

FORMULACIÓN
POMCA
RÍO TURBO Y CURRULAO



Plan de Ordenación y Manejo
de la Cuenca Hidrográfica



MINAMBIENTE



MINHACIENDA



Fondo
Adaptación



**TODOS POR UN
NUEVO PAÍS**
PAZ EQUIDAD EDUCACIÓN

FASE DE DIAGNÓSTICO
TOMO I – CLIMA, GEOLOGÍA

MARZO DE 2018

UT POMCA RÍO TURBO -CURRULAO
NIT. 900.933.783-7

DIRECCIÓN DE CORRESPONDENCIA: CARRERA 46 No. 45-34 CC BELLO METRO (BELLO-ANTIOQUIA)



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

REGISTRO DE APROBACIÓN:

Elaboró:	Revisó:	Aprobó:	Fecha:
UT POMCA Río Turbo Currulao	CORPOURABA Consortio POMCAS 2014	CORPOURABA Consortio POMCAS 2014	MARZO DE 2018

EN ETAPA DE PUBLICIDAD



TABLA DE CONTENIDO

3.	CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO BIÓTICO	12
3.1	CLIMA	12
3.1.1	Información meteorológica original y tratada	12
3.1.2	Variabilidad climática	22
3.1.3	Caracterización climática (Temporal y espacial)	34
3.1.4	Balance hídrico de largo plazo	69
3.1.5	Clasificación climática de la cuenca	92
3.1.6	Índice de aridez	95
3.1.7	Conclusiones e identificación de necesidades de información	98
3.2	GEOLOGÍA	101
3.2.1	Antecedentes	102
3.2.2	Insumos utilizados	106
3.2.3	Generalidades de la Cuenca Turbo-Currulao	108
3.2.4	Litoestratigrafía	116
3.2.5	Marco geológico regional	129
3.2.6	Evolución geológica de la cuenca	147
3.2.7	Control de campo	149
3.2.8	Conclusiones geología básica	151
3.2.9	Recomendaciones geología básica	154
3.2.10	Geología para ingeniería	154
3.2.11	Recursos económicos	237
4.	BIBLIOGRAFÍA	246

EN ETAPA DE PUBLICIDAD



ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Estimación curvas IDF.....	45
Ecuación 2. Balance de agua para la atmósfera.....	69
Ecuación 3. Balance de agua para la columna de suelo.....	69
Ecuación 4. Balance de agua para el volumen de control.....	70
Ecuación 5. Balance de agua para la columna.....	70
Ecuación 6. Caudal promedio multianual estimado.....	73
Ecuación 7. Evapotranspiración potencial en mm día-1.....	75
Ecuación 8. Coeficiente de temperatura adimensional.....	75
Ecuación 9. Cálculo del almacenaje de agua útil.....	81
Ecuación 10. Índice de aridez.....	96
Ecuación 11. Relación de Sobre-Consolidación.....	172

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización estaciones meteorológicas.....	16
Figura 2. Resultados gráficos análisis de consistencia precipitación Aeropuerto Los Cedros.....	21
Figura 3. Resultados gráficos análisis de consistencia temperatura media Aeropuerto Los Cedros.....	22
Figura 4. Océano Pacífico tropical a nivel superficial y en profundidad sobre la región de desarrollo del ENSO.....	23
Figura 5. El índice (ONI) Oceanic Niño Index (1950 - 2017).....	24
Figura 6. Regiones de desarrollo y monitoreo del fenómeno El Niño sobre el Océano Pacífico Tropical.....	25
Figura 7. Anomalías de series de precipitación.....	28
Figura 8. Correlación de precipitación vs IOA.....	30
Figura 9. Anomalías de series de temperatura media.....	31
Figura 10. Correlación de temperatura media vs IOA.....	32
Figura 11. Ciclo mensual multianual de la precipitación bajo la influencia del ENSO.....	34
Figura 12. Precipitación total anual registrada en las estaciones pluviométricas y climatológicas.....	35
Figura 13. Isoyetas y rangos de precipitación total multianual.....	37
Figura 14. Régimen mensual de la precipitación.....	38
Figura 15. Distribución mensual de la precipitación en el primer cuatrimestre del año.....	40
Figura 16. Distribución mensual de la precipitación en el segundo cuatrimestre del año.....	41
Figura 17. Distribución mensual de la precipitación en el tercer cuatrimestre del año.....	42
Figura 18. Valores de precipitación máxima en 24 horas.....	43
Figura 19. Salida gráfica del ajuste de funciones de probabilidad a las P _{máx} (Est. Apto. Los Cedros).....	44
Figura 20. Curvas IDF para la estación Turbo (12025040).....	46
Figura 21. Temperatura media anual registrada en las estaciones climatológicas.....	47
Figura 22. Temperatura máxima anual registrada en las estaciones climatológicas.....	47
Figura 23. Temperatura mínima anual registrada en las estaciones climatológicas.....	47
Figura 24. Isotermas y rangos de temperatura promedio multianual.....	49
Figura 25. Isotermas y rangos de temperatura máxima promedio multianual.....	50



