amenaza por fenómenos de remoción en masa se resume en la Tabla 3.2-30.

Tabla 3.2-30 Calificación de amenazas por deslizamientos Proyecto Angostura

Grado de Amenaza Área de influencia Directa	Hectáreas	% del AID	% del Área Total
Alta	118,49	1,93%	0,70%
Media	4.295,26	69,77%	25,50%
Baja	1.741,25	28,30%	10,34%
Total AID	6.155	100,00%	36,54%
Grado de Amenaza Área de influencia Indirecta	Hectáreas	% del AII	% del Área Total
Alta	1.238,09	11,59%	7,35%
Media	7.641,95	71,52%	45,38%
Baja	1.804,96	16,89%	10,72%
Total AII	10.685	100,00%	63,45%
Grado de Amenaza Área Total	Hectáreas	% del Área Total	
Alta	1.356,57	8,06%	
Media	11.937,21	70,89%	
Baja	3.546,22	21,05%	
Total	16.840	100,00%	

Figura 3.2-18 Amenazas Geotécnicas Área de Influencia Indirecta Proyecto Angostura



Los resultados de este ejercicio en el área de estudio se presentan espacializados en el plano PL-MA-GEOT-001, a continuación se analizan las amenazas identificadas describiendo los sectores de alta amenaza resaltados en la

Tabla 3.2-30 Calificación de amenazas por deslizamientos Proyecto Angostura

Grado de Amenaza Área de influencia Directa	Hectáreas	% del AID	% del Área Total
Alta	118,49	1,93%	0,70%
Media	4.295,26	69,77%	25,50%
Baja	1.741,25	28,30%	10,34%
Total AID	6.155	100,00%	36,54%
Grado de Amenaza Área de influencia Indirecta	Hectáreas	% del AII	% del Área Total
Alta	1.238,09	11,59%	7,35%
Media	7.641,95	71,52%	45,38%
Baja	1.804,96	16,89%	10,72%
Total AII	10.685	100,00%	63,45%
Grado de Amenaza Área Total	Hectáreas	% del Área Total	
Alta	1.356,57	8,06%	
Media	11.937,21	70,89%	
Baja	3.546,22	21,05%	
Total	16.840	100,00%	

Figura 3.2-18.

3.2.4.2.1 Áreas de Amenaza Alta Área de Influencia Indirecta.

Se concentran distribuidos en toda el área, en diez sectores de los cuales se describen en orden de extensión ocupada (Ver Tabla 3.2-30 Calificación de amenazas por deslizamientos Proyecto Angostura

Grado de Amenaza Área de influencia Directa	Hectáreas	% del AID	% del Área Total
Alta	118,49	1,93%	0,70%
Media	4.295,26	69,77%	25,50%
Baja	1.741,25	28,30%	10,34%
Total AID	6.155	100,00%	36,54%
Grado de Amenaza Área de influencia Indirecta	Hectáreas	% del AII	% del Área Total
Alta	1.238,09	11,59%	7,35%
Media	7.641,95	71,52%	45,38%
Baja	1.804,96	16,89%	10,72%
Total AII	10.685	100,00%	63,45%
Grado de Amenaza Área Total	Hectáreas	% del Área Total	
Alta	1.356,57	8,06%	
Media	11.937,21	70,89%	
Baja	3.546,22	21,05%	
Total	16.840	100,00%	

Figura 3.2-18.)

- **Sector 1:** Áreas localizadas en el extremo occidental coincidiendo con las zonas dedicadas a la ganadería en potreros y cultivos en rocas sedimentarias afectadas por fallamiento, parte baja quebrada Corral de Piedra, Los caneyes, Bochalema y Curos de la subcuenca del Surata en el municipio del mismo nombre y los afluentes de la parte baja del río Vetás. Ramada Vieja, Padilla y La Loma en jurisdicción del municipio de Surata y La Laguna - El Cacique, Agua Lejía y la parte baja de la quebrada La Baja en inmediaciones del casco urbano en el municipio de California.

- **Sector 2:** Se concentra en la cuenca media e inferior de la quebrada La Baja y es el más crítico por constituirse en el corredor de acceso de personal al área de minería, proceso acentuado por los cortes y rellenos de la vía que de California conduce a la Bodega.
- **Sector 3:** Corresponde al área situada en el sector suroccidental del casco Urbano del Municipio de Vetas en las áreas de drenaje de la quebrada Eccehomo asociado al sistema de fallas de Cucutilla en áreas dedicadas al pastoreo en laderas de alta pendiente.
- **Sector 4:** El cuarto sector está asociado a los afloramientos rocosos en cercanías de las fallas de Angostura Romeral con altas pendientes y las mayores precipitaciones, estas áreas están muy cerca de los depósitos glaciares que aunque presentan pendientes moderadas son muy susceptibles a producir deslizamientos de depósitos glaciares en la parte alta de la quebrada angosturas.
- **Sector 5:** Corresponde a la cuneca del río Cucutilla en la microcuenca de la quebrada Romeral parte alta asociada a fracturamiento y altas precipitaciones.
- **Sector 6:** Corresponde a la parte alta del PIT cuneca del río Vetas en la microcuenca de la quebrada Angosturas en la confluencia con la quebrada El Pozo.
- **Sector 7:** Corresponde a la parte alta al sur del PAD de Páez.
- **Sector 8:** Corresponde al sector oriental de Móngora la parte alta con vegetación herbácea, altas pendientes y afloramientos rocosos.
- **Sector 9:** Corresponde a la parte alta del área del Salado con altas pendientes y afloramientos rocosos.
- **Sector 10:** Corresponde a la parte alta de la quebrada El Volcán donde se encuentra el deslizamiento de mayor magnitud dentro del área.

Estos sectores coinciden con los sitios con movimientos de remoción en masa presentados en el plano PL-MA-GEO-002.

- **Áreas de amenaza Moderada. M**

Corresponde al 70% del área y es indicativo de la sensibilidad general a los movimientos asociados a cambios de uso del suelo.

- **Áreas de amenaza Alta. A**

Corresponde al 21 % del área y coinciden con las zonas de coberturas naturales protectoras y/o alejadas de sistemas de fallas activas en el sector occidental del área de estudio, otra área se encuentra en la zona alta de la quebrada Móngora y el Salado.

3.2.4.3 Características geotécnicas del subsuelo en el área del proyecto

La caracterización del subsuelo se realizó con base en la información recopilada en el estudio de IGR LTD 2.008 citado anteriormente, y corresponde a los registros de perforación, ensayos Downhole, perfiles geológicos adelantados hasta el 2008 en el área del proyecto, es importante aclarar que las evaluaciones geotécnicas continúan en el área del proyecto.

3.2.4.3.1 Perfil geotécnico promedio

La variación de los estratos hasta la profundidad explorada (información primaria y secundaria) se definió correlacionando las descripciones de los registros de las perforaciones y ensayos Downhole disponibles junto con el modelo geológico planteado en la sección de análisis, En la Figura 3.2-19 se aprecia el perfil del subsuelo promedio escogido, caracterizado por la presencia de suelos en superficie, seguido por roca meteorizada sobre alternancias de rocas fracturadas y roca sana.

Figura 3.2-19 Perfil del subsuelo – Modelo geotécnico adoptado para los análisis

Fuente Figura 5.1 Estudio de estimación de la amenaza sísmica y respuesta local para el proyecto de Angostura realizado por Ingeniería y Georriesgos IGR Ltda en diciembre de 2.008

En la Tabla 3.2-31, se presenta un resumen con los parámetros geomecánicos de los materiales de dicho perfil.

Con respecto al nivel de roca base, las perforaciones permitieron establecer que la roca fracturada con RQD mayor de 20 se encuentra a profundidades variables entre 10 y 15m.

Tabla 3.2-31 Caracterización Geomecánica estática y dinámica para análisis

Material	Descripción	Tipo	VS (m/s ²)	γ ton/m ³	G ton/m ²	μ
1	suelo	suelo	236	1,6	36000	0,45
2	roca 1	roca	2200	2,5	1512700	0,2
3	roca 2	roca	1690	2,4	673500	0,35
4	roca 3	roca	1365	2,2	402300	0,32
5	roca 4	roca	937	2	172200	0,41

Fuente Tabla 5.1 Estudio de estimación de la amenaza sísmica y respuesta local para el proyecto de Angostura realizado por Ingeniería y Georriesgos IGR Ltda en diciembre de 2.008

3.2.4.3.2 Parámetros geomecánicos estáticos

Las propiedades estáticas obtenidas para cada uno de los materiales definidos en el perfil geotécnico del subsuelo, en el marco de este estudio, se relacionan en la Tabla 3.2-31. Estas propiedades fueron definidas con base en los resultados de los ensayos de campo, ensayos de laboratorio, descripciones de los registros de exploración y caracterización mecánica del informe geotécnico presentado para el estudio.

3.2.4.3.3 Parámetros geomecánicos dinámicos

Uno de los pasos más importantes en este tipo de estudios se relaciona con establecer las propiedades de comportamiento dinámico de los diferentes materiales que conforman el subsuelo, con el fin de estimar en forma aproximada las variaciones del estado de esfuerzos y deformaciones que se generan al ser sometido a una fuerza cíclica, como lo son los sismos.

- **Módulo de Corte Máximo, $G_{\max}$**

Los valores de $G_{\max}$ de cada material se determinan con la ecuación:

$$G_{\max} = \rho \cdot V_s^2$$

Donde:

ρ : Densidad del material, $\rho = \gamma/g$

γ : Peso unitario del material.

g : Aceleración de la gravedad.

V_s : Velocidad de propagación de la onda de corte en el material.

- **Velocidad de Onda de Corte, V_s .**

La velocidad de propagación de ondas de corte es un parámetro básico para la obtención de la respuesta dinámica del subsuelo, el cual depende principalmente de la rigidez del material depositado. El perfil de velocidades se obtuvo con base en la información suministrada por las líneas de refracción sísmica que, aunque permiten establecer sólo velocidades de ondas primarias, éstas son correlacionables con las velocidades de ondas de corte por medio de la relación de poisson de cada material. El resumen de valores adoptados para análisis se muestra en la Tabla

3.2-31. Así mismo, se puede observar el chequeo de la longitud de onda para el dimensionamiento de la malla de elementos finitos utilizada en análisis que se explicarán posteriormente.

- **Variación del módulo de corte normalizado ($G/G_{\max}$) y el amortiguamiento (D) con la deformación por corte (γ)**

La determinación de las curvas a emplear en cada uno de los estratos del perfil geotécnico promedio se realizó mediante las disposiciones siguientes:

En los estratos superficiales, se utilizaron las curvas obtenidas de los ensayos dinámicos de laboratorio sobre muestras representativas de este tipo de suelos. Para los estratos de roca fracturada se asumieron curvas típicas para roca fracturada, propuestas por diferentes autores.

Finalmente, para la roca sana, se utilizaron las curvas propuestas por la literatura para este tipo de materiales.

Los resultados de la evaluación de amenaza sísmica descritos en el numeral “Cuantificación de la Amenaza” se elaboraron con base en los perfiles descritos anteriormente.

3.2.5 Hidrología

3.2.5.1 Área de influencia indirecta

Teniendo en cuenta el posible impacto generado por el Proyecto Aurífero Angostura, sobre la oferta de agua disponible para los usuarios que se encuentran aguas abajo del mismo, se establecieron como límites del área de influencia indirecta, la infraestructura del proyecto y la bocatoma del Acueducto de Bucaramanga, a lo largo del río Suratá.

3.2.5.1.1 Identificación de cuerpos de agua y patrones de drenaje

La zona de estudio se encuentra ubicada en el Departamento de Santander, el cual posee como cuenca principal la cuenca superior del río Lebrija, que abarca seis subcuencas, sus características morfométricas principales se resumen en la Tabla 3.2-32.

Tabla 3.2-32 Principales subcuencas del municipio de Bucaramanga.

SUBCUENCA	ÁREA (km ²)	PERÍMETRO (m)
Río Negro	352,49	95 520
Río Suratá	498,79	119 549
Río Tona	188,76	74 743
Quebrada La Angula	212,72	80 657
Río de Oro	466,38	143 918
Río Frío	119,35	57 028

“...Fuente: Tabla 5.1. Principales cuencas Bucaramanga. Plan de ordenamiento territorial municipio de Bucaramanga. 2005...”

Teniendo en cuenta que el proyecto se localiza dentro de la cuenca alta del río Suratá y la parte alta de la microcuenca de la quebrada Romeral, a continuación se realiza una breve descripción de cada una de la subcuencas que la conforman:

- **Cuenca del río Suratá**

La cuenca del río Suratá está conformada por las cuencas Suratá Alto y Bajo, Tona, Charta y Vetás. Su localización se presenta en la Figura 3.2-20 y en la Tabla 3.2-33 se presenta el área de cada una de ellas.

La cuenca del río Suratá, tiene un área aproximada de 685 km², ocupa relieves moderados a fuertemente escarpados o empinados, con pendientes de 7 -12 %, 12-25%, 25 -50%, 50-75%, la altura mínima parte desde 550 msnm que corresponde a la entrega de aguas del río Suratá al río Lebrija y la cota de elevación máxima es de 4.200 msnm. Dentro de la cuenca del río suratá se encuentran los municipios de Suratá, Matanza, Charta, Vetás y California.

La cuenca del río Suratá abastece el Área Metropolitana de Bucaramanga. Su ubicación es al norte de la ciudad de Bucaramanga y se comunica por la vía a los municipios de la Provincia Soto Norte, vía en regulares condiciones que va paralela a la corriente del río Suratá.

Tabla 3.2-33 Principales características morfométricas de la cuenca del río Suratá

CUENCA	SUBCUENCA	ÁREA (km²)
Río Suratá	Suratá Alto	136,0
	Suratá Bajo	122,4
	Tona	192,3
	Charta	78,3
	Vetas	156,0
	Total	685

“...Adaptado de: Tabla 2. Codificación de la subcuenca del río Suratá. Plan de Ordenamiento y Manejo Ambiental Subcuenca río Suratá. Documento Técnico de Soporte y Proyecto de Acuerdo. Bucaramanga, octubre de 2006...”

Figura 3.2-20 Distribución de subcuencas en la cuenca del río Suratá

“...Fuente: Figura 3. Distribución de microcuencas en la subcuenca del río Suratá del SIG (Sistema de Información Geográfica) – CDMB (Corporación Autónoma regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga): Plan de ordenamiento y manejo ambiental de la cuenca del río Suratá. Octubre 2006...”

3.2.5.1.2 Régimen hidrológico de las principales corrientes

Para el régimen hidrológico en la zona de influencia indirecta, se presentan las particularidades de la precipitación en las cuencas del río Vetás y las quebradas Romeral, Sabanetas y Corral de Piedra, estas dos últimas junto con el río Vetás afluentes del río Suratá. Para establecer una relación con los caudales registrados en la estación limnigráfica río Vetás – Puente Pánega, se seleccionó el período comprendido entre los años 1971 y 2003. Para tal fin, se llevó a cabo la complementación de datos de precipitación.

Con el fin de determinar un comportamiento homogéneo entre las estaciones representativas del sitio del proyecto, se llevó a cabo el método de dobles masas, el cual consiste en determinar la Precipitación media mensual acumulada histórica para un mismo periodo de registro (1971 – 2003). De esta forma se analizaron las estaciones climatológicas Berlín, Cachirí y Vivero-Suratá por ser las más cercanas al área del proyecto, como resultado se encontró que la estación Cachirí presenta inconsistencias en sus registros en relación con las otras estaciones, por lo cual se tomaron como estaciones base para la generación de registros faltantes las estaciones Berlín y Vivero – Suratá.

Para iniciar el proceso de generación de datos faltantes se realizaron pruebas de correlación entre los registros de precipitación media mensual de las estaciones base y los de las otras estaciones, considerando su similitud entre los siguientes aspectos: altitud, período de registro y cercanía entre ellas. A medida que el registro de una estación se completaba, ésta se tenía en cuenta como estación base para generar los datos faltantes de las estaciones cercanas teniendo en cuenta los mismos aspectos. Para completar los datos faltantes se determinó la línea de tendencia expresada mediante la siguiente ecuación:

Donde:

y = dato faltante de la serie de datos de la estación objeto.

b = constante de la ecuación de la gráfica.

x = dato registrado y confiable de la serie de la estación base.

Las estaciones tomadas como base para la generación de datos faltantes son:

- Berlín
- Vivero Suratá
- Tona
- Matajira

Las estaciones a las cuales se les generaron datos faltantes son:

- Iser Pamplona
- Arboledas
- Cucutilla
- La Caldera
- Vetas - El pozo
- Cachirí
- Los Laches
- La Lora
- Miraflores
- Povedas
- Huerta Grande

En el Anexo 3.2.2 se presentan las series históricas de precipitación de las 15 estaciones hidrometeorológicas, las curvas de doubles masas y las series homogeneizadas de todas las estaciones de estudio para el periodo 1971 – 2003.

La precipitación media en la parte alta de las cuencas de los ríos Cucutilla (quebrada Romeral) y Suratá (quebradas Vetas, Sabanetas y Corral de Piedra) varía espacialmente desde los 915,6 mm/año en la estación pluviométrica Los Laches, situada entre la divisoria de las microcuencas formadas por las quebradas Páez y Angosturas, hasta 1436,9 mm/año en la confluencia de las quebradas Sabanetas y Aguablanca donde se encuentra la estación pluviométrica La Lora. En el plano PL-MA-HIDRO-001 se presentan las isoyetas medias multianuales en la zona del proyecto para el período adoptado, donde se observa la variación ascendente de este parámetro en dirección oeste.

- **Distribución espacial de la precipitación (Isoyetas)**

Para determinar la variación espacial de la precipitación en la cuenca del río Vetas hasta la estación fluviométrica y sitios de proyecto, se construyeron las isoyetas medias anuales multianuales utilizando la información de lluvias complementadas en las estaciones ya mencionadas (ver Régimen hidrológico).

La metodología particular para la elaboración de las isoyetas medias en la cuenca del río Vetas hasta la confluencia con el río Suratá se presenta a continuación:

- Se localizaron las estaciones de lluvia existentes en la cuenca y alrededor de la misma (ver plano PL-MA-HIDRO-001).
- Se determinó la precipitación media anual en cada una de las estaciones seleccionadas a partir de las series mensuales complementadas para el período 1971 - 2003.
- Con base en las lluvias medias anuales registradas en las estaciones se generaron las isoyetas medias anuales interpolando espacialmente los valores mediante la utilización del programa Arc-View.

A partir de las isoyetas medias obtenidas se calculó la precipitación media hasta los sitios de interés, donde se localizan las estaciones mencionadas y los sitios de proyecto. Estos valores se presentan en la Tabla 3.2-34.

Tabla 3.2-34 Áreas de drenaje y precipitación media de la cuenca hasta las estaciones fluviométricas y sitios de proyecto

Cuenca No.	Nombre	Área (km ²)	Precipitación Media (mm)
1	Quebrada Angosturas	9,28	964
2	Quebrada Páez	8,90	932
3	Quebrada La Baja hasta la confluencia río Vetas	34,12	959
4	Quebrada Móngora	3,72	923
5	Río Vetas - Confluencia quebrada La Baja	88,79	905
6	Río Vetas - Puente Pánega	156,02	936
8	Quebrada Corral de Piedra hasta la confluencia Los Cimientos	4,97	1066
9	Quebrada Los Cimientos hasta la confluencia quebrada Corral de Piedra	4,36	1037
10	Quebrada Coloradas hasta la confluencia quebrada Corral de Piedra	0,93	1072
11	Quebrada Alpargatal hasta la confluencia quebrada Corral de Piedra	2,00	1051
12	Quebrada Peña de Oro hasta la confluencia quebrada Corral de Piedra	1,28	1084
13	Quebrada El Cedral hasta la confluencia quebrada Corral de Piedra	2,43	1091
14	Quebrada Arcabuco hasta la confluencia quebrada Corral de Piedra	1,76	1159
15	Quebrada Vadorreal	5,20	1137

Cuenca No.	Nombre	Área (km ²)	Precipitación Media (mm)
16	Quebrada La Resumida hasta la confluencia quebrada Vadorreal	2,22	1140
17	Quebrada Monsalve hasta la confluencia quebrada Vadorreal	3,25	1157
18	Quebrada Vadorreal hasta la confluencia quebrada Sabanetas	20,00	1200
19	Quebrada Carrizal hasta la confluencia quebrada Sabanetas	2,43	1286
20	Quebrada Santiguario hasta la confluencia quebrada Sabanetas	1,77	1324
21	Quebrada La Quinal hasta la confluencia quebrada Sabanetas	4,17	1310
22	Quebrada La Cabaña hasta la confluencia quebrada Sabanetas	1,04	1393
23	Quebrada Aguablanca hasta la confluencia quebrada Sabanetas	1,90	1400
24	Quebrada Cartagua hasta la confluencia quebrada Sabanetas	3,62	1399
25	Quebrada Carrizal hasta la confluencia quebrada Sabanetas	3,93	1392
26	Quebrada Sabanetas hasta la confluencia río Suratá	46,01	1286
27	Quebrada Corral de Piedra hasta la confluencia río Suratá	26,43	1111

- Precipitación media de la cuenca**

Con el fin de validar el valor de precipitación media en la cuenca del río Vetás, se estimó el valor de la precipitación media para esa cuenca por medio de la metodología de Thiessen. En esta metodología se calcula la lluvia sobre el área como el promedio ponderado de los registros pluviométricos de las estaciones que tienen influencia sobre el área. Para asignar a ese grado de influencia o ponderación un valor numérico, se encierra cada estación por un polígono que se traza con las mediatrices de las líneas que unen las estaciones. En el plano PL-MA-HIDRO-002 se muestran estos polígonos, así como las estaciones que influyen sobre la cuenca del río Vetás, en el Tabla 3.2-35 se presentan los resultados de ponderación obtenidos.

Como se observa, el valor de precipitación por esta metodología (926 mm) es similar al obtenido por medio de isoyetas (936 mm), validando así el valor de precipitación en la cuenca mediante dos metodologías diferentes. La serie de precipitación generada a partir de la metodología de Thiessen para la cuenca del río Vetás se presenta en la Tabla 3.2-36, en la Figura 3.2-21 se presenta su distribución temporal.

Tabla 3.2-35 Factores de Thiessen. Cuenca hidrográfica río Vetás

Estación	Precipitación media puntual (mm)	Área total (km ²)	Área Thiessen (km ²)	Factor de ponderación	Precipitación Thiessen (mm)	Precipitación media espacial (mm)
Vetas - El Pozo	916,4	156,01	68,68	0,44	404	926
Los Laches	915,6	156,01	36,12	0,23	212	926
Povedas	946,8	156,01	51,10	0,33	310	926

Tabla 3.2-36 Río Vetás. Serie de Precipitación Media Mensual generada a partir de la metodología de

Thiessen (mm).

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1971	65,66	31,24	88,54	131,57	285,22	44,41	25,44	58,49	144,54	157,96	105,94	51,94	1190,95
1972	76,18	87,75	132,39	288,35	83,80	66,63	11,84	19,86	51,78	103,76	76,86	76,97	1076,16
1973	5,17	24,96	80,04	109,83	18,47	29,73	45,65	103,01	141,30	109,13	126,20	94,71	888,21
1974	28,26	91,23	68,86	224,49	139,69	11,37	24,35	53,32	133,98	93,36	183,03	19,98	1071,93
1975	8,48	62,71	55,66	120,18	116,68	36,39	65,43	48,56	108,92	186,83	191,50	169,20	1170,56
1976	7,97	51,12	133,60	106,06	68,65	116,98	23,26	14,01	75,30	205,21	35,07	38,74	875,97
1977	2,79	18,97	42,25	88,59	90,41	113,61	20,11	39,84	76,22	129,02	175,73	10,49	808,03
1978	19,30	21,46	159,56	171,91	70,68	67,48	22,95	56,11	88,44	197,90	77,85	10,04	963,68
1979	6,11	33,21	37,74	139,54	185,81	152,29	42,60	27,59	90,09	320,60	191,27	45,20	1272,06
1980	16,15	28,61	8,02	85,84	79,82	78,90	29,93	42,10	89,48	97,79	84,25	37,66	678,54
1981	7,79	92,04	30,94	259,82	230,97	59,39	37,15	165,86	129,33	168,56	52,05	32,66	1266,56
1982	30,57	120,21	76,66	310,60	275,82	19,24	11,69	19,44	61,81	94,15	75,34	37,57	1133,10
1983	5,59	21,48	36,19	261,32	110,66	53,48	33,04	20,37	14,53	38,96	70,37	74,65	740,63
1984	24,75	45,51	25,74	54,18	118,38	27,36	57,67	77,38	152,80	129,80	142,74	33,55	889,86
1985	23,54	18,12	69,32	133,41	167,20	40,97	18,63	31,82	121,12	194,45	99,26	70,42	988,25
1986	99,59	74,96	24,73	249,70	152,09	60,92	13,42	15,78	103,69	143,96	43,69	12,98	995,51
1987	20,52	16,72	15,09	43,68	149,88	37,32	14,59	8,95	109,66	298,07	182,26	28,16	924,89
1988	19,45	63,33	127,17	192,03	96,21	95,91	29,44	189,09	123,25	111,86	109,92	24,60	1182,24
1989	31,52	18,24	84,04	20,58	79,19	15,00	7,51	33,93	125,31	53,92	40,84	58,96	569,04
1990	48,84	55,20	99,78	50,82	59,20	15,67	42,81	109,19	57,90	173,54	134,48	81,80	929,24
1991	19,65	9,41	135,77	144,53	116,40	29,94	34,93	25,36	88,18	89,16	196,90	20,36	910,58
1992	50,58	33,63	6,03	92,99	143,54	47,42	36,78	60,48	38,30	33,91	150,06	122,59	816,32
1993	57,23	9,29	22,57	103,67	317,82	25,03	20,80	15,78	171,94	97,40	130,30	24,40	996,24
1994	29,76	55,20	43,02	151,95	173,06	13,34	21,88	19,57	67,66	136,66	93,39	13,75	819,24
1995	22,90	19,24	35,94	127,89	148,54	121,68	73,96	191,03	107,40	181,52	10,55	28,17	1068,82
1996	22,72	63,94	105,15	36,42	72,16	87,09	62,03	26,23	84,82	150,41	127,15	29,74	867,87
1997	23,54	23,13	95,32	98,79	73,15	56,04	25,70	3,21	61,30	120,97	46,31	12,98	640,43
1998	17,80	23,70	110,66	156,47	134,42	73,32	20,33	92,19	127,61	119,14	111,36	91,35	1078,37
1999	50,56	85,39	30,73	108,42	67,71	90,89	31,75	89,74	144,14	143,57	152,70	28,60	1024,21
2000	38,91	77,58	43,45	33,79	33,05	39,65	38,26	25,73	131,28	71,16	123,60	14,53	670,99
2001	3,62	11,34	42,02	18,57	45,87	18,41	36,15	17,32	36,27	97,58	47,71	64,99	439,84
2002	16,31	8,74	81,10	135,27	106,71	101,50	16,54	23,43	39,88	88,43	15,94	67,09	700,93
2003	18,92	17,39	72,22	177,16	42,82	76,96	70,78	34,28	85,09	184,46	83,44	50,18	913,69
MEDIOS	27,90	42,88	67,28	134,19	122,85	58,31	32,35	53,30	96,46	137,07	105,70	47,85	926,15
MÁXIMOS	99,59	120,21	159,56	310,60	317,82	152,29	73,96	191,03	171,94	320,60	196,90	169,20	320,60
MÍNIMOS	2,79	8,74	6,03	18,57	18,47	11,37	7,51	3,21	14,53	33,91	10,55	10,04	2,79

Figura 3.2-21 Distribución temporal de la precipitación media mensual en la cuenca del río Vetás.

De acuerdo con la Figura 3.2-21, el régimen de precipitación en la cuenca del río Vetás es bimodal. El periodo húmedo está comprendido entre abril y mayo, y septiembre y noviembre, siendo su valor máximo 137 mm en el mes de octubre. El periodo seco está comprendido entre diciembre y marzo, y junio a agosto, siendo su valor mínimo 27,9 mm en el mes de enero. La precipitación media mensual es de 77 mm y la total anual 926 mm.

3.2.5.2 Área de influencia directa

3.2.5.2.1 Identificación de cuerpos de agua y patrones de drenaje

- **Cuenca del río Vetás**

El río Vetás hace parte de la cuenca del río Suratá, ubicándose al norte del Departamento de Santander con una extensión de 156,01 km².

En la parte alta de la cuenca del río Vetás existe un ecosistema paramuno caracterizado por la abundante presencia de lagunas, las cuales se presentan en la Tabla 3.2-37.

Tabla 3.2-37 Sistema de lagunas del río Vetás

LAGUNA	ELEVACIÓN (msnm)	ÁREA (ha)
La Larga	3750	2,5
Larga	3250	1,8
La Verde	4000	2,5
La Barrosa	3950	3,1
La Negra	3800	1,2

LAGUNA	ELEVACIÓN (msnm)	ÁREA (ha)
El Ojo	3850	1,8
Cunta	3750	2,5
Seca	3750	2,5
Guillermo	3650	1,3
Pajaritos	3500	1,3
Las Calles	3620	1,9
La Negra	3650	2,5
La Virgen	3650	1,3
La Virgen	3850	1,2
Páez	3650	4,4
La Virgen	3750	1,0

“...Fuente: Tabla 2. Descripción del sistema de lagunas Suratá. Plan de Ordenamiento y Manejo Ambiental. Subcuenca río Vetás. Octubre de 2006...”

- **Quebrada Angosturas**

Se encuentra en la parte alta de la cuenca del río Vetás entre 3650 y 2750 msnm, en ella vierten por la margen derecha aguas abajo, las quebradas Potreritos, San Andrés y La Armenia y por la margen izquierda las quebradas Hoya Honda, Venaderos y el Pozo, que son cuerpos de agua de mayor extensión que las de la otra margen, adicionalmente a la quebrada Angosturas llegan otros pequeños cuerpos de agua innominados.

- **Quebrada Páez**

Nace en la laguna Páez a los 3650 msnm recibe las aguas de varios cuerpos existentes en la zona de los cuales los más importantes son las quebradas La Perezosa y La Herrera. La quebrada Páez vierte sus aguas en la quebrada La Baja a los 2700 msnm.

- **Quebrada La Baja**

Se forma por la confluencia de la quebrada Angosturas con la quebrada Páez, aguas abajo de esta confluencia recibe las quebradas Barrientos, San Juan, San Antonio, Chica Agua, Agua Limpia, La Plata y La Higuera por la margen derecha, y las quebradas Aserradero, Las Animas, Catalina, Tiguarí y Chorrerón por la margen izquierda.

- **Quebrada Móngora**

El nacimiento de ésta quebrada se evidencia a los 3800 msnm, vierte sus aguas al río Vetás a 2250 msnm, por la margen izquierda, aguas abajo, tiene aportes de la laguna La Virgen y las quebradas La Virgen, La Vaca y La Quinta, por la margen derecha capta las quebradas Los Tombos y la Pedregosa y pequeños cuerpos de agua innominados.

- **Quebrada El Salado**

Esta quebrada nace en el páramo a 3800 msnm y vierte sus aguas al río Vetas a los 2700 msnm. Por la margen izquierda tributan a ella las lagunas La Larga, La Verde, La Barrosa, La Negra, Guillermo, Pajaritos, Las Calles y La Virgen, de igual forma las quebradas Romeritos, El Botalón y laguna Larga, mientras que por la margen derecha las quebradas El Volcán, Casa Vieja y Pajaritos son su principales tributarios.

3.2.5.2.2 Régimen hidrológico

- **Curvas de calibración**

El análisis de la curva de calibración se realizó para determinar, a partir de los aforos, la estabilidad de la sección de aforo y la confiabilidad de las series de caudales medios reportados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia - IDEAM en la estación río Vetas – Puente Pánega. A partir de los aforos suministrados por el IDEAM para el período 1971 – 1998 (114 aforos), se estableció la relación entre el caudal aforado y la lectura de mira durante el aforo (Q vs H). Esta relación se presenta en forma gráfica en la Figura 3.2-22, donde se muestra la disposición de los aforos y el cambio de tendencia de los valores a través del tiempo durante el período analizado.

Del análisis de información presentado en la Figura 3.2-22, se establece que durante el período 1971 – 1998 existen tres grupos de aforos que se ajustan a tres curvas de calibración diferentes, variando para una misma lectura de mira, el caudal entre 2,0 y 2,2 m³/s.

Figura 3.2-22 Estación río Vetas – Puente Pánega. Curvas de calibración Período 1971-1998

- **Caudales medios**

En el Proyecto Aurífero Angostura, se cuenta con la información de la estación río Vetas – Puente Pánega, la cual es operada por el IDEAM en la actualidad, para la estimación de caudales medios mensuales. El período de registro está comprendido entre 1971 y 2003. La serie histórica de los caudales medios mensuales se presentan en el Anexo 3.2.2 y en la Tabla 3.2-38.

**Tabla 3.2-38 Estación río Vetas – Puente Pánega. Serie de caudales medios mensuales.
 Período 1971 – 2003 (m³/s).**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
1971	3,60	2,40	2,70	5,70	6,40	2,90	1,80	1,35	2,28	2,52	2,64	1,16	2,95
1972	1,31	0,83	2,16	7,61	6,24	4,40	3,84	2,58	2,12	2,57	2,21	1,76	3,14
1973	1,21	1,01	1,56	1,63	1,46	1,59	1,53	1,68	3,42	2,60	2,98	2,84	1,96
1974	1,83	2,13	1,87	3,36	4,38	1,83	1,63	1,23	2,57	2,22	3,47	1,43	2,33
1975	1,07	0,96	1,15	1,71	3,00	1,76	1,87	1,67	2,08	3,47	5,93	5,39	2,50
1976	3,21	2,34	3,22	3,66	3,44	3,03	2,66	1,70	1,52	3,55	2,55	1,46	2,69
1977	0,96	0,82	0,88	0,96	1,98	3,02	1,42	1,55	2,03	2,16	5,15	1,46	1,87
1978	1,17	1,06	2,24	10,93	4,83	4,46	3,28	2,94	3,54	5,47	4,28	2,73	3,91
1979	2,25	2,00	2,12	3,58	5,36	6,71	2,78	2,00	3,27	8,49	13,13	6,17	4,82
1980	2,99	3,95	1,72	3,54	5,18	5,47	3,02	1,96	2,05	3,68	2,79	1,34	3,14
1981	0,97	1,04	1,00	5,65	13,76	5,29	2,54	2,40	2,89	4,75	3,41	2,13	3,82
1982	1,71	3,21	1,93	9,03	7,99	5,95	2,67	1,91	2,33	2,94	2,83	1,28	3,65
1983	1,22	1,30	1,20	10,03	10,60	5,48	3,46	2,51	2,12	1,68	1,38	1,24	3,52
1984	0,94	1,05	0,67	0,89	2,44	1,80	1,90	2,66	3,67	3,71	5,50	1,95	2,26
1985	1,00	0,55	0,75	2,08	2,84	1,99	1,34	1,61	1,77	3,44	3,71	2,79	1,99
1986	1,10	3,50	0,81	5,48	6,41	5,31	1,94	1,12	1,41	3,77	1,83	0,69	2,78
1987	0,70	0,52	0,49	0,49	1,66	0,75	0,70	0,47	1,06	4,77	3,89	2,09	1,47
1988	1,04	0,99	0,73	1,33	1,17	1,64	1,50	3,39	4,09	3,55	6,35	2,19	2,33
1989	1,58	2,06	2,50	1,16	1,99	1,81	1,26	0,67	2,06	1,14	0,40	0,92	1,46
1996	1,76	1,74	2,43	1,57	2,23	2,58	2,65	2,23	2,20	2,96	3,08	2,59	2,33
1997	1,83	1,66	1,87	2,29	2,34	2,24	2,32	1,57	1,65	2,03	1,68	1,06	1,88
1998	0,96	0,98	1,03	2,19	2,33	2,59	1,95	1,72	2,40	2,50	2,91	2,87	2,04
2000	1,89	2,22	2,55	2,59	2,38	2,53	2,58	1,63	2,16	1,92	2,19	1,34	2,17
2001	1,25	0,98	1,04	0,89	1,29	1,15	1,12	1,19	1,14	1,62	1,67	1,23	1,21
2003	0,87	0,88	2,14	3,18	1,68	1,91	1,81	1,55	1,99		2,63	2,54	1,93
MEDIOS	1,54	1,61	1,63	3,66	4,14	3,13	2,14	1,81	2,31	3,23	3,54	2,11	2,57
MÁXIMOS	3,60	3,95	3,22	10,93	13,76	6,71	3,84	3,39	4,09	8,49	13,13	6,17	13,76
MÍNIMOS	0,70	0,52	0,49	0,49	1,17	0,75	0,70	0,47	1,06	1,14	0,40	0,69	0,40

Como se observa en la Tabla 3.2-38, el caudal medio en la estación río Vetás – Puente Pánega es de 2,57 m³/s.

De acuerdo con el histograma (ver Figura 3.2-23), el régimen de caudales medios del río Vetás en la estación Puente Pánega es bimodal, con un período húmedo de cinco meses comprendido entre los períodos de abril a junio y de octubre a noviembre, y un período seco en los meses restantes del año.

Figura 3.2-23 Estación río Vetás – Puente Pánega. Histograma de caudales medios mensuales multianuales. Período 1971 – 2003

– Curva de duración de caudales

A partir de los caudales medios diarios en la estación río Vetás – Puente Pánega, se determinó la curva de duración de caudales medios diarios (Véase Figura 3.2-24), algunos valores característicos se presentan en la Tabla 3.2-39.

Figura 3.2-24 Estación río Vetas – Puente Pánega. Curva de duración de caudales medios diarios. Período 1971 – 2003

Tabla 3.2-39 Valores característicos de la curva de duración de caudales medios diarios. Estación río Vetas – Puente Pánega.

PORCENTAJE DE TIEMPO	CAUDAL (m ³ /s)
Máximo	55,0
Medio	2,57
Mínimo	0,24
50 %	1,86
90 %	0,86
95 %	0,66

– Rendimientos

El rendimiento hídrico medio de la cuenca del río Vetas hasta la estación río Vetas – Puente Pánega es de 16,47 l/s/km², el cual fue obtenido a partir del caudal medio y del área de la cuenca.

Con la metodología de transposición de registros, la cual se basa en la relación precipitación-área-caudal, se determinaron los caudales en cada una de las quebradas y respectivos rendimientos.

La transposición de caudales se realiza cuando se dispone de registros de caudales en una estación fluviométrica en el río, registros de precipitación en la cuenca y se conoce el área de drenaje hasta la estación y hasta el sitio de interés.

El procedimiento para obtener las series representativas de caudales medios, está basado en el cálculo del rendimiento anual a partir de los registros de precipitación en la cuenca aferente a las estaciones fluviométricas, localizadas en el área de estudio, y los registros de caudal utilizando relaciones área – precipitación – caudal, de la forma:

Donde:

- : Precipitación en la cuenca hasta el sitio de interés, en mm.
- : Área de la cuenca hasta el sitio de interés, en km².
- : Caudal medio hasta el sitio de interés, en m³/s.
- : Precipitación media en la cuenca del río Vetás hasta la estación río Vetás – Puente Pánega, la cual fue estimada a nivel mensual mediante los polígonos de Thiessen.
- : Área de la cuenca hasta la estación río Vetás – Puente Pánega, 156,01 km².
- : Caudal medio hasta la estación río Vetás – Puente Pánega, el cual es presentado en la Tabla 3.2-38.

En el Tabla 3.2-40 se muestran los rendimientos obtenidos en las microcuencas cercanas a la zona de proyecto, así como los sitios de interés de captación de agua.

Tabla 3.2-40 Rendimientos y caudal calculados en las microcuencas y sitios de interés de la zona de Proyecto.

Cuenca No.	Nombre	Área (km ²)	Caudal (l/s)	Rendimiento (l/s/km ²)
1	Quebrada Angostura	9,00	150	16,98
2	Quebrada Páez	8,90	150	16,42
3	Quebrada La Baja hasta la confluencia río Vetás	34,12	580	16,89
4	Quebrada Móngora	3,72	600	16,25
5	Río Vetás - Confluencia quebrada La Baja	88,79	1410	15,93
6	Río Vetás - Puente Pánega	156,01	2570	16,47
7	Quebrada Romeral	81,79	1570	19,19
8	Quebrada Corral de Piedra hasta la confluencia Los Cimientos	4,97	90	18,77
9	Quebrada Los Cimientos hasta la confluencia qda. Corral de Piedra	4,36	80	18,26
10	Quebrada Coloradas hasta la confluencia qda. Corral de Piedra	0,93	20	18,87
11	Quebrada Alpargatal hasta la confluencia qda. Corral de Piedra	2,00	40	18,51
12	Quebrada Peñas de Oro hasta la confluencia qda. Corral de Piedra	1,28	20	19,09
13	Quebrada El Cedral hasta la confluencia qda. Corral de Piedra	2,43	50	19,21
14	Quebrada Arcabuco hasta la confluencia qda. Corral de Piedra	1,76	40	20,40
15	Quebrada Vadorreal	5,20	100	20,01
16	Quebrada La Resumida hasta la confluencia quebrada Vadorreal	2,22	40	20,07
17	Quebrada Monsalve hasta la confluencia quebrada Vadorreal	3,25	70	20,38
18	Quebrada Vadorreal hasta la confluencia quebrada Sabanetas	20,00	420	21,13
19	Quebrada Carrizal hasta la confluencia quebrada Sabanetas	2,43	60	22,65
20	Quebrada Santiguario hasta la confluencia quebrada Sabanetas	1,77	40	23,31

Cuenca	Nombre	Área	Caudal	Rendimiento
21	Quebrada La Quinal hasta la confluencia quebrada Sabanetas	4,17	100	23,07
22	Quebrada La Cabaña hasta la confluencia Quebrada Sabanetas	1,04	30	24,53
23	Quebrada Aguablanca hasta la confluencia quebrada Sabanetas	1,90	0	24,64
24	Quebrada Cartagüa hasta la confluencia quebrada Sabanetas	3,62	90	24,64
25	Quebrada Carrizal hasta la confluencia quebrada Sabanetas	3,93	100	24,51
26	Quebrada Sabanetas hasta la confluencia río Suratá	46,01	1040	22,64
27	Quebrada Corral de Piedra hasta la confluencia río Suratá	26,43	520	19,55
28	Quebrada Ramírez	10,03	200	20,29
29	Quebrada Cruz de Lata	11,01	210	19,26
30	Quebrada El Salado	13,99	220	16,00
31	Quebrada El Volcán	19,74	310	15,66

- Coeficiente de escurrentía

Para el cálculo del coeficiente de escurrentía en la cuenca del río Vetás desde su nacimiento hasta la confluencia con el río Suratá, se determinó con los valores históricos de caudales medios anuales de la estación río Vetás – Puente Pánega, la precipitación media anual estimada por medio de isoyetas y el área aferente de la cuenca. De esta manera, el coeficiente de escurrentía medio multianual es igual a 0,56.

- **Caudales máximos**

Previo al ajuste estadístico de caudales máximos se realizó la prueba estadística de datos dudosos Anexo 3.2.2, la cual es un método del Water Resources Council de los Estados Unidos, recomendado para detectar los puntos que se alejan de la tendencia de los valores máximos por encima o por debajo y facilitar la toma de decisiones de retención o eliminación de datos que puedan afectar significativamente la magnitud de los parámetros estadísticos. Esta metodología determina los valores de los límites superior e inferior a partir de los cuales se eliminan los valores que no se consideran estadísticamente aceptables.

El análisis estadístico de las series de caudales máximos se realizó a partir de las distribuciones de probabilidad de Gumbel, Exponencial y Log-Pearson-Tipo III (ver Figura 3.2-25 a Figura 3.2-27), los resultados de estos ajustes de distribución para los períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años con su respectivo valor de χ^2 se detallan en el Tabla 3.2-41.

Tabla 3.2-41 Resultados del análisis estadístico de caudales para diferentes períodos de retorno

Período de retorno (Años)	Caudal obtenido Gumbel (m ³ /s)	Caudal obtenido Exponencial (m ³ /s)	Caudal obtenido Log - Pearson - tipo III (m ³ /s)
2	39,10	36,20	33,70
5	66,10	66,90	61,80
10	83,90	90,10	90,10
20	101,00	101,00	113,00
50	123,00	144,00	144,00
100	140,00	167,00	167,00
Chi²	12,29	3,12	1,71

Figura 3.2-25 Ajuste Gumbel - Caudales máximos estación río Vetás - Puente Pánega

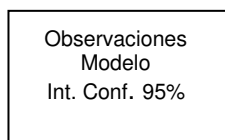


Figura 3.2-26 Ajuste Log-Pearson tipo III caudales máximos estación río Vetás - Puente Pánega

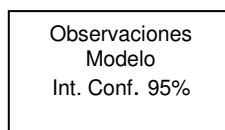
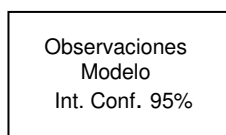


Figura 3.2-27 Ajuste exponencial - Caudales máximos estación río Vetás - Puente Pánega



De acuerdo con el Tabla 3.2-41, se escogieron los caudales máximos estimados mediante la metodología Log Pearson Tipo III, por presentar menor valor de χ^2 .

- **Caudales mínimos**

El análisis de caudales mínimos se basó en la series de caudales mínimos diarios anuales (m^3/s), los cuales se presentan en el Tabla 3.2-42.

Tabla 3.2-42 Datos de caudal mínimo medio de la serie de caudales medios diarios

Año	Caudal mínimo anual (m^3/s)
1971	0,95
1972	0,51
1973	0,85
1974	0,98
1975	0,80
1976	1,07
1977	0,54
1978	0,58
1979	0,65
1980	0,85
1981	0,50
1982	1,13

Año	Caudal mínimo anual (m³/s)
1983	0,38
1984	0,46
1985	0,46
1986	0,50
1987	0,24
1988	0,54
1996	1,26
1997	0,98
1998	0,81
2000	0,98
2001	0,75
2003	0,55

El análisis estadístico de la serie de caudales mínimos medios se realizó a partir de la distribución de probabilidad de Weibull (Máxima verosimilitud) y Gumbel (ver

Figura 3.2-28 y

Figura 3.2-29), los resultados de estos ajustes de distribución para los períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años y su respectivo valor de Chi² se detallan en el

Tabla 3.2-43.

Tabla 3.2-43 Resultados del análisis estadístico de caudales mínimos para diferentes períodos de retorno

Período de retorno (Años)	Caudal mínimo obtenido Weibull (m³/s)	Caudal obtenido Gumbel (m³/s)
2	0,70	0,66
5	0,47	0,46
10	0,36	0,37
20	0,28	0,31
50	0,20	0,25
100	0,16	0,21
Chi²	6,33	5,17

Figura 3.2-28 Ajuste Weibull - Caudales mínimos medios estación río Vetás - Puente Pánega

Observaciones
Modelo
Int. Conf. 95%

Figura 3.2-29 Ajuste Gumbel - Caudales mínimos medios estación río Vetás - Puente Pánega

Observaciones
Modelo
Int. Conf. 95%

De acuerdo con la

Tabla 3.2-43, se escogieron los caudales mínimos para diferentes períodos de retorno estimados mediante la metodología Gumbel, por presentar menor valor de Chi^2

3.2.5.2.3 Sedimentología del Proyecto Angostura

El día 23 de septiembre de 2008, para determinar caudales, transporte de sedimento en suspensión y arrastre de material de fondo, se monitorearon las siguientes fuentes (ver Foto 3.2-6):

- Quebrada Angosturas
- Quebrada Páez
- Quebrada La Baja
- Quebrada Móngora

Foto 3.2-6 Fuentes de agua monitoreadas

Q. La Baja

Q. Móngora

Q. Angosturas

Q. Páez

- **Cálculo del caudal líquido.**

Los aforos líquidos se realizaron por vadeo, metodología basada en los parámetros y recomendaciones del IDEAM según el Manual de Mediciones Hidrométricas. Se dividió el ancho transversal del río en diferentes secciones como se muestra en la Foto 3.2-7.

Foto 3.2-7 Sección típica aforo por vadeo

- Equipos

Los equipos utilizados para la realización de aforos se describen a continuación:

Correntómetro de hélice manual con contador mecánico de revoluciones con las siguientes características generales:

- Marca: SEBA HYDROMETRIE.
- Modelo: Tipo – F1 de rotor estándar.
- Rangos de Velocidad: 0 – 4 m/s.

En la Figura 3.2-30 se presentan las características físicas del correntómetro.

Sistema de Posicionamiento Global (GPS) con las siguientes características generales:

- Marca: Garmin
- Modelo: Etrex venture
- Materiales

Los materiales necesarios para la realización de aforos son:

- Recipientes volumétricos de 250, 60 y 20 litros.
- Manila de 100 metros.
- Cartera de aforos

Figura 3.2-30 Correntómetro SEBA F1 – Características Físicas

En el Anexo 3.2.2 se presenta el cálculo de aforos de caudal líquido en cada una de las corrientes y la respectiva cartera de campo.

- **Cálculo del caudal sólido.**

- Sedimentos en suspensión

El muestreo de sedimentos en suspensión se realizó empleando un muestreador de integración del tipo US-DH (ver Foto 3.2-8), por el método de Incrementos de Ancho Constantes (EWI), de acuerdo con lo recomendado por el U.S. Geological Survey (USGS), por el Servicio Geológico del Brasil, por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y por el Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM.

Las muestras tomadas fueron remitidas al Laboratorio Nacional de Suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi para la realización de ensayos de concentración, granulometría y peso específico de los sedimentos en suspensión y de granulometría y peso específico del sedimento de fondo. Los resultados de los ensayos se presentan en el Anexo 3.2.2.

Foto 3.2-8 Muestreador de sedimentos en suspensión US DH- 48

En la Tabla 3.2-44 se presenta el resumen de los resultados de los aforos sólidos en suspensión con el caudal líquido correspondiente para cada sitio de muestreo.

Tabla 3.2-44 Resumen de resultados - transporte de sólidos en suspensión

Fecha	Corriente	Sitio de muestreo	Coordenadas	Hora inicio	Caudal (m ³ /s)	Concentración (p.p.m)	Carga de sedimento en suspensión (t/d)
23/09/2008	Q. Angosturas	Q. Angosturas	1130086 E 1307990 N	08:20	0,28	25,0	0,6
23/09/2008	Q. Páez	Q. Páez	1130185 E 1307925 N	09:20	0,36	58,0	1,8
23/09/2008	Q. La Baja	Q. La Baja	1125719 E 1304458 N	11:20	0,79	142,0	9,6
23/09/2008	Q. Móngora	Q. Móngora	1127657 E 1303194 N	16:25	0,28	6,0	0,1

– Sedimentos de fondo

Para el muestreo de sedimentos de fondo se empleó un muestreador del tipo arrastre de fondo y se siguió la metodología de Incrementos de Ancho Variables (UWI), que cumple con las mismas funciones del muestreador tipo “Helley Smith”.

En general las ecuaciones de transporte de sedimentos han sido desarrolladas para cursos de agua con pendientes pequeñas. En particular, la ecuación de Meyer-Peter & Mueller tienen validez para pendientes del orden de 2 %, con partículas de diámetro medio de hasta 30 mm. Esta restricción limita la posibilidad de aplicación de la ecuación para ríos o canales de pendientes pronunciadas, sin embargo las pendientes encontradas en los puntos de aforo son cercanas a este valor, por lo que se optó por aplicar esta metodología.

En pendientes pronunciadas, juega un rol importante la componente en la dirección del flujo del peso de las partículas de la solera; en pendientes suaves esta componente es normalmente despreciada.

En la Tabla 3.2-45 se presentan los resultados de los aforos sólidos para el material de fondo en cada sitio de muestreo.

En el Anexo 3.2.2 se presenta el cálculo de la carga de sedimentos de fondo y el registro fotográfico de cada sitio de muestreo.

Tabla 3.2-45 Resumen de resultados transporte de sedimentos de fondo

Fecha	Corriente	Sitio de muestreo	Coordenadas	Hora inicio	Caudal (m ³ /s)	Carga de sedimento de fondo Q _s (Kg/s)	Carga de sedimento de fondo Q _s (t/d)
23/09/2008	Q. Angosturas	Q. Angosturas	1130086 E 1307990 N	08:20	0,28	0,13	11
23/09/2008	Q. Páez	Q. Páez	1130185 E 1307925 N	09:20	0,36	0,18	16
23/09/2008	Q. La Baja	Q. La Baja	1125719 E 1304458 N	11:20	0,79	0,59	51
23/09/2008	Q. Móngora	Q. Móngora	1127657 E 1303194 N	16:25	0,28	0,04	3

3.2.6 Calidad de agua

Con el fin de evaluar el estado actual de la calidad física y química de los cursos y cuerpos de agua con posibilidad de afectación por explotación minera, se realizaron muestreos puntuales en las microcuencas de las quebradas Angosturas, Páez, La Baja y Móngora, que drenan al río Suratá a través del río Vetás. Así mismo, en la quebrada Romeral, que posteriormente toma el nombre de río Cucutilla y río Zulia, que aunque no serán afectados por las obras del proyecto, suministran información acerca del estado actual de las condiciones físico químicas, que servirá de comparación para evaluar los posibles impactos que genere el proyecto sobre estos cuerpos de agua. En total se seleccionaron 60 puntos de muestreo, dentro de los cuales 15 ya habían sido monitoreados por LV INGENIERÍA LTDA y 7 corresponden a los túneles La Perezosa y Veta de Barro. Posteriormente se realizó el cálculo del índice de calidad del agua (ISFN) y se analizó el comportamiento de los diferentes parámetros físicos y químicos, así como su comparación con el Decreto 1594 de 1984.

3.2.6.1 Metodología

3.2.6.1.1 Actividades de campo

El trabajo de campo se realizó entre los días 27 de septiembre y 14 de octubre de 2008 durante época de lluvias. Para cada muestra se diligenció un formato de registro, en el cual se incluyó la descripción detallada del muestreo indicando:

- Fecha en la que se realizó el muestreo
- Cuerpo de agua
- Ubicación (coordenadas X, Y y elevación)
- Identificación de la muestra
- Régimen hidrológico predominante
- Nubosidad

- Apariencia del agua
- Temperatura ambiente
- Hora del monitoreo
- Persona que recolecta la muestra y las observaciones adicionales consideradas de importancia.

Simultáneo a la colecta de muestras se midieron *in situ* las siguientes variables, empleando un equipo multiparámetro: Temperatura del agua, temperatura ambiente, pH, oxígeno disuelto (OD) y conductividad, estos datos se incluyeron en los formatos de registro.

Previo a la toma de muestras de agua, los recipientes de colecta fueron enjuagados en su interior con agua del punto de muestreo (purga) con excepción de los recipientes para aceites y grasas y microbiológicos. Las muestras superficiales de los ríos y quebradas se colectaron sumergiendo los recipientes aproximadamente 10 cm bajo el nivel del agua dejando un espacio del 1% de la capacidad del envase para permitir la expansión térmica. Para los análisis que requieren preservación con químicos, se adicionó con pipeta (macada para utilizar exclusivamente con cada reactivo) la cantidad del reactivo indicado. Los recipientes se taparon y sellaron inmediatamente, para su transporte en condiciones de oscuridad y refrigeración (4°C).

Los envases fueron rotulados con la siguiente información:

- Número de muestra asignada en campo
- Nombre de la empresa que realiza el muestreo
- Sitio de muestreo
- Fecha y hora de la toma
- Muestreo simple o compuesto

Para la colecta, preservación y transporte de las muestras se siguieron los procedimientos indicados en el procedimiento IM0187 de Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas del IDEAM (2006).

3.2.6.1.2 Materiales y reactivos

- Recipiente opaco de 500 ml para la toma de cada muestra
- Pipeta
- Ácido sulfúrico (H₂SO₄) 6N
- Ácido clorhídrico (HCl)
- Hidróxido de sodio (NaOH) 6N
- Acetato de zinc 2N
- Ácido nítrico 6N
- Monóxido de nitrógeno

En la Tabla 3.2-46 se presenta el listado de los puntos de muestreo físico, químico y bacteriológico, en el plano PL-MA-CAGUA-001 se encuentra la ubicación detallada de los mismos. En el Anexo 3.2.3 se presenta el registro fotográfico obtenido durante el trabajo de campo.

Tabla 3.2-46 Listado de puntos de muestreo para caracterización física, química y bacteriológica

AGUAS SUPERFICIALES						
	Microcuenca	Quebrada o río	Código	Coordenadas		Observaciones
				E	N	
1	Angosturas	Quebrada Angosturas	MA-QA-01	1.131.032	1.310.489	Localizado aguas arriba de la población de Angosturas, entre las cotas 3400 – 3450 msnm (denominado 1 en los monitoreos existentes)
2	Angosturas	Quebrada Angosturas	MA-QA-02	1.131.070	1.309.553	Localizado aguas abajo de la confluencia de la quebrada Venaderos (denominado 2 en los monitoreos existentes)
3	Angosturas	Quebrada Angosturas	MA-QA-03	1.130.192	1.308.143	Localizado aguas arriba de la confluencia de la quebrada San Andrés (denominado 3 en los monitoreos existentes)
4	La Baja	Quebrada la Baja	MB-QLB-01	1.130.059	1.307.950	Inmediatamente aguas abajo de la confluencia de las qdas. Angosturas y Páez (denominado 15 en los monitoreos existentes)
5	La Baja	Quebrada la Baja	MB-QLB-02	1.128.593	1.306.831	Inmediatamente aguas abajo de la confluencia de la qda. San Juan
6	La Baja	Quebrada la Baja	MB-QLB-03	1.127.554	1.306.275	Inmediatamente aguas abajo de la confluencia de la qda Chica Agua
7	La Baja	Quebrada la Baja	MB-QLB-04	1.126.649	1.305.509	Inmediatamente aguas abajo de la confluencia de la qda. Chorrerón
8	La Baja	Quebrada la Baja	MB-QLB-05	1.125.723	1.304.453	Previo a la confluencia con el río Vetás
9	Angosturas	Quebrada Hoyahonda	MA-QHH-01	1.131.059	1.309.701	Localizado entre las cotas 3450 -3500 msnm
10	Angosturas	Quebrada Venaderos	MA-QV-01	1.131.661	1.309.837	Localizado a 3500 msnm (denominado 4 en los monitoreos existentes)
11	Angosturas	Quebrada Venaderos	MA-QV-02	1.131.312	1.309.647	Localizado entre 3250 - 3300 msnm (denominado 5 en los monitoreos existentes)
12	Angosturas	Quebrada El Mortiño	MA-QEM-01	1.131.579	1.309.527	Localizado a 3500 msnm (denominado 7 en los monitoreos existentes)
13	Angosturas	Quebrada El Mortiño	MA-QEM-02	1.131.070	1.309.553	Previo a su confluencia con la qda Angostura, posterior a la qda Venaderos (denominado 8 en los

AGUAS SUPERFICIALES						
	Microcuenca	Quebrada o río	Código	Coordenadas		Observaciones
				E	N	
						monitoreos existentes)
14	Angosturas	Quebrada El Mortiño	MA-QEM-03	No hubo señal de GPS		Previo a su confluencia con la qda Angosturas (denominado 6 en los monitoreos existentes)
15	Angosturas	Quebrada Potreritos	MA-QP-01	1.130.548	1.310.275	Localizado a 3500 msnm
16	Angosturas	Quebrada Potreritos	MA-QP-02	1.130.943	1.309.498	Previo a su confluencia con la qda Angosturas (denominado 9 en los monitoreos existentes)
17	Angosturas	Quebrada El Pozo	MA-QEP-01	1.132.361	1.309.045	Localizado entre 3400 – 3450 msnm (denominado 10 en los monitoreos existentes)
18	Angosturas	Quebrada El Pozo	MA-QEP-02	1.130.997	1.309.030	Previo a su confluencia con la qda Angosturas en la cota 3100 msnm (denominado 11 en los monitoreos existentes)
19	Angosturas	Quebrada san Andrés	MA-QSA-01	1.130.106	1.308.085	Previo a su confluencia con la qda. Angosturas
20	La Baja	Quebrada Aserradero	MB-QAS-01	1.129.599	1.307.542	Próximo a la confluencia con la qda Páez, en cercanías de Buenavista
21	La Baja	Quebrada San Juan	MB-QSJ-01	1.128.604	1.306.870	Próximo a la confluencia con la qda. Páez
22	La Baja	Quebrada La Catalina	MB-QLC-01	1.128.798	1.306.829	Localizado entre 2650 – 2700 m.s.n.m
23	La Baja	Quebrada Tiguarí	MB-QT-01	1.127.893	1.306.308	Localizado entre 2650 – 2700 msnm
24	La Baja	Quebrada Chica Agua	MB-QCA-01	1.127.572	1.306.312	Próximo a la confluencia con la qda Páez
25	La Baja	Quebrada Agualimpia	MB-QAL-01	1.127.135	1.303.087	Próximo a la confluencia con la qda Páez
26	Páez	Laguna Páez	MP-LP-01	1.133.696	1.307.527	Ubicada entre 3600 - 3650 msnm
27	Páez	Quebrada Páez	MP-QP-01	1.130.963	1.307.689	Localizado entre 2850 – 2900 msnm (denominado 13 en los monitoreos existentes)
28	Páez	Quebrada Páez	MP-QP-02	1.130.323	1.307.913	Localizado aguas abajo de la confluencia de la qda la Perezosa, antes de la población La Angosturita (denominado 14 en los monitoreos existentes)
29	Páez	Quebrada La Herrera	MP-QLH-01	1.132.853	1.308.216	Localizada en el nacimiento de la

AGUAS SUPERFICIALES						
	Microcuenca	Quebrada o río	Código	Coordenadas		Observaciones
				E	N	
						quebrada en el camino hacia la laguna Paéz, a 3600 msnm
30	Páez	Quebrada La Perezosa	MP-QLP-01	1.130.395	1.308.027	Previo a su confluencia con la qda Paéz (denominado 12 en los monitoreos existentes)
31	Móngora	Quebrada Móngora	MM-QM-01	1.131.694	1.306.549	Localizado a 3400 msnm
32	Móngora	Quebrada Móngora	MM-QM-02	No hubo señal de GPS		Después de la confluencia de la qda la Virgen
33	Móngora	Quebrada Móngora	MM-QM-03	1.127.555	1.303.097	Antes de la confluencia con el río Vetás
34	Móngora	Laguna La Virgen	MM-LLV-01	1.132.629	1.305.047	Laguna La Virgen
35	Móngora	Quebrada La Virgen	MM-QLV-01	No hubo señal de GPS		Quebrada La Virgen antes de su confluencia con la quebrada Móngora
36	Quebrada Romeral	Quebrada Romeral	QR-QR-01	1.134.972	1.313.030	Localizado a 3600 msnm
37	Quebrada Romeral	Quebrada Romeral	QR-QR-02	1.134.530	1.312.196	Localizado a 2800 msnm, previo a la confluencia de la qda Crucecitas
38	Quebrada Romeral	Quebrada Romeral	QR-QR-03	1.135.626	1.313.978	Localizado antes de la confluencia de la qda El Arenal
39	Quebrada Romeral	Quebrada Romeral	QR-QR-04	1.136.621	1.315.602	Localizado antes de la confluencia de la qda Grande
40	Río Cucutilla	Río Cucutilla	RC-RC-01	1.137.513	1.317.257	Localizado aguas abajo de la confluencia de la qda Salina
41	Río Cucutilla	Río Cucutilla	RC-RC-02	1.138.513	1.318.059	Localizado previo a la confluencia de la qda Honda
42	Quebrada Romeral	Quebrada Crucecitas	QR-QC-01	1.134.972	1.313.030	Localizado antes de la confluencia de la qda Romeral
43	Quebrada Romeral	Quebrada El Arenal	QR-QEA-01	1.135.636	1.313.986	Localizado antes de la confluencia de la qda. Romeral
44	Quebrada Romeral	Quebrada Grande	QR-QG-01	1.136.640	1.316.220	Localizado antes de la confluencia de la qda. Romeral
45	Río Cucutilla	Quebrada La Cueva	RC-QLC-01	1.136.815	1.316.220	Localizado previo a su confluencia con el río Cucutilla
46	Río Cucutilla	Quebrada La Salina	RC-QLS-01	1.137.203	1.317.226	Localizado previo a su confluencia con el río Cucutilla
47	Río Cucutilla	Quebrada	RC-QH-01	1.138.565	1.318.023	Localizado previo a su

AGUAS SUPERFICIALES						
	Microcuenca	Quebrada o río	Código	Coordenadas		Observaciones
				E	N	
		Honda				confluencia con el río Cucutilla
48	Río Vetas	Río Vetas	RV-01	1.127.544	1.303.087	Previo a la confluencia de la qda. Móngora
49	Río Vetas	Río Vetas	RV-02	1.125.823	1.304.396	Previo a la confluencia de la quebrada La Baja
50	Río Vetas	Río Vetas	RV-03	1.124.366	1.304.510	Aguas abajo de la población de California
51	Río Vetas	Río Vetas	RV-04	1.120.510	1.305.045	Previo a la confluencia del río Suratá
52	Río Suratá	Río Suratá	RS-01	1.120.580	1.305.383	Previo a la confluencia del río Vetas
53	Río Suratá	Río Suratá	RS-02	1.108.130	1.283.477	Previo al sitio de toma de acueducto de Bucaramanga
TÚNELES						
	Túnel		Código	Ubicación		
54	Túnel La Perezosa		LP-110-01	110 Cross Abscisa 0.0		
55	Túnel La Perezosa		LP-EC-01	East Cross Abscisa 0+265		
56	Túnel La Perezosa		LP-EC-02	East Cross Abscisa 0+65		
57	Túnel La Perezosa		LP-NEC-01	North East Cross Abscisa 0+164		
58	Túnel La Perezosa		LP-MD-01	Túnel principal Abscisa 0+500		
59	Túnel La Perezosa		LP-MD-02	Túnel principal Abscisa 0+380		
60	Túnel Veta de Barro		VB-TP-01	Abscisa 130 del túnel principal		

3.2.6.1.3 Actividades de laboratorio

La determinación fisicoquímica se realizó en DAPHNIA Ltda., laboratorio certificado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, siguiendo los procedimientos establecidos en los “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, (1995)*”. En la Tabla 3.2-47 se presentan los parámetros analizados y la técnica analítica de determinación. En el Anexo 3.2.3 se presenta el certificado de acreditación del laboratorio.

Tabla 3.2-47 Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos determinados en cada punto de muestreo.

Parámetro	UNIDADES	TÉCNICA UTILIZADA
Temperatura ambiente	°C	Termométrico
Temperatura del agua	°C	Electrométrico
pH	Unidades	Electrométrico
Oxígeno disuelto	mg/l	Electrométrico
Conductividad	µs/cm	Electrométrico
Acidez total	mg CaCO ₃ /l	S.M 2310 B
Plata	mg Ag/l	SM 3111 B

Parámetro	UNIDADES	TÉCNICA UTILIZADA
Alcalinidad	mg CaCO ₃ /l	S.M 2320 B
Aluminio	mg Al/l	SM 3111-D
Arsénico	mg As/l	S.M 3500-As B
Aceites y grasas	mg/l	S.M 5520C
Cadmio	mg Cd/l	SM 3311-B
Coliformes fecales	NMP/100 ml	S.M 9221 E
Coliformes totales	NMP/100 ml	S.M 9221 B
Cloruros	mg Cl/l	S.M 4500 Cl-C
Cianuro libre	mg CN/l	SM 4500 CN - F
Cianuros	mg CN/l	SM 4500 CN F
Cobalto	mg Co/l	SM 3111-B
Carbono orgánico disuelto	mg/L	SM 5310 D
Cromo total	mg Cr/l	SM 3111 B
Cromo hexavalente	mg Cr ⁺⁶ /l	S.M. 3500 Cr-B
Coliformes totales	NMP/100 ml	S.M 9221 B
Cobre	mg Cu/l	SM 3111-B
Demanda Biológica de Oxígeno DBO ₅	mg O ₂ /l	S.M. 5210 B
Dureza cálcica	mg CaCO ₃ /l	SM 3500 Ca-B
Tensoactivos	mg/l	S.M 5540 C
Dureza magnésica	mg CaCO ₃ /l	S.M 2340 B
Demanda Química de Oxígeno	mg O ₂ /l	S.M. 5220 C
Dureza total	mg CaCO ₃ /l	S.M 2340 C
Hierro	mg Fe/l	SM 3111-B
Fluoruros	mg F/l	S.M 4500 F-C
Mercurio	mg Hg/l	SM 3112 B
Potasio	mg K/l	S.M 3500-K B
Magnesio	mg Mg/l	SM 3500 Mg B
Sodio	mg Na/l	S.M 3500-Na B
Nitrógeno amoniacal	mg NH ₃ – N/l	SM 4500 NH3 - C
Níquel	mg Ni/l	SM 3111 B
Nitrógeno nitritos	mg NO ₂ /l	S.M 4500-NO2 B
Nitrógeno nitratos	mg NO ₃ – N/l	SM 4500 NO3 - B
Nitrógeno orgánico	mg Norg-N/l	SM 4500 Norg - C
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg N/l	SM 4500 Norg - C
Ortofosfatos	mg P/l	S.M 4500-P E
Plomo	mg Pb/l	SM 3111 B
Fósforo inorgánico	mg P/l	S.M 4500 P - A
Fósforo orgánico	mg P/l	S.M 4500 P - A
Sólidos disueltos	mg/l	S.M. 2510 A
Sulfatos	mg SO ₄ /l	S.M 4500-SO4 E
Sólidos suspendidos totales	mg/l	S.M 2540 D
Sólidos totales	mg/l	S.M 2540 B
Sulfuros	mg S ² /l	SM 4500 S ² F
Turbiedad	NTU	S.M 2130-B
Zinc	mg Zn/l	S.M 3111 B
Níquel	mg Ni/l	SM 3111 B

3.2.6.2 Índice de calidad de agua (ISFN)

Para evaluar la calidad de los cuerpos de agua presentes en el área de influencia del proyecto, se empleó el Índice de Calidad de la Fundación para la Sanidad Nacional (IFSN), el cual se basa en el

principio de que la calidad del agua es un atributo independiente del uso para el cual es dispuesta (Morales, 1984).

Para aplicar este índice es necesario utilizar datos a partir del seguimiento de parámetros de importancia, los cuales presentan un valor de ponderación independiente, de tal forma que es posible comparar la calidad del agua de diferentes sistemas, o bien del mismo sistema en diferentes puntos.

El índice se desarrolló como producto de la opinión de un conjunto de especialistas a quienes se les solicitó presentar un listado de las principales variables polutantes, el peso que tiene cada variable en la calidad del agua y los rangos de variación de dichas variables explicando su participación en la calidad de agua (en porcentaje) con respecto a ese parámetro. Finalmente se obtuvo un listado de nueve parámetros para el desarrollo del índice, cuyos pesos o ponderación se presentan en la Tabla 3.2-48.

Tabla 3.2-48 Valor asignado a cada variable de acuerdo a su importancia relativa.

PARÁMETRO	VALOR RELATIVO (Si)
Oxígeno disuelto	0,17
Coliformes fecales	0,15
pH	0,12
DBO	0,10
Nitratos	0,10
Fosfatos	0,10
Temperatura	0,10
Turbiedad	0,08
Sólidos totales	0,08
Total	1,00

Fuente: (Morales, 1984).

A partir de los rangos de variación de las diferentes variables se elaboraron las respectivas curvas, en las cuales se indica un valor de calidad para cada parámetro (li). Finalmente, el IFSN se obtiene mediante la siguiente formulación:

En donde:

Donde W_i corresponde al valor medido de la variable.

l_i es el valor de calidad de cada parámetro. La clasificación de calidad de agua según el IFSN se define como se indica en el Tabla 3.2-49.

Tabla 3.2-49 Clasificación de la calidad del agua según el IFSN.

CRITERIO	IFSN
Excelente	91 - 100
Buena	71 - 90
Regular	51 - 70

CRITERIO	IFSN
Mala	26 - 50
Pésima	0 - 25

Fuente: (Morales, 1984).

3.2.6.2.1 *Resultados y análisis*

- Quebrada Angostura - La Baja**

Según el Tabla 3.2-50, es posible observar claramente la disminución de la calidad del agua, aguas abajo (Figura 3.2-31). Los puntos ubicados en la parte alta de la quebrada Angosturas presentan excelentes condiciones de calidad del agua, lo anterior teniendo en cuenta que no existe ningún tipo de intervención antrópica que pueda afectar la calidad del curso hídrico, como asentamientos humanos y/o, actividades agrícolas y pecuarias.

En la quebrada Angosturas, en el punto localizado aguas arriba de la quebrada San Andrés (MA-QA-03) se observa una disminución del IFSN, pese a que registra una buena calidad. En este punto ya es posible encontrar algunos asentamientos humanos, al igual que montajes de minería que vierten sustancias químicas a los cuerpos de agua, afectando la turbiedad y otros parámetros como el pH.

En cuanto a los puntos muestreados en la quebrada La Baja, la situación es similar presentándose condiciones de buena calidad, excepto en el punto de muestreo MB-QLB-03 que registró un estado regular de calidad. Esta situación puede estar indicando las condiciones de contaminación de la quebrada Chica Agua en donde se registró la presencia de residuos sólidos y el vertimiento de aguas negras de las viviendas vecinas (Ver

Foto 3.2-9)

Tabla 3.2-50. Resultados del IFSN en las quebradas Angosturas y La Baja.

ESTACIÓN	ISFN
MA-QA-01	95
MA-QA-02	94
MA-QA-03	80
MB-QLB-01	85
MB-QLB-02	81
MB-QLB-03	69
MB-QLB-04	74
MB-QLB-05	73

Figura 3.2-31 ISFN obtenido en las quebradas Angosturas y La Baja.

Foto 3.2-9 Vertimiento de basuras en la quebrada Chica Agua (antes de su desembocadura en la quebrada La Baja).

- **Tributarios de las quebradas Angosturas y La Baja.**

Se registra en general, condiciones de buena calidad de agua en todos los puntos, a excepción de las quebradas Hoyahonda, El Mortiño (MA-QP-01), Potreritos (MA-QP-02), Aserradero y Tiguari en donde las condiciones de sanidad son excelentes.

En algunos puntos de muestreo se observa una leve disminución de la calidad (ver Figura 3.2-32), lo cual puede deberse a la presencia de varios montajes de minería que se encuentran en la parte alta de las quebradas, como los montajes Gavilán (aguas arriba de la quebrada San Juan), y Los Andes (aguas arriba de la quebrada La Catalina). En la quebrada Agualimpia, que registró la menor puntuación del IFSN de este grupo (ver Tabla 3.2-51), se encuentran viviendas cercanas que vierten aguas negras a la quebrada, así mismo se encontraron algunos residuos sólidos principalmente aguas abajo de la carretera, previo a su confluencia con la quebrada La Baja.

Tabla 3.2-51. Resultados del IFSN en los tributarios de las quebradas Angosturas y La Baja.

ESTACIÓN	ISFN
MA-QHH-01	92
MA-QV-01	88
MA-QV-02	86
MA-QV-03	83
MA-QEM-01	91
MA-QEM-02	90
MA-QP-01	94
Q.MA-QP-02	91
MA-QEP-01	84
MA-QEP-02	84
MA-QSA-01	81
MB-QAS-01	90
MB-QLC-01	84
MB-QSJ-01	79
MB-QT-01	94
MB-QCA-01	87
MB-QAL-01	75

Figura 3.2-32 IFSN obtenido en los tributarios de las quebradas Angosturas y La Baja.

- **Laguna y quebrada Páez**

Los resultados observados en el Tabla 3.2-52 y presentados de forma gráfica en la Figura 3.2-33 coinciden con lo observado en la fase de campo, teniendo en cuenta que la laguna se encuentra en una zona sin alteraciones directas de tipo antrópico que puedan afectar la calidad del agua. En cuanto a los dos puntos muestreados en la quebrada Páez, se observa una disminución del IFSN, la cual puede explicarse a partir de los valores de coliformes fecales que pasaron de un valor < 2 NMP/100 ml en la laguna, a 40 NMP/100 ml y 70 NMP/100 ml en los puntos MP-QP-01 y MP-QP-02 respectivamente.

Adicionalmente, el punto de muestreo MP-QP-02 se localiza inmediatamente aguas abajo de la confluencia de la quebrada La Perezosa, de donde vienen aguas ácidas provenientes del túnel de la Perezosa; estas aguas pueden llegar a disminuir el valor del pH y eventualmente del IFSN.

Tabla 3.2-52. Resultados del IFSN en la laguna y quebrada Páez.

ESTACIÓN	ISFN
MP-LP-01	90
MP-QP-01	85
MP-QP-02	78

Figura 3.2-33 IFSN obtenido en la laguna y quebrada Páez

- Tributarios de la quebrada Páez**

Según la Tabla 3.2-53 y la

Figura 3.2-34, se corrobora lo descrito anteriormente, ya que las actividades de la minería artesanal aumentan evidentemente en las zonas aledañas a la quebrada La Perezosa. En el Anexo 3.2.3 (Foto 89) se observa una imagen del punto de muestreo, en donde el sustrato adquiere un color rojizo debido a la presencia de drenajes ácidos provenientes del túnel La Perezosa, según las observaciones realizadas en campo. Como resultado de estas condiciones, el valor de pH en este punto es visiblemente menor (5,29) en comparación con los demás puntos muestreados en el área.

Tabla 3.2-53. Resultados del IFSN en los tributarios de la quebrada Páez.

ESTACIÓN	ISFN
MP-QLH-01	88
MP-QLP-01	75

Figura 3.2-34 IFSN obtenido en los tributarios de la quebrada Páez.

- **Quebrada Móngora**

Las condiciones de sanidad de la quebrada Móngora son buenas en términos generales (ver Figura 3.2-35). Según la puntuación del IFSN, las condiciones son estables, presentándose pocas diferencias entre los tres puntos de muestreo. Cabe anotar que la quebrada Móngora se encuentra en una zona en donde la intervención antrópica es muy escasa, adicionalmente no se presenta actividad minera cercana, lo cual puede explicar en parte las buenas condiciones registradas.

Tabla 3.2-54. Resultados del IFSN en la quebrada Móngora.

ESTACIÓN	ISFN
MM-QM-01	77
MM-QM-02	78
MM-QM-03	79

Figura 3.2-35 IFSN obtenido en la quebrada Móngora.

- **Tributarios de la quebrada Móngora**

Los afluentes de la quebrada Móngora presentan una diferencia en la puntuación del IFSN (ver Tabla 3.2-55), registrándose una excelente calidad del agua en la laguna La Virgen y una disminución leve de la calidad del agua en la quebrada La Virgen. Esta disminución puede deberse en parte a las fuertes lluvias registradas antes y durante el muestreo en el punto MM-QLV-01 que posiblemente causaron un aumento en los valores de turbiedad y sólidos totales.

Tabla 3.2-55. Resultados del IFSN en los tributarios de la quebrada Móngora.

ESTACIÓN	ISFN
MM-LLV-01	93
MM-QLV-01	82

Figura 3.2-36 IFSN obtenido en tributarios de la quebrada Móngora.

- **Río Vetas**

Los valores del ISFN en los puntos del río Vetas muestran una clara disminución desde la parte alta hacia la parte baja, en cercanías a la desembocadura con el río Surata (ver Tabla 3.2-56).

Sobre el río Vetas se realizan descargas provenientes de la actividad minera que se desarrolla en el municipio de Vetas, además de las aguas de las quebradas Angosturas y La Baja y más adelante, recibe la descarga de las aguas residuales del municipio de California, lo cual se considera la causa de la disminución del ISFN aguas abajo del río (ver Figura 3.2-37).

Tabla 3.2-56. Resultados del ISFN en el río Vetas.

ESTACIÓN	ISFN
RV-01	75
RV-02	74
RV-03	71
RV-04	69

Figura 3.2-37. ISFN obtenido en el río Vetas.

- **Río Surata**

De acuerdo con los resultados de cálculo del ISFN, el río Surata registra un valor de sanidad regular y bueno en los puntos RS-01 y RS-02, respectivamente (Figura 3.2-38). Los cuales reflejan el estado sanitario del río Surata a donde llegan los desechos contaminantes de la minería artesanal de los municipios de Vetas y California, que son vertidos 40 km aguas arriba del sistema de acueducto de Bucaramanga (*Portal de Información Minera de Colombia, 2008*), cercano al punto de muestreo RS-02.

Tabla 3.2-57. Resultados del IFSN en el río Suratá.

ESTACIÓN	ISFN
RS-01	67
RS-02	70

Figura 3.2-38. IFSN obtenido en el río Suratá.

- **Quebrada Romeral - río Cucutilla**

En términos generales, las aguas de la microcuenca Romeral – Cucutilla se encuentran clasificadas dentro de un estado sanitario de “buena calidad” (Figura 3.2-39). Cabe anotar que las estaciones QR-QR-01, QR-QR-02, QR-QR-03 Y QR-QR-04 se encuentran en la parte alta, en donde no se presentan actividades antrópicas que afecten el sistema, mientras que en las estaciones del río Cucutilla se observa una leve disminución de la calidad del agua, posiblemente porque en esta zona se encuentran asentamientos humanos que vierten aguas negras a los cuerpos de agua. Lo anterior se puede corroborar con los valores de coliformes fecales que presentan un ligero aumento en estos puntos.

Tabla 3.2-58. Resultados del IFSN en la quebrada Romeral - río Cucutilla

ESTACIÓN	ISFN
QR-QR-01	80
QR-QR-02	77
QR-QR-03	85
QR-QR-04	87
RC-RC-01	75
RC-RC-02	80

Figura 3.2-39 ISFN obtenido en la quebrada Romeral - río Cucutilla

- **Tributarios de la quebrada Romeral – río Cucutilla**

Se observa de manera general que las quebradas tributarias presentan una buena calidad del agua (Figura 3.2-40). Estos afluentes presentan muy poca intervención debido a que se encuentran en una zona alejada en donde los asentamientos humanos son escasos, lo cual puede explicar en parte la buena calidad del agua en este sector.

Tabla 3.2-59. Resultados del IFSN en la quebrada Romeral - río Cucutilla

ESTACIÓN	ISFN
QR-QC-01	88
QR-QEA-01	86
QR-QG-01	78
QR-QLC-01	86
QR-QLS-01	83
QR-QLH-01	88

Figura 3.2-40. IFSN obtenido en la quebrada Romeral - río Cucutilla.

3.2.6.3 Calidad físico-química y bacteriológica

El análisis de los resultados obtenidos se orienta principalmente a establecer el comportamiento de los parámetros que indican contaminación orgánica por actividades de la región y parámetros que indican contaminación con otras sustancias producto de las actividades industriales o de los habitantes de la zona (sales disueltas, carbonatos, sólidos y metales).

De igual forma se confrontan los resultados obtenidos, de acuerdo con la legislación colombiana con los criterios de calidad para la destinación del recurso establecidos en el Decreto 1594 de 1984, donde se tienen en cuenta los siguientes usos del agua: consumo humano y doméstico, agrícola, pecuario y recreativo.

Los reportes de laboratorio y las matrices de datos donde se realiza la comparación con el Decreto se presentan en el Anexo 3.2.3

3.2.6.3.1 Quebradas Angosturas - La Baja y Tributarios

- **Contaminación orgánica**

Se compararon con el Decreto 1594 de 1984 los resultados de los siguientes parámetros indicadores de presencia de materia orgánica en el agua: Oxígeno Disuelto (OD), Carbono Orgánico Disuelto (COD), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅) y Demanda Química de Oxígeno (DQO). En la Figura 3.2-41 y en la Figura 3.2-42 se presenta su comportamiento en las quebradas Angosturas y La baja, y en sus principales tributarios.

**Figura 3.2-41 Comportamiento de OD, COD, DBO₅ y DQO en la quebrada Angosturas - La Baja
(Septiembre – octubre de 2008)**

Las aguas de las quebradas Angosturas y La Baja se caracterizan por estar bien oxigenadas, la concentración de OD no varía significativamente a lo largo de los diferentes puntos de muestreo y oscila entre 7,8 mg/l (en el punto más alto) y 8,61 mg/l en el último punto ubicado sobre la quebrada La Baja, con porcentajes de saturación entre 101 y 106,3%, superiores al límite establecido por la norma (70%) para la destinación del recurso para fines recreativos mediante contacto primario y secundario², en cuanto a los demás usos, no existe restricción.

La concentración de DBO₅ es baja en todos los puntos de monitoreo, entre 1 y 3 mg/l, a excepción del punto MB-QLB-04 donde se presenta un ligero incremento (5 mg/l). Por otra parte, los valores de DQO presentan mayores diferencias entre los diferentes puntos, y oscilan entre 2 y 11 mg/l, encontrándose este último registro en el punto MB-QLB-03 donde se presenta también la mayor concentración de COD, este último parámetro fluctúa entre 5,6 y 16,4 mg/l, sin embargo estos valores son indicativos de baja contaminación orgánica. En el Decreto 1594/84 estos parámetros no se encuentran definidos como criterio de calidad para la destinación del recurso para los diferentes usos.

² Decreto 1594/84. Art. 34. Se entiende por uso del agua para fines recreativos, su utilización cuando se produce contacto primario, como en la natación y el buceo y contacto secundario, como en los deportes náuticos y la pesca.

Figura 3.2-42 Comportamiento de Oxígeno Disuelto, COD, DBO₅ y DQO en los tributarios de la quebrada Angosturas - La Baja (Septiembre – Octubre de 2008)

Los principales cuerpos de agua afluentes a estas quebradas muestran similar comportamiento en los niveles de OD, sin presentar mayor variación de este parámetro entre ellos, con valores entre 7,56 y 8,67 mg/l. Los porcentajes de saturación oscilan entre 96 y 110%, por lo tanto, de acuerdo con el Decreto, este criterio no restringe su uso para fines recreativos mediante contacto primario y secundario.

En cuanto a la contaminación orgánica en los principales tributarios, la DBO₅ fluctúa entre <1 mg/l (en la quebrada El Pozo y en los puntos MA-QV-02 y MB-QLC-01) y 3 mg/l. El mayor aporte de materia orgánica a la quebrada Angosturas se da por parte de la quebrada San Andrés, donde se reportó el nivel más alto de DQO (21 mg/l), en los demás tributarios se presentan valores de 2 y 4 mg/l, en tanto que la concentración de este parámetro en los afluentes a la quebrada La Baja oscila entre 2 y 6 mg/l. De acuerdo con los resultados de COD, la quebrada El Mortiño presenta los niveles más altos (entre 4,5 y 12 mg/l), de lo cual se puede inferir que presenta mayor contaminación orgánica en relación con los demás tributarios de la quebrada Angosturas donde este parámetro oscila entre 4,2 y 9,8 mg/l; en tanto que en los afluentes a la quebrada La Baja, la mayor concentración de COD se encontró en la quebrada Agualimpia (7,8 mg/l).

En general, los principales cuerpos de agua de las microcuencas Angosturas y La Baja presentan baja contaminación orgánica y se caracterizan por ser aguas bien oxigenadas.

- **Coliformes**

Se compararon con el Decreto 1594 de 1984 los resultados de coliformes totales y fecales, como indicadores de contaminación. En la Figura 3.2-43 y en la Figura 3.2-44 se presenta su comportamiento en las quebradas Angosturas y La Baja y en sus principales tributarios.

Figura 3.2-43 Comportamiento de los coliformes totales y fecales. En las quebradas Angosturas - La Baja (Septiembre – octubre de 2008)

Figura 3.2-44 Comportamiento de los coliformes totales y fecales en los tributarios de las quebradas Angosturas - La Baja (Septiembre – Octubre de 2008)

Para la mayoría de puntos de muestreo la presencia de coliformes se debe exclusivamente a los coliformes fecales, lo cual indica contaminación proveniente de residuos humanos o animales. En la quebrada Angosturas se detecta presencia de coliformes en el punto aguas arriba de la quebrada San Andrés por los aportes de las quebradas afluentes el Mortiño y El Pozo.

Las aguas de la quebrada La Baja presentan mayor contaminación en relación con la quebrada Angosturas, con valores entre 20 y 3000 NMP/100 ml. La concentración más alta se registra en el punto MB-QLB-03, luego de los aportes de las quebradas tributarias aguas arriba, incluyendo las quebradas El Pozo y San Andrés, y es mayor a los límites máximos de coliformes totales y fecales (1000 y 2000 NMP/100 ml, respectivamente) establecidos en el Decreto 1594 para el uso del recurso para consumo humano y doméstico (ver Artículo 30 del Decreto). De igual forma en este

punto y además en MB-QLB-05, donde se reporta un valor de coliformes de 700 NMP/100 ml, se supera el límite admisible para la destinación del recurso para fines recreativos mediante contacto primario.

- **Nutrientes**

Se compararon con el Decreto 1594 de 1984 los resultados de los siguientes parámetros indicadores de presencia de nutrientes importantes en el agua: Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK), nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitratos, nitritos, fósforo orgánico e inorgánico y ortofosfatos.

Figura 3.2-45 Comportamiento de nitrógeno total Kjeldahl, nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitratos y nitritos en las quebradas Angosturas - La Baja (Septiembre – octubre de 2008)

Como se puede apreciar en la Figura 3.2-45 la forma de nitrógeno que se presenta en mayor concentración es el amoniacal, producto inicial de la descomposición del nitrógeno orgánico, característico de una contaminación fresca o reciente al momento del muestreo.

El nitrógeno amoniacal presentó tendencia a aumentar hasta el punto ubicado sobre la quebrada La Baja antes de su confluencia con el río Vetás, donde se presentó una importante disminución. Los niveles de nitrógeno amoniacal se encontraron entre 0,14 y 0,63 mg/l y son atribuibles principalmente al vertimiento de aguas residuales provenientes de los aportes humanos y de animales, que se encuentran a orillas de estas quebradas. Este parámetro no se incluye como criterio de calidad para la destinación del recurso en el Decreto.

En cuanto a las formas más oxidadas del nitrógeno, los nitritos oscilan entre 0,009 y 0,019 mg/l principalmente sobre la quebrada La Baja, su presencia indica, por lo regular, procesos activos biológicos en el agua. En tanto que los nitratos se encuentran presentes en tres puntos sobre esta quebrada con valores entre 0,07 y 0,28 mg/l.

Figura 3.2-46 Comportamiento de nitrógeno total Kjeldahl, nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitratos y nitritos en los tributarios de las quebradas Angosturas - La Baja (Septiembre – Octubre de 2008)

De acuerdo con la

Figura 3.2-46, en las quebradas afluentes a las quebradas Angosturas y La Baja, las formas de nitrógeno de mayor presencia son el orgánico y amoniacal, con valores entre 0,18 y 0,73 mg/l y entre 0,09 y 0,81 mg/l, respectivamente. En tanto que los niveles de nitratos oscilan entre 0,006 y 0,026 mg/l y los de nitritos entre 0,05 y 0,28 mg/l.

Los valores de nitritos y nitratos presentes en las quebradas Angosturas – La Baja y en sus quebradas tributarias, se encuentran por debajo del límite permisible según el Decreto para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico (1 y 10 mg/l, respectivamente), de igual forma los valores de nitritos para uso pecuario³ (10 mg/l).

La quebrada El Pozo previo a su confluencia con la quebrada Angosturas presenta los niveles más altos de nitrógeno, en relación con sus demás tributarios, de igual forma, se observa que la concentración de las formas de nitrógeno reducidas es mayor en las quebradas que se encuentran a menor altura, posiblemente por presentar mayor intervención antrópica, situación que se refleja en el último punto de muestreo sobre la quebrada Angosturas. Por otra parte, de los afluentes a la quebrada La Baja, las quebradas San Juan y Tigarí presentan la mayor concentración de nitrógeno amoniacal, orgánico y nitratos.

³ Decreto 1594/84. Art. 33. Se entiende por uso pecuario del agua, su empleo para el consumo del ganado en sus diferentes especies y demás animales, así como para otras actividades conexas y complementarias que el Ministerio de Salud o la Entidad encargada del Manejo y Administración del Recurso - EMAR establezcan.