Figura 26. Isotermas y rangos de temperatura mínima promedio multianual.....	51
Figura 27. Régimen mensual de la temperatura.....	52
Figura 28. Distribución mensual de la temperatura media en el primer cuatrimestre del año.....	54
Figura 29. Distribución mensual de la temperatura media en el segundo cuatrimestre del año.....	55
Figura 30. Distribución mensual de la temperatura media en el tercer cuatrimestre del año.....	56
Figura 31. Distribución mensual de la temperatura mínima en el primer cuatrimestre del año.....	57
Figura 32. Distribución mensual de la temperatura mínima en el segundo cuatrimestre del año.....	58
Figura 33. Distribución mensual de la temperatura mínima en el tercer cuatrimestre del año.....	59
Figura 34. Distribución mensual de la temperatura máxima en el primer cuatrimestre del año.....	60
Figura 35. Distribución mensual de la temperatura máxima en el segundo cuatrimestre del año.....	61
Figura 36. Distribución mensual de la temperatura máxima en el tercer cuatrimestre del año.....	62
Figura 37. Humedad relativa media anual registrada en las estaciones climatológicas.....	63
Figura 38. Régimen mensual de la humedad relativa.....	64
Figura 39. Valores promedios mensuales multianuales de horas de sol.....	65
Figura 40. Valores máximos mensuales multianuales de horas de sol.....	65
Figura 41. Valores medios de velocidad del viento estación Apto. Los Cedros (12015070).....	66
Figura 42. Rosa de los vientos estación Apto. Los Cedros (12015070).....	67
Figura 43. Evaporación mensual multianual.....	68
Figura 44. Conservación de la masa de agua en la columna del sistema suelo-atmósfera.....	69
Figura 45. Evapotranspiración Potencial y Real estación Turbo (12025040).....	72
Figura 46. Evapotranspiración Potencial y Real estación Apto Los Cedros (12015070).....	72
Figura 47. Isovalores de la Evapotranspiración potencial multianual.....	76
Figura 48. Comportamiento mensual de la Evapotranspiración potencial.....	77
Figura 49. Distribución mensual de la Evapotranspiración potencial en el primer cuatrimestre del año.....	78
Figura 50. Distribución mensual de la Evapotranspiración potencial en el segundo cuatrimestre del año.....	79
Figura 51. Distribución mensual de la Evapotranspiración potencial en el tercer cuatrimestre del año.....	80
Figura 52. Balance hidroclicmático mensual subcuenca río Currulao (1202-01-01).	85
Figura 53. Balance hidroclicmático mensual microcuenca quebrada San Felipe (1202-01-06-02). Fuente: Elaboración propia.....	86
Figura 54. Isovalores de la Evapotranspiración real multianual.....	89
Figura 55. Distribución mensual de la Evapotranspiración real en el primer cuatrimestre del año.....	90



Figura 56. Distribución mensual de la Evapotranspiración real en el segundo cuatrimestre del año.....	91
Figura 57. Distribución mensual de la Evapotranspiración real en el tercer cuatrimestre del año.....	92
Figura 58. Clasificación climática Caldas - Lang. Fuente:	95
Figura 59. Índice de aridez para la cuenca del Río Turbo y Currulao.	97
Figura 60. Mapa topográfico SIGAC 2010-2012 con líneas de vuelo.	107
Figura 61. Procesos básicos de interpretación, partiendo en las imágenes, extrayendo la información en acetato y plasmándola en las planchas cartográficas oficiales.	110
Figura 62. Proceso de digitalización de la información, en este caso ejemplo con lineamientos de la cuenca asociados a pliegues y fallamientos.....	112
Figura 63. Subducción de la Cuenca de Urabá al occidente del Cinturón del Sinú, bajo el Cinturón de San Jacinto, por medio de la Falla de Uramita, en el Golfo de Urabá. ...	116
Figura 64. Columna estratigráfica de la cantera Piedrecitas mostrando una secuencia representativa de la subunidad Pavo inferior.	118
Figura 65. Capas medias a gruesas de arenita de Pavo Inferior 1 en el río Cirilo. Coordenadas 1400191.03N, 706066.19E.	119
Figura 66. Presencia de tallos y raíces oxidadas en la base de las capas. Coordenadas 1389182.083N, 713851.83E	119
Figura 67. Capas de lodolita con alta meteorización. Coordenadas 1394790.33N, 718441.037E	120
Figura 68. Nódulos de siderita en las capas de lodolita. Coordenadas 1391159.92N, 723627.11E.....	120
Figura 69. Capas gruesas de arenitas en la cuenca alta del río Turbo. Coordenadas 1395267.71N, 720742.02E	121
Figura 70. Bioclastos en las capas de arenita y presencia de madrigueras fósiles en las intercalaciones de lodolita. Coordenadas 1395267.71N, 720742.02E.....	121
Figura 71. Capas medianas y planoparalelas de arenitas del paquete basal de la subunidad Pavo Superior. Coordenadas 1395267.51N, 720772.65E.	122
Figura 72. Intercalación de lodolitas y arenitas, representativa del paquete pavo superior. Coordenadas 1413391.17N, 709707.84E.	123
Figura 73. Paquetes de arenita plano paralelos con presencia de estructuras como ondulitas y laminación cruzada. Coordenadas 1486488.39N, 732992.20E.....	123
Figura 74. Capas de lodolita de Ngpi3 en las orillas del río Currulao, cerca de Nuevo Antioquia. Coordenadas 1391832.05N, 724305.74E.....	123
Figura 75. Capas casi verticales de lodolitas arenosas en la vereda Barro Arriba. Coordenadas 1392999.81N, 719532.55E.	124
Figura 76. Capas de arenita de grano medio a grueso con laminación interna. Finca La Lucha. Coordenadas 1392538.55N, 709938.11E.....	124
Figura 77. Estratificación cruzada, calcos de carga, contactos erosivos y deformación del sedimento blando son estructuras representativas de la formación Arenas Monas. Coordenadas 1382192.61N, 716737.30E.....	124
Figura 78. Contacto transicional entre conglomerados y arenita en el río Caraballo. Coordenadas 1382130.74N, 716798.19E.....	125
Figura 83. Niveles de terraza arenosos de los ríos Guadualito y Currulao respectivamente. Coordenadas 1487598.07N, 718997.35E.....	126
Figura 84. Depósitos aluviales antiguos en los valles de los ríos Caraballo y Currulao. Coordenadas 1410039.22N, 705059.60E.....	126