Figura 3.2-47 Comportamiento de fósforo orgánico e inorgánico y ortofosfatos en las quebradas Angosturas - La Baja (Septiembre – octubre de 2008)

Figura 3.2-48 Comportamiento de fósforo orgánico e inorgánico y ortofosfatos en los tributarios de las quebradas Angosturas - La Baja (Septiembre – Octubre de 2008)

Los valores de fósforo orgánico e inorgánico no difieren significativamente en las quebradas Angosturas y La Baja y varían entre 0,03 y 0,2 mg/l y entre 0,03 y 0,12 mg/l, respectivamente, con las más altas concentraciones en la quebrada La Baja aguas abajo de la confluencia con la quebrada Chica Agua. En cuanto a los ortofosfatos, se encontraron por encima del límite de detección ($<0,02$ mg/l) en tres puntos de muestreo. Estos parámetros no son considerados como criterio de calidad para la destinación del recurso en el Decreto 1594/84.

De acuerdo con la y la Figura 3.2-48, la microcuenca de La Baja presenta mayor intervención antrópica ya que presenta niveles más altos de fósforo orgánico e inorgánico en sus cuerpos de

agua, derivado fundamentalmente de la descomposición de la materia orgánica abundante en las aguas residuales que son vertidas a estos cuerpos de agua y de la erosión de rocas fosfatadas.

- **Parámetros físicos**

Se compararon con el Decreto 1594 de 1984 los resultados de los siguientes parámetros: sólidos totales, suspendidos y disueltos, turbiedad, pH y conductividad. En la Figura 3.2-49 y en la Figura 3.2-51 se presenta su comportamiento en las quebradas Angosturas - La Baja, mientras que en la Figura 3.2-50 .

Figura 3.2-52 se presentan los resultados obtenidos en sus principales tributarios.

Figura 3.2-49 Comportamiento de sólidos totales, disueltos, suspendidos y turbiedad en las quebradas Angosturas - La Baja (Septiembre – Octubre de 2008)

En las quebradas Angosturas - La Baja los sólidos totales presentan mayor concentración en los puntos de muestreo con menor elevación desde la quebrada Angosturas, aguas abajo de la confluencia de la quebrada Venaderos, hasta el punto MB-QLB-03 donde se presentó el pico más alto, además presenta los niveles más altos de contaminación orgánica y nutrientes, a partir de allí los sólidos presentan una disminución en los dos puntos restantes. Las concentraciones de sólidos se relacionan con los aportes a estas quebradas del material estéril producto de los trabajos de minería artesanal que se realizan a orillas de estos cuerpos de agua.

Los niveles de sólidos totales oscilan entre 32 y 409 mg/l y la mayor proporción a partir del punto MA-QA-03 es de sólidos suspendidos que variaron entre 79 y 247 mg/l. En tanto que los valores de turbiedad se encuentran entre 4,2 y 311 NTU, el comportamiento de este parámetro se relaciona con los sólidos disueltos. La concentración de sólidos no se incluye en el Decreto como criterio de calidad, en tanto que el límite máximo admisible de turbiedad en el agua para consumo humano y doméstico que para su potabilización se requiere solo desinfección es 10 UJT⁴, este límite es superado en la quebrada La Baja en los puntos MB-QLB-03 y MB-QLB-04, para los demás usos no se encuentra restricción relacionada con este parámetro.

⁴ 1 NTU = 0,053 UJT

Como se puede apreciar en la Figura 3.2-50, las quebradas afluentes a la quebrada Angosturas presentan bajas concentraciones de sólidos totales, entre 24 y 158 mg/l, en comparación con los tributarios de la quebrada La Baja donde los valores de sólidos variaron entre 111 y 319 mg/l. En la mayoría de estas quebradas la mayor proporción de sólidos se encuentra representada por los sólidos disueltos, razón por la cual la turbidez del agua no es significativamente alta, entre 1,02 y 15 NTU, a excepción de las quebradas San Andrés y San Juan donde se reportan mayores valores, 50,7 y 114,4 NTU, respectivamente y una concentración de sólidos suspendidos alta en comparación con las demás quebradas. Ninguna de las quebradas tributarias supera el límite de turbiedad establecido en el Decreto.

Figura 3.2-50 Comportamiento de sólidos totales, disueltos, suspendidos y turbiedad en los tributarios de las quebradas Angosturas - La Baja (Septiembre – Octubre de 2008)

Figura 3.2-51 Comportamiento de pH y conductividad en las quebradas Angosturas - La Baja. (Septiembre – Octubre de 2008)

Figura 3.2-52 Comportamiento de de pH y conductividad en los tributarios de las quebradas Angosturas - La Baja (Septiembre – Octubre de 2008)

En las quebradas Angosturas - La Baja se presentan valores de pH entre 6,45 y 8,11 unidades, los valores de pH disminuyen hacia aguas abajo, debido a la presencia de corrientes de agua ácida (con hierro y sulfatos disueltos) que se generan como resultado de los procesos de mineralización de la zona. De igual forma ocurre con las quebradas tributarias, donde el pH registró valores similares entre 5 y 8,4. Estos valores de pH se encuentran dentro de los rangos establecidos en el Decreto para consumo humano y doméstico que para su potabilización se requiere solamente tratamiento convencional (entre 5 y 9), para uso agrícola⁵ (entre 4,5 y 9) y para fines recreativos mediante contacto primario y secundario (entre 5 y 9).

En cuanto a la conductividad, los valores más altos se presentan en la quebrada La Baja, entre 91 y 137 $\mu\text{S}/\text{cm}$, de igual forma ocurre en sus quebradas afluentes que presentan los valores más altos de este parámetro (entre 57 y 346 $\mu\text{S}/\text{cm}$), en relación con los tributarios a la quebrada Angosturas, los valores de conductividad oscilan entre 14 y 83 $\mu\text{S}/\text{cm}$, esto significa que los cuerpos de agua de la microcuenca La Baja contienen mayor contenido de sólidos disueltos como ya se había mencionado antes, consecuencia del material estéril, producto de la actividad minera, que es arrojado a la corriente de agua. Este parámetro no es considerado como criterio de calidad en el Decreto o para la destinación del recurso para los diferentes usos.

- **Sistema carbonatico**

Se realizó la comparación con el Decreto 1594 de 1984 de los siguientes parámetros: acidez total, alcalinidad y dureza total. En la Figura 3.2-53 se presenta su comportamiento en las quebradas Angosturas y La Baja, y en la Figura 3.2-54 en sus principales tributarios.

⁵ Decreto 1594/84. Art. 32. Se entiende por uso agrícola del agua, su empleo para irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias, que el Ministerio de Salud o la EMAR establezcan.

Figura 3.2-53 Comportamiento de acidez total, alcalinidad y dureza total en las quebrada Angosturas - La Baja (Septiembre – octubre de 2008)

Figura 3.2-54 Comportamiento de acidez total, alcalinidad y dureza total en los tributarios de las quebradas Angosturas - La Baja (Septiembre – Octubre de 2008)

El grado de alcalinidad de las aguas se determina de la siguiente manera: baja ($<50 \text{ mg CaCO}_3/\text{l}$), media ($50\text{-}150$) y alta ($>150 \text{ mg CaCO}_3/\text{l}$) (Sawyer, 2001)

En términos de dureza las aguas pueden clasificarse así: Blanda ($0\text{-}75 \text{ mg CaCO}_3/\text{l}$), moderadamente dura ($75\text{-}150 \text{ mg CaCO}_3/\text{l}$), dura ($150\text{-}300 \text{ mg CaCO}_3/\text{l}$) y muy dura (más de $300 \text{ mg CaCO}_3/\text{l}$) (Sawyer, 2001)

El agua de las quebradas Angosturas - La Baja presenta bajos niveles de acidez, entre $1,4$ y $5,5 \text{ mg CaCO}_3/\text{l}$, la causa más común de acidez en el agua es el CO_2 , el cual puede estar disuelto en el agua por disolución del dióxido de carbono atmosférico. La alcalinidad en estas quebradas fluctúa entre 11 y $20,3 \text{ mg/l}$, lo que indica poca presencia de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos, por lo tanto un grado de alcalinidad bajo. En cuanto a la dureza, la quebrada Angosturas presenta

concentraciones de 27 y 38,4 mg CaCO_3/l que clasifican sus aguas como blandas, mientras que las aguas de la quebrada La Baja se clasifican entre blandas y moderadamente duras, ya que los valores de dureza se encuentran entre 51,8 y 105,6 mg CaCO_3/l lo cual indica presencia de cationes como Ca^+ , Mg^{++} , principalmente además de Sr^{++} , Fe^{++} y Mn^{++} entre otros. Estos parámetros no son incluidos en el Decreto 1594/84 como criterios admisibles para la destinación del recurso.

Las aguas de las quebradas tributarias presentan niveles de acidez entre 1,4 y 6 mg/l, a excepción de la quebrada Tiguarí donde se reporta un valor de 39,1 mg/l. La alcalinidad varía entre 7,6 y 42 mg/l, con valores mayores a los presentados en las quebradas receptoras, se caracterizan también por ser aguas blandas con valores de dureza entre 9 y 67,2 mg/l, sin embargo, las aguas de la quebrada Aserradero son moderadamente blandas con un valor de 134,4 mg/l.

- **Cloruros y sulfatos**

Se compararon con el Decreto 1594 de 1984 los resultados de los siguientes parámetros: cloruros, sulfatos, fluoruros y sulfuros. En la

se presenta su comportamiento en las quebradas Angosturas - La Baja, y en la Figura 3.2-56 en sus principales tributarios.

El comportamiento registrado por los sulfatos en la quebrada Angosturas - La Baja genera una curva potencial con concentración mínima de 10 mg/l y máxima de 78,5 mg/l, la presencia de sulfatos puede deberse a los residuos del drenado de minas por la oxidación de la pirita. Este comportamiento coincide con el presentado por los principales cuerpos de agua tributarios donde los mayores niveles de sulfatos se reportan en los afluentes a la quebrada La Baja con valores entre 28 y 151 mg/l. Estos valores se encuentran por debajo de la concentración máxima permisible para el consumo humano (400 mg/l), en tanto que para los demás usos no se encuentra restricción.

Los niveles de cloruros son bajos en las quebradas Angosturas - La Baja y no presentan mayor variación entre los puntos de muestreo, entre 3,5 y 7,4 mg/l, estos compuestos se encuentran en el agua por efecto de escorrentía, por las excretas humanas y en general las de los organismos superiores. En las quebradas afluentes las concentraciones son mayores, entre 1,4 y 21,3 mg/l, aunque el comportamiento no es diferenciable entre microcuencas. El límite máximo permisible de este parámetro para la destinación del recurso para consumo humano es de 250 mg/l, para los demás usos no se tiene restricción.

Los fluoruros y sulfuros se encuentran por debajo del límite de detección en todos los cuerpos de agua analizados, a excepción de la quebrada Tiguarí donde se detecta una concentración de sulfuros de 0,04 mg/l. Estos parámetros no se encuentran reglamentados para los diferentes usos del recurso.

**Figura 3.2-55 Comportamiento de cloruros y sulfatos en las quebradas Angosturas - La Baja
(Septiembre – octubre de 2008)**

**Figura 3.2-56 Comportamiento de cloruros y sulfatos en los tributarios de las quebradas Angosturas -
La Baja (Septiembre – Octubre de 2008)**

- **Metales**

Se compararon con el Decreto 1594 de 1984 los resultados de los siguientes parámetros: hierro, mercurio, potasio, magnesio, sodio, níquel, plomo, plata, aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cromo total y hexavalente, cromo y zinc. En la Figura 3.2-57 y en la Figura 3.2-58 se presenta su comportamiento en las quebradas Angosturas - La Baja, y en sus principales tributarios.

Figura 3.2-57 Comportamiento de metales en las quebradas Angosturas - La Baja (Septiembre – octubre de 2008)

Figura 3.2-58 Comportamiento de metales en los tributarios de las quebradas Angosturas - La Baja (Septiembre – Octubre de 2008)

Los metales presentes en mayor concentración en las quebradas Angosturas - La Baja son hierro, cobre, potasio, magnesio y sodio. Otros metales como zinc, arsénico y cobalto se encuentran presentes pero en menor concentración y no exceden los límites establecidos en el Decreto para la destinación del recurso para diferentes usos. El níquel, plomo, plata, cadmio, y cromo se encuentran por debajo del límite de detección, así como el aluminio en algunos puntos. Estos metales se encuentran en los relaves de los procesos de la actividad minera ya que durante la etapa de lixiviación con cianuro estos metales que son menos pesados, son liberados del mineral matriz. En los cuerpos tributarios la presencia de estos metales se debe principalmente al arrastre por escorrentía.

El hierro presentó valores entre 0,47 y 10,01 mg/l, de acuerdo con el Decreto la concentración máxima permisible de este metal para la destinación del recurso para uso agrícola es de 5 mg/l, este valor es superado en la quebrada La Baja a partir del punto MB-QLB-03, de igual forma los niveles de cobre superan el máximo permisible (0,2 mg/l) para este mismo uso a partir del punto MB-QLB-02 con valores entre 0,27 y 0,47 mg/l.

El potasio presenta valores entre 0,25 y 2,81 mg/l, el magnesio entre 2,2 y 14 mg/l y el sodio entre 0,51 y 6,56 mg/l, estos metales no se encuentran incluidos como parámetros de calidad en el Decreto 1594.

En las quebradas tributarias se detecta la presencia de hierro, entre 0,1 y 2,36 mg/l, potasio, entre 0,21 y 7 mg/l, magnesio, entre 0,4 y 11,2 mg/l y sodio, entre 0,98 y 11,2 mg/l; el zinc oscila entre 0,015 y 0,16 mg/l, sin embargo en algunas quebradas se encuentra por debajo del límite de detección, de igual forma sucedió con el cobre cuyas concentraciones varían entre 0,01 y 0,21 mg/l, esta última se registra en la quebrada Chicagua por lo que restringe su uso para actividades agrícolas. Los demás metales analizados se encuentran por debajo del límite de detección, a excepción del aluminio y el níquel que fueron detectados en algunas quebradas. Con relación a los metales estas quebradas no exceden los límites permitidos en el Decreto para la destinación del recurso para los diferentes usos, teniendo en cuenta la restricción ya mencionada.

El mercurio, utilizado en el proceso de amalgamación por la artesanía mineral y que llega al agua por trituración o molienda defectuosa, uso indiscriminado de mercurio en canalones, lavado de barriles (cocos amalgamadores), lodos residuales contaminados o relavado de arenas amalgamadas (*Unidad de Planeación Minero Energética - UPME, 2007*), no se detectó en el agua. En cuanto al cianuro, las operaciones de minería del oro utilizan soluciones muy diluidas de cianuro de sodio (NaCN), típicamente entre 0,01% y 0,05%. Después de haber extraído el oro se presentan tres tipos de compuestos de cianuro en los efluentes, cianuro libre, cianuro débilmente complejo y fuertemente complejo, los tres compuestos de cianuro constituyen el cianuro total. El anión de cianuro se combina luego con el ion del hidrógeno para formar HCN molecular a un valor de pH de 8 o menos, este HCN puede volatilizarse y dispersarse en el aire, otros factores como la oxidación biológica, la precipitación y los efectos de la luz solar también contribuyen a la degradación del cianuro. Por otra parte el cianuro de los efluentes residuales derivados del procesamiento de lixiviación está químicamente ligado a metales distintos más pesados que contiene el mineral aurífero (*Logsdon, 2003*). Debido a esto, la presencia de cianuro libre y total no se detectó en las quebradas Angosturas - La Baja.

En ningún cuerpo de agua de las microcuencas Angosturas y La Baja se detectaron tensoactivos ni aceites y grasas.

- **Conclusión de la calidad de las aguas en las quebradas Angosturas - La Baja**

De acuerdo con los criterios de calidad para la destinación del recurso establecidos en el Decreto 1594 de 1984, los valores de turbiedad en los puntos MB-QLB-03 y MB-QLB-04 ubicados sobre la quebrada la Baja restringen su uso para consumo humano y doméstico que para su potabilización se requiere solamente tratamiento convencional⁶.

Las concentraciones de hierro y cobre en la quebrada la Baja a partir del punto MA-QLB-02 superan los límites máximos admisibles para uso agrícola, de igual forma este uso se restringe en la quebrada Chicagua por su concentración de cobre.

⁶ Decreto 1594/84. Art. 5. Entiéndase por TRATAMIENTO CONVENCIONAL para potabilizar las aguas, los siguientes procesos y operaciones: Coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.

En los puntos MA-QLB-03 y MA-QLB-05 los coliformes fecales restringen el uso del agua para consumo humano y doméstico que para su potabilización solo requiere tratamiento convencional y para fines recreativos mediante contacto primario.

De acuerdo con lo anterior, el agua de la quebrada Angosturas puede ser destinada para consumo humano y doméstico que para su potabilización se requiere solamente de tratamiento convencional, para uso agrícola y pecuario y para fines recreativos mediante contacto primario y secundario, en tanto que la quebrada La Baja presenta mayores restricciones y puede ser destinada para uso pecuario o para fines recreativos mediante contacto secundario.

3.2.6.3.2 Laguna y quebrada Páez y Tributarios

- **Contaminación orgánica**

Se compararon con el Decreto 1594 de 1984 los resultados de los siguientes parámetros indicadores de presencia de materia orgánica en el agua: Oxígeno Disuelto (OD), Carbono Orgánico Disuelto (COD), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅) y Demanda Química de Oxígeno (DQO). En la Figura 3.2-59.

En la Figura 3.2-60 se presenta su comportamiento en la laguna y en la quebrada Páez, así como en sus principales tributarios.

Figura 3.2-59 Comportamiento de OD, COD, DBO₅ y DQO en la laguna y quebrada Páez (Septiembre – octubre de 2008)

Figura 3.2-60 Comportamiento de oxígeno disuelto, COD, DBO₅ y DQO en los tributarios de la quebrada Páez (Septiembre – Octubre de 2008)

Los valores de COD que se reportan para los cuerpos de agua de la microcuenca Páez se encuentran dentro del rango normal para aguas naturales (*Wetzel, 1981*), entre 4,4 y 11,7 mg/l. Gran cantidad de este COD es de origen terrestre, también por los aportes alóctonos de materia orgánica a estos los cuerpos de agua.

La laguna y la quebrada Páez presentan niveles de DBO₅ y DQO menores a 5 mg/l, lo que indica baja contaminación orgánica. De los tributarios, la quebrada La Perezosa presenta mayor contaminación, con un valor de DQO de 10 mg/l, sin embargo, el punto MP-QP-02 (aguas abajo de la confluencia) no se ve afectado por efectos de dilución de la quebrada Páez, que presenta mayor caudal.

En cuanto a la concentración de OD, no se presentan mayores diferencias entre la laguna y quebrada Páez y las quebradas tributarias. Se registraron valores entre 7,4 y 8,2 mg/l, mientras que el porcentaje de saturación de oxígeno varió entre 98 y 105%, superiores al límite establecido por la norma (70%) para la destinación del recurso para fines recreativos mediante contacto primario y secundario.

- **Coliformes**

Se compararon con el Decreto 1594 de 1984 los resultados de coliformes totales y fecales como indicadores de contaminación. En la Figura 3.2-61 se presenta su comportamiento en la Laguna y en la quebrada Páez.

En la quebrada Páez la concentración de coliformes totales varía entre 40 y 110 NMP/100ml, en el punto de muestreo más alto ubicado sobre esta quebrada la contaminación bacteriana se debe exclusivamente a los coliformes fecales, mientras que en el punto ubicado aguas abajo la concentración de coliformes fecales es igual a 70 NMP/100 ml. Estos valores no superan los límites establecidos para los diferentes usos del recurso según el Decreto. En la laguna Páez y en los tributarios los coliformes se encuentran por debajo del límite de detección.

**Figura 3.2-61 Comportamiento de los coliformes totales y fecales en la laguna y quebrada Páez
(Septiembre – octubre de 2008)**

- **Nutrientes**

Se compararon con el Decreto 1594 de 1984 los resultados de los siguientes parámetros indicadores de presencia de nutrientes importantes en el agua: Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK), nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitratos, nitritos, fósforo orgánico e inorgánico y ortofosfatos. En la Figura 3.2-62 se presenta su comportamiento en la laguna y en la quebrada Páez, mientras que en la Figura 3.2-63 se presentan los resultados obtenidos en sus principales tributarios.

**Figura 3.2-62 Comportamiento de nitrógeno total Kjeldahl, nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal,
nitratos y nitritos en la laguna y quebrada Páez (Septiembre – octubre de 2008)**

Figura 3.2-63 Comportamiento de nitrógeno total Kjeldahl, nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitratos y nitritos en los tributarios de la quebrada Páez (Septiembre – Octubre de 2008)

En la laguna Páez la forma de nitrógeno que se presenta de forma predominante es el nitrógeno amoniacal (0,4 mg/l), de igual forma en la quebrada con una concentración igual a 0,29 mg/l. Las formas más oxidadas del nitrógeno, nitritos y nitratos, se encuentran por debajo del límite de detección en la laguna, mientras que en la quebrada se presentaron valores de 0,008 mg/l y entre 0,05 y 0,11 mg/l, respectivamente.

En las principales quebradas afluentes, se detecta la presencia de nitrógeno orgánico, con valores de 0,34 y 0,21 mg/l (ver Figura 3.2-63), en La Perezosa se presenta la mayor concentración de nitrógeno amoniacal (0,64 mg/l) mientras que en La Herrera se registra un valor de 0,19 mg/l, los valores de nitritos son iguales a los encontrados en la quebrada Páez y los nitratos no son detectados.

Los valores de nitritos y nitratos encontrados en la laguna y quebrada Páez y en sus quebradas tributarias, se encuentran por debajo del límite permisible según el Decreto para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico (1 y 10 mg/l, respectivamente), de igual forma los valores de nitritos para uso pecuario (10 mg/l).

El fósforo, en sus diferentes formas analizadas, se encuentra por debajo del límite de detección en la laguna y quebrada Páez y en la quebrada La Herrera, en la quebrada La Perezosa se presenta una concentración de 0,12 mg/l de fósforo orgánico. Estos niveles de fósforo se encuentran dentro del rango de aguas naturales con bajo contenido de materia orgánica (*Romero, 2002*) e indica baja productividad en estos cuerpos de agua. Estos parámetros no son considerados como criterio de calidad para la destinación del recurso en el Decreto 1594/84.

- **Parámetros físicos**

Se compararon con el Decreto 1594 de 1984 los resultados de los siguientes parámetros: sólidos totales, suspendidos y disueltos, turbiedad, pH y conductividad. En la Figura 3.2-64y en la

Figura 3.2-66 se presenta su comportamiento en la laguna y en la quebrada Páez, mientras que en la Figura 3.2-65 y en la Figura 3.2-67 se presentan los resultados obtenidos en sus principales tributarios.

Figura 3.2-64 Comportamiento de sólidos totales, disueltos, suspendidos y turbiedad en la laguna y quebrada Páez (Septiembre – Octubre de 2008)

Figura 3.2-65 Comportamiento de sólidos totales, disueltos, suspendidos y turbiedad en los tributarios de la quebrada Páez (Septiembre – Octubre de 2008)

En la laguna y quebrada Páez los sólidos totales oscilan entre 36 y 72 mg/l, la mayor proporción de sólidos se encuentra presente en sólidos disueltos, de ahí la baja turbidez que presenta el agua, con valores entre 0,3 y 11,6 NTU, por debajo del límite máximo establecido en el Decreto (10 UJT) para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico que para su potabilización se requiere solo desinfección. Por otra parte, la quebrada La Perezosa, presenta gran cantidad de sólidos totales y disueltos, 758 y 628 mg/l, respectivamente, como consecuencia de los trabajos de exploración realizados en el túnel La Perezosa, que generan gran cantidad de residuos que finalmente llegan a esta quebrada, esta condición genera un incremento de sólidos en la quebrada Páez luego de su confluencia (punto MP-QP-02). Cabe anotar que durante los días de muestreo en estos cuerpos de agua, se presentaron lluvias, lo que genera la resuspensión de sedimentos,

especialmente en La Perezosa por su bajo caudal, la turbiedad de esta quebrada se encontró en el orden de 404 NTU (21,4 UJT) superando el límite máximo admisible de turbiedad en el agua ya mencionado.

Figura 3.2-66 Comportamiento de pH y conductividad en la laguna y quebrada Páez (Septiembre – Octubre de 2008)

Figura 3.2-67 Comportamiento de de pH y conductividad en los tributarios de la quebrada Páez (Septiembre – Octubre de 2008)

El pH de la laguna y quebrada Páez, caracterizan sus aguas como ligeramente alcalinas con valores entre 6,1 a 7,3 unidades, en el punto ubicado luego de la confluencia con la quebrada La Perezosa se presenta el menor valor debido a la acidez presente en este tributario (5,29 unidades) ya que recibe las aguas de los afloramientos del túnel La Perezosa. Estos valores de pH se encuentran dentro de los rangos establecidos en el Decreto para consumo humano y doméstico que para su potabilización se requiere solamente de tratamiento convencional (entre 5 y 9), para uso agrícola (entre 4,5 y 9) y para fines recreativos mediante contacto primario y secundario (entre 5 y 9).

En cuanto a la conductividad, se presentan valores bajos (entre 20 y 55 $\mu\text{S}/\text{cm}$) en los puntos donde la concentración de sólidos es menor, teniendo en cuenta esta relación, se explica el valor obtenido en la quebrada La Perezosa, 912 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y el aumento del nivel de este parámetro en la

quebrada Páez luego de su confluencia (ver Figura 3.2-66). Este parámetro no es considerado como criterio de calidad en el Decreto para la destinación del recurso para los diferentes usos.

- **Sistema carbonatico**

Se realizó la comparación con el Decreto 1594 de 1984 de los siguientes parámetros: acidez total, alcalinidad y dureza total. En la Figura 3.2-68y en la Figura 3.2-69 se presenta su comportamiento en la laguna y en la quebrada Páez, así como en sus principales tributarios.

De acuerdo con los valores de pH y la Figura 3.2-68, la laguna y la quebrada Páez, así como su tributario La Herrera presentan bajo grado de alcalinidad con valores entre 13 y 20 mg/l, y niveles de acidez que oscilan entre 1,65 y 3,85 mg/l. En tanto que la quebrada La Perezosa presenta un alto nivel de acidez, 38,5 mg/l a pesar del tratamiento previo que se le da al agua afluente a esta quebrada, proveniente de las exploraciones que se realizan en el túnel La Perezosa.

Los cuerpos de agua de la microcuenca Páez muestreados presentan bajo grado de dureza, entre 26,9 y 46 mg/l en la laguna y quebrada Páez y de 27 y 57,6 mg/l en sus tributarios. Estos valores son característicos de áreas donde la capa superior del suelo es delgada y las formaciones de piedra caliza están dispersas o ausentes (*Sawyer, 2001*).

Estos parámetros no son considerados en el Decreto 1594/84 como parámetros de calidad para la destinación del recurso para los diferentes usos.

Figura 3.2-68 Comportamiento de acidez total, alcalinidad y dureza total en la laguna y quebrada Páez (Septiembre – octubre de 2008)

Figura 3.2-69 Comportamiento de acidez total, alcalinidad y dureza total en los tributarios de la quebrada Páez (Septiembre – Octubre de 2008)

- **Cloruros y sulfatos**

Se compararon con el Decreto 1594 de 1984 los resultados de los siguientes parámetros: cloruros, sulfatos, fluoruros y sulfuros. En la La concentración de cloruros en la laguna y quebrada Páez es baja, con valores que oscilan entre 2,5 y 4,95 mg/l y que no superan el límite máximo permisible para la destinación del recurso para consumo humano (250 mg/l), su presencia en aguas naturales se atribuye a la disolución de depósitos minerales. En cuanto a los niveles de sulfatos varían entre 14,9 y 28,3 mg/l, estos valores se encuentran por debajo de la concentración máxima permisible para el consumo humano (400 mg/l), en tanto que para los demás usos no se encuentra restricción de estos dos parámetros.

Por otra parte, la presencia de estas sales en la quebrada La Perezosa es mucho mayor, con valores de 28,21 mg Cl-/l y de 583,2 mg SO₄/l, en la quebrada la Herrera se reportan valores de 1,4 mg Cl-/l y de 13,4 mg SO₄/l. En estas quebradas tributarias, solo los sulfatos en la quebrada La Perezosa superan el límite establecido en el Decreto para la destinación del recurso ya mencionado.

Los fluoruros y sulfuros se encuentran por debajo del límite de detección en la laguna y quebrada Páez y en la quebrada La Herrera; en la quebrada La Perezosa se reportan niveles de fluoruros de 0,22 mg/l, sin embargo, estos parámetros no son incluidos dentro del Decreto como criterio de calidad para las destinación del recurso para diferentes usos.

Figura 3.2-70 y en la Figura 3.2-71 se presenta su comportamiento en la laguna y en la quebrada Páez así como en sus principales tributarios.

La concentración de cloruros en la laguna y quebrada Páez es baja, con valores que oscilan entre 2,5 y 4,95 mg/l y que no superan el límite máximo permisible para la destinación del recurso para consumo humano (250 mg/l), su presencia en aguas naturales se atribuye a la disolución de depósitos minerales. En cuanto a los niveles de sulfatos varían entre 14,9 y 28,3 mg/l, estos valores se encuentran por debajo de la concentración máxima permisible para el consumo humano (400 mg/l), en tanto que para los demás usos no se encuentra restricción de estos dos parámetros.

Por otra parte, la presencia de estas sales en la quebrada La Perezosa es mucho mayor, con valores de 28,21 mg Cl⁻/l y de 583,2 mg SO₄/l, en la quebrada la Herrera se reportan valores de 1,4 mg Cl⁻/l y de 13,4 mg SO₄/l. En estas quebradas tributarias, solo los sulfatos en la quebrada La Perezosa superan el límite establecido en el Decreto para la destinación del recurso ya mencionado.

Los fluoruros y sulfuros se encuentran por debajo del límite de detección en la laguna y quebrada Páez y en la quebrada La Herrera; en la quebrada La Perezosa se reportan niveles de fluoruros de 0,22 mg/l, sin embargo, estos parámetros no son incluidos dentro del Decreto como criterio de calidad para las destinación del recurso para diferentes usos.

**Figura 3.2-70 Comportamiento de cloruros y sulfatos en la laguna y quebrada Páez
(Septiembre – octubre 2008)**

**Figura 3.2-71 Comportamiento de cloruros y sulfatos en los tributarios de la quebrada Páez
(Septiembre – Octubre de 2008)**

- **Metales**

Se compararon con el Decreto 1594 de 1984 los resultados de los siguientes parámetros: hierro, mercurio, potasio, magnesio, sodio, níquel, plomo, plata, aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cromo total y hexavalente, cromo y zinc. En la Figura 3.2-72 y en la Figura 3.2-73 se presenta su comportamiento en la laguna y en la quebrada Páez, así como en sus principales tributarios.

Figura 3.2-72 Comportamiento de metales en la laguna y quebrada Páez (Septiembre – octubre de 2008)

Figura 3.2-73 Comportamiento de metales en los tributarios de la quebrada Páez (Septiembre – octubre de 2008)

Los metales encontrados en la laguna y quebrada Páez son el hierro (entre 0,13 y 1,66 mg/l), potasio (entre 0,76 y 1,12 mg/l), magnesio (entre 3,27 y 4,6 mg/l), sodio (entre 2,9 y 4,04), cobre (entre 0,04 y 0,11 mg/l) y zinc (entre 0,02 y 0,03 mg/l), el cobalto se encontró en la quebrada con concentraciones de 0,04 y 0,05 mg/l, la presencia de estos metales en pequeñas cantidades es una condición normal de las aguas naturales y no restringen su destinación para los diferentes

usos que se encuentran normatizados en el Decreto 1594/84. Los demás metales analizados se encuentran por debajo del límite de detección.

En la quebrada La Perezosa, además de los metales anteriormente mencionados, se encontraron también níquel (0,18 mg/l), arsénico (0,15 mg/l), aluminio (18,1 mg/l), hierro (464,9 mg/l), cobalto (0,16 mg/l), cobre (6,08 mg/l). Según el Decreto 1594/84, estas concentraciones restringen el uso del recurso para consumo humano y doméstico y para uso agrícola y pecuario. Adicionalmente, las altas concentraciones de hierro modifican el color natural del agua entre amarillo y rojizo, como se observó durante el muestreo.

La concentración de grasas y aceites y de tensoactivos se encontró por debajo del límite de detección.

- **Conclusión de la calidad de las aguas en la laguna y quebrada Páez**

De acuerdo con los criterios de calidad para destinación del recurso, contemplados en el Decreto 1594 de 1984, el agua de la laguna y de la quebrada Páez, y de la quebrada La Herrera puede ser destinada para consumo humano y doméstico que para su potabilización se requiere solamente tratamiento convencional, para uso agrícola, pecuario y para fines recreativos mediante contacto primario y secundario.

El agua de la quebrada La Perezosa supera los límites permisibles de aluminio, arsénico, cobalto y cobre, además contiene altas concentraciones de hierro y sulfatos, por lo tanto la destinación del recurso para los diferentes usos mencionados anteriormente, no es apta en esta quebrada.

3.2.6.3.3 Quebrada Móngora y tributarios

- **Contaminación orgánica**

Se compararon con el Decreto 1594 de 1984 los resultados de los siguientes parámetros indicadores de presencia de materia orgánica en el agua: Oxígeno Disuelto (OD), Carbono Orgánico Disuelto (COD), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅) y Demanda Química de Oxígeno (DQO). En la Figura 3.2-74 y en la Figura 3.2-75 se presenta su comportamiento en la quebrada Móngora, así como en su principal tributario.

Figura 3.2-74 Comportamiento de OD, COD, DBO₅ y DQO en la quebrada Móngora (Septiembre – octubre de 2008)

Figura 3.2-75 Comportamiento de oxígeno disuelto, COD, DBO₅ y DQO en los tributarios de la quebrada Móngora (Septiembre – octubre de 2008)

En general se observa que la quebrada Móngora presenta baja contaminación por materia orgánica, se presentan valores de COD entre 5 y 9 mg/l, y la DBO₅ no varía entre los tres puntos de muestreo (2 mg/l). Se presenta un notable aumento de DQO, que fluctúa entre 5 y 19 mg/l, luego de la confluencia de la quebrada La Virgen, como consecuencia de la mayor contaminación que ésta presenta con valores de DQO de 7 y 18 mg/l.

En cuanto a los niveles de oxígeno, en los tres puntos de muestreo sobre la quebrada Móngora, son altos y no presentan mayores variaciones, la concentración de OD oscila entre 8,3 y 8,5 mg/l con porcentajes de saturación entre 101 y 106%. De igual forma sucede en la laguna y la quebrada La Virgen, donde se reportan concentraciones de 8,9 y 8,6 mg/l y porcentajes de saturación de 107,1 y 127,7%, respectivamente. Los porcentajes de saturación de la quebrada Móngora y su quebrada afluente son superiores al límite establecido por la norma (70%) para la destinación del recurso para fines recreativos mediante contacto primario y secundario.

- **Coliformes**

Se compararon con el Decreto 1594 de 1984 los resultados de coliformes totales y fecales como indicadores de contaminación. En la Figura 3.2-76 y en la Figura 3.2-77 se presenta su comportamiento en la quebrada Móngora, así como en su principal tributario.

En la quebrada Móngora se registran valores iguales de coliformes fecales y totales que varían entre 700 y 2400 NMP/100ml presentando tendencia a aumentar aguas abajo. Estas concentraciones posiblemente se encuentran relacionadas con escorrentías causadas por las fuertes lluvias del aporte de excretas y materia orgánica de actividades antrópicas en cercanía del los puntos de muestreo y restringen el uso del recurso para consumo humano en los puntos MM-QM-02 y MM-QM-03 y para fines recreativos mediante contacto primario en todos los puntos sobre la quebrada, según el Decreto.

En la laguna La Virgen no se detecta presencia de coliformes fecales, mientras que en la quebrada se reportan valores de 90 NMP/100ml de coliformes fecales y totales, estos valores son inferiores a los establecidos en el Decreto para los usos ya mencionados.

Figura 3.2-76 Comportamiento de los coliformes totales y fecales en la quebrada Móngora (Septiembre – octubre de 2008)

Figura 3.2-77 Comportamiento de los coliformes totales y fecales en los tributarios de la quebrada Móngora (Septiembre – octubre de 2008)

- **Nutrientes**

Se compararon con el Decreto 1594 de 1984 los resultados de los siguientes parámetros indicadores de presencia de nutrientes importantes en el agua: Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK), nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitratos, nitritos, fósforo orgánico e inorgánico y ortofosfatos. En la Figura 3.2-78y en la Figura 3.2-80 se presenta su comportamiento en la quebrada Móngora, mientras que en la Figura 3.2-79y en la Figura 3.2-81se presentan los resultados obtenidos en su principal tributario.

Figura 3.2-78 Comportamiento de nitrógeno total Kjeldahl, nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitratos y nitritos en la quebrada Móngora (Septiembre – octubre de 2008)

En la quebrada Móngora el nitrógeno amoniacal presenta valores entre 0,15 y 0,48 mg/l, con tendencia a disminuir aguas abajo por la capacidad de dilución del río al aumentar su caudal, esta forma de nitrógeno se presenta por la oxidación bacteriana de la materia orgánica presente debido al vertimiento de aguas residuales, también por detritos de las plantas y otros materiales orgánicos producidos naturalmente.

La concentración de nitritos en la quebrada Móngora fluctúa entre 0,01 y 0,02 mg/l, en tanto que los nitratos se encuentran por debajo del límite de detección.

En la laguna La Virgen el nitrógeno está presente en las formas más reducidas (orgánico y amoniacal) con valores de 0,52 y 0,29 mg/l, respectivamente, los nitritos y nitratos se encuentran por debajo del límite de detección del equipo. En la quebrada La Virgen, el nivel más alto es de nitrógeno amoniacal, 0,94 mg/l, además se presentan nitritos bajo una concentración de 0,019 mg/l.

Los valores de nitritos y nitratos que se reportan en la quebrada Móngora y en la laguna y quebrada La Virgen, se encuentran por debajo del límite permisible según el Decreto para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico (1 y 10 mg/l, respectivamente), de igual forma los valores de nitritos para uso pecuario (10 mg/l).

Figura 3.2-79 Comportamiento de nitrógeno total Kjeldahl, nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitratos y nitritos en los tributarios de la quebrada Móngora (Septiembre – octubre de 2008)

En la quebrada Móngora el fósforo se presenta en su mayoría como fósforo inorgánico y su forma de mayor disponibilidad para sostener la productividad y aprovechada por algas y plantas, ortofosfatos, su contenido es de 0,03 y 0,05 mg/l y de 0,03 y 0,04 mg/l, respectivamente, estos valores caracterizan el agua como no eutróficas.

En la laguna La Virgen, las diferentes formas de fósforo analizadas se encuentran por debajo del límite de detección, mientras que en la quebrada se registran valores de 0,03 mg/l de fósforo inorgánico y ortofosfatos.

Estos parámetros no son considerados como criterio de calidad para la destinación del recurso en el Decreto 1594/84.

Figura 3.2-80 Comportamiento de fósforo orgánico e inorgánico y ortofosfatos en la quebrada Móngora (Septiembre – octubre de 2008)

Figura 3.2-81 Comportamiento de fósforo orgánico e inorgánico y ortofosfatos en los tributarios de la quebrada Móngora (Septiembre – octubre de 2008)

- **Parámetros físicos**

Se compararon con el Decreto 1594 de 1984 los resultados de los siguientes parámetros: sólidos totales, suspendidos y disueltos, turbiedad, pH y conductividad. En la Figura 3.2-82 y en la Figura 3.2-84 se presenta su comportamiento en la quebrada Móngora, mientras que en la Figura 3.2-83 y en la Figura 3.2-85 se presentan los resultados obtenidos en su principal tributario.

Figura 3.2-82 Comportamiento de sólidos totales, disueltos, suspendidos y turbiedad en la quebrada Móngora (Septiembre – Octubre de 2008)

Figura 3.2-83 Comportamiento de sólidos totales, disueltos, suspendidos y turbiedad en los tributarios de la quebrada Móngora (Septiembre – octubre de 2008)

En general, la quebrada Móngora presenta bajo contenido de sólidos totales, se presenta un aumento después de la confluencia con la quebrada La Virgen por el mayor contenido de sólidos presente en ésta (131 mg/l), pero se presenta una disminución en el siguiente punto de muestreo por efectos de dilución debido a un mayor caudal en este punto.

La concentración de sólidos totales oscila entre 51 y 123 mg/l, entre 14 y 28 mg/l la de sólidos disueltos y los valores de turbidez varían entre 0,8 y 32,4 NTU presentando tendencia a aumentar hacia aguas abajo, sin embargo, no superan el límite máximo establecido en el Decreto (10 UJT) para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico que para su potabilización se requiere solo desinfección.

La laguna La Virgen presenta menor concentración de sólidos totales (69 mg/l) en relación con la quebrada (131 mg/l), la concentración de sólidos disueltos es mayor en la laguna donde se reporta un valor de 25 mg/l, en tanto que en la quebrada se encontraron por el orden de 19 mg/l, los sólidos suspendidos no fueron detectados. Estos cuerpos de agua presentan niveles bajos de turbidez, 4,06 y 5,42 NTU, respectivamente (ver Figura 3.2-83), que no restringen su destinación para el uso ya mencionado.

Figura 3.2-84 Comportamiento de pH y conductividad en la quebrada Móngora (Septiembre – octubre de 2008)

**Figura 3.2-85 Comportamiento de de pH y conductividad en los tributarios de la quebrada Móngora.
(Septiembre – octubre de 2008)**

Las aguas de la quebrada Móngora, de acuerdo con sus valores de pH son alcalinas con valores muy cercanos al valor neutro (7), sin embargo en el punto MM-QM-01 el pH es igual a 5,85, que corresponde a un valor ligeramente ácido, posiblemente por la ausencia de plantas que realicen el proceso de fotosíntesis. Por otra parte, se presentan valores bajos de conductividad, entre 15 y 35 $\mu\text{S/cm}$ de acuerdo con las bajas concentraciones de sólidos disueltos.

La laguna y quebrada La Virgen presentan valores similares de pH y conductividad a los presentados en la quebrada Móngora, con aguas ligeramente alcalinas y con bajos valores de conductividad, 32 y 22 $\mu\text{S/cm}$, respectivamente.

Los valores de pH en la quebrada Móngora y en la laguna y quebrada La Virgen se encuentran dentro de los rangos establecidos en el Decreto para consumo humano y doméstico que para su potabilización se requiere solamente de tratamiento convencional (entre 5 y 9), para uso agrícola (entre 4,5 y 9) y para fines recreativos mediante contacto primario y secundario (entre 5 y 9).

- **Sistema carbonatico**

Se realizó la comparación con el Decreto 1594 de 1984 de los siguientes parámetros: acidez total, alcalinidad y dureza total. En la Figura 3.2-86 y en la Figura 3.2-87 se presenta su comportamiento en la quebrada Móngora, así como en su principal tributario.

Las aguas de los cuerpos de agua muestreados en la microcuenca Móngora son blandas, con valores de dureza entre 18 y 25,2 mg/l, presentan también bajo grado de alcalinidad entre 9,5 y 14,25 mg/l y son poco corrosivas, de acuerdo con los niveles de acidez que presentan, 2,4 y 3,36 mg/l.

En cuanto a los tributarios, laguna y quebrada la Virgen, en relación con la quebrada Móngora, presentan mayores valores de dureza, 32,4 y 27 mg/l, son más alcalinas, 19,9 y 17,1 mg/l, y presentan valores de acidez similares 2,4 y 1,92 mg/l.

Estos parámetros no son considerados en el Decreto 1594/84 como criterios de calidad para la destinación del recurso para los diferentes usos.

Figura 3.2-86 Comportamiento de acidez total, alcalinidad y dureza total en la quebrada Móngora (Septiembre – octubre de 2008)

Figura 3.2-87 Comportamiento de acidez total, alcalinidad y dureza total en los tributarios de la quebrada Móngora (Septiembre – octubre de 2008)

- **Cloruros y sulfatos**

Se compararon con el Decreto 1594 de 1984 los resultados de los siguientes parámetros: cloruros, sulfatos, fluoruros y sulfuros. En la Figura 3.2-88 y en la Figura 3.2-89 se presenta su comportamiento en la quebrada Móngora así como en sus principales tributarios.

Figura 3.2-88 Comportamiento de cloruros y sulfatos en la quebrada Móngora (Septiembre – octubre de 2008)

Figura 3.2-89 Comportamiento de cloruros y sulfatos en los tributarios de la quebrada Móngora (Septiembre – octubre de 2008)

La concentración de estos parámetros es baja y no se presentan diferencias significativas entre los puntos de muestreo ubicados sobre la quebrada Móngora, los cloruros presentan una tendencia a disminuir aguas abajo, se reportan valores entre 3,74 y 2,81 mg/l, los niveles de sulfatos son más altos y, a diferencia de los cloruros, aumentan aguas abajo, se registran concentraciones que varían entre 9,57 y 21,23 mg/l.

En la laguna y quebrada La Virgen se encuentran concentraciones de cloruros de 2,34 y 3,74 mg/l y niveles mayores de sulfatos, de 20,4 y 15,75 mg/l respectivamente.

Las concentraciones de cloruros y sulfatos reportadas en los puntos de muestreo ubicados sobre la quebrada Móngora y sobre su principal tributario, son menores al límite máximo establecido en el Decreto para la destinación del recurso para consumo humano, 250 mg Cl⁻/l y 400 mg SO⁻⁴/l.

Los fluoruros y sulfuros se encuentran n por debajo del límite de detección en todos los cuerpos de agua analizados, estos parámetros no son incluidos dentro del Decreto como criterio de calidad para la destinación del recurso para diferentes usos.

- **Metales**

Se compararon con el Decreto 1594 de 1984 los resultados de los siguientes parámetros: hierro, mercurio, potasio, magnesio, sodio, níquel, plomo, plata, aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cromo total y hexavalente, cromo y zinc. En la Figura 3.2-90 y en la Figura 3.2-91 se presenta su comportamiento en la quebrada Móngora, así como en sus principales tributarios.