Figura 85. Depósitos coluviales en ladera norte del valle del río Guadualito, este depósito tiene un espesor mayor a 5 m. Coordenadas 1409475.50N, 706587.61E.....	127
Figura 86. Detalle de horizontes con abundancia de bioclastos superficiales y bien conservados, pertenecientes a las terrazas marinas. Coordenadas 1409475.50N, 706587.61E.....	128
Figura 87. Diapiro de lodo en la vereda San Felipe, se observan derrames de material reciente. Coordenadas 1390560.91N, 716195.22E.....	129
Figura 84. Configuración actual de las Placas Suramericana y Caribe con un desplazamiento relativo de 10-22 mm/año, en sentido este-oeste el límite entre los terrenos de Chocó-Panamá y Bloque Andino.	130
Figura 85. Distribución espacial de los eventos sísmicos registrados por la Red Sismológica de Urabá. Son escasos los sismos en las Cuencas de Sinú. San Jacinto.	132
Figura 86. Modelo Digital del Terreno en el sector de Urabá a partir de datos de elevación de estaciones gravimétricas.	133
Figura 87. Mapa Geológico Estructural-Regional del área de Urabá, obtenido a partir de planchas 1:100.000 de INGEOMINAS (1999-2005).	135
Figura 88. Perfil Estructural Transversal del Cinturón del Sinú, en dirección NW-SE entre Necoclí y Tierra Alta.	137
Figura 89. Detalle del sector noroccidental de la geología de la cuenca Turbo-Currulao a escala 1:25000, con principales rasgos estructurales.	138
Figura 90. Detalle del sector occidental de la geología de la cuenca Turbo-Currulao a escala 1:25000, con principales rasgos estructurales.	139
Figura 91. Detalle del sector central de la geología de la cuenca Turbo-Currulao a escala 1:25000, con principales rasgos estructurales.	140
Figura 92. Detalle del sector suroriental de la geología de la cuenca Turbo-Currulao a escala 1:25000, con principales rasgos estructurales.	141
Figura 93. Bloquediagrama de la configuración estructural del norte de la placa suramericana en el oligoceno.	148
Figura 94. Mapa de la cuenca con los recorridos realizados (en verde) durante la campaña de campo.....	151
Figura 95. EG-09A sobre suelos residuales de arcillas muy saturadas de hasta 4m de espesor. Toma de muestra inalterada en tubo PVC de 3" (1063411E - 1375820N) .	156
Figura 96. EG-20 Margen izquierda quebrada afluente de la quebrada Los Indios. Toma de muestra inalterada en tubo PVC de 3" de lodolita meteorizada (1044209E - 1392712N).	156
Figura 97. EG-03 Vía Nacional Apartadó - Turbo. Sector plano estable, fácil de socavar en cuerpos de agua (1047538E - 1379080N).....	156
Figura 98. Empaque y rotulado para embalaje de la muestra inalterada en caja (1047538E - 1379080N).	156
Figura 99. EG-09B sobre la margen derecha del río Currulao, sobre roca. Prueba con martillo Schmidt en lodolita meteorizada (1063309E - 1375915N).	157
Figura 100. EG-33 Talud superior vía, socavación Caimán Viejo. Prueba con penetrómetro en arcillas con resistencia residual (1039189E - 1415538N).	157
Figura 101. Espacialización de los puntos de Exploración Geotécnica - EG.	158
Figura 102. Equipos para ensayos de expansión y consolidación (Labsuelos Santamaría SAS Bogotá).	163
Figura 103. Equipo para ensayos de corte directo (Labsuelos Santamaría SAS Bogotá).	163
Figura 104. Influencia de la Composición Mineralógica en la Plasticidad - Day 1999	169



Figura 105. Estimación de esfuerzo de preconsolidación.	172
Figura 106. Salida cartográfica UGS.	235
Figura 107. Cantera Piedrecita (Aca), ubicada al norte de la Quebrada El Tié, costado derecho de la vía a Necoclí, Estación SMAR_077, PI-79IIA, coordenadas 1.403.162,335N, 705.629,457E.	238
Figura 108. Explotación de materiales para construcción en la cantera Tierrera, Margen derecha quebrada Piedrecitas.	238
Figura 109. Títulos y solicitudes mineras presentes en la cuenca.	239

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Criterios gráficos para determinación de potencial expansivo de suelos... 173	173
Gráfico 2. Criterio de peligrosidad a partir de la expansividad..... 174	174
Gráfico 3. Expansión libre y controlada..... 177	177
Gráfico 4. Porcentaje de expansión libre y presión de expansión..... 178	178
Gráfico 5. Porcentaje de expansión libre y presión de expansión..... 183	183
Gráfico 6. Variación de las propiedades índice con la profundidad, Ngam. 186	186
Gráfico 7. Plasticidad, Ngam. 187	187
Gráfico 8. Humedad y esfuerzo cortante, Ngam. 188	188
Gráfico 9. Esfuerzo normal y esfuerzo cortante, Ngam. 189	189
Gráfico 10. Variación de las propiedades índice con la profundidad, Ngps4. 190	190
Gráfico 11. Plasticidad, Ngps4. 191	191
Gráfico 12. Humedad y esfuerzo cortante, Ngps4. 192	192
Gráfico 13. Esfuerzo normal y esfuerzo cortante, Ngps4. 192	192
Gráfico 14. Variación de las propiedades índice con la profundidad, Ngps3. 194	194
Gráfico 15. Plasticidad, Ngps3. 194	194
Gráfico 16. Humedad y esfuerzo cortante, Ngps3. 195	195
Gráfico 17. Esfuerzo normal y esfuerzo cortante, Ngps3. 196	196
Gráfico 18. Variación de las propiedades índice con la profundidad, Ngps2. 197	197
Gráfico 19. Plasticidad, Ngps2. 198	198
Gráfico 20. Humedad y esfuerzo cortante, Ngps2. 199	199
Gráfico 21. Esfuerzo normal y esfuerzo cortante, Ngps2. 199	199
Gráfico 22. Variación de las propiedades índice con la profundidad, Ngps1. 201	201
Gráfico 23. Plasticidad, Ngps1. 201	201
Gráfico 24. Humedad y esfuerzo cortante, Ngps1. 202	202
Gráfico 25. Esfuerzo normal y esfuerzo cortante, Ngps1. 203	203
Gráfico 26. Variación de las propiedades índice con la profundidad, Ngpi3. 204	204
Gráfico 27. Plasticidad, Ngpi3. 205	205
Gráfico 28. Humedad y esfuerzo cortante, Ngpi3. 206	206
Gráfico 29. Esfuerzo normal y esfuerzo cortante, Ngpi3. 206	206
Gráfico 30. Variación de las propiedades índice con la profundidad, Ngpi2. 208	208
Gráfico 31. Plasticidad, Ngpi2. 208	208
Gráfico 32. Humedad y esfuerzo cortante, Ngpi2. 209	209
Gráfico 33. Esfuerzo normal y esfuerzo cortante, Ngpi2. 210	210
Gráfico 34. Variación de las propiedades índice con la profundidad, Ngpi1. 211	211
Gráfico 35. Plasticidad, Ngpi1. 212	212
Gráfico 36. Humedad y esfuerzo cortante, Ngpi1. 213	213
Gráfico 37. Esfuerzo normal y esfuerzo cortante, Ngpi1. 213	213
Gráfico 38. Variación de las propiedades índice con la profundidad, Qm. 215	215