Figura 3.2-90 Comportamiento de metales en la quebrada Móngora (Septiembre – octubre de 2008)

**Figura 3.2-91 Comportamiento de metales en los tributarios de la quebrada Móngora
(Septiembre – octubre de 2008)**

En la quebrada Móngora se detecta la presencia de metales como hierro, con valores entre 0,28 y 1,02 mg/l, potasio entre 0,39 y 1,32 mg/l, magnesio entre 0,87 y 3,9 mg/l, sodio entre 1,45 y 1,86 mg/l y zinc entre 0,014 y 0,04 mg/l, en el punto previo a la confluencia del río Vetás se

reportan concentraciones de níquel y cobre iguales a 0,02 y 0,01 mg/l, respectivamente, los demás metales analizados se encuentran por debajo del límite de detección.

En la laguna y quebrada La Virgen se encuentran presentes los metales ya mencionados dentro del mismo rango de variación, a excepción del magnesio que reporta valores de 3,94 mg/l. Estos valores no restringen la destinación de este recurso para los diferentes usos que se encuentran normatizados en el Decreto 1594/84.

La concentración de tensoactivos y de grasas y aceites se encuentra por debajo del límite de detección.

- **Conclusión de la calidad de las aguas en la quebrada Móngora y laguna y quebrada La Virgen**

De acuerdo con el Decreto 1594 de 1984 el agua de la quebrada Móngora en los puntos MM-QM-02 y MM-QM-03 no es admisible para consumo humano y doméstico por superar los límites establecidos de coliformes totales y fecales, por la misma razón no es admisible para fines recreativos mediante contacto primario incluyendo en esta restricción el punto MM-QM-01. En cuanto a su destinación para uso agrícola, pecuario y para fines recreativos mediante contacto primario no se encuentra ninguna restricción.

El recurso de la laguna y quebrada La Virgen es admisible para consumo humano y doméstico que para su potabilización requiere solamente tratamiento convencional, para uso agrícola y pecuario, también para fines recreativos mediante contacto secundario.

3.2.6.3.4 Ríos Vetás y Suratá

- **Contaminación orgánica**

Se compararon con el Decreto 1594 de 1984 los resultados de los siguientes parámetros indicadores de presencia de materia orgánica en el agua: Oxígeno Disuelto (OD), Carbono Orgánico Disuelto (COD), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅) y Demanda Química de Oxígeno (DQO). En la Figura 3.2-92 se presenta su comportamiento en el río Vetás y en el río Suratá.

Se presentan concentraciones promedio de oxígeno disuelto de 8,6 mg/l, con poca diferencia entre los puntos de muestreo, cuyos valores varían entre 8,2 y 8,9 mg/l; el porcentaje de saturación de oxígeno presenta valores entre 101 y 110% que son superiores al límite establecido por la norma (70%) para la destinación del recurso para fines recreativos mediante contacto primario y secundario.

La DBO₅ presentó poca variación espacial, la concentración menor (1mg/l) se presentó en el río Suratá y en el río Vetás previo a su confluencia con éste, el valor mayor (3 mg/l) se reporta en los demás puntos ubicados sobre el río Vetás, de igual forma sobre estos puntos se presentan las concentraciones de COD más bajas, este último parámetro oscila entre 5,7 y 7,7 mg/l. La demanda química de oxígeno presenta una concentración media de 22 mg/l, con claro patrón de decrecimiento desde RV-02 (30 mg/l) hasta RS-01 (15 mg/l), aguas abajo de la confluencia del río Vetás, que presenta elevados valores de DQO, entre 17 y 30 mg/l (Figura 3.2-92), mientras que sobre el río Suratá se registraron los menores valores, 15 y 20 mg/l, resultado probablemente del efecto dilutivo ocasionado por las lluvias sobre los aportes de DQO de los tributarios a este río. Estos parámetros no están definidos en el Decreto como criterio de calidad para la destinación del recurso para los diferentes usos.

De acuerdo con los anteriores resultados se infiere que la mayor parte de la materia orgánica presente en estos ríos no es fácilmente biodegradable.

**Figura 3.2-92 Comportamiento de OD, COD, DBO₅ y DQO en los ríos Vetás y Suratá
(Septiembre – octubre de 2008)**

- **Coliformes**

Se compararon con el Decreto 1594 de 1984 los resultados de coliformes totales y fecales como indicadores de contaminación. En la Figura 3.2-93 se presenta su comportamiento en el río Vetás y en el río Suratá.

**Figura 3.2-93 Comportamiento de los Coliformes totales y fecales en los ríos Vetás y Suratá
(Septiembre – octubre de 2008)**

De acuerdo con la Figura 3.2-93 la presencia de coliformes se debe a los coliformes fecales a excepción del punto RV-03, donde la mayor concentración se debe a los coliformes totales.

La concentración promedio de coliformes totales es de 17 200 NMP/100 ml, con valores entre 2 200 y 50 000 NMP/100 ml, con máxima concentración en el río Suratá previo a la confluencia con el río Vetás. Estos altos niveles se deben principalmente a los vertimientos de origen doméstico sobre estos cuerpos de agua y restringen el uso del recurso para consumo humano y para fines recreativos mediante contacto primario, además a partir del punto RV-03 (río Vetás) hacia aguas abajo, el recurso no es admisible para fines recreativos mediante contacto secundario.

- **Nutrientes**

Se compararon con el Decreto 1594 de 1984 los resultados de los siguientes parámetros indicadores de presencia de nutrientes importantes en el agua: Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK), nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitratos, nitritos, fósforo orgánico e inorgánico y ortofosfatos. En la Figura 3.2-94 y en la 3.2-95 se presenta su comportamiento en el río Vetás y en el río Suratá.

Figura 3.2-94 Comportamiento de nitrógeno total Kjeldahl, nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitratos y nitritos en los ríos Vetás y Suratá (Septiembre – octubre de 2008)

El nitrógeno amoniacal alcanza una concentración media de 0,35 mg/l, con valores entre 0,29 y 0,43 mg/l, cuya máxima concentración se encuentra en el río Vetás en los puntos RV-01 y RV-04. Estos valores corresponden a la oxidación de materia orgánica resultado del arrastre desde la cuenca tributaria por las lluvias.

Los nitritos presentan una concentración media de 0,03 mg/l, con muy poca variación entre los puntos de muestreo (0,024 – 0,034 mg/l), en cuanto a los nitratos, no se registran concentraciones detectables de este nutriente en ningún punto de muestreo (Figura 3.2-94). Estos valores se encuentran por debajo del límite permisible según el Decreto para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico (1 y 10 mg/l, respectivamente), de igual forma los valores de nitritos para uso pecuario (10 mg/l).

Durante la época de muestreo se registran bajas concentraciones de ortofosfatos en los ríos Vetás y Suratá, con una concentración promedio de 0,05 mg/l con valores entre 0,03 y 0,07 mg/l cuya máxima concentración se obtuvo en el río Vetás previo a su confluencia con el río Suratá y en el

primer punto ubicado sobre el río Suratá (Figura 3.2-95). En cuanto al fósforo inorgánico, se presenta muy poca variación a lo largo del río Vetás, con concentraciones entre 0,11 y 0,14 mg/l, resultado posiblemente de la dilución y homogenización de este nutriente bajo condiciones de mayor caudal en el río. En el río Suratá los niveles de este parámetro fueron mayores, 0,27 y 0,31 mg/l, en los puntos RS-01 y RS-02, respectivamente.

El fósforo orgánico presenta niveles que oscilan entre 0,02 y 0,09 mg/l en el río Vetás y de 0,04 y 0,13 mg/l en el río Suratá.

Estos parámetros no son considerados como criterio de calidad para la destinación del recurso en el Decreto 1594/84.

Figura 3.2-95 Comportamiento de fósforo orgánico, inorgánico y ortofosfatos en los ríos Vetás y Suratá (Septiembre – octubre de 2008)

- **Parámetros físicos**

Se compararon con el Decreto 1594 de 1984 los resultados de los siguientes parámetros: sólidos totales, suspendidos y disueltos, turbiedad, pH y conductividad. En la Figura 3.2-96 y en la Figura 3.2-97 se presenta su comportamiento en el río Vetás y en el río Suratá.

Las concentraciones de sólidos totales presentan una clara tendencia a aumentar aguas abajo, con valores que variaron entre 293 y 639 mg/l, estos altos valores se deben principalmente a la época de lluvia en las que se realizó el muestreo lo que genera la resuspensión de sedimentos del agua además de los aportes del material estéril producto de los trabajos de minería realizados en la zona. La mayor proporción de sólidos se presenta en forma de sólidos suspendidos con concentraciones que oscilaron entre 206 y 385 mg/l, por esto la alta turbidez que presenta el agua, con niveles entre 157,9 y 273 NTU cuyo comportamiento se asimila al de los sólidos suspendidos.

De acuerdo con estos valores de turbidez, en el punto RV-02 sobre el río Vetás y en los dos puntos ubicados sobre el río Suratá se supera el límite establecido para el uso del recurso para consumo humano y doméstico que para su potabilización se requiere solo desinfección (10 UJT).

Figura 3.2-96 Comportamiento de sólidos totales, disueltos, suspendidos y turbiedad en los ríos Vetas y Suratá (Septiembre – Octubre de 2008)

Figura 3.2-97 Comportamiento de pH y conductividad en los ríos Vetas y Suratá (Septiembre – octubre de 2008)

Teniendo en cuenta los valores de pH, las aguas de los ríos Vetas y Suratá se caracterizan por ser ligeramente alcalinas, no se presenta mayor variación espacial posiblemente por la homogeneidad generada por el gran caudal que presentan estos cuerpos de agua. Teniendo en cuenta que el rango de variación del pH fue de 6,44 y 7,87 unidades, se infiere que la alcalinidad es debida fundamentalmente a los bicarbonatos. Los valores de pH se encuentran dentro de los rangos establecidos en el Decreto para consumo humano y doméstico (entre 5 y 9), para uso agrícola (entre 4,5 y 9) y para fines recreativos mediante contacto primario y secundario (entre 5 y 9).

En cuanto a la conductividad, se presenta un valor promedio de 102 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con valores entre 77 y 140 mg/l , presentando picos en el río Vetas previo a la confluencia con la quebrada La Baja y en el río Suratá previo al sitio de toma del acueducto de Bucaramanga. Este parámetro se relaciona directamente con los sólidos y no está incluido como criterio de calidad en el Decreto 1594/84 para la destinación del recurso para diferentes usos.

- **Sistema carbonatico**

Se realizó la comparación con el Decreto 1594 de 1984 de los siguientes parámetros: acidez total, alcalinidad y dureza total. En la Figura 3.2-98 se presenta su comportamiento en río Vetás y en el río Suratá.

Figura 3.2-98 Comportamiento de acidez total, alcalinidad y dureza total en los ríos Vetás y Suratá (Septiembre – octubre de 2008)

La variación de alcalinidad muestra tendencia a aumentar a lo largo de los puntos de muestreo, con valores que varían entre 7,6 mg/l y 57 mg/l, por lo que se caracterizan como aguas con bajo grado de alcalinidad, sin embargo en el río Suratá, previo al sitio de toma del acueducto de Bucaramanga, la alcalinidad aumenta a grado medio. En cuanto a la acidez, presenta un patrón diferente, con valores que oscilan entre 2,4 y 5,28 mg/l, con los valores más altos en los puntos RV-01 y RS-01.

La dureza presenta una concentración media de 47,4 mg/l con valores entre 30,6 y 70,2 mg/l y pueden clasificarse como blandas.

Estos parámetros no están incluidos en el Decreto 1594/84 como criterio de calidad para la destinación del recurso para los diferentes usos allí establecidos.

- **Cloruros y sulfatos**

Se compararon con el Decreto 1594 de 1984 los resultados de los siguientes parámetros: cloruros, sulfatos, fluoruros y sulfuros. En la Figura 3.2-99 se presenta su comportamiento en río Vetás y en el río Suratá.

Se presenta una concentración de cloruros promedio de 3,59 mg/l con valores entre 2,81 y 4,68 mg/l, el mayor valor se presenta en el río Vetás previo a su confluencia con el río Suratá, en cuanto a los sulfatos la concentración promedio es de 30,6 mg/l con valores entre 18,26 y 41,59 mg/l, el pico más alto se presenta en el río Vetás en el punto ubicado aguas abajo de la

población de California (RV-03). Estos valores son menores al límite máximo establecido en el Decreto para la destinación del recurso para consumo humano, 250 mg Cl^-/l y 400 mg $\text{SO}_4^{=4}/\text{l}$.

Figura 3.2-99 Comportamiento de cloruros y sulfatos en los ríos Vetás y Suratá (Septiembre – octubre de 2008)

Los fluoruros y sulfuros se encontraron por debajo del límite de detección en todos los cuerpos de agua analizados, estos parámetros no son incluidos dentro del Decreto como criterio de calidad para la destinación del recurso para diferentes usos.

- **Metales**

Se compararon con el Decreto 1594/84 los resultados de los siguientes parámetros: hierro, mercurio, potasio, magnesio, sodio, níquel, plomo, plata, aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cromo total y hexavalente, cromo y zinc. En la Figura 3.2-100 se presenta su comportamiento en el río Vetás y en el río Suratá.

Figura 3.2-100 Comportamiento de metales en los ríos Vetás y Suratá. (Septiembre – octubre de 2008)

Se detecta la presencia de hierro, con valores entre 5,53 y 11,16 mg/l que superan el límite establecido en el Decreto para uso agrícola del recurso (5 mg/l). Otros metales también detectados e incluidos como criterio de calidad para la destinación del recurso son: aluminio con concentraciones entre 1,8 y 3,73 mg/l, arsénico entre 0,002 y 0,02 mg/l, cobre entre 0,03 y 0,13 mg/l y zinc entre 0,03 y 0,27 mg/l, cianuro y cianuro libre en los puntos RV-04 y RS-02 por el orden de 0,03 y 0,04 mg/l, la presencia de estos metales no superan los límites máximos permitibles de acuerdo con el Decreto.

Se detecta la presencia de potasio, con valores entre 0,91 y 1,65 mg/l, magnesio, entre 3,06 y 2,88 mg/l y sodio entre 1,9 y 3,6 mg/l, parámetros que no están incluidos como criterio de calidad en el Decreto. Los demás metales analizados se encuentran por debajo del límite de detección.

Los tensoactivos y las grasas y aceites se encuentran por debajo del límite de detección en todos los cuerpos de agua analizados.

- **Conclusión de la calidad de las aguas en el río Vetás - Suratá**

De acuerdo con el Decreto 1594 de 1984, el agua de los ríos Vetás y Suratá no es apta para consumo humano debido a sus altos niveles de coliformes fecales y totales (>1000 NMP/100ml) ni para fines recreativos mediante contacto primario o secundario, (1000 y 5000 NMP/100 ml, respectivamente), este último uso se restringe a partir del punto RV-03 hacia aguas abajo.

En el río Vetás – Suratá, la concentración de hierro supera el límite establecido (5 mg/l) para la destinación del recurso para usos agrícolas. El recurso puede ser destinado para uso pecuario, pues no se encontró ninguna restricción en los criterios de calidad establecidos en el Decreto para tal fin.

3.2.6.3.5 Quebrada Romeral - río Cucutilla y tributarios

- **Contaminación orgánica**

Se compararon con el Decreto 1594 de 1984 los resultados de los siguientes parámetros indicadores de presencia de materia orgánica en el agua: Oxígeno Disuelto (OD), Carbono Orgánico Disuelto (COD), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y Demanda Química de Oxígeno (DQO).

En la Figura 3.2-101 y en la Figura 3.2-102 se presenta su comportamiento en la quebrada Romeral y en el río Cucutilla, así como en sus principales tributarios.

La quebrada Romeral que posteriormente toma el nombre de río Cucutilla presenta baja contaminación por materia orgánica biodegradable, según la concentración de DBO₅ que varía entre <1 y 2 mg/l, los valores de DQO oscilan entre <2 y 9 mg/l y los niveles de COD se encuentran en un rango entre 3,7 y 7,6 mg/l.

Se caracterizan por ser aguas bien oxigenadas con concentración promedio de OD de 8,76 mg/l con valores entre 8,3 y 9,35 mg/l y porcentajes de saturación que varían entre 105 y 114%.

En cuanto a sus quebradas afluentes presentan patrones similares, baja contaminación orgánica, con valores de DBO₅ entre <1 y 2 mg/l, la DQO varía entre <2 y 5 mg/l y la concentración de COD oscila entre 3,4 y 6,5 mg/l.

Los niveles de OD se encuentran entre 6,41 y 9,24 mg/l con porcentajes de saturación entre 78,45 y 111,67%, los menores valores se presentan en la quebrada Honda.

Las aguas de la quebrada Romeral – río Cucutilla y de sus principales quebradas tributarias, superan el límite establecido por la norma para el porcentaje de concentración de saturación (70%) para la destinación del recurso para fines recreativos mediante contacto primario y secundario.

Figura 3.2-101 Comportamiento de OD, COD, DBO₅ y DQO en la quebrada Romeral - río Cucutilla (Septiembre – octubre de 2008)

Figura 3.2-102 Comportamiento de Oxígeno Disuelto, COD, DBO₅ y DQO en los tributarios de la quebrada Romeral - río Cucutilla (Septiembre – Octubre de 2008)

- **Coliformes**

Se compararon con el Decreto 1594 de 1984 los resultados de coliformes totales y fecales como indicadores de contaminación. En la Figura 3.2-103 y en la Figura 3.2-104 se presenta su comportamiento en la quebrada Romeral y en el río Cucutilla, así como en sus principales tributarios.

Figura 3.2-103 Comportamiento de los coliformes totales y fecales en la quebrada Romeral - río Cucutilla (Septiembre – octubre de 2008)

De acuerdo con la Figura 3.2-103, sobre la quebrada Romeral, en los dos primeros puntos de muestreo aguas arriba, se detectan valores de coliformes fecales y totales de 20 NMP/100 ml, mientras que en los otros dos puntos su presencia se halla por debajo del límite de detección, en el río Cucutilla, en el primer punto de muestreo aguas arriba, los coliformes fecales y totales presentan también el mismo valor (40 NMP/100ml), en el siguiente punto se detecta el mismo valor de coliformes totales, los coliformes fecales se encuentran por debajo del límite de detección. Este parámetro no restringe el uso del recurso para consumo humano y doméstico ni para fines recreativos mediante contacto primario o secundario.

Las quebradas tributarias presentan valores de coliformes fecales que variaron entre 20 y 170 NMP/100ml y de coliformes totales que oscilan entre 40 y 1300 NMP/100ml, este último valor se reporta en la quebrada El Arenal y supera el límite máximo admisible para la destinación del recurso para fines recreativos mediante contacto primario, en los demás cuerpos afluentes no se encuentra restricción en la destinación del recurso por parte de este parámetro. En la quebrada Crucecitas no se detecta presencia de coliformes.

Figura 3.2-104 Comportamiento de los coliformes totales y fecales en los tributarios de la quebrada Romeral - río Cucutilla (Septiembre – Octubre de 2008)

- **Nutrientes**

Se compararon con el Decreto 1594 de 1984 los resultados de los siguientes parámetros indicadores de presencia de nutrientes importantes en el agua: Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK), nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitratos, nitritos, fósforo orgánico e inorgánico y ortofosfatos. En la Figura 3.2-105 y en la Figura 3.2-107 se presenta su comportamiento la quebrada Romeral y en el río Cucutilla, mientras que en la Figura 3.2-106 y en la Figura 3.2-108 se presentan los resultados obtenidos en sus principales tributarios.

Figura 3.2-105 Comportamiento de nitrógeno total Kjeldahl, nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitratos y nitritos en la quebrada Romeral - río Cucutilla (Septiembre – octubre de 2008)

Figura 3.2-106 Comportamiento de nitrógeno total Kjeldahl, nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitratos y nitritos en los tributarios de la quebrada Romeral - río Cucutilla (Septiembre – Octubre de 2008)

En la quebrada Romeral y río Cucutilla el nitrógeno orgánico presenta una concentración media de 0,27 mg/l, con valores entre (0,07 y 0,49 mg/l), los niveles más altos se encuentran en los tres primeros puntos aguas arriba sobre la quebrada Romeral. El nitrógeno amoniacal alcanza una concentración media de 0,2 mg/l con valores entre 0,15 y 0,25 mg/l, su presencia indica el inicio de los procesos de oxidación de la materia orgánica presente.

Los nitritos presentan un rango de variación mínimo entre 0,01 y 0,014 mg/l y los nitratos se encuentran por debajo del límite de detección. Estos valores son inferiores al límite máximo permisible según el Decreto para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico (1 y 10 mg/l, respectivamente), de igual forma los valores de nitritos para uso pecuario (10 mg/l).

De las quebradas tributarias el mayor contenido de nitrógeno lo presenta la quebrada Honda, con una concentración de nitrógeno orgánico de 2 mg/l y de 0,55 mg/l de nitrógeno amoniacal, mientras que en los otros afluentes estos parámetros varían entre 0,05 y 0,37 mg/l y entre 0,16 y 0,23 mg/l, respectivamente. Los nitritos no presentan mayor variación entre estas quebradas con valores que oscilan entre 0,008 y 0,013 mg/l, sin embargo los nitratos se encuentran en mayor concentración en la quebrada Honda (0,27 mg/l), en las otras quebradas fluctúan entre <0,05 y 0,13 mg/l. Estos valores se encuentran por debajo del límite permisible según el Decreto para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico (1 y 10 mg/l, respectivamente), de igual forma los valores de nitritos para uso pecuario (10 mg/l).

**Figura 3.2-107 Comportamiento de fósforo orgánico e inorgánico y ortofosfatos en la quebrada Romeral
- río Cucutilla (Septiembre – octubre de 2008)**

**Figura 3.2-108 Comportamiento de fósforo orgánico e inorgánico y ortofosfatos en los principales
tributarios de la quebrada Romeral - río Cucutilla (Septiembre – Octubre de 2008)**

El fósforo orgánico se encuentra por debajo del límite de detección en la quebrada Romeral, río Cucutilla y en las quebradas afluentes, el fósforo inorgánico y ortofosfatos presentan poca variación, entre <0,02 y 0,03 mg/l y entre <0,02 y 0,04 mg/l, respectivamente. Estos parámetros no son considerados como criterio de calidad para la destinación del recurso en el Decreto 1594/84.

- **Parámetros físicos**

Se compararon con el Decreto 1594 de 1984 los resultados de los siguientes parámetros: sólidos totales, suspendidos y disueltos, turbiedad, pH y conductividad. En la Figura 3.2-111 y en la Figura 3.2-113 se presenta su comportamiento en la quebrada Romeral y en el río Cucutilla, mientras que en la Figura 3.2-112 y en la Figura 3.2-114 se presentan los resultados obtenidos en sus principales tributarios.

Figura 3.2-109 Comportamiento de sólidos totales, disueltos, suspendidos y turbiedad en la quebrada Romeral - río Cucutilla (Septiembre – Octubre de 2008)

En la quebrada Romeral y río Cucutilla se reporta una concentración promedio de sólidos totales de 122 mg/l, con valores que varían entre 93 y 170 mg/l, presentando el nivel más alto en el río previo a la confluencia con la quebrada Honda. Los sólidos disueltos presentan este mismo patrón con concentraciones que oscilan entre 16 y 40 mg/l, en tanto que los sólidos suspendidos se encuentran por debajo del límite de detección. Los niveles de turbiedad del agua oscilan entre 0,97 y 1,86 NTU.

En cuanto a las quebradas tributarias, se presentan patrones similares, la concentración de sólidos totales varía entre 99 y 144 mg/l, las quebradas Crucecitas, La Salina y Honda, presentaron los valores más altos. Los sólidos disueltos oscilan entre 16 y 57 mg/l y los sólidos suspendidos se encuentran por debajo del límite de detección, a excepción de la quebrada La Salina donde se registra un valor de 20 mg/l, las aguas de esta quebrada presentan mayor turbidez (16,1 NTU) en relación con las demás quebradas afluentes donde los niveles se fluctúan entre 0,45 y 1,9 NTU.

Los niveles de turbiedad en la quebrada Romeral – río Cucutilla y en sus principales quebradas tributarias no superan el límite establecido para el uso del recurso para consumo humano y doméstico que para su potabilización se requiere solo desinfección (10 UJT).

Figura 3.2-110 Comportamiento de sólidos totales, disueltos, suspendidos y turbiedad en los tributarios de la quebrada Romeral - río Cucutilla (Septiembre – Octubre de 2008)

Figura 3.2-111 Comportamiento de pH y conductividad en la quebrada Romeral - río Cucutilla (Septiembre – Octubre de 2008)

El pH y la conductividad presentan el mismo comportamiento con tendencia a aumentar hacia aguas arriba de la quebrada Romeral y río Cucutilla. Se presenta un valor medio de pH 7 con valores entre 6 y 7,8. Los valores de conductividad oscilan entre 18 y 53 $\mu\text{S}/\text{cm}$, se presenta un especial incremento en los puntos ubicados sobre el río Cucutilla (RC-RC-01 y RC-RC-02) en relación con la quebrada Romeral, como consecuencia de la mayor concentración de sólidos que se presenta en estos puntos.

Figura 3.2-112 Comportamiento de de pH y conductividad en los tributarios de la quebrada Romeral - río Cucutilla (Septiembre – Octubre de 2008)

En cuanto a las quebradas tributarias presentan valores de pH cercanos al valor neutro sin mayores diferencias entre sí, que varían entre 7,34 y 7,81, en la quebrada Crucecitas se presenta un valor ligeramente menor de 6,24. La conductividad presentó variación entre 18 y 73 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Los valores de pH en la quebrada Romeral – río Cucutilla y en sus principales quebradas tributarias se encuentran dentro de los rangos establecidos en el Decreto para consumo humano y doméstico que para su potabilización se requiere solamente tratamiento convencional (entre 5 y 9), para uso agrícola (entre 4,5 y 9) y para fines recreativos mediante contacto primario y secundario (entre 5 y 9).

- **Sistema carbonatico**

Se realizó la comparación con el Decreto 1594 de 1984 de los siguientes parámetros: acidez total, alcalinidad y dureza total. En la Figura 3.2-113 se presenta su comportamiento en la quebrada Romeral y en el río Cucutilla, y en la Figura 3.2-114 en sus principales tributarios.

En general, las aguas de la quebrada Romeral – río Cucutilla y las de sus quebradas tributarias se caracterizan por tener un grado de alcalinidad bajo con valores menores a 50 mg/l, que varían entre 7 y 43,2 mg/l encontrándose el mayor valor en la quebrada La Cueva, congruente con el pH medido. Por otra parte, presentan valores de acidez bajos que oscilan entre 2 y 6 mg/l, se caracterizan también por ser aguas blandas con concentraciones de dureza que varían entre 13 y 42,8 mg/l, el valor mayor de este parámetro lo presenta la quebrada El Arenal. Estos parámetros no son considerados como criterio de calidad para la destinación del recurso en el Decreto.

Figura 3.2-113 Comportamiento de acidez total, alcalinidad y dureza total en la quebrada Romeral - río Cucutilla (Septiembre – octubre de 2008)

Figura 3.2-114 Comportamiento de acidez total, alcalinidad y dureza total en los tributarios de la quebrada Romeral - río Cucutilla (Septiembre – Octubre de 2008)

- **Cloruros y sulfatos**

Se compararon con el Decreto 1594 de 1984 los resultados de los siguientes parámetros: cloruros, sulfatos, fluoruros y sulfuros. En la Figura 3.2-115 se presenta su comportamiento en la quebrada Romeral y en el río Cucutilla, y en la Figura 3.2-116 en los principales tributarios.

**Figura 3.2-115 Comportamiento de cloruros, sulfatos y sulfuros en la quebrada Romeral - río Cucutilla
(Septiembre – octubre de 2008)**

Sobre la quebrada Romeral – río Cucutilla se alcanza una concentración media de cloruros de 3,9 mg/l con valores entre 2,89 y 5,9 mg/l, presentando el mayor valor en el río en el punto RC-RC-01. Los sulfatos presentan un valor medio de 8,7 mg/l con una variación entre 5,2 y 12,5 mg/l, los picos más altos se encuentran en los puntos QR-QR-01, QR-QR-03 y RC-RC-02. Adicionalmente, a partir del punto QR-QR-04 se detectó la presencia de sulfuros con valores de 2 mg/l en este punto y de 3,1 mg/l en el río Cucutilla.

En las quebradas tributarias se presentan mayores concentraciones de cloruros y sulfatos que varían entre 1,4 y 6,9 mg/l y entre 4,29 y 11,34 mg/l, respectivamente, estos valores tienden a aumentar en las quebradas hacia el norte. De igual forma, se detecta la presencia de sulfuros en los afluentes a partir del punto QR-QLC-01 hacia aguas arriba, con valores entre 1 y 3,9 mg/l.

Las concentraciones de cloruros y sulfatos en la quebrada Romeral – río Cucutilla y sus quebradas tributarias son menores al límite máximo establecido en el Decreto para la destinación del recurso para consumo humano, 250 mg Cl⁻/l y 400 mg SO⁼⁴/l, respectivamente.

Figura 3.2-116 Comportamiento de cloruros, sulfatos y sulfuros en los tributarios de la quebrada Romeral - río Cucutilla (Septiembre – Octubre de 2008)

- **Metales**

Se compararon con el Decreto 1594 de 1984 los resultados de los siguientes parámetros: hierro, mercurio, potasio, magnesio, sodio, níquel, plomo, plata, aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cromo total y hexavalente, cromo y zinc. En la Figura 3.2-117 y en la Figura 3.2-118 se presenta su comportamiento en la quebrada Romeral y en el río Cucutilla, así como en sus principales tributarios.

Figura 3.2-117 Comportamiento de metales en la quebrada Romeral - río Cucutilla (Septiembre – octubre de 2008)

**Figura 3.2-118 Comportamiento de metales en los tributarios de la quebrada Romeral y río Cucutilla
(Septiembre – Octubre de 2008)**

Los metales encontrados en la quebrada Romeral – río Cucutilla son: hierro, con valores entre 0,08 y 0,41 mg/l, los menores valores se presentan en el río, el potasio (entre 0,5 y 0,87 mg/l) con tendencia a aumentar hacia aguas arriba, el magnesio (entre 0,9 y 7,2 mg/l) presenta mayores concentraciones en la quebrada, el sodio (entre 3,3 y 4,54 mg/l) no presenta diferencias significativas entre los puntos de muestreo, el níquel (entre 0,05 y 0,25 mg/l), presenta el valor más bajo en el punto QR-QR-03, el arsénico fue detectado sólo en el punto RC-RC-02 y finalmente, el cobre y el zinc, no registran mayores diferencias, con valores entre <0,01 y 0,02 mg/l y entre 0,016 y 0,022 mg/l, respectivamente. Los demás metales se están por debajo del límite de detección. Las concentraciones en las que se encuentran estos metales no restringe el uso del recurso para los diferentes usos, según los límites máximos establecidos en el Decreto.

En cuanto a las quebradas tributarias se reportan estos mismos metales con valores dentro de un rango similar al encontrado en el cuerpo de agua receptor. Los metales que presentan mayor concentración son el potasio, magnesio y sodio, el cobre supera el límite de detección solo en la quebrada Honda. En la quebrada Grande se reporta una concentración de níquel de 0,24 mg/l que supera el límite establecido en el Decreto para este metal para uso agrícola del recurso.

Los tensoactivos y las grasas y aceites se encontraron por debajo del límite de detección en la quebrada Romeral – río Cucutilla y en sus quebradas tributarias.

- **Conclusión de la calidad de las aguas en la quebrada Romeral – río Cucutilla y sus tributarios**

Según el Decreto 1594 de 1984, en el punto QR-QR-02 el valor del pH (6,08) no cumple con el límite establecido para consumo humano y doméstico que para su potabilización se requiere solo desinfección, sobre la quebrada Romeral no se encuentran más restricciones para los diferentes usos del recurso.

De las quebradas tributarias, El Arenal por su concentración de coliformes totales (<1000 NMP/100 ml) no es admisible para fines recreativos mediante contacto primario. La quebrada Grande presenta concentraciones de níquel superiores a 0,02 mg/l por lo que de acuerdo con la norma, no son aptas para uso agrícola. Para la destinación del recurso para uso pecuario, y para fines recreativos mediante contacto secundario no se encuentra ninguna restricción.

3.2.6.3.6 Aguas subterráneas

- **Contaminación orgánica**

Se compararon con el Decreto 1594 de 1984 los resultados de los siguientes parámetros indicadores de presencia de materia orgánica en el agua: Oxígeno Disuelto (OD), Carbono Orgánico Disuelto (COD), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅) y Demanda Química de Oxígeno (DQO). En la Figura 3.2-119 se presenta su comportamiento.

Las concentraciones de DBO₅ varían entre <1 y 3 mg/l y los valores de COD oscilan entre 2,2 y 4,7 mg/l. En cuanto a la DQO se encuentra por debajo del límite de detección a excepción de los puntos LP-EC-01 y LP-EC-01 donde se reportan valores de 2 y 16 mg/l. El OD fluctúa en un rango entre 5,3 y 7,6 mg/l con porcentajes de saturación entre 77,85 y 100,81% que superan el límite establecido por la norma para el porcentaje de concentración de saturación (70%) para la destinación del recurso para fines recreativos mediante contacto primario y secundario.

Figura 3.2-119 Comportamiento de OD, COD, DBO₅ y DQO en los túneles la Perezosa y Veta de Barro (Septiembre – octubre de 2008)

- **Coliformes**

Se compararon con el Decreto 1594 de 1984 los resultados de coliformes totales y fecales como indicadores de contaminación. En la Figura 3.2-120 se presenta su comportamiento.

Figura 3.2-120 Comportamiento de los coliformes totales y fecales en los túneles la Perezosa y Veta de Barro (Septiembre – octubre de 2008)

Como era de esperarse para este tipo de muestreo los coliformes fecales y totales están por debajo del límite de detección en la mayoría de puntos de muestreo, para el punto LP-EC-01 se reportan valores de coliformes fecales de 20 NMP/100ml y en el punto ubicado en el túnel Veta de Barro los coliformes totales presentan un valor de 40 NMP/100ml, en tanto que los coliformes fecales no son detectados. Las concentraciones de coliformes reportadas no restringen el uso del recurso para consumo humano y doméstico ni para fines recreativos mediante contacto primario o secundario.

- **Nutrientes**

Se compararon con el Decreto 1594 de 1984 los resultados de los siguientes parámetros indicadores de presencia de nutrientes importantes en el agua: Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK), nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitratos, nitritos, fósforo orgánico e inorgánico y ortofosfatos. En la Figura 3.2-121 y en la Figura 3.2-122 se presenta su comportamiento.

Figura 3.2-121 Comportamiento de nitrógeno total Kjeldahl, nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitratos y nitritos en los túneles La Perezosa y Veta de Barro (Septiembre – octubre de 2008)

Las concentraciones de nitrógeno total varían entre 0,76 y 1,53 mg/l, a partir del punto LP-EC-02 se observa que el proceso de oxidación del nitrógeno no es muy avanzado puesto que se presentan niveles mayores de nitrógeno orgánico entre 0,53 y 1,31 mg/l, mientras que el nitrógeno amoniacal se encuentra entre 0,2 y 0,25 mg/l.

En cuanto a los nitratos se presentan en bajas concentraciones que oscilan entre 0,007 y 0,01 mg/l y los nitritos están por debajo del límite de detección. Estos valores se encuentran por debajo del límite permisible según el Decreto para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico (1 y 10 mg/l, respectivamente), de igual forma los valores de nitritos para uso pecuario (10 mg/l).

Figura 3.2-122 Comportamiento de fósforo orgánico e inorgánico y ortofosfatos en los túneles La Perezosa y Veta de Barro (Septiembre – octubre de 2008)

Se detectó la presencia de fósforo inorgánico con valores que varían entre 0,04 y 0,08 mg/l, los ortofosfatos oscilan entre 0,02 y 0,11 mg/l, en tanto que el fósforo orgánico se encuentra por

debajo del límite de detección. Estos parámetros no son considerados como criterio de calidad para la destinación del recurso en el Decreto 1594/84.

- **Parámetros físicos**

Se compararon con el Decreto 1594 de 1984 los resultados de los siguientes parámetros: sólidos totales, suspendidos y disueltos, turbiedad, pH y conductividad. En la Figura 3.2-123 y en la Figura 3.2-124 se presenta su comportamiento.

Figura 3.2-123 Comportamiento de sólidos totales, disueltos, suspendidos y turbiedad en los túneles La Perezosa y Veta de Barro (Septiembre – octubre de 2008)

Figura 3.2-124 Comportamiento de pH y conductividad en los túneles La Perezosa y Veta de Barro (Septiembre – octubre de 2008)

La concentración de sólidos totales varía entre 96 y 235 mg/l, la de sólidos disueltos entre 80 y 230 mg/l, en tanto que los sólidos suspendidos se encuentran entre el límite de detección y 30 mg/l. Según los valores presentados de turbiedad, entre 25 y 99 NTU, no se supera el límite establecido en el Decreto para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico que para su potabilización se requiere solo desinfección.

Los valores de pH medidos caracterizan estas aguas como ácidas con valores entre 3,16 y 5,39 que se encuentran por fuera de los rangos establecidos en el Decreto para consumo humano y doméstico y para fines recreativos mediante contacto primario y secundario (entre 5 y 9), a excepción del punto LP-MD-02 y para uso agrícola (entre 4,5 y 9) en los puntos LP-EC-01 y LP-EC-02 y VB-TP-01. Los valores de conductividad presentados fueron altos de acuerdo con las concentraciones elevadas de sólidos, y oscilaron entre 116 y 275 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

- **Sistema carbonático**

Se realizó la comparación con el Decreto 1594 de 1984 de los siguientes parámetros: acidez total, alcalinidad y dureza total. En la Figura 3.2-125 se presenta su comportamiento.

Figura 3.2-125 Comportamiento de acidez total, alcalinidad y dureza total en los túneles La Perezosa y Veta de Barro (Septiembre – octubre de 2008)

Los valores de alcalinidad están por debajo del límite de detección (0,93 mg/l), a excepción del punto LP-MD-01 donde se reporta un valor de 21,12 mg/l. Como ya se mencionó son aguas ácidas, los valores de acidez se encuentran entre 9,3 y 65,1 mg/l y se deben principalmente al contenido de hierro, azufre y sulfuros en las rocas de los túneles, sin embargo son aguas blandas (<75 mg/l), que presentan concentraciones de dureza total entre 18 y 55,8 mg/l. Estos parámetros no son considerados como criterio de calidad para la destinación del recurso en el Decreto.

- **Cloruros y sulfatos**

Se compararon con el Decreto 1594 de 1984 los resultados de los siguientes parámetros: cloruros, sulfatos, fluoruros y sulfuros. En la Figura 3.2-126 se presenta su comportamiento.

Figura 3.2-126 Comportamiento de cloruros, sulfatos y sulfuros en los túneles La Perezosa y Veta de Barro (Septiembre – octubre de 2008)

Por su procedencia son aguas con alto contenido de sulfatos, entre 39,72 y 145,58 mg/l. Las concentraciones de cloruros varían entre 1,89 y 5,95 mg/l. Estos valores se encuentran por debajo del límite máximo establecido en el Decreto para la destinación del recurso para consumo humano, 400 mg $\text{SO}_4^{=4}$ /l y 250 mg Cl/l, respectivamente.

- **Metales**

Se compararon con el Decreto 1594 de 1984 los resultados de los siguientes parámetros: hierro, mercurio, potasio, magnesio, sodio, níquel, plomo, plata, aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cromo total y hexavalente, cromo y zinc. En la Figura 3.2-127 se presenta su comportamiento.

Se presentan concentraciones de algunos metales como hierro, cuyos valores varían entre 3,91 y 18,27 mg/l, potasio y sodio, que no presentan diferencias significativas entre los diferentes puntos, con valores entre 2,55 y 3,85 mg/l y entre 4 y 4,86 mg/l, respectivamente, magnesio, entre 0,9 y 9,5 mg/l, aluminio, entre <1 y 5,24 mg/l, arsénico, entre <0,001 y 0,7 mg/l, cobre, entre 0,08 0,48 mg/l y zinc, entre 0,12 y 0,66 mg/l. Los demás metales analizados se encuentran por debajo del límite de detección.

En los puntos LP-EC-02, LP-NEC-01 y VB-TP-01 se supera el límite máximo permisible de hierro y cobre, (5 y 0,2 mg/l, respectivamente) para la destinación del recurso para uso agrícola, mientras que en el punto LP-MD-02 se supera el límite de concentración de hierro y aluminio (5 mg/l) para esta misma destinación del recurso y también para uso pecuario.

Figura 3.2-127 Comportamiento de metales en los Túneles La Perezosa y Veta de Barro (Septiembre – octubre de 2008)

- **Conclusión de la calidad de las aguas en los túneles La Perezosa y Veta de Barro**

De acuerdo con el Decreto 1594 de 1984, el agua de los túneles por los valores de pH que presenta no es admisible para consumo humano y doméstico, ni para fines recreativos mediante contacto primario y secundario a excepción del punto LP-MD-02, ni para uso agrícola en los puntos LP-EC-01, LP-EC-02 y VB-TP-01.

En los puntos LP-EC-02, LP-NEC-01 y VB-TP-01 se supera el límite máximo permisible de hierro y cobre para la destinación del recurso para uso agrícola, mientras que en el punto LP-MD-02 se supera el límite de concentración de hierro y aluminio para esta misma destinación del recurso y también para uso pecuario.

3.2.6.4 Conclusiones y recomendaciones

De acuerdo con el análisis realizado, se determinaron las características físico químicas de los cuerpos de agua pero no su afectación causada por las actividades mineras que se realizan en la zona, teniendo en cuenta los pocos vertimientos de las empresas mineras que se realizaron durante los días de monitoreo y las fuertes lluvias que se presentaron lo que permiten mayor dilución de los contaminantes en los cuerpos de agua.

En general, las muestras analizadas presentan cloruros, dureza y alcalinidad y nutrientes como nitrógeno y fósforo en concentraciones propias de aguas naturales. Los bajos niveles de COD, DBO₅ y DQO infieren la poca presencia de materia orgánica por actividades antrópicas, sin embargo los niveles altos de oxígeno disuelto y porcentaje de saturación de oxígeno sugieren que tienen la posibilidad de soportar procesos de oxidación de la materia orgánica.

Sobre los ríos Vetas y Suratá se encuentra la mayor presencia de coliformes fecales y totales, y los valores más altos de DQO. Además, los niveles de cianuro están presentes en concentraciones mayores al límite de detección. De igual forma, la quebrada La Perezosa presenta mayor afectación debido a los vertimientos de los trabajos de exploración del túnel La Perezosa.

Se recomienda realizar un muestreo en época seca en los mismos puntos ya muestreados con el fin de establecer posibles diferencias, incluyendo la toma de muestras a los vertimientos de las empresas mineras.

En el Adendo 3.1 “Continuación de los estudios de Línea Base Ambiental y Social del proyecto Aurífero Angostura , Departamento de Santander”, se presentan los resultados de los monitoreos de calidad de agua realizados en el año 2009, donde se incluye la Microcuenca El Salado.

3.2.7 Usos y usuarios del agua

En este numeral se presenta el inventario de usos y usuarios del agua en la zona de influencia directa e indirecta del proyecto Angostura.

Durante el trabajo de campo que se llevó a cabo entre el 17 y 24 de septiembre de 2008, se realizaron encuestas a todos los usuarios inherentes al proyecto y en la zona aferente al mismo para conocer las características del uso del agua, tanto en el sitio del proyecto como en los sitios poblacionales cercanos al mismo, para tal efecto se desarrolló una ficha única de registro - F.U.R., en la cual se consignan los datos más relevantes (número de habitantes, captación de agua para consumo humano y la principal fuente de trabajo), para conocer cuáles son los usos actuales del agua y los usuarios que se benefician del recurso hídrico en la zona.

Para la recolección de la información en campo se definieron tres zonas de interés:

Zona 1: se llevó a cabo una visita a todos los núcleos poblacionales entre el proyecto Greystar y el sector denominado Tronadora donde confluyen la quebrada La Baja y el río Vetas, dentro de las microcuencas de las quebradas Páez, Angosturas y La Baja.

Zona 2: se llevó a cabo una visita a los principales núcleos poblacionales a partir de la población de California hasta la población de Matanza.

Zona 3: se llevó a cabo un registro fotográfico entre las poblaciones de Matanza hasta la captación del acueducto de Bucaramanga en el río Suratá.

Las fichas de registro y el registro fotográfico se presentan en el Anexo 3.2.4

3.2.7.1 Usos del Agua

3.2.7.1.1 Agua para consumo humano

- **Zona 1**

En la actualidad la captación de agua para consumo humano en la zona del proyecto corresponde únicamente a la captada por una bocatoma de fondo en el cauce de la quebrada Páez, la cual abastece al campamento de la compañía Greystar y a la vereda Angosturas. En la Tabla 3.2-60 se presentan las coordenadas de la bocatoma y el caudal aforado durante la visita a campo.

Tabla 3.2-60 Georeferenciación acueducto Páez

NOMBRE	COORDENADAS	LOCALIZACIÓN
Acueducto quebrada Páez	1133326 E 1307391 N	Quebrada Páez, aproximadamente a 3497 msnm, el caudal aforado es del orden de 14 l/s.

- **Zona 2**

En la Vereda La Baja, municipio de California, existe una captación para un acueducto veredal en el sitio conocido como El Posito, donde se toma el agua de la quebrada San Antonio. En la Tabla 3.2-61 se presentan las coordenadas de la ubicación de este acueducto.

Tabla 3.2-61 Georeferenciación acueducto San Antonio de Padua

NOMBRE	COORDENADAS	LOCALIZACIÓN
Acueducto quebrada San Antonio	1128911 E 1306910 N	Acueducto San Antonio de Padua 2455 msnm, población media atendida 50 personas.

En el municipio de California, en la Vereda Tabacal, según la información aportada por la alcaldía existe una captación para el acueducto del casco urbano de la población de California, donde se toma el agua de la quebrada La Venta. El número de usuarios reportados por parte de la alcaldía municipal es del orden de 187 personas.