Gráfico 39. Plasticidad, Qm.	215
Gráfico 40. Variación de las propiedades índice con la profundidad, Qal.	216
Gráfico 41. Plasticidad, Qal.	217
Gráfico 42. Humedad y esfuerzo cortante, Qal.	218
Gráfico 43. Esfuerzo normal y esfuerzo cortante, Qal.	218

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones meteorológicas utilizadas.	14
Tabla 2. Estado de la información de precipitación en cuanto a datos faltantes.	18
Tabla 3. Estado de la información de temperatura en cuanto a datos faltantes.	18
Tabla 4. Estado de la información de humedad relativa en cuanto a datos faltantes. .	18
Tabla 5. Estado de la información de brillo solar en cuanto a datos faltantes.	18
Tabla 6. Estado de la información de evaporación de tanque en cuanto a datos faltantes	19
Tabla 7. Pruebas de homogeneidad y tendencias series de precipitación.	19
Tabla 8. Pruebas de homogeneidad y tendencias series de temperatura media.	20
Tabla 9. Descripción de los Índices Océano Atmosféricos.	26
Tabla 10. Precipitación promedio multianual (mm).	35
Tabla 11. Valores mensuales multianuales de precipitación.	39
Tabla 12. Régimen de la precipitación máxima en 24 horas 43	43
Tabla 13. Lluvias detonantes para diversos periodos de retorno.	44
Tabla 14. Funciones de mejor ajuste de lluvia detonante 45	45
Tabla 15. Precipitación promedio multianual (mm).	48
Tabla 16. Valores mensuales de temperatura media, máxima y mínima 53	53
Tabla 17. Valores mensuales de la humedad relativa.	64
Tabla 18. Valores medios diarios de brillo solar.	65
Tabla 19. Valores máximos absolutos de velocidad del viento.	66
Tabla 20. Frecuencia relativa porcentual de la velocidad del viento.	67
Tabla 21. Valores mensuales de evaporación de tanque 68	68
Tabla 22. Métodos de cálculo de ETP y ETR preliminares empleados en el estudio.	71
Tabla 23. Caudales observados multianuales.	73
Tabla 24. Validación de escogencia del método de ETP cuenca río Guadualito Est. 12027030.	73
Tabla 25. Validación de escogencia del método de ETP cuenca río Currulao Est. 12027040.	74
Tabla 26. Validación de escogencia del método de ETP cuenca río Turbo Est. 12027060.	74
Tabla 27. Evapotranspiración potencial multianual (mm).	75
Tabla 28. Capacidad máxima de almacenamiento de agua por subcuencas.	82
Tabla 29. Capacidad máxima de almacenamiento de agua por microcuenca.	83
Tabla 30. Parámetros balance hídrico mensual subcuenca 1202-01-01.	84
Tabla 31. Evapotranspiración real por subcuenca a nivel mensual.	87
Tabla 32. Caudal medio de largo plazo para subcuencas.	88
Tabla 33. Caudal medio de largo plazo para microcuencas.	88
Tabla 34. Clasificación del clima según Caldas.	93
Tabla 35. Factor de humedad de Lang.	93
Tabla 36. Relación de los climas según la metodología Caldas Lang.	93
Tabla 37. Calificación del Índice de aridez.	96