- **Zona 3**

Existe una captación para el acueducto del casco urbano del municipio de Suratá, que toma el agua de la quebrada El Porvenir. El número de usuarios reportados por parte de la alcaldía municipal es del orden de 214 personas.

Para el municipio de Matanza, existe una captación para el acueducto del casco urbano de la población, que toma el agua de las quebradas Bachiga y El Salado. El número de usuarios de este acueducto reportados por parte de la alcaldía municipal es del orden de 1800 personas.

3.2.7.1.2 Agua para uso en minería

El aprovechamiento de agua para uso en las actividades de minería se presenta únicamente en la Zona 1.

Durante el trabajo de campo se pudo identificar que la minería artesanal toma el agua de las quebradas Páez, Angosturas y La Baja, para generar hidráulicamente energía para el funcionamiento de grandes molinos, que son utilizados en la trituration del material excavado (ver Foto 3.2-10 y Foto 3.2-11).

El material estéril es apilado o entregado nuevamente a la fuente primaria sin ser objeto de una depuración o tratamiento preliminar, lo que implica la contaminación del recurso hídrico aguas abajo, con los subsecuentes daños en los sistemas acuáticos y terrestres.

Foto 3.2-10 Sistema de trituration del material aurífero

Foto 3.2-11 Sistema artesanal en la obtención de oro y plata

3.2.7.1.3 Agua para uso en agricultura y ganadería

El uso de agua en agricultura y ganadería se realiza principalmente en las zonas 2 y 3, específicamente aguas abajo de la desembocadura del río Vetás en el río Suratá.

La mayor presencia de agricultura y ganadería se encuentra en el municipio de Matanza, donde hay cultivos de tomate y maíz, localizados en las márgenes del río Suratá. El agua utilizada para estas actividades se obtiene en su mayoría de nacederos y quebradas de alta montaña, donde los campesinos captan el agua mediante mangueras que alimentan tanques elevados, que distribuyen el agua mediante canales o aspersores.

Foto 3.2-12 Usos del agua en agricultura y ganadería

3.2.7.2 Usuarios

Durante el trabajo de campo se realizó un inventario de grupos poblacionales desde la quebrada Páez hasta el municipio de Matanza. La descripción por zonas se presenta a continuación y las fichas F.U.R diligenciadas para cada zona se presentan en el Anexo 3.2.4

3.2.7.2.1 Usuarios en la Zona 1

- **Vereda Angosturas - Campamento Greystar**

El personal que labora en este sitio toma agua de la quebrada Páez para consumo humano del campamento y de la vereda Angosturas, el número aproximado de usuarios que se benefician con esta captación es del orden de 250 personas.

- **Quebrada La Perezosa - Campamento Greystar**

El agua que sale del túnel La Perezosa II proveniente de las infiltraciones, es neutralizada antes de su vertimiento a la quebrada La Perezosa.

Foto 3.2-13 Quebrada La Perezosa

- **Municipio de California - Vereda Angosturas - El Portillo**

El grupo poblacional ubicado en el sitio denominado El Portillo de la vereda Angosturas, toma agua de la quebrada Páez, el número aproximado de usuarios que se benefician con esta captación es del orden de 4 personas.

Foto 3.2-14 Vereda Angosturas - El Portillo

- **Municipio de California - Vereda Angosturas - La Bodega**

La población que habita en el sitio denominado La Bodega, toma agua de la parte alta de un caño afluente a la quebrada Angosturas, el número aproximado de usuarios que se benefician con esta captación es del orden de 30 personas.

Foto 3.2-15 Vereda Angosturas - Caño La Bodega

- **Municipio de California - Vereda Angosturas - El Tigre**

Una parte de la población que habita en el sitio denominado El Tigre de la vereda Angosturas, toma agua para consumo humano del acueducto de la quebrada Páez, además utiliza el agua de la quebrada La Baja para mover un molino que tritura el material excavado. El número aproximado de usuarios que se benefician con esta captación es del orden de 10 personas.

Foto 3.2-16 Vereda Angosturas - El Tigre

- **Municipio de California - Vereda Angosturas - La Tigra**

Una parte de la población que habita en el sitio denominado La Tigra, toma agua para consumo humano de la parte alta de la quebrada Las Animas, además utiliza el agua de la quebrada La Baja para mover un molino que tritura el material excavado. El número aproximado de usuarios que se benefician con esta captación es del orden de 15 personas.

Foto 3.2-17 Vereda Angosturas - La Tigra

- **Municipio de California - Vereda La Baja - La Baja**

Foto 3.2-18 Vereda La Baja – Molino triturador de material

La población que habita en el sitio denominado La Baja, toma agua para consumo humano de la parte alta de la quebrada Santa Catalina, además utiliza el agua de la quebrada La Baja para mover un molino que tritura el material excavado. El número aproximado de usuarios que se benefician con esta captación es del orden de 30 personas.

- **Municipio de California - Vereda La Baja -San Juan**

La población que habita en el sitio denominado San Juan, toma agua para consumo humano de la parte alta de la quebrada La Esmeralda, además utiliza el agua de la quebrada La Baja para mover un molino que tritura el material excavado. El número aproximado de usuarios que se benefician con esta captación es del orden de 15 personas.

Foto 3.2-19 Vereda La Baja - San Juan

- **Municipio de California - Vereda La Baja- Parte Media -El Posito**

La población que habita en este sitio denominado Parte Media, toma agua para consumo humano de la quebrada San Antonio - El Posito, el número aproximado de usuarios que se benefician con esta captación es del orden de 50 personas.

Foto 3.2-20 Vereda La Baja - El Posito

- **Municipio de California - Vereda La Baja - Parte Urbana**

La población que habita en este sitio denominado Parte Urbana, toma agua para consumo humano de la quebrada San Antonio - Nacimiento, además utiliza el agua de la quebrada La Baja para mover un molino que tritura el material excavado. El número aproximado de usuarios que se benefician con esta captación es del orden de 80 personas.

Foto 3.2-21 Vereda La Baja - Parte Urbana

- **Municipio de California - Vereda La Baja – Chamisales**

La población que habita en este sitio denominado Chamisales, toma agua para consumo humano de la quebrada San Celestino, además utiliza el agua de la quebrada La Baja para mover un molino que tritura el material excavado. El número aproximado de usuarios que se benefician con esta captación es del orden de 10 personas.

- **Municipio de California - Vereda Agua Limpia**

La población que habita en este sitio denominado Agua Limpia, toma agua para consumo humano de la quebrada Chicagua, además utiliza el agua de la quebrada La Baja para mover un molino que tritura el material excavado. El número aproximado de usuarios que se benefician con esta captación es del orden de 20 personas.

Foto 3.2-22 Vereda Agua Limpia

3.2.7.2.2 Zona 2

- **Municipio de California - Casco Urbano**

La población que habita en el casco urbano del municipio de California, toma agua para consumo humano de la quebrada La Venta. La alcaldía del municipio de California es el ente encargado de brindar los servicios públicos a esta comunidad, el número aproximado de usuarios que se benefician con estas captaciones es del orden de 187 personas.

Foto 3.2-23 Municipio de California

- **Municipio de Suratá- Vereda San Francisco**

La población que habita en la vereda San Francisco, toma agua para consumo humano de los diferentes nacederos de agua de la parte alta de la cordillera y agua para consumo agrícola del río Suratá, el número aproximado de usuarios que se benefician con estas captaciones es del orden de 150 personas.

- **Municipio de Suratá- Casco Urbano**

La población que habita en el Casco Urbano del Municipio de Suratá, toma agua para consumo humano de la quebrada Porvenir y agua para consumo agrícola y pecuario en inmediaciones del municipio del río Suratá. La alcaldía del municipio de Suratá es el ente encargado de brindar los servicios públicos de esta comunidad, el número aproximado de usuarios que se benefician con estas captaciones es del orden de 214 personas.

3.2.7.2.3 Zona 3

- **Municipio de Matanza - Veredas Bochica y El Salado**

La población que habita en el sitio denominado Bochica, toma agua para consumo humano, agrícola y ganadero de la quebrada Los Tarazonas, mientras la población que habita en el sitio denominado El Salado, toma agua para consumo humano, agrícola y ganadero de la quebrada El Salado. La alcaldía del municipio de Matanza es el ente encargado de brindar los servicios públicos de estas comunidades, el número aproximado de usuarios que se benefician con estas captaciones es del orden de 1800 personas.

Foto 3.2-24 Municipio de Matanza

En la Tabla 3.2-62 se presenta un resumen de los usos y usuarios para las tres zonas identificadas

Tabla 3.2-62 Resumen de usos y usuarios identificados en campo

USOS Y USUARIOS INHERENTES AL PROYECTOS GREYSTAR IDENTIFICADOS EN CAMPO				
CLASE DE USO	FUENTE	CAUDAL AFORADO (l/s)	LOCALIZACIÓN	USUARIOS
Consumo humano	Quebrada Páez	360	Campamento Greystar	200
			Vereda Angosturas (El Portillo)	50
	Quebrada Angosturas	270	Vereda Angosturas (La Bodega)	30
Minería	Quebrada La Baja	790	Vereda Angosturas (El Tigre)	10
			Vereda Angosturas (La Tigra)	15
			Vereda La Baja (La Baja)	30
			Vereda La Baja (San Juan)	15
			Vereda La Baja (Parte urbana)	80
			Vereda La Baja (Chamisales)	10
			Vereda Agua Limpia (Agua Limpia)	20
	Río Vetas aguas abajo del municipio de California	2450	Entre la desembocadura de la quebrada La Baja y el río Suratá	50
Total				510

Para establecer la demanda de agua para consumo humano se toma como referencia el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico del Ministerio de Desarrollo de Colombia RAS – 2000 que establece el procedimiento que debe seguirse para estimar la demanda de agua potable o la dotación bruta para calcular los sistemas de acueducto, con el fin de determinar la capacidad real de cada componente en particular.

La dotación neta corresponde a la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante sin considerar las pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto. Para el caso de la zona del proyecto se considera que corresponde a una complejidad baja.

La dotación neta mínima y máxima, para consumo humano, dependiendo del nivel de complejidad del sistema se presenta en la Tabla 3.2-63.

Tabla 3.2-63 Dotación neta según el Nivel de Complejidad del Sistema

Nivel de complejidad del sistema	Dotación neta mínima (L/hab-día)	Dotación neta máxima (L/hab-día)
Bajo	100	150
Medio	120	175
Medio alto	130	-
Alto	150	-

De acuerdo con los parámetros anteriormente descritos se puede determinar para la población de afectación directa del proyecto (280 habitantes), considerando una dotación neta máxima, una demanda de agua para consumo humano del orden de 0,50 l/s.

Esta demanda hasta el momento es sostenible por las fuentes existentes correspondiente en gran parte a la quebrada de Páez y nacederos propios de la zona.

La población que se beneficia con el recurso hídrico actualmente en la zona del proyecto en uso exclusivo de la minería es del orden de 230 habitantes.

3.2.7.3 Usos y usuarios legalmente constituidos en la CDMB

En el Anexo 3.2.4 se presenta un listado oficial de las diferentes fuentes de agua, con información geográfica, registro de las solicitudes e información del beneficiario de la Corporación de la Meseta de Bucaramanga (C.D.M.B.), actualizada a 2008.

En el Adendo 3.2 “Estudio de Línea Base Ambiental Embalse El Salado” se presenta el inventario y cuantificación de usos y usuarios aguas arriba y aguas abajo del sitio proyectado para la construcción del Embalse El Salado.

3.2.8 Hidrogeología

3.2.8.1 Área de influencia indirecta

La hidrogeología del área de influencia indirecta del Proyecto Aurífero Angostura se describe con base en la información geológica seleccionada de la memoria del Cuadrángulos H-12 y H-13 (los cuales contienen en su franja central norte-sur el sector que comprende el distrito minero), escrita por Ward, D. E. & Goldsmith, R et al (1973); en los datos y conceptos adquiridos durante el presente estudio; en el análisis de los mismos y en los resultados obtenidos, los cuales permitieron elaborar el mapa del potencial hidrogeológico de las unidades geológicas del área de influencia indirecta (ver plano PL-MA-HGEO-001).

Las unidades hidrogeológicas se clasifican siguiendo la leyenda internacional para mapas hidrogeológicos, establecida por la IAH (1995), de acuerdo al tipo de porosidad dominante en los sedimentos y rocas (Primaria o intergranular y secundaria o por fracturas) y a su potencialidad acuífera, reflejada ésta última en el valor de la capacidad específica. Las unidades hidrogeológicas identificadas son las siguientes:

3.2.8.1.1 Sedimentos y rocas con flujo esencialmente intergranular

▪ **Formación Tambor (Kita).**

En el mapa del potencial hidrogeológico aflora a 4 km de distancia del área del proyecto en el sector W en dos franjas anchas e irregulares de unos 8 km de largo, con dirección NW (ver plano PL-MA-HGEO-001)

Su extensión es local. Está constituida por rocas permeables e impermeables; en la columna litológica medida en Ward D. E. & Goldsmith R et al (1973, Pag. 63-64) tiene abundantes areniscas. Un espesor total de 366,30 m de los cuales 217 m son areniscas, con horizontes

gruesos de 118,20 m, 31,70 m, 26,40 m, y 22,30 m. En el área de estudio no se ha medido su espesor.

La principal fuente de recarga de la Formación Tambor es la precipitación.

▪ **Acuífero depósito glacial (Qgl)**

Son depósitos recientes distribuidos en la zona de estudio⁷, en cinco pequeñas áreas. Corresponden a depósitos constituidos por tillitas o barro glacial. No muestran estratificación (ver plano PL-MA-HGEO-001).

Estos depósitos no consolidados dejan pasar el agua lluvia hacia las rocas subyacentes, pero en algunos sitios pueden tener suficiente materiales impermeables alternando con permeables para formar sectores adecuados para construir aljibes.

La recarga que recibe esta unidad acuífera proviene fundamentalmente de la precipitación.

3.2.8.1.2 Rocas con flujo esencialmente a través de fracturas

▪ **Acuífero El Tablazo (Kit)**

En el mapa de potencial hidrogeológico (ver plano PL-MA-HGEO-001), este acuífero aflora a 6 km de distancia del área del proyecto en el sector W, en una franja muy angosta de unos 6 km de largo, con dirección NW.

Su extensión es regional. Litológicamente consiste de caliza de estratificación gruesa, fosilífera en la parte superior y margosa o calzas arcillosas en la inferior. En la sección tipo se midió una columna con 186,50 m de espesor, en la cual hay 69,40 m que corresponden a calizas y areniscas. Los estratos de caliza tienen espesores entre 1 y 7,70 m los de arenisca entre 0,80 y 4,60 m según Ward D. E. & Goldsmith R et al (1973, Pag. 70). En el área de estudio no se ha medido el espesor del Acuífero Tablazo.

Las características de esta unidad la hacen favorable para almacenar y transmitir agua subterránea, no solo por la porosidad primaria de las areniscas como por los procesos de disolución en las calizas, los cuales son acelerados por las fallas reconocidas en el área que aumentan el interés hidrogeológico de estas rocas en la zona.

▪ **Acuífero Rosa Blanca (Kir).**

Este acuífero aflora a 4,5 km de distancia del área del proyecto, en el W del mapa de potencial hidrogeológico, formando una franja irregular de unos 9 km de largo, con ancho variable de menos de 1 km (ver plano PL-MA-HGEO-001). Su extensión es regional. Localmente se presenta como caliza gris azulosa, masiva, dura, fosilífera de textura gruesa, con muchas capas margosas, que pasan a caliza de textura muy fina, negra y arcillosa. En la sección tipo se midió la columna litológica con un espesor de 427,90 m, de los cuales 384,80 m corresponden a estratos principalmente de calizas con espesores de 146 m, 141,20 m, 58 m y 39,60 m, según Ward D. E. & Goldsmith R et al (1973, Pags. 65-66). En el área de estudio no se ha medido el espesor del acuífero Rosa Blanca.

⁷ En Ward D. E. & Goldsmith R et al (1973, Pag. 97) se mencionan

Las características hidrogeológicas de este acuífero o zonas acuíferas, están asociadas al desarrollo de porosidad secundaria por fracturas.

El Acuífero Rosa Blanca recibe recarga de la precipitación.

▪ **Acuífero Batolito de Santa Bárbara (Jcs).**

Aflora en la parte sur y norte del mapa hidrogeológico. En el sur en un área de unos 4 x 3 km. En el norte en un área de más de 1 km².

Su extensión es local. Según Ward D. E. & Goldsmith R et al (1973, Pags. 34-35) la cuarzomonzonita es de color rosado naranja a gris violáceo, macroscópicamente de grano grueso, algo inequigranular. Contiene feldespato potásico rosado naranja a rojo grisáceo, plagioclasa blanca, cuarzo gris y 2 a 3% de biotita. El cuarzo, el feldespato potásico y la plagioclasa están presentes en cantidades casi iguales.

Las características texturales y composicionales de la roca ígnea le otorgan a los niveles de mayor alteración una porosidad primaria, que puede facilitar el almacenamiento y circulación del agua y por lo tanto puede llegar a constituir zonas de interés hidrogeológico.

▪ **Acuífero Neis de Bucaramanga (PEbm).**

Aflora de manera amplia en la mayor parte del mapa de potencial hidrogeológico y constituye la roca mineralizada con oro y plata de la mina de Angostura. Se denomina en el área Neis de Bucaramanga y corresponde a la roca que se explotará, junto con la mineralización, en el tajo a cielo abierto (ver planos PL-MA-HGEO-001 y PL-MA-HGEO-003).

La extensión de la roca impermeable del Neis es local. Según Ward D. E. & Goldsmith R et al (1973, Pags. 12-15) es una secuencia estratigráfica de rocas meta-sedimentarias de alto grado de metamorfismo que consisten principalmente de paraneis político, semi-pelítico y arenáceo; esquistos y cantidades subordinadas de neis calcáreo, mármol, neis hornbléndico y anfibolita. También contiene zonas de migmatitas.

Las rocas metamórficas del Neis de Bucaramanga constituyen la mayor parte del área de estudio.

Estos neises se encuentran altamente diaclasados, factor que aumenta la porosidad secundaria de estas rocas y por lo tanto podrían constituir zonas con importancia hidrogeológica en rocas fracturadas.

3.2.8.1.3 Rocas con limitados recursos de aguas subterráneas

▪ **Formación La Luna (Ksl).**

Aflora a 7 km de distancia del área del proyecto, en el SW del mapa de potencial hidrogeológico, en una franja muy angosta con dirección NS de unos 2,5 km (ver plano PL-MA-HGEO-001).

Su extensión es local. La Capa Impermeable La Luna tiene tres miembros Galembo, Pujamana y Salada. Los cuales están constituidos por rocas impermeables compuestas por lutitas ligeramente calcáreas, arcillolitas, calizas negras en capas delgadas, duras con intercalaciones de caliza

arcillosa, chert negro azulado y capas fosfáticas con fósiles y concreciones de pirita. Ward D. E. & Goldsmith R et al (1973, Pag. 72-76)

Por su aparente masividad, la Formación La Luna se considera de carácter impermeable.

▪ **Formación La Paja (Kip)**

Aflora en el mapa de potencial hidrogeológico en una franja irregular y angosta de unos 9 km de largo con dirección general NW. Litológicamente consta de una secuencia de lutitas negras micáceas, limosas, ligeramente calcáreas y laminadas. Localmente tiene un espesor tipo, de 625 m según Ward D. E. & Goldsmith R et al (1973, Pag. 67-69)

Desde el punto de vista hidrogeológico tanto su porosidad primaria como secundaria son bajas, dependiendo de las condiciones estructurales y de fallamiento que actúen sobre ella, por lo tanto las zonas con presencia de shales de la Formación Paja se comportan como de poca importancia hidrogeológica.

▪ **Formación Silgará (Pzs)**

Aflora en dos sectores del mapa de potencial hidrogeológico a 5,5 km de distancia hacia el NE, en unos 2,5 km² y también a 8 km de distancia hacia el SE en un área de 1 km²⁸. Su litología comprende una secuencia de rocas clásticas metamorfoseadas, delgada y cíclicamente estratificadas, que consta de pizarras, filitas, meta-limolita, meta-arenisca impura, meta-grauvaca, y meta waca guijarrosa. No se conoce su espesor (ver plano PL-MA-HGEO-001).

Los niveles de meteorización de la Formación Silgará pueden alcanzar espesores de 2 m compuestos por minerales arcillosos, por lo tanto la zona superficial definida por estos esquistos presenta muy baja permeabilidad.

▪ **Granodiorita y Tonalita de la Formación Silgará (Jgd)**

Afloran en el mapa hidrogeológico, a 1,8 km en el sector sur del área de estudio, en unos 12 km², en contacto con la Capa Impermeable Cuarzomonzonita (Jcs) al N y con la Capa Impermeable Neis (PEbm) al N y E (ver plano PL-MA-HGEO-001).

Su extensión es local. Según Ward D. E. & Goldsmith R et al (1973, Pag. 38) la granodiorita es gris, de grano medio a grueso, subporfirítica, con fenocristales grandes de feldespato potásico color rosado y de plagioclasa blanca, dentro de una matriz de cuarzo gris, biotita y granos más pequeños de feldespato. La roca es no foliada a ligeramente mélica. En sección delgada, su textura es hipidiomórfica. Está compuesta de un 10 a 20% de cuarzo; 45 a 60% de andesita zonada, euhedral a subhedral; 10 a 20% de feldespato potásico principalmente microclima; y 5 a 10% de biotita.

▪ **Formación Simití (Kis)**

Aflora a 7,5 km del área del proyecto, en el sector SW del mapa de potencial hidrogeológico, en una franja angosta de unos 4,5 km de largo con dirección general NS (ver plano PL-MA-HGEO-001).

⁸ Según Ward D. E. & Goldsmith R et al (1973, Pag. 15- 21)

Su extensión es local. Litológicamente está compuesta de una secuencia de lutitas negras y marrón oscuro, calcáreas en algunos sectores, con intercalaciones delgadas y medianas de caliza negra y arenisca. Su espesor en la localidad tipo es de 410 m según Ward D. E. & Goldsmith R et al (1973, Pag. 71-72).

Por su aparente masividad, la Formación Simití se considera de carácter impermeable.

▪ **Ortoneis de Berlín (PEpa).**

Aflora en dos áreas amplias del mapa hidrogeológico, a 6 km al noroeste, en una franja amplia a 5 km al este del área del proyecto y en tres sectores pequeños en 2 km alrededor del tajo (ver plano PL-MA-HGEO-001).

Su extensión es local. Según Ward D. E. & Goldsmith R et al (1973, Pags. 21-28) su composición es muy variable así como su textura. Contiene cuarzo y feldespato, no está estratificado y su estructura es méscica. Tiene generalmente foliación y lineación definidas. Su composición va desde granito a tonalita y diorita; predominan sin embargo la cuarzomonzonita y la granodiorita.

Debido a la meteorización y a la densidad de diaclasamiento, esta unidad metamórfica muestra importantes grados de porosidad primaria y secundaria, lo cual podría definir zonas de importancia hidrogeológica en el altiplano de Berlín, donde es usual encontrar áreas de encharcamiento. Los niveles más profundos se encuentran meteorizados y fracturados.

3.2.8.2 Área de influencia directa

El Mapa Hidrogeológico del área del Proyecto Angostura, se presenta en escala 1:10.000 y es el resultado de la diferenciación de las unidades geológicas según sus características hidrogeológicas. Considerando que se cuenta con escasa información hidrogeológica de las unidades roca aflorantes, representadas por el Neis de Bucaramanga y el Batolito de Santa Bárbara, también se describen, con base únicamente en la composición litológica y el tectonismo, las características hidrogeológicas del Batolito de Rionegro- Páramo Rico y los Depósitos Glaciares. A pesar que en un alto porcentaje del área domina la porosidad secundaria por diferentes fracturas, siendo difícil determinar la circulación del agua a lo largo de esas fracturas, el mapa busca simplemente, obtener una visión global de la dinámica de los flujos subterráneos locales y regionales controlados por la recarga, la conducción y almacenamiento de las aguas subterráneas en el macizo cristalinos de la citada área. En el plano PL-MA-HGEO-002 se encuentra la caracterización hidrogeológica del área de influencia directa del proyecto.

3.2.8.2.1 Sedimentos con flujo esencialmente intergranular

▪ **Acuífero Depósito Glaciar (Qgl)**

En el área de estudio esta unidad acuífera presenta muy poca extensión, apareciendo en dos sectores, en la parte Nor-Occidental y Sur-Oriental, a lo largo de las depresiones y flancos de los pequeños valles. Se caracteriza por exhibir espesores variables que dependen de la profundidad de las depresiones en los valles, alcanzando hasta los 10,0 m. En general está representado por depósitos de "till" con forma de media luna, ocurriendo como morrenas laterales y terminales. En muchos sitios las morrenas terminales han sido parcial a enteramente removidas por corrientes fluvio-glaciares modernas, quedando solamente las morrenas laterales.

Los Depósitos Glaciares están constituidos por bloques y cantos angulares a sub-redondeados de diferentes tipos de roca, especialmente ígneas y metamórficas embebidos en una matriz de tamaño limo y arena, preferiblemente siguiendo la dirección de la pendiente, los cuales conforman superficies suavemente onduladas, de muy bajas pendientes.

Esta unidad acuífera se puede considerar de extensión local, siendo de tipo libre, recargado fundamentalmente por el agua lluvia. Inmediatamente después de los períodos de lluvia el acuífero recarga mediante flujos locales a las corrientes superficiales. La circulación de aguas subterráneas en este acuífero Cuaternario, corresponde a un régimen freático que se desarrolla a través de horizontes permeables heterogéneos en granulometría, conformando diferentes niveles. En el área no se explota, desconociéndose sus parámetros hidráulicos.

3.2.8.2.2 Rocas con flujo esencialmente a través de fracturas

A esta clasificación pertenecen los sistemas acuíferos Neis de Bucaramanga y Batolito de Santa Bárbara, caracterizados por contener localmente una porosidad secundaria por fracturas, donde el agua subterránea almacenada presenta alguna circulación a lo largo de ellas, conectadas posiblemente con el ciclo hidrológico del área, dependiendo de factores morfológicos como la presencia de corrientes superficiales, lagunas y suelos con alta concentración de humedad, comunes a alturas superiores a los 3200 msnm.

Estos sistemas acuíferos tienden a ser discontinuos, heterogéneos y de extensión local, con dimensiones volumétricas difíciles de cuantificar, principalmente por el problema relacionado con la profundidad que pueden alcanzar las fracturas, que a su vez determina el espesor aparente de éstas “zonas acuíferas”.

▪ **Acuífero Neis de Bucaramanga (PEbm)**

Las rocas metamórficas del Neis de Bucaramanga constituyen la mayor parte del área de estudio, afectadas por fallas longitudinales y transversales que en ciertas zonas contienen una alta densidad de fracturas, conformando en esos lugares “zonas Acuíferas” de extensión local. Se compone esencialmente de un neis horbléndico-biotítico masivo donde la mayor parte del drenaje se encuentra controlado por fracturas y diaclasas. Estas “zonas acuíferas” se caracterizan por ser de tipo confinado, debido seguramente a la presencia de un fracturamiento profundo cubierto por niveles masivos impermeables.

Con base en los pocos piezómetros construidos, se puede observar que en lugares como la parte alta de la quebrada Páez, existe una zona acuífera confinada, de alta presión, asociada al Falla Páez, originada por flujos subterráneos regionales, donde el nivel piezométrico alcanza los 21,0 m de altura sobre la superficie del terreno. Estas zonas de presión también ocurren en la quebrada Romeral controlada por la Falla El Romeral y en el sitio donde se encuentra el pozo surgente Termal El Silencio, donde la presión del agua estaría asociada a fluidos hidrotermales que ascienden por fracturas relacionadas con la Falla de Angostura, responsables de la mineralización del área.

En los túneles La Perezosa y Veta de Barro que atraviesan el Neis de Bucaramanga, situados hacia la parte central del área en una zona con alta densidad de fracturas, debilitada por la intrusión causada por el Batolito de Santa Bárbara, se han construidos dentro de ellos, varios pozos para minería en diferentes direcciones, los cuales producen agua, midiéndose a la salida de

esos túneles caudales hasta de 10,0 l/s. Existen además numerosas perforaciones o sondeos mineros abandonados con inclinaciones entre 45° y 60° que atraviesan el citado Neis, con niveles de agua medidos por Greystar Resources Ltd (2008) entre 0,51 y 66,47 m de profundidad. En estos sondeos abandonados y abiertos, los niveles podrían estar afectados, entre otros factores, por la introducción de agua lluvia al permanecer destapados.

Como se indica en el estudio hidrogeoquímico, el agua procedente de los túneles no tiene relación con las fuentes superficiales aledañas y por consiguiente se supone que el agua aportada está asociada a flujos regionales.

Al no existir relación directa entre el agua subterránea y el agua superficial aledaña a las captaciones subterráneas, se presume que el sedimento del fondo de los cauces ha impermeabilizado las aberturas de las fracturas y por consiguiente esas fracturas son recargadas en zonas alejadas donde el macizo rocoso presenta condiciones favorables para la infiltración.

En general se puede determinar que el Neis de Bucaramanga se comporta como una serie de “zonas acuíferas” aisladas y heterogéneas en los valores de sus parámetros hidráulicos, de extensión local, supeditadas a la densidad e interconexión de sus fracturas. Los resultados preliminares de las pruebas de bombeo ejecutadas en ocho (8) piezómetros, indica que esas zonas de tipo confinado, producen bajos caudales, con valores de Transmisividad desde 1,50 hasta 0,020 m²/día, Coeficientes de Almacenamiento entre 3.0 E-05 y 5.8 E-04 y valores de Conductividad Hidráulica Real de 6.8 E-04 a 0.10 m/día.

▪ **Acuífero Batolito de Santa Bárbara (Jcs)**

Está representado por rocas de composición cuarzomonzonítica que se encuentra intruyendo al Neis de Bucaramanga y aparece en contacto fallado con el Batolito de Rionegro - Páramo Rico. Sus características hidrogeológicas se determinan con base en el fracturamiento principal ocasionado por las fallas de Angostura, Paéz, El Pozo, Móngora y otras fallas menores, que controlan los cauces de las respectivas corrientes superficiales.

Las características hidrogeológicas de éste sistema acuífero, con desarrollo de porosidad secundaria por fracturas, se describen con base en los resultados de pruebas hidráulicas realizadas en un solo piezómetro ubicado cerca de la Falla Móngora y en el pozo surgente Termal El Silencio situado en la Falla Paéz, por tal razón sus resultados e interpretaciones se deben considerar como aproximadas.

El piezómetro DH-308-101 ubicado cerca al trazo de la Falla Mongora con una profundidad de 62,7 m, mantiene un nivel piezométrico profundo, de 24,78 m. Los resultados de las pruebas señalan que la “zona acuífera” captada es de tipo confinado, igualmente recargado por flujos regionales, observándose en ella los mayores valores de Transmisividad (6.0 m²/día) y Conductividad Hidráulica Real (0.28 m/día) del área investigada. Se infiere que ésta situación de “zonas acuíferas” con variabilidad en los parámetros hidráulicos, sea aplicable a los sectores asociados a las principales fallas que afectan al batolito en cuestión.

En un sitio sobre la Falla Páez que controla el cauce de la quebrada Páez, colocando en contacto el Batolito de Santa Bárbara y el Neis de Bucaramanga, existe un pozo minero de 203,7 de profundidad y una inclinación de 45°, que produce agua termal con 32,4 °C y un pH de 6,4. Ésta situación refleja la existencia de una red de fracturas profundas en varias direcciones que podrían interceptar fracturas verticales, por donde ascienden los fluidos hidrotermales que dieron lugar a las mineralizaciones del área, situación que sirve para visualizar el comportamiento del agua subterránea en éstas “zonas acuíferas” aisladas.

3.2.8.2.3 Rocas con limitados recursos de aguas subterráneas

Debido a la muy baja densidad de fracturas cartografiadas, acompañada por la escasa información, en el presente trabajo se asignan a ésta clasificación, las rocas pertenecientes al Ortoneis de Berlín, la Formación Silgará y el Batolito de Rionegro- Páramo Rico. Estas rocas por su aparente masividad se consideran de carácter impermeables.

3.2.8.2.4 Datos Geohidráulicos de las unidades hidrogeológicas del área

Teniendo en cuenta que es imposible calcular la profundidad de las fracturas y que según el diseño de los piezómetros sus tramos filtrantes ocupan el último tercio de su profundidad total, el espesor total saturado del acuífero captado se tomó como equivalente a la profundidad total del piezómetro.

En la Tabla 3.2-64 se consignan los principales valores geohidráulicos de los sistemas acuíferos Neis de Bucaramanga y Batolito de Santa Bárbara. El valor de la Conductividad Hidráulica Real (K real) ha sido calculado con base en el espesor estimado de los tramos filtrantes. La Conductividad Hidráulica Equivalente (K equiv) se calcula con base en la relación entre la Transmisividad y el espesor del acuífero captado e igualmente el Coeficiente de Almacenamiento Equivalente (S equiv) es la relación entre el coeficiente de almacenamiento y el espesor del acuífero, los cuales son primordiales para la elaboración del Modelo Numérico Hidrogeológico de Flujo.

Tabla 3.2-64 Parámetros Geohidráulicos de las Principales Unidades Hidrogeológicas del Área del Proyecto Angostura Obtenidos a Través de Pruebas de Bombeo

IDENTIFICACIÓN DE LA CAPTACIÓN	COORDENADAS		PROF. DE LA CAPTACIÓN (m)	ACUÍFERO CAPTADO	ESPESOR SATURADO ACUÍFERO (b)	ESPESOR FILTROS (m)	T m ² /día	K Real (m/d)	S	K Equiv. (m/d)	S Equiv. (1/m)
	X	Y									
Piezómetro DH-A408-101	1'307.778	1'132.449	103,56	Neis de B/manga	103,56	15,0	1,54	0,103	----	0,0148	----
Piezómetro DH-A408-103	1'307.613	1'133.116	88,44	Neis de B/manga	88,44	20,0	1,18	0,059	----	0,0133	----
Piezómetro DL-308-101	1'305.638	1'130.110	62,70	Neis de B/manga	62,70	21,0	6,0	0,28	3,0 E-05	0,095	4,7 E-07
Piezómetro DH-108-102	1'311.738	1'131.181	103,60	Batolito Sta Bárbara	103,60	34,0	0,023	0,00068	2,95 E-04	0,00022	2,8 E -06
Piezómetro DH-108-103	1'311.368	1'132.221	137,67	Neis de B/manga	137,67	45,0	0,32	0,0073	----	0,0023	----
Piezómetro DH-A508-101	1'310.561	1'133.709	69,60	Neis de B/manga	69,60	23,0	0,115	0,0068	9,3 E-04	0,0016	1,3 E -05
Piezómetro DH-A508-102	1'310.644	1'133.583	69,60	Neis de B/manga	69,60	23,0	0,0821	0,0035	6,9 E-04	0,0011	9,9 E -06
Piezómetro DH-A508-103	1'310.451	1'133.908	61,0	Neis de B/manga	61,0	20,0	1,0	0,053	5,8 E-04	0,016	9,5 E -06

3.2.8.3 Inventario de captaciones de aguas subterráneas

El inventario se realiza con el objeto de recolectar, ordenar, almacenar y analizar la información básica de las captaciones de agua subterránea para la elaboración del estudio hidrogeológico. Permite evaluar la disponibilidad del recurso subterráneo y tener una visión global de las características y comportamiento de las diferentes unidades geológicas potencialmente acuíferas. Igualmente sirve para conocer la dirección del flujo subterráneo y elaborar la red de muestreo que determine las propiedades físico – químicas de éste recurso. Los pocos puntos inventariados se incluyen en el Mapa Hidrogeológico del área de estudio.

En total se inventariaron únicamente nueve (9) piezómetros contruidos por la empresa Greystar Resources Ltd., para conocer la variación de la profundidad del agua subterránea en las rocas neísicas e intrusivas, afectadas por un intenso fracturamiento. Están revestidos con tubería ciega y filtros ranurados, en PVC de 2.0 pulg. de diámetro, con profundidades entre 61,0 y 137,6 m., con caudales promedios de 0,050 l/s (Anexo 3.2.5 Fotos No. 1, 2 y 3).

Cuatro de los anteriores piezómetros, ubicados tres de ellos en sectores asociados a las Falla de Páez y el cuarto en la zona Nor-Oriental de la Falla de Angostura, presentan niveles saltantes. En manómetros instalados en piezómetros cercanos a la Falla Páez, se midieron presiones un poco mayor a 30,0 p.s.i., equivalente a una altura del nivel del agua de 21,0 m por encima de la superficie del terreno, mientras que el más cercano a la Falla de Angostura tiene un nivel de 0,80 m por encima de la superficie.

En el área inventariada, enfocada hacia el sector del Tajo a Cielo Abierto, no se encontró nacimiento alguno. Esta área corresponde a las subcuencas de las quebradas Angosturas, Páez y Romeral, incluyendo la zona de los afluentes de las quebradas Hoyahonda, Venaderos, Martiño, El Pozo y Perezosa, como también en zonas correspondiente a la divisoria de aguas. Así mismo estiman que por presentar condiciones similares a los mencionados, en los sectores aledaños, como es la subcuenca de la quebrada Móngora y sus afluentes, no se encuentran nacimientos por debajo de las cotas programadas para las zonas de disposición de materiales.

También se reporta la presencia de un pozo minero, no revestido, situado en el contacto fallado (Falla de Páez) entre el Neis de Bucaramanga y el Batolito de Santa Barbara, perforado a una profundidad de 203,7 m con una inclinación de 45° y un diámetro de aproximadamente 4,0 pulg., donde el agua resultó saltante y clasificada como termal por mantener una temperatura promedio de 32,0 °C, identificado como Pozo Surgente-Termal El Silencio. Por otra parte existen dos túneles contruidos a una longitud de 494,0 m (Túnel La Perezosa) y 425,0 m (Túnel Veta de Barro) donde se han perforado varios pozos que los drenan, aforándose a la salida de ellos, en el mes de Octubre de 2008, caudales de 103 y 9,0 l/s, respectivamente.

En la Tabla 3.2-65 se relaciona las captaciones inventariadas en el área del Proyecto Angostura.

Tabla 3.2-65 Inventario de Captaciones de Aguas Subterráneas en el Área del Proyecto Angostura

IDENTIFICACIÓN DE LA CAPTACIÓN	SECTOR	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL ESTÁTICO (m)	UNIDAD CAPTADA	COORDENADAS	
					NORTE	ESTE
Piezómetro DH-A408-101	Quebrada Páez	103,56	+ 21,0	Neis de B/manga	1°307.778	1°132.449
Piezómetro DH-A408-102	Quebrada Páez	89,80	+ 21,0	Neis de B/manga	1°307.733	1°132.736
Piezómetro DH-A408-103	Quebrada Páez	88,44	+ 21,0	Neis de B/manga	1°307.613	1°133.116
Piezómetro DL-308-101	Quebrada Móngora	62,70	24,875	Neis de B/manga	1°305.638	1°130.110
Piezómetro DH-108-102	Quebrada Angostura	103,60	0,70	Neis de B/manga	1°311.738	1°131.181
Piezómetro DH-108-103	Quebrada Angostura	137,67	+ 0,88	Neis de B/manga	1°311.368	1°132.221
Piezómetro DH-A508-101	Quebrada Romeral	69,60	4,507	Neis de B/manga	1°310.561	1°133.709
Piezómetro DH-A508-102	Quebrada Romeral	69,60	12,575	Neis de B/manga	1°310.644	1°133.583
Piezómetro DH-A508-103	Quebrada Romeral	61,0	19,52	Neis de B/manga	1°310.451	1°133.908
Pozo Surgente Termal El Silencio	Quebrada Páez	203,70	Saltante	Neis de B/manga	1°307.862	1°130.643
Túnel la Perezosa	Quebrada Angostura	---	---	Neis de B/manga	1°309.614	1°130.970
Túnel Veta de Barro	Quebrada Angostura	---	---	Neis de B/manga	1°309.229	1°130.970

En el plano PL-MA-HGEO-003 se muestra la localización de los puntos de agua subterránea identificados en el área de influencia del proyecto.

3.2.8.4 Hidrogeoquímica

La interacción del agua y el medio sólido es intensa y cambiante, espacial y temporalmente, dependiendo de la naturaleza del medio, de la composición del agua original, del tiempo de residencia del agua, de la concentración de sales en la roca, de las características de la zona no saturada, de la presión y temperatura del medio, de las afectaciones antrópicas y de los mecanismos de recarga y descarga.

En su interacción con los sedimentos y las rocas, el agua va adquiriendo sales como resultado de la combinación de los iones presentes, siendo por su solubilidad el carbonato de calcio, el carbonato de magnesio, el cloruro de sodio y el sulfato de magnesio, los más frecuentes en el agua subterránea.

La disolución de los constituyentes del agua comienza antes de que se incorpore al flujo subterráneo, ya que gases, aerosoles, polvo y diversas sales presentes en la atmósfera reaccionan

con el agua, marcando la composición del agua de infiltración, siendo en las zonas costeras muy importante el efecto de continentalidad, donde el agua lluvia tiene un contenido relativamente mayor en el ion cloruro. Los iones disueltos en el agua subterránea se pueden dividir en mayoritarios (concentraciones $> 5\text{mg/l}$), minoritarios (concentraciones $< 1,0\text{ mg/l}$) y trazas (concentraciones $< 0,1\text{ mg/l}$). Los iones mayoritarios son cloruro, bicarbonato, sulfato, calcio, magnesio, sodio y potasio.

Eventualmente el nitrato puede ser mayoritario aunque raramente es de origen natural. La presencia del ion nitrato en agua subterránea raramente se debe a la disolución de rocas que la contengan, siendo su concentración en aguas subterráneas no contaminadas menor que 10 mg/l . Contenidos de nitratos superiores a este valor, son indicadores de contaminación por fuentes generalmente difusas como son las actividades agrícolas y ganaderas y puntuales como las urbanas e industriales

En el presente estudio la representación grafica de los iones disueltos en el agua y su evolución, se realiza mediante los diagramas Piper, Ludwig- Langelier, Cajas y de Correlación de Variables. Las relaciones hidrogeoquímicas y la correlación de variables dependen del proceso que controlan la disolución o precipitación de las sales como intercambio de bases, mezcla de diferentes tipos de agua, intrusión salina, oxidación o, reducción.

Los diagramas Piper o Triangulares representan los componentes aniones y cationes en % miliequivalentes por litro (meq/l) en forma simultánea para muchas muestras. Su mayor utilidad es desplegar gráficamente la información de los iones mayores para la clasificación geoquímica y deducir los procesos que controlan las características del agua.

El Diagrama Ludwig-Langelier, representa en % meq/l, agrupaciones seleccionadas de cationes y aniones. Por convención, la suma seleccionada de los cationes va en el eje Y y la suma de los aniones en el eje X. Cada eje tiene un rango de 0 a 50%. Igual que en el Diagrama Piper, se muestran proporciones relativas y no absolutas de las concentraciones.

3.2.8.4.1 Metodología

Los días 20 y 21 de mayo de 2009, se lograron recolectar para análisis físico-químico, solamente 15 muestras de aguas, correspondientes a nueve (9) de aguas subterráneas procedentes de piezómetros, tres (3) de aguas subterráneas proveniente del Túnel La Perezosa y tres (3) de aguas superficiales de las principales quebradas del área de estudio. (Anexo 3.2.5. Fotos No. 4, 5, 6 y 7).

También se recopilaron los resultados de análisis físico-químicos de 12 muestras de agua, provenientes tres (3) del Túnel La Perezosa y 9 de agua superficial.

Los resultados analíticos de las veintisiete (27) muestras de agua, se presentan en la Tabla 3.2-66, agrupando las muestras de agua subterránea de los piezómetros, las del Túnel la Perezosa y las de corrientes superficiales. Para el procesamiento e interpretación de los datos físico-químicos se utilizó el programa Aquachem v. 4.0 (2003).

Tabla 3.2-66 Resultados analíticos de muestras de agua en el área del proyecto Angostura

Identificación	X m	Y m	Altura m	Fecha	pH	Temp °C	N.E m	Prof m	Cond μS/cm	TDS mg/l	Na mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Ca mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	SO ₄ mg/l	HCO ₃ mg/l	NO ₃ mg/l	Cl mg/l
DH-A508-101	1307778	1132449	3531	21/05/2009	7.5	12.00		103.6	246.00	178.00	12.6	2.1	5.00	28.2	0.1	0	27.6	121.0	0.1	2.7
DH-A508-102	1307733	1132736	3444	21/05/2009	7.66	11.00		89.8	237.00	158.00	13.00	1.9	5.00	25.6	0.1	0	15.2	130	0.5	3
DH-A508-103	1307613	1133116	3359	20/05/2009	7.43	13.00		88.44	272.00	180.00	20.00	2.9	8.4	25.2	0.1	0	8.2	178	0.1	3.8
DL-308-101	1305638	1130110	3065	21/05/2009	4.53	15.00	24.88	62.7	78.00	76.00	2.2	3.00	1.4	4.8	0.8	0.8	22.9	0.00	3.9	2.3
DH-108-102	1311738	1131181	3555	20/05/2009	7.25	9.00	0.7	103.6	320.00	182.00	20.6	4.4	8.6	29.6	0.1	0	8.8	209	0.1	1.9
DH-108-103	1311368	1132221	3623	20/05/2009	7.74	11.00	0	138.6	323.00	156.00	31.6	2.2	6.2	26.00	0.1	0	20.9	194	0.1	1.9
DH-A-408-101	1310644	1133583	3182	21/05/2009	6.62	12.00	12.58	69.6	74.5	62.00	4.6	2.3	1.1	5.7	0.8	1.7	6.5	39.6	0.1	1.5
DH-A-408-102	1310561	1133709	3181	21/05/2009	5.78	15.00	4.51	69.6	137.00	100.00	4.7	2.2	2.2	8.6	11.0	0.8	25.7	65.9	0.1	1.7
DH-A-408-103	1310451	1133908	3240	21/05/2009	6.15	13.00	19.52	61.00	93.6	98.00	7.7	0.8	1.8	8.6	2.00	0.4	16.2	48.4	0.1	1.9
T. La Perezosa				21/05/2009	3.1				279.00	120.00	1.9	4.1	0.5	1.00	1.6	0	44.8	0.00	0.7	3
T. La Perezosa				21/05/2009	3.61				147.00	93.00	2.7	5.00	2.3	1.7	0.1	0.4	38.2	0.00	0.1	0.8
T. La Perezosa				21/05/2009	2.81				748.00	322.00	1.7	4.5	1.00	1.2	9.00	0	40.4	0.00	7.4	3
LP-110-01			2846	19/10/2008	4.6	13.4			121.00	98.00	4.34	3.48	3.1	2.2	4.06		39.7	0.93	0.1	4
LP-EC-01			2846	19/10/2008	4.4	13.3			116.00	100.00	4.19	3.43	9.5	2.96	3.91		42.3	0.93	0.1	4
LP-EC-02			2846	19/10/2008	4.17	12.7			134.00	132.00	4.00	3.51	0.9	6.68	5.09		54.1	0.93	0.1	6
LP-NEC-01			2846	19/10/2008	4.78	12.6			176.00	151.00	4.15	3.67	3.1	2.2	7.75		69.7	0.93	0.1	3
LP-MD-01			2846	19/10/2008	4.82	17.8			125.00	80.00	4.27	2.55	6.3	8.16	4.49		61.5	25.8	0.1	3.5
LP-MD-02			2846	19/10/2008	5.39	17			275.00	235.00	4.36	3.27	7.2	10.4	18.3		146	0.93	0.1	5.5

Identificación	X	Y	Altura	Fecha	pH	Temp	N.E	Prof	Cond	TDS	Na	K	Mg	Ca	Fe	Mn	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	Cl
	m	m	m			°C	m	m	µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
MM-QM-1	1306549	1131694	3389	07/10/2008	5.85	8.14			15.00	14.00	1.84	0.39	0.87	5.76	0.55		9.57	17.4	0.1	3.7
MM-QM-2				07/10/2008	7.75	10.5			23.00	19.00	1.45	0.62	0.87	6.48	0.28		16.8	11.9	0.1	3.3
Q. Páez				20/05/2009	7.17				27.8	20.00	0.9	1.8	0.6	3.7	0.1	0	2.3	12.7	0.1	1.9
MP-Q-Páez	1307689	1130963	2890	29/09/2008	7.33	11.5			31.00	26.00	3.25	0.81	3.3	8.44	0.45		14.9	22.5	0.1	5
Q. Angostura				20/05/2009	6.76	12.00			34.4	25.00	1.3	0.5	0.9	4.00	0.1	0	2.3	18.2	0.1	1.3
MA-QA-1	1310489	1131032	3427	01/10/2008	8.11	9.69			27.00	23.00	0.51	0.25	2.2	7.2	0.47		10.2	17.4	0.1	4.7
Q. Romeral				21/05/2009	6.83	14.00			36.4	38.00	2.8	0.4	1.2	3.8	0.1	0	3.8	18.8	0.1	2.2
MR-QR-1	1313030	1134972	2811	10/10/2008	6.32	9.83			18.00	16.00	3.33	0.5	2.2	2.96	0.41		12.6	16.4	0.1	4
MR-QR-2	1312198	1134530	3157.0	10/10/2008	6.08	10.1			18.00	16.00	3.45	0.53	3.1	2.2	0.29		5.23	9.34	0.1	3.5

3.2.8.5 Caracterización físico-química de las aguas subterráneas

Teniendo en cuenta el escaso cubrimiento realizado con el muestreo físico-químico, los resultados de la caracterización de las aguas subterráneas procedentes de los piezómetros y del Túnel La Perezosa se deben considerar como aproximados.

3.2.8.5.1 *Piezómetros*

Las muestras de agua subterránea provienen de ocho (8) piezómetros que captan el Neis de Bucaramanga y un piezómetro (DL-308-101) que capta la Cuarzomonzonita del Batolito de Santa Bárbara.

En general el agua subterránea se caracteriza por ser mixta, de tipo bicarbonatado cálcico-sódico o sódico-cálcico (CaNaHCO_3 , - NaCaHCO_3) y bicarbonatada sulfatada cálcico-magnésica o cálcico-sódica-magnésicas ($\text{CaMgHCO}_3\text{SO}_4$, - CaNaMgHCO_3) como se puede observar en la Tabla 3.2-67.

Tabla 3.2-67 Clasificación Geoquímica de las Aguas Subterráneas Provenientes de los Piezómetros

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DEL MUESTREO	TIPO DE AGUA
DH-A508-101	21/05/2009	Ca-Na- HCO_3 - SO_4
DH-A508-102	21/05/2009	Ca-Na- HCO_3
DH-A508-103	20/05/2009	Ca-Na-Mg- HCO_3
DL-308-101	21/05/2009	Ca-Mg- SO_4
DH-108-102	20/05/2009	Ca-Na-Mg- HCO_3
DH-108-103	20/05/2009	Na-Ca- HCO_3
DH-A408-101	21/05/2009	Ca-Na- HCO_3
DH-A408-102	21/05/2009	Ca- HCO_3 - SO_4
DH-A408-103	21/05/2009	Ca-Na- HCO_3 - SO_4

Las muestras con mayor conductividad eléctrica ($>200 \mu\text{Siemens/cm}$) tienen la mayor concentración de HCO_3 ($>120 \text{ mg/l}$) y las de menor conductividad ($<100 \mu\text{Siemens/cm}$) presentan el menor contenido de HCO_3 ($<50 \text{ mg/l}$).

Las muestras de tipo bicarbonatado cálcico-sódico o sódico-cálcico o cálcico-sódico-magnésicas, son el producto de la disolución de los principales minerales (feldespato, plagioclasa, calcita y magnesio) que conforman las rocas metamórficas del Neis de Bucaramanga, después de un largo tiempo de contacto. Aquellas muestras de tipo bicarbonatadas sulfatadas cálcico-sódica provenientes de éste neis, podrían estar relacionadas con zonas alteradas por la acción de fluidos hidrotermales, como sucede en la muestra DH-A-408-102 que contiene un contenido anómalo en hierro (11 mg/l).

En el diagrama de cajas, Figura 3.2-128, se observa que no hay grandes rangos de variación de los principales iones en solución, a excepción del hierro que presenta un rango amplio y el cloruro que permanece casi constante.

Las anteriores características indican que a pesar de predominar en las rocas la porosidad secundaria por fracturas, el flujo subterráneo tiene un mayor tiempo de tránsito y de residencia en las zonas fracturadas, por lo que podría deducir la ocurrencia de flujo regionales con procesos de disolución de minerales ferromagnesianos y carbonatos, que dependiendo del ambiente oxidante o reductor permite la disolución de los minerales de hierro.

Figura 3.2-128 Diagrama de Cajas en Piezómetros

3.2.8.5.2 Túnel La Perezosa

El Túnel de La Perezosa está localizado en una zona de contacto entre el Neis de Bucaramanga y la Cuarzomonzonita de Santa Bárbara. Son aguas mixtas de tipo sulfatadas magnésicas o sulfatadas magnésico-cálcicas o calcicos-magnésicas y sulfatadas bicarbonatadas cálcico-magnésicas donde siempre predomina el anión SO_4 con concentraciones mayores de 40 mg/l. (Tabla 3.2-68).

Las muestras se caracterizan por contener un pH ácido, conductividad eléctrica entre 115 y 300 μ Siemes/cm (excepto una muestra con 748 μ Siemes/cm) y contenido en hierro entre 1,6 mg/l y 18,3 mg/l (solo una muestra con concentración menor de 0,1 mg/l).

Tabla 3.2-68 Clasificación Geoquímica de las Aguas Subterráneas Provenientes del Túnel La Perezosa

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DEL MUESTREO	TIPO DE AGUA
Túnel La Perezosa	21/05/2009	SO ₄
Túnel La Perezosa	21/05/2009	Mg-SO ₄
Túnel La Perezosa	21/05/2009	SO ₄
LP-110-01	21/05/2009	Mg-Na-SO ₄
LP-EC-01	19/10/2008	Mg-SO ₄
LP-EC-02	19/10/2008	Ca-SO ₄
LP-MD-01	19/10/2008	Mg-Ca-SO ₄ -HCO ₃
LP-MD-02	19/10/2008	Mg-Ca-SO ₄
LP-NEC-01	19/10/2008	Mg-SO ₄

Los principales iones en solución en las muestras de agua del Túnel, presentan rangos bajos de variación en sodio y bicarbonato y altos en hierro y valores máximos muy altos de concentración en bicarbonato, sulfato y hierro, estas muestras también se caracterizan por presentar las mayores temperaturas (17,5 °C), un poco más altas a la de la tendencia (Figura 3.2-129).

Figura 3.2-129 Diagrama de Cajas. Túnel La Perezosa

La conductividad eléctrica y las concentraciones relativamente altas en hierro y sulfato, como también el pH ácido y la temperatura en algunas muestras del túnel, pueden indicar una condiciones mineralógicas asociadas a fluidos hidrotermales en diferentes sectores del túnel, teniendo en cuenta que el agua proviene de perforaciones ejecutadas en varias direcciones.

3.2.8.5.3 Aguas Superficiales

Como se puede observar en la Tabla 3.2-69, las aguas superficiales son geoquímicamente mixtas, la mayoría con calcio como el catión predominante. Presenta conductividades eléctricas menores de 55,0 $\mu\text{Siemens/cm}$ y contenidos de hierro menores de 0,55 mg/l, lo que puede deberse a procesos de dilución en un medio oxidante y zonas de recarga locales.

Tabla 3.2-69 Clasificación Geoquímica de las Aguas Superficiales

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DEL MUESTREO	TIPO DE AGUA
MA-QA-01	01/10/2008	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄ -Cl
MM-QM-1	07/10/2008	Ca-HCO ₃ -SO ₄ -Cl
MM-QM-2	07/10/2008	Ca-SO ₄ -HCO ₃
MP-Q-PAEZ	29/09/2008	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
MR-QR-1	10/10/2008	Mg-Ca-Na- HCO ₃ -SO ₄
MR-QR-2	10/10/2008	Mg-Na-Ca- HCO ₃ -SO ₄ -Cl
Quebrada Romeral	21/05/2009	Ca-Na-Mg-HCO ₃
Quebrada Angostura	21/05/2009	Ca-Mg-HCO ₃
Quebrada Páez	21/05/2009	Ca-HCO ₃

En la Figura 3.2-130 se observa que el rango de variación de los iones en solución en estas aguas es más amplio, (principalmente en hierro y sulfato) que en los dos grupos de muestras de agua subterránea, debido posiblemente al aporte de minerales con los que entra en contacto durante su recorrido, como también por efectos de la contaminación de Coliformes.

Figura 3.2-130 Diagrama de Cajas. Aguas Superficiales

3.2.8.6 Relación aguas superficiales – aguas subterráneas

En el análisis de la interrelación entre las aguas superficiales y las aguas subterráneas se emplean métodos gráficos como los diagramas Piper, Ludwig- Langelier y de correlación de variables.

En el Diagrama Piper (Figura 3.2-131) y en los de Ludwig- Langelier donde se presenta las relaciones entre los iones $\text{Cl}+\text{SO}_4\text{-Na+Km}$ (Figura 3.2-132) y la relación $\text{HCO}_3+\text{SO}_4\text{-Fe+Mg}$ (Figura 3.2-133), como también en el diagrama que señala la relación Sulfatos - Sólidos Disueltos Totales ($\text{SO}_4\text{-TDS}$) presentado en la Figura 3.2-134, se observan claramente tres poblaciones o grupos, relacionados con las aguas subterráneas de los piezómetros, las aguas subterráneas del Túnel La Perezosa y las aguas superficiales.

En los dos últimos diagramas se observa además que la muestra del piezómetro DL-308-101 (color azul) que está localizado en la Cuarzomonzonita del Batolito de Santa Bárbara, podría estar indicando que el agua del túnel también estaría captando este sistema acuífero.

Figura 3.2-131 Diagrama Piper

Figura 3.2-132 Diagrama Cl+SO4- Na+k

Figura 3.2-133 Diagrama $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^-$ - Fe+Mg

En el Diagrama SO_4^- -TDS de la Figura 3.2-134 se puede observar el comportamiento anómalo de dos muestras del Túnel, que corresponden a las que tienen la temperatura un poco más alta que la tendencia.

Figura 3.2-134 Diagrama SO4- TDS

La clara diferenciación de estos tres grupos de agua permite concluir en forma preliminar que no existe conexión entre las aguas superficiales y las subterráneas profundas provenientes de los piezómetros y del Túnel. Las aguas superficiales pueden tener recarga de agua subterránea somera a través de flujos locales en depósito Cuaternarios, mientras que el agua de los piezómetros (la mayoría con flujos artesianos) y del túnel se estarían captando flujos regionales con zonas de recarga más altas. Por otra parte, el agua subterránea procedente del Túnel puede estar asociada a fluidos hidrotermales o a zonas productos de alteración hidrotermal (Anexo 3.2.5 Foto No. 8).

3.2.8.7 Modelo hidrogeológico conceptual del área de estudio

El Nor-Oriente colombiano es un territorio tectónicamente dinámico, conformado por la interacción de las placas tectónicas Nazca, Caribe y Suramérica.

A mediados del Proterozoico el territorio de Santander formaba parte de un terreno cuyo basamento se encontraba conectado con el Escudo de Guayana (Tschanz, 1971) o existía como una masa de roca transportada a gran distancia de su lugar original de depositación, con respecto al Escudo, debido a efectos tectónicos (terreno alóctono), como lo plantean Tousaint y Restrepo (1989). En éste tiempo se desarrolla allí una cuenca marina en la que se deposita una secuencia sedimentos clásticos con aportes ígneos.

A finales del Proterozoico la anterior secuencia es sometida a metamorfismo de alto grado y migmatización (Neis de Bucaramanga y Ortoneis de Berlín) y a deformaciones estructurales como consecuencias de las intrusiones de cuerpos ígneos. Sobre el relieve erosionado del Proterozoico, se deposita en el Paleozoico una secuencia de granulometría fina que posteriormente fue sometida a plegamiento y a un metamorfismo de bajo grado, representada por la Formación Silgará.

En el Mesozoico Inferior se inicia en el Macizo de Santander una tectónica de fallamientos por movimientos epirogénicos y la formación de una fosa tectónica con actividad volcánica, incluyendo la ocurrencia de grandes intrusiones cuarzomonzónicas (Batolito de Santa Bárbara) y cuarzodioríticas (Plutón de Rionegro-Páramo Rico) y la depositación de rocas de origen marino. A finales de ésta era se deposita una potente secuencia de origen fluvial (Grupo Girón), que podría señalar el inicio del lavado y aporte de agua dulce a las rocas fracturadas del citado macizo.

Durante el Terciario Inferior a Medio se presenta el levantamiento generalizado de la Cordillera Oriental comportándose el Macizo de Santander como un Horst, posteriormente afectado en el Terciario Superior por la mega-falla de rumbo Bucaramanga – Santa Marta con desplazamiento de 100 Km (Boinet et al., 1989), responsable de su nuevo fracturamiento, representado por las principales fallas satélites longitudinales y transversales que dominan el área de estudio. A finales del Terciario se presenta la última fase compresiva de la Cordillera Oriental generada por el desplazamiento de la placa Suramericana hacia el Occidente, con la presencia de fluidos hidrotermales que dieron lugar a las mineralizaciones y la ocurrencia de varios periodos glaciares en alturas mayores a los 2800 m.s.n.m, que aumentaron el aporte con agua dulce hacia las corrientes superficiales y la recarga hacia las rocas fracturadas.

La anterior evolución geológica produce la actual conformación geomorfológica del área de estudio, la cual controla la infiltración, la dirección del flujo superficial y la dirección heterogénea del flujo subterráneo como también su almacenamiento y la calidad del agua. De acuerdo al dominio de la porosidad secundaria por fracturas que prevalece en las rocas del área del Proyecto Angostura, se esperaría una relación directa entre las aguas superficiales y subterráneas, pero los resultados de los estudios hidrogeoquímicos y pruebas de bombeo, señalan lo contrario.

La hidrogeoquímica indica que la alta concentración iónica del agua procedente tanto de los piezómetros como del túnel La Perezosa, es producto de su largo tiempo de residencia y recorrido en las “zonas acuíferas fracturadas” como consecuencia de flujos regionales.

Lo anteriormente expuesto también se observa en la interpretación de las pruebas de bombeo, donde los valores calculados del coeficiente de almacenamiento señalan un confinamiento que en algunos sectores generan muy altas presiones (alturas de agua mayores de 21,0 m por encima de la superficie del terreno), según manómetros instalados en algunos de ellos. Esto sucede como respuesta a la ocurrencia de zonas o áreas de recarga ubicadas en partes altas y conectadas hidráulicamente con esas captaciones. Igual situación se ve reflejada en las interpretaciones de las pruebas de recuperación. (Anexo 3.2.5. Fotos No. 9 y 10).

Por consiguiente en el área del mencionado proyecto, el producto de la meteorización de las rocas neísicas e intrusivas y la sedimentación fina que colmata el fondo de los cauces de las corrientes y fuentes superficiales, originan una impermeabilización en las fracturas de las partes superficiales de estas rocas, impidiendo la infiltración directa a partir de esas fuentes y del agua lluvia. Por ello se colige que la principal recarga ocurre en las partes muy altas del área donde las rocas permanecen desnudas, sin ningún tipo de cubierta, estando verdaderamente conectadas con el ciclo hidrológico (Anexo 3.2.5. Foto No. 11).

Una situación igual a la anterior se presenta con los resultados de la interpretación hidrogeoquímica del agua infiltrada en el Túnel La Perezosa, producto de flujos regionales, donde la presencia del ión sulfato en altas concentraciones, refleja una circulación por conductos donde la roca está alterada por fluidos hidrotermales. Por otra parte, la presencia de fuentes termales (Pozo surgente El Silencio) es otro aporte de agua subterránea profunda.

Los bajos caudales de agua aforados en los piezómetros y en la salida de los túneles la Perezosa y Veta de Barro, permiten clasificar al Neis de Bucaramanga y posiblemente al Batolito de Santa Bárbara (debido a los pocos datos) como rocas con porosidad secundaria por fracturas de baja productividad, conformadas por zonas acuíferas de extensión local, donde las reservas son desconocidas por las dificultades para cuantificar las dimensiones de las fracturas.

Como es de suponer, con la información obtenida es difícil predecir una dirección predominante del flujo subterráneo regional en éste tipo de rocas fracturadas.

3.2.8.7.1 Unidades hidrogeológicas conceptualizadas

A partir de la descripción del Modelo Hidrogeológico Conceptual, en la Tabla 3.2-70 se presentan las diferentes capas que harían parte del Modelo Hidrogeológico Numérico del área de influencia directa del Proyecto Aurífero Angostura.

Tabla 3.2-70 Unidades Hidrogeológicas Conceptualizadas en el Área del Proyecto Angostura

CAPA GEOLÓGICA	CAPA HIDROGEOLÓGICA	CAPA DEL MODELO	Zona del Modelo
Cuaternario. Depósito Glaciar. (Qgl)	Acuífero Depósito Glaciar(Qgl)	--	--

CAPA GEOLÓGICA	CAPA HIDROGEOLÓGICA	CAPA DEL MODELO	Zona del Modelo
Paleozoico. Formación Silgará. (Pzs)	Acuicludo Silgará (Pzs)	--	--
Jurásico. Batolito de Santa Bárbara (Jcs)	Sistema Acuífero Batolito de Santa Bárbara (Jcs)	--	--
Jurásico. Batolito de Rionegro-Parámo Rico. (Jgd)	Acuicludo Batolito de Rionegro-Parámo Rico. (Jgd)	--	--
Precámbrico. Ortoneis de Berlín (PEpa)	Acuicludo Ortoneis de Berlín (PEpa)	--	--
Precámbrico. Neis de Bucaramanga. (PEbm)	Sistema Acuífero Neis de Bucaramanga. (PEbm)	--	--

3.2.8.8 Modelo numérico hidrogeológico

Con el fin de determinar las posibles afectaciones que tenga el agua subterránea sobre el área de proyección minera y los posibles impactos de la actividad minera sobre el sistema de aguas subterráneas, se elabora un Modelo Numérico Hidrogeológico, que se debe considerar de carácter preliminar o en la práctica cualitativo por la cantidad y calidad de la información obtenida. Está basado en el Modelo Hidrogeológico Conceptual descrito en el capítulo anterior.

Para la modelación numérica se empleó el programa computacional Visual Modflow Pro 3.1, al cual se le asignaron las condiciones de frontera en superficie, parámetros hidráulicos aproximados de acuíferos, la recarga superficial y los tajos de explotación minera para las diferentes fases de desarrollo.

3.2.8.8.1 Objetivos del modelo

El objetivo del presente Modelo Numérico Hidrogeológico es la representación e interpretación del Sistema Hidrogeológico existente en el área de influencia de la Mina de Oro Angostura y predecir la respuesta del citado sistema a los escenarios de explotación y desarrollo minero.

3.2.8.8.2 Metodología

La metodología empleada para la elaboración del modelo es la siguiente:

1. Delimitación del flujo dominante, básicamente en aquellos escenarios geológicos donde el flujo del agua subterránea puede ocurrir, con sus formas, amplitudes, discontinuidades y fallas, adaptando la grilla del modelo a estas condiciones naturales.

2. Determinación de los parámetros hidráulicos, calculados en forma aproximada, de cada una de las formaciones acuíferas, con el fin de alimentar las celdas del modelo numérico con valores de conductividad hidráulica equivalente, coeficiente de almacenamiento equivalente y la porosidad.

3. Los esfuerzos externos o fronteras de flujo dominante, estarán definidos por el nivel del agua y las características hidráulicas (estimadas) del lecho de las principales quebradas y la recarga superficial.

3.2.8.8.3 Fuentes de información

Las fuentes de información utilizada para la elaboración del modelo numérico son:

1. Restitución topográfica: base topográfica a escala 1:10.000 suministrada por la empresa minera, con la cual se elaboró la superficie del modelo numérico.

2. Mapa geológico: cartografía geológica, básica para la caracterización hidrogeológica de las diferentes formaciones geológicas simuladas en el modelo numérico.

3. Parámetros hidráulicos: calculados en forma aproximada, a partir de pruebas de bombeo a caudal constante y pruebas Slug en los piezómetros construidos en el área de la Mina de Oro Angostura.

4. Condiciones de Frontera: recarga superficial, tomada del análisis hidrológico presente en este estudio. Condición de ríos y quebradas, características de las quebradas del área de influencia directa como extensión, caudal y elevación, tomadas del estudio de línea base ambiental.

5. Proyección Minera: base topográfica de la proyección minera del tajo a futuro

3.2.8.8.4 Modelo hidrogeológico conceptual

Para la realización del Modelo Numérico Hidrogeológico se tomó como base el modelo conceptual preliminar descrito anteriormente, donde se plantea la relación entre las diferentes características de cada una de las unidades geológicas, su potencialidad como acuíferos, la relación hidrogeológica entre acuíferos y la relación con el agua superficial.

De acuerdo al Mapa Hidrogeológico de la zona de influencia directa, se presentan seis unidades geológicas, de las cuales por su importancia y cercanía al Tajo minero se utilizaron cinco unidades: Cuaternario, Depósito Glaciar (Qgl). Jurásico, Batolito de Santa Bárbara (Jcs). Jurásico, Batolito de Rionegro-Páramo Rico (Jgd). Precámbrico, Ortoneis de Berlín (PEpa) y Precámbrico, Neis de Bucaramanga (PEbm). Cada una de las anteriores unidades geológicas está representada en el modelo numérico como una zona hidrogeológica, a las cuales se les asignaron valores de parámetros hidráulicos como conductividad hidráulica equivalente, coeficiente de almacenamiento equivalente y porosidad.

Teniendo en cuenta que los pozos asociados a zonas de falla presentan valores relativamente altos en el cálculo de los parámetros hidráulicos, se definen para las zonas por donde pasan las principales fallas como Falla El Romeral, Falla Quebrada Páez y la Falla Baja-Angostura, zonas hidrogeológicas del modelo con valores altos de parámetros hidráulicos.

La Tabla 3.2-71 resume los parámetros hidráulicos utilizados para las diferentes unidades hidrogeológicas en la simulación numérica con su respectiva zona hidrogeológica, y la Figura 3.2-135 muestra la distribución espacial de las mencionadas zonas.

Tabla 3.2-71 Zonas hidrogeológicas conceptualizadas en el modelo numérico hidrogeológico.

Capa Geológica	Capa Hidrogeológica	Zona	K equiv (m/d)	Ss equiv (1/m)	Eff Por	Tot Por
Precámbrico. Neis de Bucaramanga. (PEbm)	Sistema Acuífero Neis de Bucaramanga. (PEbm)	Z 1	1,26E-03	2,80E-06	5,00E-04	1,00E-04
Zona de Falla El Romeral		Z 2	6,23E-03	1,08E-05	0,02	1,50
Zona de Falla Q. Páez		Z 3	0,01	1,50E-06	0,02	1,50
Zonas de Fallas Batolito Sta Barbara		Z 4	0,10	4,70E-07	5,00E-04	1,00E-04
Jurásico. Batolito de Santa Bárbara (Jcs)	Sistema Acuífero Batolito de Santa Bárbara (Jcs)	Z 5	1,20E-06	2,80E-08	5,00E-04	1,00E-04
Jurásico. Batolito de Rionegro-Páramo Rico. (Jgd)	Jurásico. Batolito de Rionegro-Parámo Rico. (Jgd)	Z 6	1,20E-05	2,80E-08	5,00E-04	1,00E-04
Precámbrico. Ortoneis de Berlín (PEpa)	Precámbrico. Ortoneis de Berlín (PEpa)	Z 7	2,10E-06	5,40E-08	5,00E-04	1,00E-04
Cuaternario. Depósito Glaciar. (Qgl)	Cuaternario. Depósito Glaciar. (Qgl)	Z 8	0,21	5,00E-03	13,00	20,00

Figura 3.2-135 Distribución espacial de las zonas hidrogeológicas modeladas para la mina de oro Angostura.

3.2.8.8.5 Red de Diferencias Finitas

El área modelada se discretizó en una red o grilla de diferencias finitas compuesta por 160 columnas y 180 filas para un total de 28800 celdas espaciadas 50 metros, con el fin de representar la topografía al máximo detalle y darle al modulo de simulación matemática las herramientas

suficientes para realizar los cálculos necesarios. La Figura 3.2-136 esquematiza la distribución de las celdas en columnas y filas de la red de diferencias finitas.

3.2.8.8.6 Condiciones de fronteras o límites del modelo

La consideración de las condiciones de frontera se realizó con base en la dinámica del régimen hidroclimático de la región, empleando el efecto de interconexión hidráulica de los cuerpos de agua superficial con los acuíferos, representado por la conductancia del lecho, cuyo valor se estimó según el tipo de fragmentos y sedimentos allí depositados. La cabeza calculada en el modelo en estado estacionario, sirvió como condición de frontera inicial para la modelación en estado transitorio.

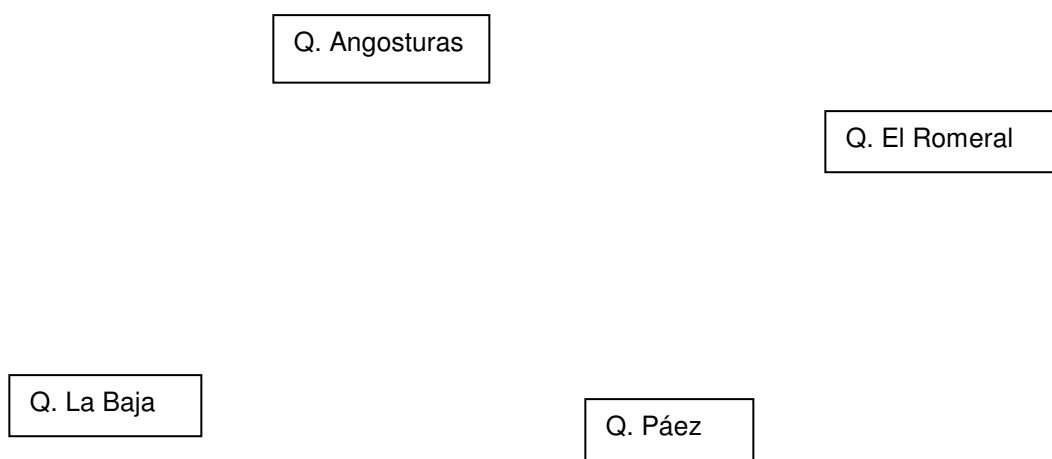
Las condiciones naturales de flujo de agua subterránea (estado estacionario), se determinaron nuevamente por medio de este modelo incluyendo los principales cuerpos de agua, simulando el flujo sin considerar efectos antrópicos (actividad minera). La simulación se calibró empleando los niveles medidos en los puntos de agua con condiciones en estado estacionario (sin efectos de explotación).

▪ **Quebradas**

La condición de frontera tipo río es la que regula la entrada al sistema acuífero del agua superficial, en este caso, la entrada de agua por medio de cuerpos de agua lóticos superficiales.

Las quebradas utilizadas como condicionantes de este tipo de frontera son: quebrada Angosturas, quebrada La Baja-Angosturas, quebrada Páez y la quebrada Romeral. A cada uno de estos cuerpos de agua se le asignó la altura del inicio y del final de cada tramo, considerando un promedio de la tabla de agua de 1 metro, espesor del lecho del río de 0,7 metros, conductividad hidráulica del lecho de 0,1 m/d y un ancho del cauce de 2 metros. La Figura 3.2-136 muestra la ubicación de las quebradas utilizadas como condición de frontera en el modelo numérico.

Figura 3.2-136 Configuración de la red del modelo numérico en celdas de 50 metros cuadrados y detalle de las quebradas utilizadas como condición de frontera tipo río.



▪ **Recarga Superficial**

La recarga superficial es la cantidad de agua que el suelo puede y deja infiltrar hacia los acuíferos en determinado período climático. Con el fin de determinar el valor de recarga se elaboró el

Balance Hídrico, el cual tiene en cuenta la precipitación, el tipo y textura del suelo entre otros parámetros. El valor estimado para la recarga es de 54,7 mm/año, siendo el valor adoptado en la simulación numérica.

▪ **Drenes**

El empleo de esta condición de frontera es la forma más práctica para modelar escenarios con aprovechamiento minero a cielo abierto, debido a que tiene la característica de simular una serie de drenes en el área de los tajos, asignando una conductancia que simula el flujo al pasar del medio poroso en la roca hacia la zona del tajo de la mina explotada. La característica más importante de la condición de “dren” consiste en que ajusta automáticamente en el momento que el nivel piezométrico alcance la elevación a la que se encuentra y se desactiva de la misma forma cuando este nivel se abate por debajo de la cota del mismo.

Esta condición de frontera se empleó para los escenarios de simulación en estado transitorio, es decir cuando se requiere evaluar el impacto generado por los tajos a aprovechar en las diferentes fases de explotación minera.

3.2.8.8.7 Condiciones naturales de flujo (simulación en estado estacionario)

Una vez establecido el Modelo Hidrogeológico Conceptual, se inician las respectivas simulaciones. La primera simulación corresponde al Estado Estacionario, que representa las principales condiciones hidrodinámicas naturales (cabezas, presiones) sin la intervención humana. De esta simulación se extraen dos procesos importantes, la calibración del modelo y el balance del flujo de agua subterránea, donde éste último da los valores medios del agua que se mueve por las diferentes unidades del sistema acuífero.

▪ **Calibración del modelo en estado estacionario**

Para la calibración en estado estacionario o condiciones naturales de flujo, se seleccionaron los niveles tomados en los piezómetros utilizados para las pruebas de bombeo a caudal constante y Slug, teniendo en cuenta para aquellos piezómetros con nivel saltante, una altura del nivel de 21 metros por encima de la superficie. De acuerdo a los resultados obtenidos en la simulación estacionaria se tiene que el error entre los niveles estáticos observados y los calculados por el programas es de 3,78 metros, con un coeficiente de correlación del 0,971, lo que indica que a pesar de las condiciones hidrogeológicas complejas de la zona, estos resultados se ajustan a los datos aproximados de los parámetros hidráulicos obtenidos en campo. La Figura 3.2-137 muestra la relación de los niveles observados Vs los niveles calculados.

Figura 3.2-137 Calibración del modelo numérico en estado estacionario, relación de los niveles estáticos y calculados.

▪ **Balance del Flujo de Agua Subterránea**

El balance del flujo de agua subterránea no es más que la interacción de los diferentes componentes del sistema acuífero de la zona a explotar, es decir, es la relación de agua subterránea que pasa entre unidades acuíferas y entre estas y los cuerpos de agua superficial (Quebradas). Este balance sirve para tener una aproximación inicial del caudal aportado en Estado Estacionario en el sistema acuífero, el cual será comparado con los valores de balance de flujo en Estado Transitorio, es decir con la minería a cielo abierto, con el fin de determinar posibles impactos al flujo subterráneo y aporte hacia el tajo.

Los valores de caudal obtenidos dependen de los valores de los parámetros hidráulicos (aproximados) introducidos a cada una de las unidades geológicas, así como también del valor de conductancia hidráulica (estimados) de los lechos de las quebradas simuladas. A continuación se describe el balance de flujo subterráneo para las unidades hidrogeológicas y quebradas que estarán directamente involucradas en la apertura del Pit de explotación (Tabla 3.2-72).

Tabla 3.2-72 Caudal de aporte en l/s de las unidades hidrogeológicas que estarán más influenciadas por la apertura del tajo de explotación a cielo abierto.

Caudal de aporte entre unidades hidrogeológicas	Zona de Falla Q. Páez (Zona fracturada del Sistema Acuífero Neis de Bucaramanga. (PEbm)	Sistema Acuífero Batolito de Santa Bárbara (Jcs)	Sistema Acuífero Neis de Bucaramanga. (PEbm)	Zona de Falla El Romeral	Q. Angosturas	Q. Páez	Total
Zona de Falla Q. Páez (Zona fracturada del Sistema Acuífero Neis de Bucaramanga. (PEbm)		0,25	3,66	5,89	2,93	6,86	19,59
Sistema Acuífero Batolito de Santa Bárbara (Jcs)	0,44		5,54	0,00	0,00	0,44	6,42
Sistema Acuífero Neis de Bucaramanga. (PEbm)	22,78	7,03		22,37	5,47	0,17	35,04
Zona de Falla El Romeral	26,47	0,00	9,21		0,00	0,00	9,21
Q. Angosturas	0,24	0,00	0,07	0,00		0,00	0,07
Q. Páez	1,13	0,00	1,97	0,00	0,00		3,11
Total	51,07	7,28	20,45	28,25	8,40	7,47	

La Tabla 3.2-72 resume los caudales aportados por cada elemento del sistema hidrogeológico. En las filas aparecen los caudales que aporta cada unidad geológica y cada quebrada, en la que se observa que el mayor aporte lo tiene el Sistema Acuífero Neis de Bucaramanga. En las columnas se encuentran los valores que toma cada unidad geológica y cada quebrada, siendo la zona de falla de la Quebrada Páez la que mayor aporte recibe.

3.2.8.8.8 Simulación en estado transitorio

La simulación en Estado Transitorio se realizó una vez se obtuvo un buen ajuste en la calibración del modelo en Estado Estacionario. Como punto de partida del modelo en estado transitorio se empleó la cabeza inicial calculada en estado estacionario.

El objetivo de ésta simulación es observar las posibles afectaciones que tendrá la explotación a cielo abierto sobre los acuíferos y cuerpos de agua superficial, así como también determinar de manera aproximada, la cantidad de flujo de agua subterránea que podría entrar al tajo de explotación.

A continuación se presentan las tablas resumen del balance del flujo de agua subterránea con la simulación de minería (Tabla 3.2-73, Tabla 3.2-74, Tabla 3.2-75 y Tabla 3.2-76), en las que se observa que el flujo de entrada de agua subterránea al tajo es de 95 l/s para la fase 1 de explotación, y al final de la fase 4 este caudal se reduce a 75 l/s. Hay que tener en cuenta que estos valores dependen directamente de los parámetros hidráulicos aproximados con que se alimentan las zonas hidrogeológicas del modelo. Según el modelo conceptual simulado, el aporte lo estará dando principalmente la zona de falla de la quebrada Páez, Sistema Acuífero Neis de Bucaramanga. (PEbm), Sistema Acuífero Batolito de Santa Bárbara (Jcs), y la zona de falla de la quebrada El Romeral.

Tabla 3.2-73 Balance del flujo de agua subterránea para la simulación del tajo minero en la Fase 1.

Caudal de aporte entre unidades hidrogeológicas	Zona de Falla Q. Páez (Zona fracturada del Sistema Acuífero Neis de Bucaramanga. (PEbm)	Sistema Acuífero Batolito de Santa Bárbara (Jcs)	Sistema Acuífero Neis de Bucaramanga. (PEbm)	Zona de Falla El Romeral	Q. Angosturas	Q. Páez	Entrada al tajo	Total
Zona de Falla Q. Páez (Zona fracturada del Sistema Acuífero Neis de Bucaramanga. (PEbm)		3,97	5,98	23,17	0,17	0,43	65,94	99,67
Sistema Acuífero Batolito de Santa Bárbara (Jcs)	0,76		0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	1,36
Sistema Acuífero Neis de Bucaramanga. (PEbm)	29,75	11,99		29,75	4,09	0,12	29,44	105,13
Zona de Falla El Romeral	62,88	0,00	16,91		0,00	0,00	0,00	79,79
Q. Angosturas	2,40	0,00	0,36	0,00		0,00	0,00	2,75
Q. Páez	28,99	0,00	1,57	0,00	0,00		0,00	30,57
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
Total	124,78	15,96	25,42	52,92	4,26	0,55	95,38	

Tabla 3.2-74 Balance del flujo de agua subterránea para la simulación del tajo minero en la Fase 2.

Caudal de aporte entre unidades hidrogeológicas	Zona de Falla Q. Páez (Zona fracturada del Sistema Acuífero Neis de Bucaramanga. (PEbm)	Sistema Acuífero Batolito de Santa Bárbara (Jcs)	Sistema Acuífero Neis de Bucaramanga. (PEbm)	Zona de Falla El Romeral	Q. Angosturas	Q. Páez	Entrada al tajo	Total
Zona de Falla Q. Páez (Zona fracturada del Sistema Acuífero Neis de Bucaramanga. (PEbm)		2,89	4,66	35,20	0,11	0,47	60,46	103,80
Sistema Acuífero Batolito de Santa Bárbara (Jcs)	1,37		6,59	0,00	0,00	0,00	0,00	7,95
Sistema Acuífero Neis de Bucaramanga. (PEbm)	5,31	12,36		33,84	4,41	0,12	24,48	80,52
Zona de Falla El Romeral	65,50	0,00	16,53		0,00	0,00	0,00	82,03
Q. Angosturas	3,16	0,00	0,24	0,00		0,00	0,00	3,40
Q. Páez	34,49	0,00	1,92	0,00	0,00		0,00	36,41
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
Total	109,83	15,25	29,94	69,04	4,52	0,59	84,94	

Tabla 3.2-75 Balance del flujo de agua subterránea para la simulación del tajo minero en la Fase 3.

Caudal de aporte entre unidades hidrogeológicas	Zona de Falla Q. Páez (Zona fracturada del Sistema Acuífero Neis de Bucaramanga. (PEbm)	Sistema Acuífero Batolito de Santa Bárbara (Jcs)	Sistema Acuífero Neis de Bucaramanga. (PEbm)	Zona de Falla El Romeral	Q. Angosturas	Q. Páez	Entrada al tajo	Total
Zona de Falla Q. Páez (Zona fracturada del Sistema Acuífero Neis de Bucaramanga. (PEbm)		0,19	3,80	29,64	0,095	0,47	85,4	119,61
Sistema Acuífero Batolito de Santa Bárbara (Jcs)	1,64		5,98	0	0	0	0	7,62
Sistema Acuífero Neis de Bucaramanga. (PEbm)	7,36	11,48		34,24	4,6991	0,11	2,8	60,70
Zona de Falla El Romeral	6,28	0	15,79		0	0	0,22	22,30
Q. Angosturas	3,10	0	0,18	0		0	0	3,28
Q. Páez	25,99	0	3,14	0	0		0	29,14
	0	0	0	0	0	0		0
Total	44,38	11,67	28,92	63,88	4,7941	0,58	88,4	

Tabla 3.2-76 Balance del flujo de agua subterránea para la simulación del tajo minero en la Fase 4.

Caudal de aporte entre unidades hidrogeológicas	Zona de Falla Q. Páez (Zona fracturada del Sistema Acuífero Neis de Bucaramanga. (PEbm)	Sistema Acuífero Batolito de Santa Bárbara (Jcs)	Sistema Acuífero Neis de Bucaramanga. (PEbm)	Zona de Falla El Romeral	Q. Angosturas	Q. Páez	Entrada al tajo	Total
Zona de Falla Q. Páez (Zona fracturada del Sistema Acuífero Neis de Bucaramanga. (PEbm)		0,24	3,26	4,38	2,40	6,45	49,49	66,21
Sistema Acuífero Batolito de Santa Bárbara (Jcs)	0,38		3,09	0,00	0,00	0,00	0,00	3,47
Sistema Acuífero Neis de Bucaramanga. (PEbm)	17,78	4,70		28,15	5,24	0,17	24,65	80,69
Zona de Falla El Romeral	35,21	0,00	13,73		0,00	0,00	1,18	50,12
Q. Angosturas	0,36	0,00	0,07	0,00		0,00	0,00	0,43
Q. Páez	1,19	0,00	2,00	0,00	0,00		0,00	3,19
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
Total	54,92	4,94	22,15	32,52	7,64	6,62	75,32	

En las Tablas anteriores se puede observar que los valores de aporte de las diferentes unidades tienden a aumentar en las dos primeras fases del desarrollo minero, pero sin tener aumentos que puedan afectar el flujo de agua subterránea. Después de la segunda fase, los valores tienden a disminuir.

Teniendo en cuenta que los valores de caudal líquido para las quebradas Angosturas y Páez, se puede apreciar que el aumento del caudal de aporte de estos dos cuerpos de agua sobre los acuíferos en el estado transitorio, no superaría la octava parte del flujo normal, lo que indica que no se produciría impacto en cuanto a disminución del caudal líquido de estas dos quebradas por parte de la explotación minera.

3.2.9 Componente atmosférico

3.2.9.1 Análisis climatológico en el área del proyecto

La información utilizada para la caracterización climática consiste en los registros de los parámetros de clima suministrados por Greystar, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, y del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, AMB. Las características de las estaciones se presentan en la Tabla 3.2-77.

Tabla 3.2-77 Estaciones climatológicas y de precipitación en la zona de estudio.

CÓDIGO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	TIPO DE ESTACIÓN	ELEVACIÓN (msnm)	COORDENADAS		ENTIDAD OPERADORA
				ESTE	NORTE	
-	LOS LACHES	CO	3525	1.132.027	1.308.708	GREYSTAR
2319045	VETAS-EL POZO	PM	3220	1.132.251	1.300.711	IDEAM
3701502	BERLÍN	CO	3214	1.134.131	1.285.967	IDEAM
-	LA LORA	PM	2200	1.121.142	1.311.423	AMB
-	MIRAFLORES	PM	2200	1.116.287	1.304.645	AMB
-	POVEDAS	PM	2000	1.125.492	1.304.238	AMB
2319013	TONA	PM	1910	1.123.079	1.287.783	IDEAM
2319520	CACHIRÍ	CO	1850	1.119.321	1.319.114	IDEAM
2319509	VIVERO SURATÁ	CO	1725	1.119.357	1.304.366	IDEAM
-	HUERTA GRANDE	PM	1700	1.119.445	1.296.784	AMB
2319034	MATAJIRA	PM	996	1.112.027	1.289.601	IDEAM
1602011	LA CALDERA	PM	2875	1.148.818	1.300.758	IDEAM
1601502	ISER PAMPLONA	AM	2340	1.158.005	1.306.318	IDEAM
1602008	CUCUTILLA	PM	1280	1.143.220	1.326.554	IDEAM
1602005	ARBOLEDAS	PM	925	1.141.347	1.337.610	IDEAM
1601503	LA ESPERANZA	CO	1760	1.172.640	1.332.182	IDEAM

CÓDIGO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	TIPO DE ESTACIÓN	ELEVACIÓN (msnm)	COORDENADAS		ENTIDAD OPERADORA
				ESTE	NORTE	
1602508	H.J.C GJA	CO	1380	1.145.060	1.326.559	IDEAM
3701007	SILOS	CO	2765	1.147.015	1.287.847	IDEAM

CO: Estación climatológica ordinaria.

PM: Estación pluviométrica.

AM: Estación agrometeorológica.

Los registros de los parámetros climatológicos correspondientes a las estaciones mencionadas en la Tabla 3.2-77 (Temperatura, Evaporación, Humedad Relativa y Dirección y velocidad del viento) se presentan en el Anexo 3.2.6. Los registros de precipitación complementados por INGETEC I&D S.A., con los que se realizó la caracterización, se presentan en el Anexo 3.2.2. Para cada uno de los parámetros considerados se presenta en la Tabla 3.2-78 un resumen con la información disponible en cada estación.

Tabla 3.2-78 Parámetros climatológicas en las estaciones hidrometeorológicas de la zona de estudio.

CÓDIGO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	TIPO DE ESTACIÓN	PARÁMETRO				
			P	T	E	HR	V
-	LOS LACHES	CO	X	X		X	X
2319045	VETAS-EL POZO	PM	X				
3701502	BERLÍN	CO	X	X	X	X	
-	LA LORA	PM	X				
-	MIRAFLORES	PM	X				
-	POVEDAS	PM	X				
2319013	TONA	PM	X				
2319520	CACHIRÍ	CO	X	X	X	X	
2319509	VIVERO SURATÁ	CO	X	X	X	X	
-	HUERTA GRANDE	PM	X				
2319034	MATAJIRA	PM	X				
1602011	LA CALDERA	PM	X				
1601502	ISER PAMPLONA	AM	X				
1602008	CUCUTILLA	PM	X				
1602005	ARBOLEDAS	PM	X				
1601503	LA ESPERANZA	CO		X		X	
1602508	H.J.C GJA	CO		X	X	X	
3701007	SILOS	CO		X	X	X	

P: Precipitación

T: Temperatura

E: Evaporación

H: Humedad Relativa

V: Dirección y velocidad del viento

3.2.9.1.1 Precipitación

- **Precipitación en la estación Vetas – El Pozo**

En la estación Vetas – El Pozo la precipitación media anual multianual para el período 1971 - 2003 es de 916,4 mm, obtenida de los registros complementados por INGETEC I&D S.A. Como se observa en la Figura 3.2-138 el régimen de lluvias tiene un comportamiento bimodal con un período húmedo predominante (5 meses) de abril a mayo y de septiembre a noviembre, mientras que el resto del año presenta valores por debajo del promedio (76 mm/mes).