Tabla 38. Índice de aridez por subcuenca.	97
Tabla 39. Fuentes secundarias utilizadas	104
Tabla 40. Información utilizada para la elaboración de la cartografía geológica detallada de la Cuenca del Río Turbo-Currulao.	106
Tabla 41. Características de las fotografías aéreas (IGAC) sobre el área.	108
Tabla 42: Sitios Exploración Geotécnica – EG	159
Tabla 43. Resumen de Exploración Geotécnica EG por Unidad Geológica.....	162
Tabla 44. Ensayos de laboratorio	163
Tabla 45. Ensayos de Laboratorio Realizados para suelos Edáficos.	164
Tabla 46. Resumen de resultados de laboratorio por unidades geológicas	166
Tabla 47. Índice de Liquidez y comportamiento de suelos	170
Tabla 48. Peso específico. Valores típicos para suelos (Bowles, JE. (1997).	171
Tabla 49. Peso unitario. Valores típicos para suelos.....	171
Tabla 50. Clasificación de acuerdo al grado de Sobreconsolidación.....	172
Tabla 51. Criterios para determinación de potencial expansivo de suelos.	173
Tabla 52. Grado de Expansividad y Valores Medios de Parámetros Geotécnicos.	174
Tabla 53. Resumen de cálculo de expansividad.	175
Tabla 54. Resumen de resultados de expansión controlada	176
Tabla 55. Resumen de resultados de expansión libre.....	177
Tabla 56. Consistencia del suelo en función de la compresión inconfiada.....	179
Tabla 57. Resumen de ensayo de compresión simple	179
Tabla 58. Resumen de ensayo de carga Puntual.	181
Tabla 59. Resumen de ensayo de compactación	182
Tabla 60: Resumen ensayos de Corte Directo.....	183
Tabla 61. Clasificación de resistencia según ISRM.	185
Tabla 62. Dato estadístico – Ngam.....	187
Tabla 63. Resumen ensayos Corte Directo – Ngam.	187
Tabla 64. Resumen pruebas con penetrómetro de bolsillo – Ngam	189
Tabla 65. Resumen pruebas con martillo Schmidt – Ngam.	190
Tabla 66. Dato estadístico – Ngps4.....	191
Tabla 67. Resumen ensayos Corte Directo – Ngps4.....	191
Tabla 68. Resumen pruebas con penetrómetro de bolsillo – Ngps4.	193
Tabla 69. Resumen pruebas con martillo Schmidt – Ngps4.	193
Tabla 70. Dato estadístico – Ngps3	194
Tabla 71. Resumen ensayos Corte Directo – Ngps3.....	195
Tabla 72. Resumen pruebas con penetrómetro de bolsillo – Ngps3.	196
Tabla 73. Resumen pruebas con martillo Schmidt – Ngps3	197
Tabla 74: Dato estadístico – Ngps2.....	198
Tabla 75. Resumen ensayos Corte Directo – Ngps2.....	198
Tabla 76. Resumen pruebas con penetrómetro de bolsillo – Ngps2	200
Tabla 77. Resumen pruebas con martillo Schmidt – Ngps2	200
Tabla 78. Dato estadístico – Ngps1.	202
Tabla 79. Resumen ensayos Corte Directo – Ngps1.....	202
Tabla 80. Resumen pruebas con penetrómetro de bolsillo – Ngps1	203
Tabla 81. Resumen pruebas con martillo Schmidt – Ngps1.	203
Tabla 82. Dato estadístico – Ngpi3.....	205
Tabla 83. Resumen ensayos Corte Directo – Ngpi3.	205
Tabla 84: Resumen pruebas con penetrómetro de bolsillo – Ngpi3.....	207
Tabla 85. Resumen pruebas con martillo Schmidt – Ngpi3	207

EN



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

Tabla 86. Dato estadístico – Ngpi2.....	208
Tabla 87. Resumen ensayos Corte Directo – Ngpi2	209
Tabla 88. Resumen pruebas con penetrómetro de bolsillo – Ngpi2.	210
Tabla 89. Resumen pruebas con martillo Schmidt – Ngpi2	211
Tabla 90. Dato estadístico – Ngpi1.....	212
Tabla 91. Resumen ensayos Corte Directo – Ngpi1	212
Tabla 92. Resumen pruebas con penetrómetro de bolsillo – Ngpi1.	214
Tabla 93. Resumen pruebas con martillo Schmidt – Ngpi1.	214
Tabla 94. Dato estadístico – Qm.....	216
Tabla 95. Dato estadístico – Qal.	217
Tabla 96. Resumen ensayos Corte Directo – Qal.....	217
Tabla 97. Resumen pruebas con penetrómetro de bolsillo – Qal.....	219
Tabla 98. Resumen parámetros geotécnicos de UGS Rblap.	221
Tabla 99. Resumen parámetros geotécnicos de UGS Rmbacam.	222
Tabla 100. Resumen parámetros geotécnicos de UGS Srsalam.	223
Tabla 101. Resumen parámetros geotécnicos de UGS Srslaps4.....	224
Tabla 102. Resumen parámetros geotécnicos de UGS Srsalps3.....	224
Tabla 103: Resumen parámetros geotécnicos de UGS Srslps2.....	225
Tabla 104. Resumen parámetros geotécnicos de UGS Srsaps1.	226
Tabla 105. Resumen parámetros geotécnicos de UGS Srsalpi3.....	227
Tabla 106. Resumen parámetros geotécnicos de UGS Srslpi2.....	228
Tabla 107. Resumen parámetros geotécnicos de UGS Srsapi1.....	229
Tabla 108. Resumen parámetros geotécnicos de UGS Stalar.	229
Tabla 109: Resumen parámetros geotécnicos de UGS Stcpa.	231
Tabla 110: Resumen descripción de UGS.....	232
Tabla 111. Recursos minerales presentes en la Cuenca Río Turbo-Currulao.....	237
Tabla 112. Títulos mineros vigentes es la Cuenca Río Turbo-Currulao.....	239
Tabla 113. Solicitudes mineras.....	241

EN ETAPA DE FORMULACIÓN



3. CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO BIÓTICO

3.1 CLIMA

El componente climático del POMCA del Río Turbo - Currulao tiene como objetivo principal la recopilación, análisis y tratamiento estadístico de la información histórica registrada en las estaciones meteorológicas operadas por el IDEAM, representativas dentro de un contexto regional. Las principales variables que describen el clima en la cuenca en ordenación y que fueron objeto de caracterización son: temperatura media, mínima y máxima absoluta, precipitación media anual y mensual, precipitación máxima en 24 horas, número de días con lluvias, humedad relativa, viento (dirección y velocidad), brillo solar y evaporación.

La caracterización del régimen climático de la cuenca es de gran importancia para determinar la posibilidad de desarrollar cualquier tipo de actividad en el territorio, de tal manera que sea la base para realizar cada labor de forma exitosa, teniendo en cuenta el efecto que el clima tiene sobre ella.

La variabilidad climática se abordó con la identificación de las anomalías de variables como precipitación y temperatura para condiciones Interanuales y su correlación lineal con Índices Océano Atmosféricos, identificando periodos con déficit y excesos extremos en la cuenca en ordenación. Los lineamientos metodológicos seguidos fueron los presentados en el ENA 2014 (IDEAM, 2015), orientado a identificar la variabilidad climática a escala Interanual, por ejemplo, con el análisis de la secuencia temporal de anomalías de la temperatura de la superficie del mar (Sea Surface Temperature SST por sus siglas en inglés) de acuerdo a (NOAA, 2009), estos periodos tienen diferente intensidad y duración que caracterizan los fenómenos asociados al ciclo El Niño, La Niña - Oscilación del Sur (ENSO).