La precipitación media mensual mínima se presenta en el mes de enero con un valor de 22,5 mm (2,5% de la precipitación total anual), y la precipitación media mensual máxima se presenta en el mes de abril con un valor de 139 mm (15,2% de la precipitación total anual).

Figura 3.2-138 Estación Pluviométrica Vetas El Pozo. Histograma de Precipitación Mensual Multianual. Período 1971 - 2003

- **Precipitación en la estación Los Laches**

La precipitación media anual multianual registrada en esta estación para el período 1971 – 2003 es de 916 mm/mes, obtenida de los registros complementados por INGETEC I&D S.A. Como se muestra en la Figura 3.2-139, el régimen de lluvias presenta un comportamiento bimodal, con un período húmedo predominante (5 meses) entre los meses de abril a mayo y de septiembre a noviembre, con un período seco en el resto del año. La precipitación media mensual mínima se presenta en el mes de enero con un valor de 23 mm (2,5% de la precipitación total anual), y la precipitación media mensual máxima se presenta en el mes de abril con un valor de 139 mm (15,2% de la precipitación total anual)

Figura 3.2-139 Estación Climatológica Ordinaria Los Laches. Histograma de Precipitación Mensual Multianual. Período 1971 – 2003

- **Precipitación en la estación La Lora**

En la estación La Lora la precipitación media anual multianual para el período 1971 - 2003 es de 1437 mm, obtenida de los registros complementados por INGETEC I&D S.A. Como se observa en la Figura 3.2-140 el régimen de lluvias tiene un comportamiento bimodal con un período húmedo predominante (5 meses) de abril a mayo y de septiembre a noviembre, mientras que el resto del año presenta valores por debajo del promedio (120 mm/mes). La precipitación media mensual mínima se presenta en el mes de enero con un valor de 40,9 mm (2,8% de la precipitación total anual), y la precipitación media mensual máxima se presenta en el mes de octubre con un valor de 235 mm (16% de la precipitación total anual).

Figura 3.2-140 Estación Pluviométrica La Lora. Histograma de Precipitación Mensual Multianual. Período 1971 – 2003

- **Precipitación en la estación Povedas**

En la estación Povedas la precipitación media anual multianual para el período 1971 - 2003 es de 947 mm, obtenida de los registros complementados por INGETEC I&D S.A. Como se observa en la Figura 3.2-141 el régimen de lluvias tiene un comportamiento bimodal con un período húmedo predominante (6 meses) de marzo a mayo y de septiembre a noviembre, mientras el resto del año presenta valores por debajo del promedio (79 mm/mes). La precipitación media mensual mínima se presenta en el mes de julio con un valor de 22 mm (2,4% de la precipitación total anual), y la precipitación media mensual máxima se presenta en el mes de mayo con un valor de 136,5 mm (16,4% de la precipitación total anual).

Figura 3.2-141 Estación Pluviométrica Povedas. Histograma de Precipitación Mensual Multianual. Período 1971 – 2003

- **Precipitación en la estación Berlín**

En la estación Berlín la precipitación media anual multianual para el período 1971 - 2003 es de 682 mm, obtenida de los registros complementados por INGETEC I&D S.A. Como se observa en la Figura 3.2-142 el régimen de lluvias tiene un comportamiento bimodal con un período húmedo predominante (6 meses) de abril a junio y de agosto a octubre, mientras el resto del año presenta valores por debajo del promedio (57 mm/mes). La precipitación media mensual mínima se presenta en el mes de enero con un valor de 13 mm (1,9% de la precipitación total anual), y la precipitación media mensual máxima se presenta en el mes de octubre con un valor de 95 mm (13,9% de la precipitación total anual).

Figura 3.2-142 Estación Climatológica Ordinaria Berlín. Histograma de Precipitación Mensual Multianual. Período 1971 - 2003

- **Precipitación en la estación Miraflores**

En la estación Miraflores la precipitación media anual multianual para el período 1971 - 2003 es de 1139 mm, obtenida de los registros complementados por INGETEC I&D S.A. Como se observa en la Figura 3.2-143 el régimen de lluvias tiene un comportamiento bimodal con un período húmedo predominante (5 meses) de abril a mayo y de septiembre a noviembre, mientras que el resto del año presenta valores por debajo del promedio (95 mm/mes). La precipitación media mensual mínima se presenta en el mes de enero con un valor de 28,5 mm (2,5% de la precipitación total anual), y la precipitación media mensual máxima se presenta en el mes de octubre con un valor de 187,8 mm (16,5% de la precipitación total anual).

Figura 3.2-143 Estación Pluviométrica Miraflores. Histograma de Precipitación Mensual Multianual. Período 1971 – 2003

- **Precipitación en la estación Tona**

En la estación Tona la precipitación media anual multianual para el período 1971 - 2003 es de 1432 mm, obtenida de los registros complementados por INGETEC I&D S.A. Como se observa en la Figura 3.2-144 el régimen de lluvias tiene un comportamiento bimodal con un período húmedo

predominante (6 meses) de marzo a mayo y de septiembre a noviembre, mientras que el resto del año presenta valores por debajo del promedio (119,3 mm/mes). La precipitación media mensual mínima se presenta en el mes de julio con un valor de 25,8 mm (1,8% de la precipitación total anual), y la precipitación media mensual máxima se presenta en el mes de abril con un valor de 224 mm (15,6% de la precipitación total anual).

Figura 3.2-144 Estación Pluviométrica Tona. Histograma de Precipitación Mensual Multianual. Período 1971 – 2003

- **Precipitación en la estación Cachirí**

En la estación Cachirí la precipitación media anual multianual para el período 1971 - 2003 es de 1329 mm, obtenida de los registros complementados por INGETEC I&D S.A. Como se observa en la Figura 3.2-145 el régimen de lluvias tiene un comportamiento bimodal con un período húmedo predominante (6 meses) de marzo a mayo y de septiembre a noviembre, mientras que el resto del año presenta valores por debajo del promedio (111 mm/mes). La precipitación media mensual mínima se presenta en el mes de julio con un valor de 32 mm (2,4% de la precipitación total anual), y la precipitación media mensual máxima se presenta en el mes de abril con un valor de 204 mm (15,3% de la precipitación total anual).

Figura 3.2-145 Estación Climatológica Ordinaria Cachirí. Histograma de Precipitación Mensual Multianual. Período 1971 - 2003

- **Precipitación en la estación Vivero Suratá**

En la estación Vivero Suratá la precipitación media anual multianual para el período 1971 - 2003 es de 1091 mm, obtenida de los registros complementados por INGETEC I&D S.A. Como se observa en la Figura 3.2-146 el régimen de lluvias muestra un comportamiento bimodal con un período húmedo predominante (5 meses) de abril a mayo y de septiembre a noviembre, mientras el resto del año presenta valores por debajo del promedio (91 mm/mes). La precipitación media mensual mínima se presenta en el mes de enero con un valor de 27 mm (2,5% de la precipitación total anual), y la precipitación media mensual máxima se presenta en el mes de octubre con un valor de 180,2 mm (16,5% de la precipitación total anual).

Figura 3.2-146 Estación Climatológica Ordinaria Vivero Suratá. Histograma de Precipitación Mensual Multianual. Período 1971 - 2003

- **Precipitación en la estación Huerta Grande**

En la estación Huerta Grande la precipitación media anual multianual para el período 1971 - 2003 es de 956 mm, obtenida de los registros complementados por INGETEC I&D S.A. Como se

observa en la Figura 3.2-147 el régimen de lluvias muestra un comportamiento bimodal con un período húmedo predominante (6 meses) de marzo a mayo y de septiembre a noviembre, mientras que el resto del año presenta valores por debajo del promedio (80 mm/mes). La precipitación media mensual mínima se presenta en el mes de julio con un valor de 24 mm (2,5% de la precipitación total anual), y la precipitación media mensual máxima se presenta en el mes de abril con un valor de 143 mm (14,9% de la precipitación total anual).

Figura 3.2-147 Estación Pluviométrica Huerta Grande. Histograma de Precipitación Mensual Multianual. Período 1971 – 2003

- **Precipitación en la estación Matajira**

En la estación Matajira la precipitación media anual multianual para el período 1971 - 2003 es de 855 mm, obtenida de los registros complementados por INGETEC I&D S.A. Como se observa en la Figura 3.2-148 el régimen de lluvias muestra un comportamiento bimodal con un período húmedo predominante (6 meses) de marzo a mayo y de septiembre a noviembre, mientras que el resto del año presenta valores por debajo del promedio (71 mm/mes). La precipitación media mensual mínima se presenta en el mes de julio con un valor de 22 mm (2,5% de la precipitación total anual), y la precipitación media mensual máxima se presenta en el mes de octubre con un valor de 127,5 mm (14,9% de la precipitación total anual).

Figura 3.2-148 Estación Pluviométrica Matajira. Histograma de Precipitación Mensual Multianual. Período 1971 - 2003

- **Precipitación en la estación La Caldera**

En la estación La Caldera la precipitación media anual multianual para el período 1971 - 2003 es de 1297 mm, obtenida de los registros complementados por Ingetec I&D S.A. Como se observa en la Figura 3.2-149 el régimen de lluvias muestra un comportamiento bimodal con un período húmedo predominante (7 meses) de abril a julio y de septiembre a noviembre, mientras el resto del año presenta valores por debajo del promedio (108 mm/mes). La precipitación media mensual mínima se presenta en el mes de enero con un valor de 37 mm (2,9% de la precipitación total anual), y la precipitación media mensual máxima se presenta en el mes de octubre con un valor de 142 mm (11% de la precipitación total anual).

Figura 3.2-149 Estación Pluviométrica La Caldera. Histograma de Precipitación Mensual Multianual. Período 1971 - 2003

- **Precipitación en la estación Iser Pamplona**

En la estación agrometeorológica Iser Pamplona la precipitación media anual multianual para el período 1971 - 2003 es de 897 mm, obtenida de los registros complementados por INGETEC I&D S.A. Como se observa en la Figura 3.2-150 el régimen de lluvias muestra un comportamiento bimodal con un período húmedo predominante (5 meses) de abril a mayo y de septiembre a noviembre, mientras el resto del año presenta valores por debajo del promedio (75 mm/mes). La precipitación media mensual mínima se presenta en el mes de enero con un valor de 29 mm (3,3% de la precipitación total anual), y la precipitación media mensual máxima se presenta en el mes de octubre con un valor de 131 mm (14,6% de la precipitación total anual).

Figura 3.2-150 Estación Agrometeorológica Iser Pamplona. Histograma de Precipitación mensual multianual. Período 1971 - 2003

- **Precipitación en la estación Cucutilla**

En la estación Cucutilla la precipitación media anual multianual para el período 1971 - 2003 es de 1885 mm, obtenida de los registros complementados por INGETEC S.A. Como se observa en la Figura 3.2-151 el régimen de lluvias muestra un comportamiento bimodal con un período húmedo predominante (5 meses) de abril a mayo y de septiembre a noviembre, mientras que el resto del año presenta valores por debajo del promedio (157 mm/mes). La precipitación media mensual mínima se presenta en el mes de julio con un valor de 65 mm (3,4% de la precipitación total anual), y la precipitación media mensual máxima se presenta en el mes de octubre con un valor de 290 mm (15,4% de la precipitación total anual).

Figura 3.2-151 Estación Pluviométrica Cucutilla. Histograma de Precipitación Mensual Multianual. Período 1971 - 2003

- **Precipitación en la estación Arboledas**

En la estación Arboledas la precipitación media anual multianual para el período 1971 - 2003 es de 1907 mm, obtenida de los registros complementados por INGETEC I&D S.A. Como se observa en la Figura 3.2-152 el régimen de lluvias muestra un comportamiento bimodal con un período húmedo predominante (5 meses) de abril a mayo y de septiembre a noviembre, mientras el resto del año presenta valores por debajo del promedio (159 mm/mes). La precipitación media mensual mínima se presenta en el mes de enero con un valor de 84 mm (4,4% de la precipitación total anual), y la precipitación media mensual máxima se presenta en el mes de octubre con un valor de 309 mm (16,2% de la precipitación total anual)

Figura 3.2-152 Estación Pluviométrica Arboledas. Histograma de Precipitación Mensual Multianual. Período 1971 - 2003

3.2.9.1.2 Temperatura

- **Distribución espacial**

Para determinar la variación de la temperatura media en la cuenca alta de los ríos Cucutilla y Suratá, se utilizó la información de diferentes estaciones climatológicas ubicadas tanto en la cuenca alta como en la cuenca baja de dichos ríos, con el propósito de establecer la variación de la temperatura con la elevación. Como se puede encontrar en la literatura técnica, existe una estrecha relación entre la temperatura media y la elevación, por lo tanto con la información de las estaciones climatológicas relacionadas en la Tabla 3.2-78 se construyó la gráfica temperatura media multianual vs elevación de la estación la cual se presenta en la Figura 3.2-153.

Figura 3.2-153 Estaciones Climatológicas Zona de Proyecto. Variación de la temperatura media anual con la elevación

La Figura 3.2-153 confirma la estrecha relación que presenta la temperatura media con la altura en la cuenca del Río Vetas, ya que a partir de las estaciones climatológicas más representativas por su cercanía con el proyecto (Vivero Suratá, Cachirí y Berlín), se determinó un gradiente térmico de 0,65 °C por cada 100 m de descenso, el cual se encuentra dentro del rango establecido para Colombia (0,65 – 0,69 °C). Con esta figura podría determinarse aproximadamente para cualquier sitio de la cuenca la temperatura media multianual si se conoce la elevación correspondiente.

- **Distribución temporal**

- Temperatura en la estación Los Laches

Para el período de registro de la estación Los Laches (enero 2005 – diciembre 2007), la temperatura media anual multianual es de 9,8 °C, obtenida de los registros suministrados por Greystar. Como se observa en la Figura 3.2-154, la temperatura media en esta estación tiene un comportamiento bimodal con valores superiores a la media en los períodos de febrero a abril y en el mes de diciembre, con un máximo en el mes de marzo (10,5 °C) y valores inferiores o iguales a la media en el resto del año, con el mínimo en el mes de octubre (9,3 °C).

Figura 3.2-154 Estación Climatológica Ordinaria Los Laches. Histograma Temperatura media mensual multianual. Período 2005 – 2007.

– Temperatura en la estación Berlín

Para el período de registro de la estación Berlín (febrero 1969 – abril 2006), la temperatura media anual multianual es de 8,7 °C, obtenida de los registros suministrados por IDEAM. Como se observa en la Figura 3.2-155, la temperatura media en esta estación tiene un comportamiento bimodal con valores superiores a la media en los períodos de marzo a mayo, y de octubre a noviembre, con un máximo en los meses de abril y mayo (9,1 °C) y valores inferiores o iguales a la media en el resto del año, con el mínimo en los meses de enero y julio (8,2 °C).

Figura 3.2-155 Estación Climatológica Ordinaria Berlín. Histograma Temperatura media mensual multianual. Período 1969 – 2006.

– Temperatura en la estación Cachimí

Para el período de registro de la estación Cachimí (abril 1972 – abril 2006), la temperatura media anual multianual es de 17,5 °C, obtenida de los registros suministrados por el IDEAM. Como se observa en la Figura 3.2-156 la temperatura media en esta estación tiene un comportamiento monomodal con valores superiores a la media entre los meses de febrero a agosto, con un máximo en el mes de marzo (17,9 °C), y valores inferiores a la media en el resto del año, con el mínimo en el mes de octubre (16,9 °C).

Figura 3.2-156 Estación Climatológica Ordinaria Cachirí. Histograma Temperatura media mensual multianual. Período 1972 – 2006.

- Temperatura en la estación Vivero Suratá

Para el período de registro de la estación Vivero Suratá (abril 1969 – diciembre 2006), la temperatura media anual multianual es de 18,5 °C, obtenida de los registros suministrados por el IDEAM. Como se observa en la Figura 3.2-147 la temperatura media en esta estación tiene un comportamiento bimodal con valores superiores a la media entre los meses de febrero a abril y en el mes de agosto, con un máximo en el mes de marzo (18,8 °C), y valores iguales o inferiores a la media en el resto del año, con el mínimo en los meses de julio, octubre y noviembre (18,3 °C).

Figura 3.2-157 Estación Climatológica Ordinaria Vivero Suratá. Histograma Temperatura media mensual multianual. Período 1969 – 2006.

– Temperatura en la estación La Esperanza

Para el período de registro de la estación La Esperanza (marzo 1973 – abril 2006), la temperatura media anual multianual es de 16,9 °C, obtenida de los registros suministrados por el IDEAM. Como se observa en la Figura 3.2-158, la temperatura media en esta estación tiene un comportamiento monomodal con valores superiores a la media entre los meses de abril a octubre, con un máximo en el mes de mayo (17,5 °C), y valores inferiores a la media en el resto del año, con el mínimo en el mes de enero (15,9 °C).

Figura 3.2-158 Estación Climatológica Ordinaria La Esperanza. Histograma Temperatura media mensual multianual. Período 1973 – 2006.

– Temperatura en la estación H.J.C. GJA

Para el período de registro de la estación H.J.C. GJA (julio 1995 – septiembre 1999), la temperatura media anual multianual es de 20,3 °C, obtenida de los registros suministrados por el IDEAM. Como se observa en la Figura 3.2-159 la temperatura media en esta estación tiene un comportamiento monomodal con valores superiores a la media entre los meses de marzo a agosto, con un máximo en el mes de mayo (21,0 °C), y valores inferiores a la media en el resto del año, con el mínimo en el mes de febrero (19,3 °C).

Figura 3.2-159 Estación Climatológica Ordinaria H.J.C. GJA. Histograma Temperatura media mensual multianual. Período 1995 – 1999.

– Temperatura en la estación Silos

Para el período de registro de la estación Silos (enero 1976 – mayo 2006), la temperatura media anual multianual es de 12,1 °C, obtenida de los registros suministrados por el IDEAM. Como se observa en la Figura 3.2-160 la temperatura media en esta estación tiene un comportamiento bimodal con valores superiores a la media entre los meses de marzo a mayo y de octubre a noviembre, con un máximo en los meses de abril y mayo (12,4 °C), y valores iguales o inferiores a la media en el resto del año, con el mínimo en el mes de julio (11,7 °C).

Figura 3.2-160 Estación Climatológica Ordinaria Silos. Histograma Temperatura media mensual multianual. período 1976 – 2006.

3.2.9.1.3 Evaporación

- **Evaporación en la estación Berlín**

En la estación Berlín la evaporación media anual multianual para el período octubre 1978 – mayo 2008 es de 1182 mm, obtenida a partir de los registros suministrados por el IDEAM. A nivel mensual se presenta un comportamiento monomodal en este parámetro, presentándose el período de mayor evaporación en los meses de diciembre a marzo, y un período de menor evaporación entre los meses de abril a noviembre (véase Figura 3.2-161).

Figura 3.2-161 Estación Climatológica Ordinaria Berlín. Histograma Evaporación media mensual multianual. Período 1979 – 2006.

- **Evaporación en la estación Cachimí**

En la estación Cachimí la evaporación media anual multianual para el período febrero 1972 – abril 2006 es de 1175 mm, obtenida a partir de los registros suministrados por el IDEAM. A nivel mensual se presenta un comportamiento bimodal en este parámetro, presentándose dos periodos de mayor evaporación entre los meses de diciembre a abril y de julio a agosto, y dos períodos de menor evaporación entre los meses de mayo a junio y de septiembre a noviembre (véase Figura 3.2-162).

Figura 3.2-162 Estación Climatológica Ordinaria Cachimí. Histograma Evaporación media mensual multianual. Período 1972 – 2006.

- **Evaporación en la estación Vivero Suratá**

En la estación Vivero Suratá la evaporación media anual multianual para el período abril 1972 – abril 2006 es de 1329 mm, obtenida a partir de los registros suministrados por el IDEAM. A nivel

mensual se presenta un comportamiento bimodal en este parámetro, presentándose dos periodos de mayor evaporación entre los meses de diciembre a marzo y de julio a agosto, y dos periodos de menor evaporación entre los meses de abril a junio y de septiembre a noviembre (ver Figura 3.2-163).

Figura 3.2-163 Estación Climatológica Ordinaria Vivero Suratá. Histograma Evaporación media mensual multianual. Período 1972 – 2006.

- **Evaporación en la estación Silos**

En la estación Silos la evaporación media anual multianual para el período febrero 1973 – febrero 1985 es de 955 mm, obtenida a partir de los registros suministrados por el IDEAM. A nivel mensual se presenta un comportamiento bimodal en este parámetro, presentándose dos periodos de mayor evaporación entre los meses de diciembre a marzo y en el mes de agosto, y dos periodos de menor evaporación entre los meses abril a julio y de septiembre a noviembre (véase Figura 3.2-164).

Figura 3.2-164 Estación Climatológica Ordinaria Silos. Histograma Evaporación media mensual multianual. Período 1973 – 1985.

3.2.9.1.4 *Humedad relativa*

- **Humedad relativa en la estación Los Laches**

En la estación Los Laches la humedad relativa media multianual para el período enero 2005 – diciembre 2007 es del 72,8%, obtenida a partir de los registros suministrados por Greystar. A nivel medio mensual los valores históricos máximos y mínimos son de 83,6% (mes de octubre) y 55,1% (mes de noviembre) respectivamente. Se observa también en la Figura 3.2-165 que el régimen es bimodal con un período de igual o mayor humedad relativa media multianual entre los meses de mayo y octubre y en el mes de diciembre, y un período de menor humedad relativa para el resto del año.

Figura 3.2-165 Estación Climatológica Ordinaria Los Laches. Histograma Humedad relativa media mensual multianual. Período 2005 – 2007.

- **Humedad relativa en la estación Berlín**

En la estación Berlín la humedad relativa media multianual para el período febrero 1969 – abril 2006 es del 86%, obtenida a partir de los registros suministrados por el IDEAM. A nivel medio

mensual los valores históricos máximos y mínimos son de 88% (meses de junio y julio) y 83% (meses de enero y febrero) respectivamente. Se observa también en la Figura 3.2-166 que el régimen es monomodal con un período de igual o mayor humedad relativa media multianual entre abril y noviembre, y un período de menor humedad relativa entre diciembre y marzo.

Figura 3.2-166 Estación Climatológica Ordinaria Berlín. Histograma Humedad Relativa media mensual multianual. Período 1969 – 2006.

- **Humedad relativa en la estación Cachirí**

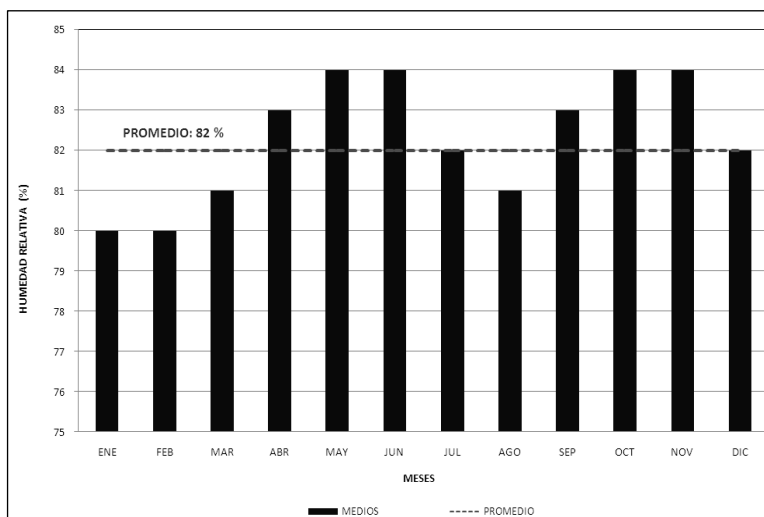
En la estación Cachirí la humedad relativa media multianual para el período abril 1972 – abril 2006 es del 84%, obtenida a partir de los registros suministrados por el IDEAM. A nivel medio mensual los valores históricos máximos y mínimos son de 87% (meses de octubre y noviembre) y 79% (mes de febrero) respectivamente. Se observa también en la Figura 3.2-167 que el régimen es bimodal con un período de igual o mayor humedad relativa media multianual entre los meses de abril a junio y de septiembre a noviembre, y un período de menor humedad relativa para el resto del año.

Figura 3.2-167 Estación Climatológica Ordinaria Cachirí. Histograma Humedad Relativa Media Mensual Multianual. Período 1972 – 2006.

- **Humedad relativa en la estación Vivero Suratá**

En la estación Vivero Suratá la humedad relativa media multianual para el período mayo 1970 – diciembre 2006 es del 82%, obtenida a partir de los registros suministrados por el IDEAM. A nivel medio mensual los valores históricos máximos y mínimos son de 84% (meses de mayo, junio, octubre y noviembre) y 80% (meses de enero y febrero), respectivamente. Se observa también en la Figura 3.2-168 que el régimen es bimodal con un período de igual o mayor humedad relativa media multianual entre los meses de abril a julio y de septiembre a diciembre, y un período de menor humedad relativa para el resto del año.

Figura 3.2-168 Estación Climatológica Ordinaria Vivero Suratá. Histograma Humedad Relativa media mensual multianual. Período 1970 – 2006.



- **Humedad relativa en la estación La Esperanza**

En la estación La Esperanza la humedad relativa media multianual para el período mayo 1979 – marzo 2006 es del 90%, obtenida a partir de los registros suministrados por el IDEAM. A nivel medio mensual los valores históricos máximos y mínimos son de 92% (mes de noviembre) y 89% (mes de agosto) respectivamente. Se observa también en la Figura 3.2-169 que el régimen es bimodal con un período de mayor humedad relativa media multianual entre los meses de febrero a abril y de noviembre a diciembre, y un período de menor humedad relativa para el resto del año.

Figura 3.2-169 Estación Climatológica Ordinaria La Esperanza. Histograma Humedad Relativa media mensual multianual. Período 1979 – 2006.

- **Humedad relativa en la estación H.J.C. GJA**

En la estación H.J.C. GJA la humedad relativa media multianual para el período julio 1995 – septiembre 1999 es del 86%, obtenida a partir de los registros suministrados por el IDEAM. A nivel medio mensual los valores históricos máximos y mínimos son de 89% (meses de febrero y mayo) y 83% (mes de agosto) respectivamente. Se observa también en la Figura 3.2-170 que el régimen es bimodal con un período de mayor humedad relativa media multianual entre los meses de enero a febrero y de abril a junio, y un período de menor humedad relativa para el resto del año.

Figura 3.2-170 Estación Climatológica Ordinaria H.J.C. GJA. Histograma humedad relativa media mensual multianual. Período 1995 – 1999.

- **Humedad relativa en la estación Silos**

En la estación Silos la humedad relativa media multianual para el período enero 1979 – mayo 2006 es del 82%, obtenida a partir de los registros suministrados por el IDEAM. A nivel medio mensual los valores históricos máximos y mínimos son de 84% (meses de mayo, junio y julio) y 76% (mes de enero) respectivamente. Se observa también en la Figura 3.2-171 que el régimen es monomodal con un período de mayor humedad relativa media multianual entre los meses de abril a noviembre, y un período de menor humedad relativa para el resto del año.

Figura 3.2-171 Estación Climatológica Ordinaria Silos. Histograma Humedad Relativa media mensual multianual. Período 1979 – 2006.

3.2.9.1.5 Viento

- **Rosa de los vientos**

A partir de los registros de velocidad y dirección del viento de la estación Climatológica Ordinaria Los Laches para el período 2005 - 2008, se construyó la rosa de vientos (véase Figura 3.2-172), donde se observa que el comportamiento del viento es el siguiente:

Los vientos predominantes son los que vienen del sur - oeste (SW) con una frecuencia del 31,7%; en segundo lugar los que provienen del oeste – suroeste (WSW) con una frecuencia del 15,0%; en tercer lugar oeste (W) con 8,7% y norte (N) con 7,3%. En la Tabla 3.2-79 se observa el rango de velocidades del viento utilizado para la estimación de la rosa de vientos, en donde la velocidad predominante es inferior a 10 km/h, con una frecuencia del 53%.

**Figura 3.2-172 Estación Climatológica Ordinaria Los Laches. Distribución Porcentual del Viento.
Período 2005 – 2008.**

Tabla 3.2-79 Velocidad del viento predominante. Estación climatológica Los Laches.

- **Velocidad**

En la estación climatológica Los Laches, la velocidad media del viento es igual a 10,4 km/h, siendo el mes de diciembre el de mayor valor (13,2 km/h), y el mes de agosto el de menor valor (5,5 km/h). Los vientos medidos en dicha estación tienen dirección predominante sur – oeste todo el año. El período de mayor velocidad media del viento se localiza en los meses de diciembre a abril y de junio a julio, mientras en los meses restantes del año este parámetro está por debajo del promedio. En la Figura 3.2-173 se observa el comportamiento de esta variable a nivel mensual multianual.

Figura 3.2-173 Estación Climatológica Ordinaria Los Laches. Histograma Velocidad del viento media mensual multianual. Período 2005 – 2008.

3.2.9.1.6 Balance hídrico

La cuenca hidrográfica del río Vetas nace en los páramos de San Turban y Romeral, aproximadamente en la cota 4200 msnm, donde presenta un sistema lagunar que da inicio al sistema de drenaje superficial de la cuenca.

La vegetación, suelos y clima dominante corresponden al de páramo, ya que el 61% del área la cuenca se localiza por encima de la cota 3000 msnm, donde se presentan las siguientes características, según la literatura técnica e investigaciones realizadas por diferentes entidades:

- La vegetación presenta características como formar rosetas que sirven de defensa contra viento y frío, el desarrollo de hojas coriáceas que reduce la pérdida de agua por transpiración, la formación de cubiertas de pelos en las hojas para captar el agua de lluvia o de rocío, la permanencia de hojas muertas sobre los tallos que permiten mantener la temperatura, atrapar residuos orgánicos y almacenar agua. De acuerdo con lo anterior se puede concluir respecto a la vegetación, que esta tiene la capacidad de interceptar y retener agua.
- En los suelos de páramo por lo general la retención de agua es significativa, ya que según estudios realizados por la Corporación Autónoma Regional (CAR), en los primeros 30 cm de profundidad, el agua ocupa un volumen considerable respecto al volumen total del suelo. Por lo tanto los suelos se caracterizan por tener altas porosidades y conductividades hidráulicas.

- Los páramos presentan bajas temperaturas y alta nubosidad, por lo tanto la evapotranspiración es reducida y esta es una de las razones del alto rendimiento hídrico de estos hidrosistemas.
- En los páramos colombianos, la humedad se manifiesta por las lloviznas constantes, el rocío y la constante neblina, siendo estos dos últimos otra fuente importante de agua en los hidrosistemas de páramo, ya que generan la precipitación oculta, la cual se refiere al proceso por el cual pequeñas gotas de agua presentes en las nubes o la niebla son movidas por el viento hacia la vegetación, que de acuerdo con las características mencionadas anteriormente, son interceptadas y acumuladas en gotas más grandes que se precipitan, o escurren por la superficie de las plantas o son absorbidas por ellas. Dadas las características de su origen, la precipitación oculta no es registrada en las estaciones de medición de lluvias.

La unión del clima de páramo y las características de vegetación y suelos hace que los hidrosistemas de páramo constituyan unos reguladores naturales de la escorrentía. Algunos autores e investigadores le denominan fábricas o esponjas de agua mostrando su importancia en la escorrentía superficial en época seca.

Teniendo en cuenta las anteriores características de la zona de páramo, y con el fin conocer la distribución del agua dentro de la cuenca del río Vetás hasta la estación Puente Pánega, se realizó el balance hídrico, el cual se basa en el principio de continuidad, resumiéndose mediante la siguiente expresión:

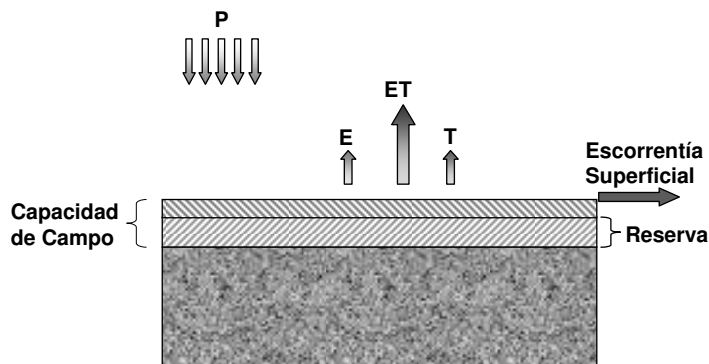
Entradas = Salidas + Almacenamiento

Donde en forma general las entradas corresponden a la precipitación (P) total media de la cuenca, que incluye la precipitación oculta; las salidas corresponden a la combinación de la evaporación (E) y la transpiración (T) de las plantas, denominada evapotranspiración (ET), y a la escorrentía superficial (ES); el almacenamiento corresponde al volumen de agua almacenado en las diferentes capas del subsuelo (S). Teniendo en cuenta las anteriores definiciones la formulación planteada del balance hídrico, es:

$$P = ET + ES + S$$

La cual se representa esquemáticamente la Figura 3.2-174

Figura 3.2-174 Esquema del Balance Hídrico



A continuación se describen detalladamente la metodología utilizada para realizar el balance hídrico en la cuenca del río Vetás hasta la estación Puente Pánega.

El Balance Hídrico se realizó por el método directo, el cual supone que el agua precipitada es almacenada en el suelo y se va perdiendo mes a mes hasta agotar la reserva para poder cubrir las necesidades de agua (evapotranspiración), y adicionalmente generar escorrentía superficial en los meses secos. Dicho Balance consiste en definir a nivel mensual los siguientes parámetros (en mm):

- Precipitación media mensual (P)

La serie de precipitación media mensual sobre la cuenca del río Vetás hasta la estación Puente Pánega, se determinó mediante la metodología de los polígonos de Thiessen.

- Precipitación oculta mensual (P_o)

Teniendo en cuenta que no se tienen mediciones directas, se estimó como el 18% de la precipitación media mensual sobre la cuenca. Dicho porcentaje se estimó mediante la iteración de dicho valor hasta que el balance hídrico cerrara.

En investigación realizada en la Universidad de los Andes, mediante la tesis de postgrado "Hidrología de páramos. Modelación hidrológica de la cuenca alta del río Blanco en AvSWAT 2000", se estimó que en la cuenca alta del río Blanco, localizada en el páramo de Chingaza, la precipitación oculta corresponde al 18% de la precipitación vertical, valor similar al obtenido mediante el presente balance hídrico.

- Evapotranspiración potencial (ETP)

Teniendo en cuenta la altitud media de la cuenca del río Vetás (3151 msnm.), determinada mediante la curva hipsométrica (véase Figura 3.2-175), y la relación establecida entre la altitud y la evapotranspiración potencial (véase Figura 3.2-176), se estimó la

evapotranspiración potencial total anual, cuyo valor es cercano al de la estación Berlin, por lo que se adoptan como representativos de la cuenca.

- Diferencia entre la Precipitación y la Evapotranspiración Potencial (P - ETP)

Es el balance mensual de entradas y salidas potenciales de agua del suelo. Esta diferencia clasifica los meses en secos ($P - ETP < 0$) y en húmedos ($P - ETP > 0$).

- Reserva del suelo (R)

La reserva de agua del suelo es la cantidad de agua que un suelo contiene en un momento dado, dicha reserva varía entre un valor de cero (suelo seco) y la capacidad de campo, la cual corresponde a la cantidad de agua que queda en el suelo después de que un exceso de agua ha drenado, y de que ha disminuido en forma importante el movimiento en profundidad, lo cual ocurre aproximadamente entre 2 y 3 días después de una lluvia sobre un suelo con textura uniforme.

En caso no contar con el valor de la Capacidad de Campo (CC) para la zona de interés, es posible tomar como referencia climática un valor de 100 mm (100 l/m^2).

Figura 3.2-175 Curva hipsométrica cuenca del río Vetás

Figura 3.2-176 Evapotranspiración Potencial vs Elevación. Estaciones climatológicas Berlín, Cachirí y vivero Suratá

En el cálculo del balance hídrico, la reserva del mes "i" (en función de la del mes anterior "i-1") será:

$$\begin{array}{lll} R_i = R_{i-1} + (P_i - ETP_i) & \text{si} & 0 < R_{i-1} + (P_i - ETP_i) < CC \\ R_i = CC & \text{si} & R_{i-1} + (P_i - ETP_i) > CC \\ R_i = 0 & \text{si} & 0 > R_{i-1} + (P_i - ETP_i) \end{array}$$

Como se aprecia en la fórmula, se necesita la reserva del mes anterior para comenzar el cálculo de la reserva, por ello, se supone que en el mes siguiente al más húmedo el suelo se encuentra saturado y por lo tanto la Reserva es igual a la Capacidad de Campo.

- Variación de la Reserva (VR)

Es la diferencia entre la reserva del mes en estudio y la del mes anterior: $VR_i = R_i - R_{i-1}$

- Evapotranspiración Real (ETR)

La ETR es el volumen de agua que realmente se evapotranspira en el mes, dependiendo de que haya suficiente agua disponible para evaporar y así llegar a la ETP o de referencia o no, por tanto, la ETP es siempre mayor o igual que la ETR. El agua disponible para evaporar será la que cae como precipitación en el mes considerado y la que mantiene el suelo.

En el período húmedo, al cubrir la precipitación la demanda potencial la ET real es igual a la potencial; es decir, $ETR_i = ETP_i$.

En el período seco, el agua que se evapora será el agua de precipitación más la que se extrae del suelo ó variación de la reserva (la reserva que queda menos la que se tiene de el mes anterior); es decir, $ETR_i = P_i + |VR_i|$.

- Déficit de agua (D)

Es el volumen de agua que falta para cubrir las necesidades potenciales de agua (para evaporar y transpirar). Por tanto, el déficit de agua es: $D_i = ETP_i - ETR_i$.

- Exceso de agua (Ex)

Es el agua que excede de la Capacidad de Campo y que se pierde por escorrentía superficial o profunda. Por tanto:

$$\begin{aligned} Ex_i &= (P_i - ETP_i - VR_i) & \text{si } (P_i - ET_i) > 0 \\ Ex_i &= 0 & \text{si } (P_i - ET_i) \leq 0 \end{aligned}$$

Como es lógico, sólo puede haber exceso si la precipitación ha compensado previamente la ETP, es decir, en los meses húmedos.

- Total disponible para escorrentía (TDE)

Es el agua disponible en el mes para generar escorrentía superficial o ser retenida en el suelo subsuperficial, teniendo en cuenta el exceso de agua del mes y la retención del subsuelo subsuperficial del mes anterior. Por tanto:

$$TDE_i = RSS_{i-1} + Ex_i$$

- Escorrentía (Q)

Corresponde a la escorrentía superficial del mes, que para la cuenca en estudio, son los registros de caudales de la estación río Vetás – Puente Panega.

- Retención en suelo subsuperficial (RSS)

Corresponde al almacenamiento de agua en el suelo subsuperficial al fin del mes, después de descontar al total disponible para escorrentía la escorrentía. Por tanto:

$$RSS_i = TDE_i - Ex_i$$

Definida la metodología para estimar los parámetros a nivel mensual, se realizó el balance hídrico en la cuenca del río Vetás hasta la estación Puente Pánega, el cual es presentado en la Tabla 3.2-80.

Tabla 3.2-80 Balance hídrico en la cuenca del río vetas hasta la estación Puente Pánega (Valores en mm)

Parámetros	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Capacidad Campo (100 mm)													
Precipitación media	27,9	42,9	67,3	134,2	122,9	58,3	32,4	53,3	96,5	137,1	105,7	47,9	926,1
Precipitación Oculta	4,9	7,5	11,8	23,5	21,5	10,2	5,7	29,1	16,9	4,3	18,5	8,4	162,4
Precipitación total	32,8	50,4	79,1	157,7	144,4	68,5	38,0	82,4	113,4	141,4	124,2	56,2	1088,6
E.T.P	46,8	46,4	45,0	43,1	49,8	50,3	52,7	48,2	47,1	49,1	47,6	49,5	575,6
P-E.T.P	-14,0	4,0	34,1	114,7	94,6	18,3	-14,7	34,2	66,2	92,3	76,6	6,8	513,0
Retención en suelo	86,0	90,0	100,0	100,0	100,0	100,0	85,3	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
Variación de la reserva	-14,0	4,0	10,0	0,0	0,0	0,0	-14,7	14,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E.T.R	46,8	46,4	45,0	43,1	49,8	50,3	52,7	48,2	47,1	49,1	47,6	49,5	575,6
Déficit de agua	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Exceso de agua	0,0	0,0	24,0	114,7	94,6	18,3	0,0	19,5	66,2	92,3	76,6	6,8	513,0
Escorrentía	26,0	27,0	27,0	61,0	68,0	52,0	36,0	30,0	38,0	54,0	59,0	35,0	513,0
Retención subsuperficial	29,9	2,9	0,0	53,7	80,2	46,5	10,5	0,0	28,2	66,5	84,2	55,9	
Reservas	-40,0	-23,0	7,1	53,7	26,6	-33,7	-50,7	4,2	28,2	38,3	17,6	-28,2	0,0

De acuerdo con el anterior cuadro, la precipitación total anual sobre la cuenca del río Vetás hasta la estación Puente Pánega es de 1089 mm, de donde la precipitación oculta corresponde a 162 mm, la evapotranspiración potencial total anual es de 576 mm y la escorrentía total anual es de 513 mm.

Teniendo en cuenta lo anterior, la vegetación, suelos y clima de páramo permiten generar precipitación oculta la cual corresponde al 18% aproximadamente de la precipitación estimada en la cuenca mediante los registros de lluvias de las estaciones.

La reserva o capacidad de campo disminuye solo en dos meses, enero y julio, donde la evapotranspiración potencial es superior a la precipitación total, demostrando la capacidad de almacenamiento y saturación de los suelos de páramo.

El exceso de agua se presenta en los meses comprendidos entre marzo y junio, y agosto y diciembre donde la precipitación es superior a la evapotranspiración.

En los meses de enero, febrero, marzo, junio, julio, agosto y diciembre el exceso de agua es inferior a la escorrentía, por lo tanto la escorrentía se genera por el almacenamiento o retención en el suelo subsuperficial. Demostrando la capacidad de almacenamiento de la vegetación y de los suelos de páramo.

El anterior balance permitió corroborar las características mencionadas de suelos, vegetación y clima de páramo, donde la neblina y el punto de rocío son transformados por la vegetación en precipitación oculta, que con la baja evapotranspiración potencial genera altos volúmenes de exceso de agua, los cuales son almacenados en el suelo ó transportados mediante escorrentía superficial, la cual puede ser superior al volumen precipitado en el mes, lo cual se presenta en la

Figura 3.2-177, en donde se comparan las precipitaciones del mes más seco (enero) con sus respectivos caudales.

Figura 3.2-177 Cuenca río vetas. Relación Precipitación – Caudal mes de enero.

La anterior figura confirma el alto grado de almacenamiento de los suelos de la cuenca y la capacidad de retención de la vegetación hacia la lluvia oculta propia de los páramos, puesto que la corriente del río Vetás no se seca aún cuando se presentan precipitaciones totales del mes inferiores a la evapotranspiración potencial (mes de enero en la cuenca igual a 45 mm).

3.2.9.2 Calidad del aire

El objetivo principal del estudio de calidad de aire, es determinar las condiciones actuales en el área de influencia del proyecto mediante el monitoreo de partículas suspendidas totales (PST), partículas menores a 10 micras (PM_{10}), óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), cianuro, plomo, mercurio y Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC's). Estos parámetros seleccionados permitirán evaluar el efecto que podrá tener el proyecto aurífero sobre la calidad del aire ambiental cuando se inicie la explotación y el beneficio del oro. Para su selección se tuvo en cuenta los parámetros establecidos en los términos de referencia del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT, la legislación nacional vigente (Resolución 601 de 2006) y el Banco Mundial.

Los valores obtenidos en los monitoreos, se deben comparar con los niveles máximos permisibles para contaminantes, mediante el criterio que establece el artículo 4 de la resolución 601 del 4 de abril de 2.006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y el Banco Mundial para minería a cielo abierto.

3.2.9.2.1 Monitoreo de calidad de aire

El área de influencia directa desde el punto de vista de calidad de aire, se define de acuerdo con las afectaciones en la zona de intervención y aproximadamente a 1 km a la redonda, donde se presentarán las mayores afectaciones durante las etapas de operación y construcción de la mina.

El área de influencia indirecta, se define de acuerdo a la afectación por emisión producto de la actividad minera, a una distancia entre 5 y 10 Km a la redonda de la zona de intervención incluyendo las comunidades vecinas, donde se observará el comportamiento de los contaminantes empleando un modelo de dispersión que permitirá definir un área de influencia definitiva.

Las estaciones para la medición de la calidad del aire se seleccionaron teniendo en cuenta la ubicación de comunidades vecinas, la rosa de vientos (dirección y velocidad del viento), la localización de la infraestructura que será construida y las condiciones topográficas.

Las principales comunidades asentadas en el área de influencia se localizan en el cuadrante suroeste de la mina. Hacia el sur se encuentran las poblaciones de Vetás y Berlín; esta última se localiza al sur de Vetás a una distancia aproximada de 12 km.

Hacia el costado sur-occidental se encuentra la población de California muy cerca al área del proyecto a una distancia aproximada de 8 km del pit de explotación. Más hacia el costado occidental se encuentra la población de Suratá a una distancia aproximada de 10 km del pit de explotación.

Hacia el norte del Tajo en el sector de Santander del Norte no se encuentran poblaciones cercanas.