La zonificación climática se realizó siguiendo la metodología estándar para Colombia de Caldas Lang, previa espacialización de variables como precipitación y temperatura promedio anual. La derivación de balances hídricos de largo plazo tuvo como variable de calibración la Evapotranspiración (Potencial y/o Real) obtenida por 10 metodologías diferentes, validando los caudales resultantes con los registros históricos de caudales en las estaciones hidrológicas existentes.

Con la obtención de la Evapotranspiración potencial y real más adecuada para las condiciones regionales de la cuenca, se obtuvo el índice de aridez y se calculó el balance hídrico a resolución mensual por cada unidad hidrográfica (subcuenca y microcuenca abastecedora), involucrando la capacidad máxima de almacenamiento del suelo (CMA) derivada del estudio de suelos.

A continuación, se presenta el desarrollo del componente clima según los requerimientos del anexo técnico emitidos por el Fondo Adaptación y lo establecido por el (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

3.1.1 Información meteorológica original y tratada

El análisis de las variables del clima para el POMCA Río Turbo - Currulao, se realizó con información registrada en las estaciones operadas por el IDEAM. Previamente en la fase



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

de aprestamiento de este estudio, se hizo una selección de 28 estaciones pluviométricas y climatológicas potenciales en una amplia ventana cartográfica, que podrían usarse en el desarrollo de la fase de diagnóstico, sin embargo y luego de realizar una depuración en cuanto a información faltante y calidad de registros, se redujo a 9 estaciones de tipo: pluviométricas - PM (3), agrometeorológica AM (1), climatológica principal CP (1), climatológicas ordinarias CO (3), sinóptica principal SP (1).

La Tabla 1 relaciona el listado de estaciones con información disponible para la ventana cartográfica seleccionada, se describe el código y nombre de la estación, el tipo, corriente o cuenca, las coordenadas planas origen oeste, elevación y el periodo en años de registro de los datos disponibles. En el [Anexo 36](#) se pueden consultar los datos originales a nivel mensual y diario.

EN ETAPA DE PUBLICIDAD



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

Tabla 1. Estaciones meteorológicas utilizadas.

ESTACIÓN	CÓDIGO	TIPO	PARÁMETRO	DATO	COORDENADAS DATUM MAGNAS SIRGAS ORIGEN OESTE		ELEV. (msnm)	CORRIENTE	ENTIDAD	PERIODO DE DATOS
					Norte	Este				
EUPOL	12010100	PM	PP Total PP Max 24 hr N° días con lluvia	Diaria/Mes	1050732	1371254	40	RIO GRANDE	IDEAM	1977 - 2015
PRADO MAR	12010110	PM	PP Total PP Max 24 hr N° días con lluvia		1048397	1375905	38	CNO VIEJO	IDEAM	1977 - 2015
UNIBAN	12015020	AM	PP Total PP Max 24 hr N° días con lluvia Evaporación Temperatura Max Temperatura Med Temperatura Min Humedad Relativa Brillo Solar	Diaria/Mes	1046997	1358057	23	ZUNGO	IDEAM	1977 - 2015
TULENAPA	12015060	CO	PP Total PP Max 24 hr N° días con lluvia Evaporación Temperatura Max Temperatura Med Temperatura Min Humedad Relativa Brillo Solar	Diaria/Mes	1046329	1352289	30	CAREPA	IDEAM	1982 - 2014
APTO LOS CEDROS	12015070	SP	PP Total PP Max 24 hr N° días con lluvia Temperatura Max Temperatura Med Temperatura Min Humedad Relativa Brillo Solar Velocidad viento	Diaria/Mes	1039670	1357057	19	VIJAGUAL	IDEAM	1983 - 2015



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

ESTACIÓN	CÓDIGO	TIPO	PARÁMETRO	DATO	COORDENADAS DATUM MAGNAS SIRGAS ORIGEN OESTE		ELEV. (msnm)	CORRIENTE	ENTIDAD	PERIODO DE DATOS	
					Norte	Este					
PUEBLO BELLO	12020010	PM	Dirección viento								
			PP Total	Diaria/Mes	1060911	1399822	79	MULATOS	IDEAM	1974 - 2015	
			PP Max 24 hr								
MELLITO EL	12025030	CO	Nº dias con lluvia								
			PP Total	Diaria/Mes	1044583	1437429	10	MULATOS	IDEAM	1983 - 2015	
			PP Max 24 hr								
TURBO	12025040	CO	Nº dias con lluvia								
			Evaporación								
			Temperatura Max								
REPRESA URRÁ	13015040	CP	Temperatura Med								
			Temperatura Min								
			Humedad Relativa								
TURBO	12025040	CO	Brillo Solar								
			PP Total	Diaria/Mes	1039808	1387516	37	TURBO	IDEAM	1984 - 2011	
			PP Max 24 hr								
REPRESA URRÁ	13015040	CP	Nº dias con lluvia								
			Evaporación								
			Temperatura Max								
REPRESA URRÁ	13015040	CP	Temperatura Med								
			Temperatura Min								
			Humedad Relativa								
REPRESA URRÁ	13015040	CP	Brillo Solar								
			PP Total	Diaria/Mes	1096280	1378870	300	SINU	IDEAM	2005 - 2015	
			PP Max 24 hr								

Fuente: Elaboración propia.



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

En la **iError! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta la distribución e espacial de las estaciones pluviométricas y climatológicas con disponibilidad de información. Desde ya se advierte la falta de información meteorológica dentro del polígono de la cuenca a ordenar. La estación Turbo (12025040) representativa de la región, se encuentra suspendida desde el año 2011. Esta situación se cataloga como una potencial problemática de la cuenca.