Entre los días 27 de noviembre y 8 de diciembre de 2008 se realizó el monitoreo de calidad de aire, en las cuatro estaciones de muestreo seleccionadas de acuerdo a los criterios ya mencionados, que se presentan a continuación:

Estación 1 – Antena Comcel

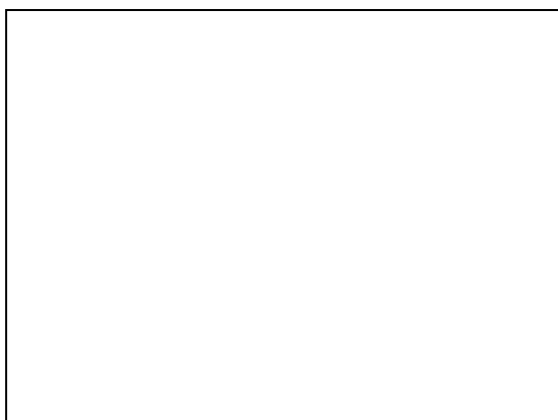
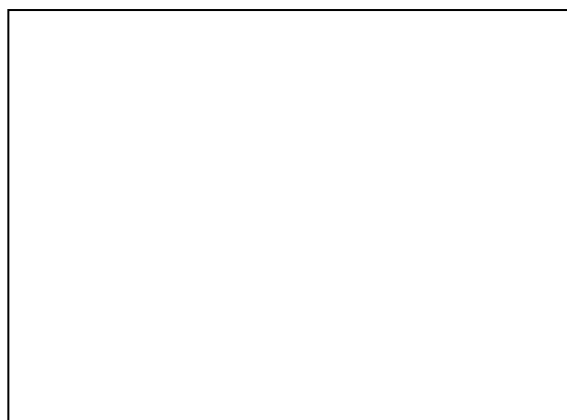
Estación 2 – Casco Urbano del Municipio de California



Estación 3 – Casco Urbano del Municipio de Suratá



Estación 4 – Casco Urbano del Municipio de Vetás



– Metodología de muestreo

Para los diferentes parámetros analizados se tomaron muestras continuas durante 24 horas por doce días continuos de monitoreo. A continuación se presenta una descripción de los equipos y los métodos de análisis empleados en el laboratorio para los diferentes parámetros analizados.

Partículas suspendidas totales

Se utilizó el método gravimétrico, recomendado por la U.S. EPA contenidas en el 40 CFR Part 50, Appendix B, sobre Reference Method for the Determination of Suspended Particulate Matter in the Atmosphere (High Volume Method) instalando muestreadores de alto volumen dotados de portafiltros y casetas de aluminio anonizado. El método de alto volumen (Hi-Vol por sus siglas de inglés) provee una medida de la concentración másica total del material suspendido (TSP) en el aire ambiente.

Un muestreador de aire localizado en el sitio de monitoreo, arrastra una cantidad de aire ambiente a una caja de muestreo y lo hace pasar a través de un filtro, durante un período de muestreo de 24 horas. La velocidad de flujo de muestreo y la geometría de la caja favorecen la recolección de partículas hasta 25 – 50 μm (diámetro aerodinámico), dependiendo de la velocidad y dirección del viento. Los filtros usados deben tener una eficiencia mínima de recolección del 99% para partículas de 0,3 μm .

El filtro se pesa (después de equilibrar la humedad), antes y después de usarlo para determinar el peso (masa) neto ganado. El volumen total de aire muestreado se determina a partir de la velocidad de flujo medida y el tiempo de muestreo. La concentración total de las partículas suspendidas en el aire se calcula como la masa de partículas recolectadas dividida por el volumen de aire muestreado, expresadas en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

La calibración del equipo es necesaria para establecer la trazabilidad de las mediciones de campo a un estándar de transferencia de velocidad de flujo. Al inicio del muestreo, cada uno de los muestreadores de alto volumen fue calibrado mediante la utilización de un equipo marca Hi-Q Environmental Products Company, modelo HFC-XXC, el cual evita el uso de los platos perforados y manómetros de agua utilizados anteriormente.

Después de la calibración se procede a instalar el filtro y poner a funcionar el muestreador al menos 5 minutos para estabilizar las condiciones de temperatura de la corrida, se registra la lectura del indicador de flujo y si esta por fuera del intervalo aceptable (1,1 a 1,7 m^3/min), se deberá usar un filtro diferente o ajustar la velocidad de flujo del muestreador. Después de comprobar estas condiciones se inicia la medición. Pasadas 24 horas de muestreo, se detiene el muestreador y se remueve cuidadosamente el filtro tocando únicamente los extremos, se dobla por la mitad de tal forma que solo las superficies con material particulado recogido estén en contacto y retenidas en el filtro (se envuelve en papel transparente bolsas ziploc o sobres de manila) y se transportan al laboratorio para su análisis.

Se deben tener en cuenta otras condiciones que puedan afectar las mediciones como condiciones meteorológicas, actividades de construcción en el área o fábricas cercanas, fuego o tormentas de polvo etc., esto se incluirá dentro del formato de registro en campo.

Determinación de partículas menores a 10 micras (PM-10)

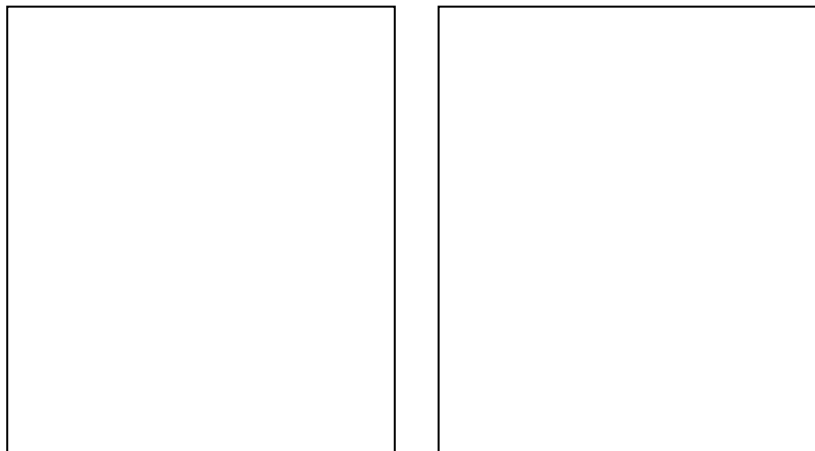
En el monitoreo de partículas menores a 10 micras y la calibración de los equipos de muestreo de alto volumen, se siguen las normas de la U.S. EPA contenidas en el 40 CFR Part 50, Appendix J, sobre Reference Method for the Determination of Particulate Matter as PM_{10} in the Atmosphere y la Norma Técnica Colombiana NTC 3704 del ICONTEC.

Para monitorear las PM_{10} , se utilizan equipos Hi Vol (alto volumen). Para el muestreo de partículas menores a 10 μm se emplean filtros de fibra de cuarzo y un cabezote marca Graseby Ardensen, cuya geometría de diseño, basándose en la inercia de las partículas de gran tamaño, impide que el elemento filtrante reciba material en suspensión con diámetro mayor de 10 μm .

Los equipos cuentan con un dispositivo por medio del cual se corrobora el tiempo de operación y el flujo al que trabajó durante el periodo de monitoreo. La operación de este dispositivo da como resultado cartas de flujo para cada estación (ver Figura 3.2-178).

Se utilizará el mismo método que para PST sólo que para este contaminante el muestreador debe tener un sistema de entrada de aire que cuando se opere dentro del intervalo de velocidad de flujo especificado, provea las características de discriminación de tamaño de partícula reuniendo todas las especificaciones de desempeño esperadas.

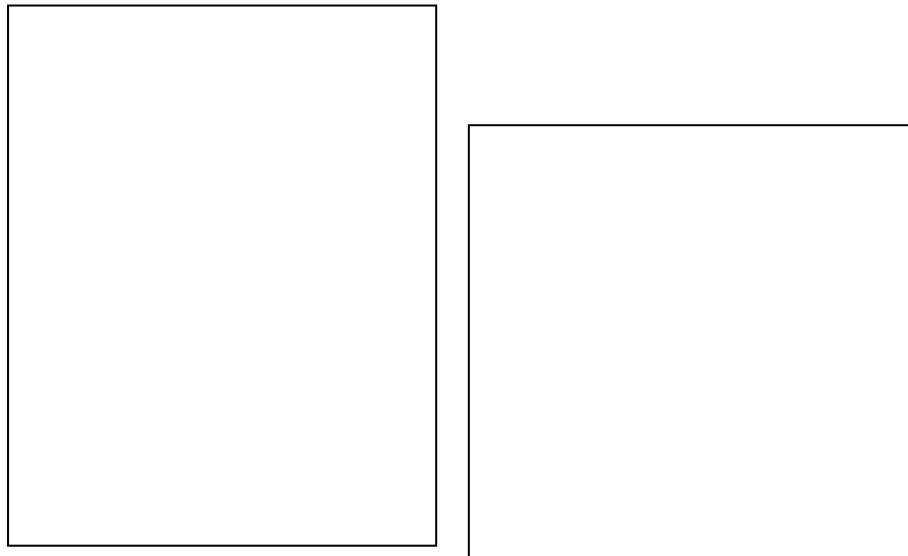
Figura 3.2-178 Equipo Hi Vol



Determinación de óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno

Para el análisis de SO_2 y NO_x se utilizará un equipo muestreador de gases tipo Graseby Andersen, que opera mediante el sistema de burbujeo de la muestra en tubos lavadores, los cuales poseen soluciones absorbentes específicas para estos gases (ver Figura 3.2-179). El cálculo de la concentración en 24 horas se determina mediante el flujo de muestreo, tiempo de operación del muestreador, concentración de SO_2 y NO_x en la muestra y la curva de calibración correspondiente. El flujo requerido, es decir 0,2 l/min, se logra mediante la utilización de orificios críticos, toda vez que la bomba mantenga un vacío mínimo de 500 mm de Hg.

Figura 3.2-179 Equipo muestreador de gases Graseby Andersen



En laboratorio, para el dióxido de azufre, se sigue el método de la Pararosanilina, en el cual la muestra de este contaminante, que ha sido previamente adsorbido en una solución de potasio o de tetracloromercurato de sodio (TCM), es acondicionada para evitar interferencias, en particular de metales y de agentes oxidantes tales como ozono y óxidos de nitrógeno. Posteriormente, la solución es tratada con formaldehído, ácido fosfórico y pararosanilina, con el fin de mantener condiciones adecuadas de pH y de color. La concentración final se determina mediante colorímetro, para lo cual se utilizará un espectrofotómetro marca Milton Roy 20D, a una longitud de onda a 548 nm, con un paso de luz de 1 cm.

Para los NO_x se aplica el método Griess-Saltzman modificado, en el cual se utiliza un reactivo para formar un colorante Azo; el color obtenido en la muestra es medido también en espectrofotómetro a una longitud de onda de 540 nm

Los equipos de muestreo de gases deben ser calibrados para obtener un flujo que se ajuste a la tasa recomendada (entre 180 y 220 ml/min), a efecto de lograr muestras representativas.

El procedimiento consiste en conectar un dispositivo electrónico al tren de succión del equipo y, a través de una lectura digital, se corrobora y gradúa el flujo de succión del muestreador de gases.

Determinación de metales (plomo y mercurio)

Para el monitoreo de estos metales, se seguirá la norma de la U.S. EPA contenida en el 40 CFR Part 50, Appendix G, sobre Reference Method for the Determination of Lead in Suspended Particulate Matter Collected from Ambient Air.

En el laboratorio, los filtros procedentes de los muestreadores de alto volumen son procesados mediante digestión ácida, para la solubilización de los metales capturados como material particulado en suspensión. La determinación se realiza aplicando la técnica de Absorción Atómica, siguiendo los métodos normalizados de generación de hidruros y llama directa para la obtención de la concentración de Mercurio (EPA 7420) y Plomo (EPA 7420), respectivamente.

Determinación de cianuro

Para la determinación de cianuro de hidrógeno y sus sales se sigue el método 7904 dado por la NIOSH en su Manual de Métodos Analíticos (NMAM) por sus siglas en inglés. La metodología consiste en hacer pasar la muestra de aire por un filtro de PVC seguido por un burbujeador de vidrio que contenga 15 ml de una solución 0.1 N de KOH a una tasa de 0.5 a 1 l/min utilizando para ello una bomba graduable. Posteriormente en el laboratorio, se transfiere la solución de KOH a un beaker de 50 ml y se efectúa la determinación mediante la técnica de electrodo de ion específico.

- Reglamentación vigente sobre aire

La norma de calidad del aire para todo el territorio nacional se establece en la Resolución 601 de abril de 2.006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Adicionalmente, se comparan los resultados con los valores de referencia del Banco Mundial. En la Tabla 3.2-81 se indican los niveles máximos permisibles para los diferentes contaminantes.

Tabla 3.2-81 Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio

Contaminante	Unidad	Límite máximo permisible Res.601/06	Límite máximo permisible Banco Mundial	Tiempo de exposición
PST	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	100	-	Anual
		300	-	24 horas
PM ₁₀	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	70	100	Anual
		150	500	24 horas
SO ₂	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	80	100	Anual
		250	500	24 horas
NO _x	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	100	100	Anual
		150	200	24 horas
PLOMO	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,5	-	Anual
MERCURIO	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1	-	Anual
BENCENO	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	5	-	Anual
TOLUENO	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	260	-	Semanal

Nota: $\mu\text{g}/\text{m}^3$: a las condiciones de 25°C y 760 mm Hg

La Resolución 601 establece que para determinar la norma de calidad del aire considerando los valores máximos permisibles para las condiciones locales del área del proyecto, se aplica la siguiente ecuación:

En donde:

- NCL = Norma de calidad local ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 NR = Norma de calidad en condiciones de referencia ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 Pb = Presión atmosférica del lugar (mm Hg)

$$t = \text{Temperatura ambiente del lugar (}^{\circ}\text{C)}$$

Para la corrección de las condiciones locales es necesario conocer la temperatura media de la zona del proyecto y la presión atmosférica. Estos datos son reportados por la estación Los Laches.

Temperatura: 9.5 °C

Presión atmosférica: 477,2 mm Hg

Estos datos, se necesitan para determinar el valor del factor de corrección K, que se aplicará a las normas de calidad del aire, con el fin de obtener las normas locales para el área del proyecto.

El valor de K esta dado por:

$$NCL = NR \times K$$

$$K = \frac{Pb}{760} \times \frac{298}{273 + t} = \frac{477,2}{760} \times \frac{298}{273 + 9,5} = 0,662$$

Las normas locales para el área del proyecto se sintetizan en la Tabla 3.2-82

Tabla 3.2-82 Normas locales de calidad del aire

Contaminante	Unidad	Límite máximo permisible	Tiempo de exposición
PST	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	66,2	Anual
		198,7	24 horas
PM ₁₀	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	46,4	Anual
		99,4	24 horas
SO ₂	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	53	Anual
		165,6	24 horas
NO _x	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	66,2	Anual
		99,4	24 horas
PLOMO	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,33	Anual
MERCURIO	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,66	Anual
BENCENO	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	3,31	Anual
TOLUENO	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	172,2	Semanal

– Análisis de resultados

Con el fin de determinar cuáles de los contaminantes criterio superan los niveles máximos permisibles establecidos en la Resolución 601 de 2006 y por el Banco Mundial, se asume que las actividades desarrolladas durante el tiempo de monitoreo continuarán presentándose a lo largo del año, por lo tanto, se calcula el promedio geométrico para Partículas Suspendidas Totales y aritmético para los demás contaminantes y se compara con el límite máximo permisible para un tiempo de exposición anual, en tanto que, para un tiempo de 24 horas la comparación se realiza con el valor medido durante cada día de monitoreo.

Los resultados de la concentración de los diferentes parámetros monitoreados para las cuatro estaciones de muestreo y la comparación con la normatividad existente se presentan en la Tabla 3.2-87 a Tabla 3.2-98 y en la Figura 3.2-180 a Figura 3.2-192

Partículas Suspendidas Totales (PST)

Tabla 3.2-83 Estación 1 – Antena Comcel. Concentración de partículas suspendidas totales

Figura 3.2-180 Concentración de partículas suspendidas totales.

Tabla 3.2-84 Estación 2 – Casco urbano del municipio de California. Concentración de partículas suspendidas totales

Figura 3.2-181 Concentración de partículas suspendidas totales.

Tabla 3.2-85 Estación 3 – Casco urbano del municipio de Suratá. Concentración de partículas suspendidas totales

Figura 3.2-182 Concentración de partículas suspendidas totales.

Tabla 3.2-86 Casco urbano del municipio de Vetás. Concentración de partículas suspendidas totales

Figura 3.2-183 Concentración de partículas suspendidas totales.

Partículas menores a 10 micras (PM10)

Tabla 3.2-87 Estación 1 – Antena Comcel. Concentración de partículas menores a 10 micras.

Figura 3.2-184 Concentración de partículas menores a 10 micras.

Tabla 3.2-88 Estación 2 – Casco urbano del Municipio de California. Concentración de partículas menores a 10 micras.

Figura 3.2-185 Concentración de partículas menores a 10 micras.

Tabla 3.2-89 Estación 3 – Casco urbano del Municipio de Suratá. Concentración de partículas menores a 10 micras.

Figura 3.2-186 Concentración de partículas menores a 10 micras.

Tabla 3.2-90 Casco urbano del Municipio de Vetas. Concentración de partículas menores a 10 micras.

Figura 3.2-187 Concentración de partículas menores a 10 micras.

Óxidos de azufre (SO₂)

Tabla 3.2-91 Estación 1 – Antena Comcel. Concentración de SO₂

Tabla 3.2-92 Estación 2 – Casco urbano del Municipio de California. Concentración de SO₂

Figura 3.2-188 Concentración de óxidos de azufre (SO₂)

Tabla 3.2-93 Estación 3 – Casco urbano del Municipio de Suratá. Concentración de SO₂

Tabla 3.2-94 Casco urbano del Municipio de Vetás. Concentración de SO₂

Óxidos de Nitrógeno NO_x

Tabla 3.2-95 Estación 1 – Antena Comcel. Concentración de NO_x

Figura 3.2-189 Concentración de óxidos de nitrógeno (NO_x)

Tabla 3.2-96 Estación 2 – Casco urbano del municipio de California. Concentración de NO_x

Figura 3.2-190 Concentración de óxidos de nitrógeno (NOx)

Tabla 3.2-97 Estación 3 – Casco urbano del municipio de Suratá. Concentración de NOx

Figura 3.2-191 Concentración de óxidos de nitrógeno (NOx)

Tabla 3.2-98 Casco urbano del municipio de Vetás. Concentración de NOx

Figura 3.2-192 Concentración de óxidos de nitrógeno (NOx)

Partículas suspendidas totales (PST): Los niveles de concentración de PST encontrados en las estaciones 1, 2 y 3 son característicos de ambientes sanos con bajo contenido de contaminación y con registros muy por debajo de la norma colombiana anual y diaria, que efectuando la corrección

pertinente, para la zona es de 66,23 y 198,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. El Banco Mundial no establece límites máximos permisibles para este contaminante.

El promedio geométrico de PST para estas tres estaciones tiene variaciones entre 17,39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 29,29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, este último se presenta en el casco urbano del municipio de California donde los registros diarios fluctuaron entre 21,58 y 36,24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En la estación ubicada en el casco urbano del municipio de Suratá, los registros diarios variaron entre 6,29 y 31,43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, reportando un promedio geométrico de 21,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En cuanto a la estación 1, los registros diarios oscilaron entre 12,3 y 38,98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con un promedio geométrico de 17,39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

En la estación 4, ubicada en el casco urbano del municipio de Vetás se superó la mayoría de los días el límite máximo para un tiempo de exposición de 24 horas, presentando un promedio geométrico igual a 73,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y valores diarios que oscilaron entre 38,17 y 109,36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Partículas menores a 10 micras (PM10): En las cuatro estaciones de monitoreo se presentaron medias aritméticas que fluctúan entre 3,51 y 7,11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, valores significativamente inferiores a los establecidos en la norma colombiana anual, que efectuando la corrección pertinente, para la zona es de 46,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y el límite establecido por el Banco Mundial (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Los niveles diarios oscilaron de la siguiente manera: entre 0,6 y 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación 1 con una media aritmética de 3,51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Entre 0,87 y 27,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el casco urbano del municipio de California, presentando un promedio de 6,03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Entre 0,74 y 15,23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el casco urbano del municipio de Suratá, registrando un promedio aritmético igual a 7,11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, finalmente, en la estación 4, los registros diarios fluctúan entre 2,06 y 19,62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, reportando un promedio aritmético del orden de 5,21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En ningún caso los niveles diarios superaron los límites establecidos en la norma colombiana, 99,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (con el factor de corrección) ni por el Banco Mundial, 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno. El total de las muestras tomadas para la determinación de SO_2 en las estaciones ubicadas cerca a la antenna Comcel y en el casco urbano de los municipios de Suratá y Vetás, reportaron una concentración No Detectable (ND). En tanto que en la estación 2 se reportaron concentraciones superiores a la No Detectable (8,68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) durante tres de los doce días de monitoreo, con valores que variaron entre 8,74 y 14,487 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, inferiores al límite máximo establecido en la norma diaria colombiana, 165,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con el factor de corrección y por el Banco Mundial (500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), y presentando una media aritmética de 9,35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Las concentraciones de NO_x para las cuatro estaciones registraron valores medios entre 8,69 y 9,19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ que se encuentran muy por debajo de la norma anual de inmisión colombiana y del Banco Mundial que es de 66,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Los valores diarios fluctúan entre 8,60 y 10,87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación 2, entre 9,15 y 10,59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para la estación 3 y entre 8,99 y 10,32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación 4. En el caso de la estación 1 se registraron concentraciones no detectables durante once de los doce días de monitoreo y se reportó un valor de 8,84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Estas concentraciones diarias no superan el valor máximo diario establecido por la norma colombiana ni por el Banco Mundial para este parámetro, 99,4 y 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente.

Metales y Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC's): Las concentraciones de mercurio y plomo se encontraron por debajo del límite de detección, de igual forma el cianuro. Los VOC's detectados por espectrofotometría en una muestra estándar en el laboratorio son Nonano, Benceno, Isooctano, Tolueno, m-xileno, 1,2,4-trimetilbenceno, sin embargo ninguno de estos compuestos fueron detectados en las muestras analizadas.

- **Conclusiones**

En conclusión, la calidad del aire en las zonas cercanas al área del proyecto es buena con concentraciones de partículas y gases muy por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por la normatividad colombiana y por el Banco Mundial, condición característica de ambientes sanos. Solo en la estación ubicada en el casco urbano del municipio de Vetas se reportaron valores de PST superiores, aunque no significativos, al límite máximo diario establecido en la Resolución 601 de 2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, debido posiblemente al mayor tráfico vehicular que se presenta en la vía principal que comunica a Berlín con el Casco Urbano de Vetas por carretera destapada.

3.2.9.3 Ruido

El monitoreo de ruido ambiental se llevó a cabo entre el 30 de noviembre y el 8 de diciembre de 2008, durante 24 horas durante día hábil y festivo. Se localizaron 4 puntos de monitoreo cercanos al área de influencia del proyecto. En la Tabla 3.2-99 se presentan las características de los puntos de muestreo. En el Anexo 3.2.7 se presenta un registro fotográfico del monitoreo.

El objetivo del monitoreo consiste en establecer los niveles de presión sonora del área de influencia del proyecto de acuerdo a la normatividad vigente aplicable (resolución 0627 de 2006) con el fin de comparar los registros generados a partir de las mediciones en campo con los estándares máximos permisibles de niveles de emisión de ruido, de acuerdo al sector donde se efectúa la medición.

Tabla 3.2-99 Características de los puntos de muestreo de ruido ambiental

PUNTO DE MUESTREO	UBICACIÓN GEOGRÁFICA		FECHA DE MONITOREO		DÍA HÁBIL/ FESTIVO	FUENTES DE RUIDO	No. PERSONAS EXPUESTAS
	NORTE	ESTE	INICIO	FINAL			
R1. CAMPAMENTO GREYSTAR	1130692	1308517	04-12-08	05-12-08	Hábil	Voces	Aproximadamente 40 personas
						Personas en tránsito	
						Vehículos (pitos y arranque)	
						Radios de comunicación	
						Música de la portería	
						Viento	
						Hombres en sala de corte	
						Corte de núcleos de muestras	
						Prueba de perforación (13:30 - 14:20) a 50 cm del sonómetro	
						Golpes	
						Bomba	

PUNTO DE MUESTREO	UBICACIÓN GEOGRÁFICA		FECHA DE MONITOREO		DÍA HÁBIL/	FUENTES DE RUIDO	No. PERSONAS EXPUESTAS
			07-12-08	08-12-08	Festivo	Vehículos (arranque y paso) Voces Aves Música del laboratorio de procesamiento de muestras Juegos pirotécnicos especialmente en la noche (7 de Diciembre)	Aproximadamente 20 personas
R2. ESTACIÓN DE POLICÍA CALIFORNIA	1124883	1304449	04-12-08	05-12-08	Hábil	Buses Corneta Gallos Radio de comunicaciones de la policía Caída de agua (manguera) para el lavado de motos Golpes de botas Voces - personas hablando Golpes por arreglo en la fachada de la iglesia	Aproximadamente 30 personas (población flotante) y 7-10 agentes
						Vehículos en tránsito Voces Camioneta Motos	
			07-12-08	08-12-08	Festivo		
			04-12-08	05-12-08	Hábil	Voces (policías) Radios de comunicación Niños jugando ladridos de perros Gritos Entrada de buses Bocinas y pitos	Aproximadamente 15 personas (población flotante) y 10 policías fijos
			07-12-08	08-12-08	Festivo	Música Motos Voces de transeúntes Pitos y cornetas de buses	Aproximadamente 15 personas (población flotante) y 10 policías
R4. VETAS - TERRAZA SEÑOR MOISÉS	1133500	1300000	01-12-08	02-12-08	Hábil	Motos Carros Animales Voces	5 (residentes de la casa) y aproximadamente 30 personas (población)

PUNTO DE MUESTREO	UBICACIÓN GEOGRÁFICA		FECHA DE MONITOREO		DÍA HÁBIL/	FUENTES DE RUIDO	No. PERSONAS EXPUESTAS (flotante)
						Pitos de automotores	
			30-11-08	01-12-08	Festivo	Motos	5 (residentes de la casa)
						Carros	
						Animales	
						Voces	
						Pitos de automotores	
						Campanas	

De acuerdo con la resolución 627 de 2006, para las 4 estaciones seleccionadas se efectuaron mediciones usando el filtro de ponderación frecuencial tipo A, durante 15 minutos continuos, variando la posición del sonómetro cada 3 minutos en sentido norte, sur, oriente, occidente y vertical, registrando datos cada 5 segundos para un total de 180 datos por punto de monitoreo en cada uno de los momentos de la medición.

Los asentamientos poblacionales y la localización de los puntos donde se efectuaron las mediciones de ruido se presentan en el plano PL-MA-CAIRE-001. El área de monitoreo está definida por el sector donde se presume se presentarán las mayores afectaciones durante el desarrollo del proyecto.

3.2.9.3.1 Legislación aplicable

La legislación aplicable es la Resolución 627 de 2006, por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental y cuyos apartes de interés son los siguientes:

Los horarios definidos por la norma son:

- Diurno: de las 7:01 a las 21:00 horas
- Nocturno: de las 21:01 a las 7:00 horas

En la Tabla 3.2-100, se resumen los estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental (E.M.P.N.R.A).

Tabla 3.2-100 Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental expresados en decibeles dB(A)

Sector	Subsector	E.M.P.N.R.A en dB(A)	
		Día	Noche
Sector A. Tranquilidad y Silencio	Hospitales, bibliotecas, guarderías, sanatorios, hogares geriátricos.	55	45
Sector B. Tranquilidad y Ruido	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes.	65	50

Sector	Subsector	E.M.P.N.R.A en dB(A)	
		Día	Noche
Moderado	Universidades, colegios, escuelas, centros de estudio e investigación		
	Parques en zonas urbanas diferentes a los parques mecánicos al aire libre		
Sector C. Ruido Intermedio Restringido	Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas.	75	70
	Zonas con usos permitidos comerciales, como centros comerciales, almacenes, locales o instalaciones de tipo comercial, talleres de mecánica automotriz e industrial, centros deportivos y recreativos, gimnasios, restaurantes, bares, tabernas, discotecas, bingos, casinos.	70	55
	Zonas con usos permitidos de oficinas.	65	50
	Zonas con usos institucionales.		
	Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales.	80	70
Sector D. Zona Suburbana o Rural de Tranquilidad y Ruido Moderado	Residencial suburbana.	55	45
	Rural habitada destinada a explotación agropecuaria.		
	Zonas de Recreación y descanso, como parques naturales y reservas naturales.		

3.2.9.3.2 Análisis de resultados obtenidos

Con base en los datos obtenidos en campo, en la Figura 3.2-193 se compara el nivel de ruido equivalente (Leq) diurno y nocturno medido en dB(A) en las cuatro estaciones de monitoreo de ruido ambiental, con la norma durante día hábil, de igual forma en la Figura 3.2-194 durante día festivo. En la Tabla 3.2-101 se presenta el resumen de los resultados

Tabla 3.2-101 Resumen de resultados – monitoreo de ruido ambiental

Figura 3.2-193 Monitoreo de ruido ambiental - día hábil

Figura 3.2-194 Monitoreo de ruido ambiental - día festivo

De acuerdo con la Figura 3.2-193 durante día hábil y en jornada diurna, solo en la estación ubicada en el campamento Greystar (R1), se supera el límite máximo establecido por la norma (65 dB) considerando la zona como sector B de tranquilidad y ruido moderado. Por el contrario, durante jornada nocturna, en las estaciones ubicadas en los municipios de California, Suratá y Vetas se supera la norma (50 dB), mientras que en R1 se mantiene por debajo de éste límite.

Durante el día festivo en la estación ubicada en el municipio de California (R2-estación de policía) se supera la norma en las dos jornadas de monitoreo. En las estaciones R1, R2 y R3 el estándar máximo permisible de ruido ambiental durante jornada nocturna es superado, sin embargo durante la jornada diurna, los niveles de ruido no superan la norma (ver Figura 3.2-194)

BIBLIOGRAFÍA

Aceros, C y Castellanos, A. (1993). Estudio geológico y metalogénico de la mina Barbacoa, Municipio de California-Santander. Tesis de grado (Geólogo). Universidad Industrial de Santander. UIS. Escuela de Geología. Bucaramanga, 138 p.

Albison, T. (1999). Preliminary fluid inclusion study of three samples from the Angostura deposit, Colombia. Internal report. Greystar Resource.

Albison, T. (2000). Fluid inclusion study of samples B-026115, B-026476, and B-027534 Angostura project, Colombia. Internal report. Greystar Resource.

Allen, J. 1915. Notes on American deer of the genus Mazama. Bulletin American Museum of Natural History. Vol. XXXIV, 1915.

Bird Life International. 2003. BirdLife's online World Bird Database: the site for bird conservation. Version 2.0. Cambridge, UK: BirdLife International. Available: <http://www.birdlife.org> (accessed 24/4/2006)

Carvajal y Rodríguez (1975). "Prospección geofísica y geoquímica en la región de California (Santander)".

Castaño, J. H., D. Corrales & S. Velásquez. 2003. Estructura y composición de la comunidad de murciélagos de un fragmento de bosque andino en la ciudad de Manizales – Caldas. Bol. Cient. Mus. Hist. Nat., U. Caldas., 7: 113-120.

Castaño-Urbe, C. (Ed.). 2002. Páramos y ecosistemas alto andinos de Colombia en condición Hotspot y Global Climatic Tensor. Ministerio del Medio Ambiente. IDEAM. PNUD.

CI -Corponor (2007). Propuesta para la declaración de la Reserva Forestal Sisavita. Convenio de Cooperación científica.

Cooperación Técnica Colombo-Alemana. (1998). Proyecto: Reducción de la contaminación ambiental debida a la pequeña minería en la cuenca del Río Suratá. Informe: Geología y mineralización. Bucaramanga, 48p

Custodio E. & Llamas M.R. (1976). Hidrología Subterránea. Tomo I y II, Pags 2.359. Ediciones Omega, Barcelona.

Davis S.N.& De Weist R.J.M. (1971). Hidrogeología Pags. 563. Ediciones Ariel, Barcelona.

Díaz, L y Guerrero, M. (2006). Asociaciones mineralógicas de las menas auroargentíferas y su distribución espacial en el yacimiento Angostura, Municipio de California- Santander. Tesis de grado (Geólogo). Universidad Industrial de Santander. UIS. Escuela de Geología. Bucaramanga.

Díaz-Piedrahita, S., P. Pedraza, N. García, E. Calderón & G. Galeano. 2004. Frailejones (Espeletiinae). En: Calderón, E., G. Galeano & N. García (eds.). Libro Rojo de Plantas Erhard D. 1995. Guía práctica y teórica para el diseño de un inventario forestal de reconocimiento. Bolfor. Bolivia

Dietrich., R. J., 1993. Biology of the Brocket Deer (Genus Mazama) in Northern Venezuela. Tesis Doctoral. Universität Basel.

Felder, F., (2004). Social Aspects of Developing a Mining Project in an Area of Conflict. Angostura Project –Colombia. Paper presented at Symposium de Oro, Lima, Peru on May 6, 2004.

Felder, F. et al.(2000). Angostura Project, A High Sulphidation Gold Silver Deposit located in the Santander Complex of North Eastern Colombia. Paper presented at Simposio de Oro, Lima, Perú.

Felder, F., Ortiz, G., Campos, C, Monsalve, I., Silva, A. & Horner, J, (2005). Angostura Project, A High Sulfidation Gold-Silver Deposit located in the Santander Complex of North Eastern Colombia. Paper given a the Newgen Conference, Perth, Australia.

Frost, D.R., T. Grant, J. Faivovich, R. Bain, A. Haas, C.F.B. Haddad, R.O. de Sá, S.C. Donnellan, C.J. Raxworthy, M. Wilkinson, A. Channing, J.A. Campbell, B.L. Blotto, P. Moler, R.C. Drewes, R.A. Nussbaum, J.D. Lynch, D. Green & W.C. Wheeler. 2006. The amphibian tree of life. Bulletin of the American Museum of Natural History 297: 1 - 370.

Gallardo, S y Vargas, J. (1993). Geología y geoquímica de los yacimientos filonianos de oro. Mina San Cayetano. Municipio de California-Santander. Tesis de grado (Geólogo). Universidad Industrial de Santander. U IS. Escuela de Geología. Bucaramanga.

GeoMinas S.A. para la Unidad de Planeación Minero Energética – UPME. Ministerio de Minas y Energía. Formulación de una Iniciativa de Producción más Limpia Dirigido al Sector de los Metales Preciosos en Pequeña Escala en Colombia para ser Implementado a Través de los Centros Ambientales Mineros - CAMs – u Otros Instrumentos Técnicos. Medellín – Colombia. Mayo, 2006.

González de Vallejo, L.I. 2002. Ingeniería Geológica. Pag. 507.

Goodman, R.E., Moye, D.G., Van S.A y Javendeli I. 1985. Ground Water Inflows During Tunnel Driving. Bulletin Asoc. Engineering Geologist. Vol. 2, No.1. Publicado por González V. Luis. Prentice Hall.

Hatch Ltd., (2007). Angostura Scoping Study Dated June 2007.

Hegewald, E. y P.C. Silva. 1988. Annotated catalogue of Scenedesmus and nomenclaturally related genera, including original descriptions and figures. Bibliotheca Phycologica 80: 1-587.

Herb,L. et al. (2000). The gold mineralization of Bucaramanga, Colombia-Implications to ore recovery. Applied mineralogy, volume 1.

Hershkovitz, P. 1949. Mammals of northern Colombia. Preliminary report N°. 5: Bats (Chiroptera). Proceedings of the United States National Museum. Smithsonian Institution, U.S. National Museum, 99 (3246):429-454.

-
- Hever, R.E. 1995. Estimating Rock Tunnel Water Inflow. RETC Proceedings. Pag 41-60.
- Heyer, M. A., R. W. Donnelly, L. A. Mcdiarmid, C. Hayek & M.S. Foster. 1994. Measuring and Monitoring Biological Diversity. Standard Methods for Amphibians. The Smithsonian Institution Press, Washington, D.C.
- Hornner J. (2005). Final report "Structural geology and tectonics of the Angostura Project area". Ic consulente.
- Ic Consulente (2008). "Geological, geotechnical and rock mechanical service at Angostura – Interim report".
- Kimmel B.L, O.T. Lind y L.J. Paulson. 1990. Reservoir Primary Production. En: Thornton K.W., B.L. Kimmel y F.E. Payne (Eds). Reservoir Limnology: Ecological Perspectives. John Wiley & Sons, Inc. Toronto, Canada. pp133-193.
- Lohman S.W et al (1970). Definitions of Selected Ground Water Terms. Revision and Conceptual Refinements. USGS, Open File Report. Pags. 54.
- López, J.C. 1997. Manual de Túneles y Obras Subterráneas. Cap. 16. Pag. 554-560.
- Martínez, E. (1991). Geología y evaluación de la mina La Bodega, Municipio de California-Santander. Tesis de grado (Geólogo). Universidad Industrial de Santander. UIS. Escuela de Geología. Bucaramanga.
- Mendoza, H. et al. (1979) Geología y geoquímica del área de California, Santander. Boletín Geológico Ingeominas, vol. 22, pp. 3-52.
- Milton E. H. 1999. Groundwater and Seepage. Dover Books.
- MINERCOL Ltda-Gobernación de Santander. (2002). Adecuación de áreas de pequeña minería aurífera para integración del distrito minero Vetas-California, municipio de California.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución 601 de 2006. Por la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia.
- Ministerio de Energía y Minas - MEM. Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros. Guía para la Evaluación de Impactos en la Calidad del Aire por Actividades Minero Metalúrgicas. Lima – Perú. Septiembre, 2007.
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, 1996. Decreto 1791 de octubre 4 de 1996. Por medio del cual se establece el Régimen de Aprovechamiento Forestal. Bogotá.
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, ACOFORE, OIMT. Guías técnicas para la ordenación y manejo sostenible de los bosques naturales. Junio 2002.
- Parra y Alfonso (2008). "Estudio de las alteraciones hidrotermales del yacimiento Angostura (California, Santander)". Tesis de grado (Geólogo). Universidad Industrial de Santander. UIS. Escuela de Geología. Bucaramanga.
-

Pérez, S y Vargas, J. (1993). Geología y geoquímica de los yacimientos filonianos de oro: Mina San Cayetano. Municipio de California-Santander. Tesis de grado (Geólogo). Universidad Industrial de Santander. UIS. Escuela de Geología. Bucaramanga.

Peters, J. & B. Orejas-Miranda. 1986. Catalogue of Neotropical Squamata Part I. Snakes. Smithsonian Institution Press. Washington. D. C. and London. 331 pp.

Peters, J. & R. Donoso-Barros. 1986. Catalogue of Neotropical Squamata Part II. Lizards and Amphisbaenians. Smithsonian Institution Press. Washington. D. C. and London. 281 pp.

Petra Science Consultants Inc. (2004). Petrographic Report, Angostura Project. Internal report; Greystar Resource.

Petra Science Consultants Inc. (2005). Petrographic Report, Angostura Project. Internal report; Greystar Resource.

Pinto, E. (1991). Geología y evaluación de la mina La Bodega, Municipio de California-Santander. Tesis de grado (Geólogo). Universidad Industrial de Santander. UIS. Escuela de Geología. Bucaramanga, 112p.

Polonia, J. (1982) Mineralizaciones de uranio y otros metales en California, (Santander del Sur). Geología Norandina, No. 6.

Ponce de León-Ch. M.E. 2002 . Marco jurídico colombiano relacionado con los páramos.

Prescott, G.W., H.T. Croasdale y W.C. Vinyard. 1975. A Synopsis of the North American Desmid. Part II. Desmidiaceae : Placodermæ. Section 1. University of Nebraska Press, New York, 274 p.

Prescott, G.W., H.T. Croasdale y W.C. Vinyard. 1977. A Synopsis of the North American Desmid. Part II. Desmidiaceae : Placodermæ. Section 2. University of Nebraska Press, New York, 413 p.

Rangel-Ch. J. O. 1991. Vegetación y ambiente en tres gradientes montañosos de Colombia. Tesis PH-D, Universidad de Ámsterdam, 349, pp. Ámsterdam.

Ruiz Suárez L. G. Longoria R., Hernández F., Segura E. H., Trujillo A., Conde C. Emisiones Biogénicas de Hidrocarburos No-Metano y de Óxido Nítrico en la Cuenca del Valle de México. *Atmósfera* (1999) 12, pp. 89 – 100. México D. F. – México. Agosto, 1998.

Scire, Joseph. Robe, Françoise. Fernau, Mark. Yamartino, Robert. A User's Guide for the CALMET Meteorological Model (Version 5). Earth Tech. Inc. January 2000.

Scire, Joseph. Strimaitis, David. Yamartino, Robert. A User's Guide for the CALPUFF Dispersion Model (Version 5). Earth Tech. Inc. January 2000.

Struckmeir W.F. & Margat J. (1995). Hydrogeological Maps. A Guide and Standard Legend. IAH. Vol 17. Pags 177.

SUAREZ, F.A y HOYOS E. Estadística aplicada al sector agropecuario. Editorial Castillo Ltda. Santafé de Bogotá. Julio de 1996.

Taboada, A., Rivera, L.A., Fuenzalida, A., Cisternas, A. Philip, H., Bijwaard, H., Olaya, J. y Rivera, C. (2000). Geodynamics of the Northern Andes: Subductions and Intracontinental Deformation (Colombia). *Tectonics*, Vol. 19, No. 5.

Timm R. M. & LaVal R. K. 1998. A field key to the bats of Costa Rica. Occasional Publication Series, Number 22, pp. 1-30. Center of Latin American Studies, The University of Kansas. Lawrence, Kansas, USA.

Unidad de Planeación Minero Energética – UPME. Ministerio de Minas y Energía. Producción más Limpia en la Minería del Oro en Colombia. Mercurio, Cianuro y otras Sustancias. Bogotá – Colombia. Octubre, 2007.

Uribe-Hurtado C. 1996. Peces del Llano. Cristina Uribe Editores Ltda. Bogotá. 100 p.

U.S. Environmental Protection Agency. User's guide for the industrial source complex (ISC3) dispersion models. Vol. 1. 1995.

U.S. Environmental Protection Agency. Compilation of Air Pollutant Emission Factors: AP-42, Fifth Edition, Volume I: Stationary Point and Area Source. 1995.

U.S. Environmental Protection Agency. Compilation of Air Pollutant Emission Factors: AP-42, Fifth Edition, Volume I: Stationary Point and Area Source. 1995. Ministerio de Energía y Minas - MEM. Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros. Guía para la Evaluación de Impactos en la Calidad del Aire por Actividades Minero Metalúrgicas. Lima – Perú. Septiembre, 2007

Ward, D., Goldsmith, R., Cruz, J.A., Restrepo, H.A. (1974). Geología de los cuadrángulos H12 Bucaramanga y H13 Pamplona, Departamentos de Norte de Santander y Santander. U.S. Geological survey, Ingeominas. Boletín geológico, vol. 21, No. 1-3.

Wemmer, C. M. 1982.(Ed.). Biology and management of the Cervidae. Reproductive Ecology of White-tailed and Red Brocket Deer in Suriname. Research symposia of the national zoological park, Smithsonian Institution. Pp. 577.

Zúñiga H., Rodríguez J. y Cadena A. 1988. Densidad de poblaciones de pequeños mamíferos en dos comunidades del bosque andino. *Acta Biológica Colombiana* 1: 85-94.

Greystar Resources. (2005). Technical Report for the Angostura Project, Santander Province, Colombia. www.greystarresources.com.

Greystar Resources. (2006). Technical Report for the Angostura Project, Santander Province, Colombia. www.greystarresources.com.

<http://www.ideam.gov.co/>. Visitada en julio de 2008.

ANEXOS

Anexo 3.2.1 SUELOS

REGISTRO FOTOGRÁFICO – TRABAJO DE CAMPO

RESULTADOS DE LABORATORIO

Anexo 3.2.2 HIDROLOGÍA

SERIES HISTÓRICAS DE PRECIPITACIÓN

CURVAS DE DOBLES MASAS

SERIES DE PRECIPITACIÓN HOMOGENEIZADAS – PERÍODO 1971 – 2003

**CAUDALES MEDIOS, MÁXIMOS Y MÍNIMOS MENSUALES ESTACIÓN RÍO VETAS – PUENTE
PÁNEGA**

**ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS DUDOSOS - CAUDALES MÁXIMOS ESTACIÓN RÍO
VETAS – PUENTE PÁNEGA**

CÁLCULO DE AFOROS DE CAUDAL LÍQUIDO

CARTERAS DE CAMPO - AFORO Y CÁLCULO DE CAUDAL

RESULTADOS DE LABORATORIO – SEDIMENTOS

CÁLCULO DE LA CARGA DE SEDIMENTOS DE FONDO – REGISTRO FOTOGRÁFICO

Anexo 3.2.3 CALIDAD DE AGUA

REGISTRO FOTOGRÁFICO – MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA

CERTIFICADO DE ACREDITACIÓN DEL LABORATORIO DAPHNIA Ltda.

RESULTADOS DE LABORATORIO

MATRICES DE RESULTADOS

Anexo 3.2.4 USOS Y USUARIOS DEL AGUA

FICHAS ÚNICAS DE REGISTRO – F.U.R

REGISTRO FOTOGRÁFICO – ZONA 3

**USOS Y USUARIOS REGISTRADOS ANTE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL
PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA**

Anexo 3.2.5 HIDROGEOLOGÍA

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Anexo 3.2.6 CLIMA

SERIES DE VALORES MEDIOS MENSUALES DE TEMPERATURA

SERIES DE VALORES MEDIOS MENSUALES DE HUMEDAD RELATIVA

SERIES DE VALORES TOTALES MENSUALES DE EVAPORACIÓN

SERIE DE VALORES MENSUALES DE VELOCIDAD DEL VIENTO

Anexo 3.2.7 RUIDO

REGISTRO FOTOGRAFICO – MONITOREO DE RUIDO