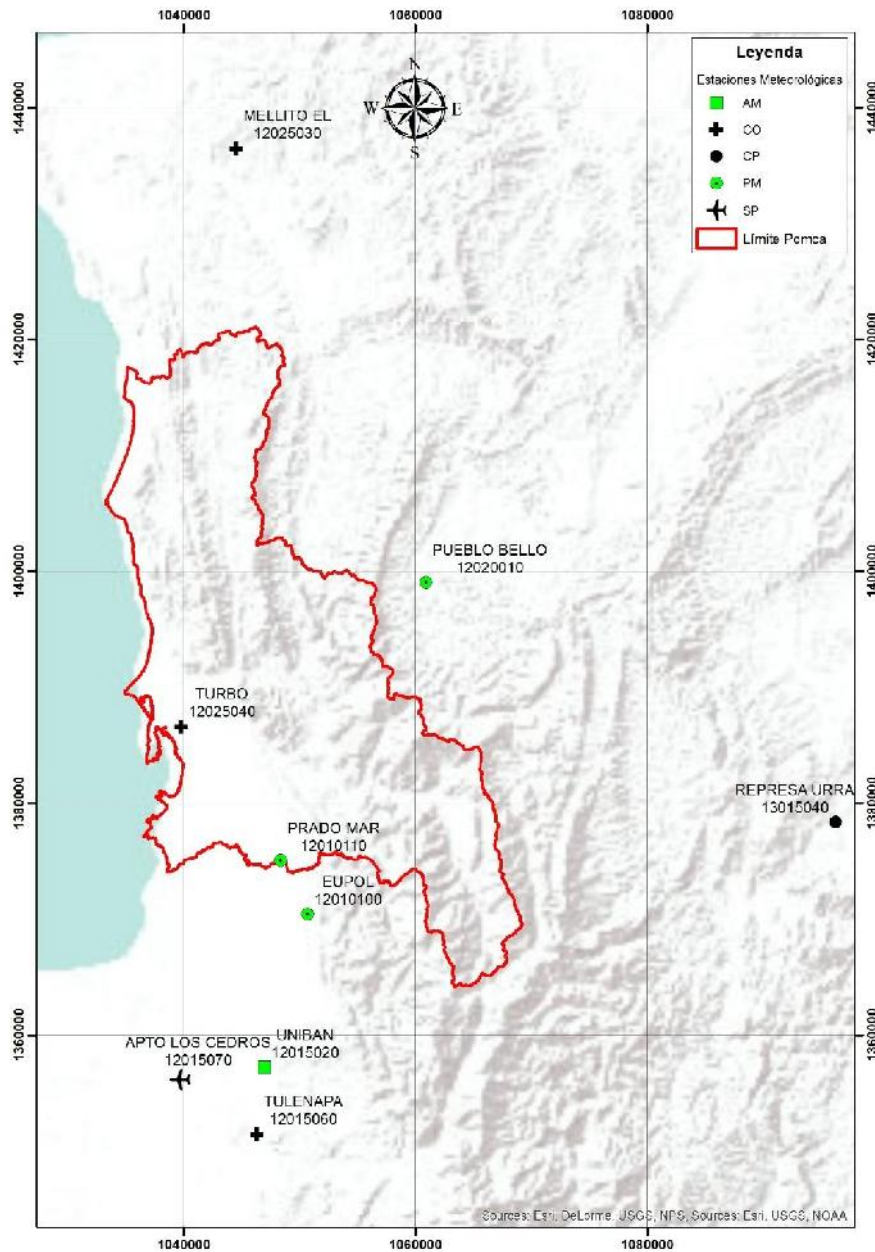


Figura 1. Localización estaciones meteorológicas.
Fuente: Elaboración propia.



3.1.1.1 Análisis de consistencia de la información

Como indicador de calidad de las series de tiempo, se adoptó lo establecido por la Guía de Prácticas Climatológicas N° 100 (World Meteorological Organization, 2011) que recomienda: no se calculará un valor mensual si faltan más de 10 valores diarios, o 5 ó más valores diarios consecutivos. De igual forma, para el promedio de los datos climáticos, la Guía recomienda emplear estaciones con 10 años o más de registros. Adicionalmente como criterio de experto, se establece un umbral del 30% de datos faltantes para determinar el uso o descarte de la información de acuerdo con el parámetro y el tipo de dato que se esté analizando.

Los factores que pueden perturbar las condiciones de homogeneidad de una serie meteorológica pueden estar relacionados con cambios en las tecnologías de medición, los procedimientos de toma de registros y/o por cambios en los procesos naturales que gobiernan el régimen climático en determinada región (variabilidad climática).

El análisis de homogeneidad estadística tiene las siguientes etapas: 1) Formulación de la hipótesis nula, 2) Formulación de la hipótesis alternativa, 3) Definición del nivel de significación de la prueba y del dominio de rechazo de la hipótesis nula y 4) Validación o rechazo de la hipótesis nula. Existen varias pruebas para establecer la homogeneidad de series. Para los efectos de este estudio, se emplearon las pruebas de Student, Mann & Whitney y de Fisher (también conocidas como prueba t y prueba F). Estas pruebas revisan la hipótesis nula sobre la igualdad de las medias ($\bar{Q}_1 = \bar{Q}_2$) y las varianzas ($\sigma_{Q_1} = \sigma_{Q_2}$). Como hipótesis alternativa se puede proponer la diferencia de las medias ($\bar{Q}_1 \neq \bar{Q}_2$) y las varianzas ($\sigma_{Q_1} \neq \sigma_{Q_2}$) (Haan, C. T. (Charles Thomas), 1941, 2002).

Adicionalmente a las pruebas de homogeneidad, se realizó una fase exploratoria con control de calidad gráfico para detectar tendencias (masas simples) y datos anómalos (outlier). Luego de esta identificación, se evaluaron test estadísticos relacionados con pruebas de puntos fuera de rangos (2 a 5 desviaciones estándar), prueba del rango o Dixon, rango normalizado para un nivel de significancia estadística - Alpha = 0,05 y prueba de Grubbs. En cuanto a las pruebas empleadas para la identificación estadística de tendencias, se citan las pruebas: prueba T para tendencias lineales y prueba de Hotelling – Pabst. Estos procedimientos pueden ser consultados en el [Anexo 29](#) y [Anexo 30](#).

A continuación, se presenta el porcentaje de datos faltantes por parámetro climático registrados en las estaciones seleccionadas, los análisis se fundamentan en datos diarios, los cálculos mensuales y anuales son agregaciones particulares de cada serie.

De la Tabla 2 a la Tabla 6, se puede observar el porcentaje de datos faltantes para los parámetros: precipitación, temperatura, humedad relativa, brillo solar y evaporación de tanque. La velocidad y dirección del viento sólo es registrada en la estación Aeropuerto Los Cedros (12015070), su porcentaje de datos faltantes para el periodo de 1984 a 2006 es del 39 %; por ser la única estación que registra estos parámetros, necesarios para la elaboración de la rosa de los vientos, se aceptó dicha serie.



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

Tabla 2. Estado de la información de precipitación en cuanto a datos faltantes.

DATOS FALTANTES DIARIOS	PRECIPITACIÓN								
	12010100	12010110	12020010	12025030	12025040	12015070	12015020	12015060	13015040
Año inicio	1977	1977	1974	1983	1984	1983	1977	1982	2005
Año fin	2015	2015	2015	2015	2011	2015	2015	2014	2015
Total Años	34	39	42	29	24	32	38	30	11
Datos esperados	14.054	14.050	15.340	11.780	9.812	11.748	14.032	11.564	4.017
Días registrados	12.783	13.811	15.323	10.566	8.459	11.689	13.549	10.812	3.978
Datos faltantes	1.271	239	17	1.214	1.353	59	483	752	39
% Datos faltantes	9,0%	1,7%	0,1%	10,3%	13,8%	0,5%	3,4%	6,5%	1,0%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Estado de la información de temperatura en cuanto a datos faltantes.

DATOS FALTANTES DIARIOS	TEMPERATURA					
	12015020	12015060	12015070	12025030	12025040	13015040
Año inicio	1979	1982	1983	1983	1985	2005
Año fin	2015	2014	2015	2015	2011	2015
Total Años	37	33	33	33	26	11
Datos esperados	13.514	11.565	11.747	11.744	9.643	4.017
Días registrados	11.678	9.586	10.777	8.967	7.106	3.732
Datos faltantes	1.836	1.979	970	2.777	2.537	285
% Datos faltantes	13,6%	17,1%	8,3%	23,6%	26,3%	7,1%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Estado de la información de humedad relativa en cuanto a datos faltantes.

DATOS FALTANTES DIARIOS	HUMEDAD RELATIVA					
	12015020	12015060	12015070	12025030	12025040	13015040
Año inicio	1979	1982	1983	1983	1985	2005
Año fin	2015	2014	2015	2015	2011	2015
Total Años	37	33	32	33	26	11
Datos esperados	13514	11565	11747	11744	9643	4017
Días registrados	10643	8678	10752	8364	5459	3343
Datos faltantes	2871	2887	995	3380	4184	674
% Datos faltantes	21,2%	25,0%	8,5%	28,8%	43,4%	16,8%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Estado de la información de brillo solar en cuanto a datos faltantes.

DATOS FALTANTES DIARIOS	BRILLO SOLAR				
	12015020	12015060	12015070	12025030	13015040
Año inicio	1979	1982	1983	1983	2005
Año fin	2013	2010	2015	2013	2015
Total Años	34	29	33	31	11
Datos esperados	12.600	10.342	11.594	10.805	3.925
Días registrados	10.954	8.899	10.277	8.703	3.403
Datos faltantes	1.646	1.443	1.317	2.102	522
% Datos faltantes	13,1%	14,0%	11,4%	19,5%	13,3%

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 6. Estado de la información de evaporación de tanque en cuanto a datos faltantes

DATOS FALTANTES DIARIOS	EVAPORACIÓN DE TANQUE			
	12015020	12015060	12025030	13015040
Año inicio	1979	1983	1992	2005
Año fin	2015	2013	2015	2015
Total Años	32	27	19	11
Datos esperados	13.514	11.564	8.797	4.017
Días registrados	10.572	9.219	6.117	3.614
Datos faltantes	2.942	2.345	2.680	403
% Datos faltantes	21,8%	20,3%	30,5%	10,0%

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con lo anterior, las estaciones utilizadas para el análisis del componente climatológico se ajustan a los estándares de cantidad de información requerida, excepto la estación Turbo (12025040), para el parámetro humedad relativa.

Los análisis de consistencia en cuanto a homogeneidad, tendencias y valores anómalos fueron aplicados a las series de precipitación y temperatura, con el fin de establecer la calidad y confiabilidad de los registros, teniendo en cuenta que estas variables caracterizan el estado del tiempo atmosférico y son base para el análisis de los procesos hidroclimatológicos en las cuencas.

La exploración de los datos se efectuó para resoluciones temporales mensuales y anuales, con el objetivo de identificar los registros consistentes y aquellos que deben ser descartados porque pueden ser datos anómalos. En la Tabla 7 se presenta el resultado de los test estadísticos que evidencian cambios en media o varianza y tendencias para la precipitación. Para la hipótesis de tendencia se indica si hay tendencia (T) o si no hay tendencia (NT).

Tabla 7. Pruebas de homogeneidad y tendencias series de precipitación.

CÓDIGO	ESTACIÓN	PRUEBAS DE TENDENCIA		PRUEBAS DE CAMBIO EN LA MEDIA			PRUEBAS DE CAMBIO EN LA VARIANZA	
		Prueba T	Hotelling-Pabst	Prueba T simple	Mann & Whitney	Año	Prueba F simple	Año
12010100	EUPOL	NT	NT	Aprueba	Rechaza	2011	Aprueba	2011
12010110	PRADO MAR	NT	NT	Aprueba	Aprueba	2013	Rechaza	
12015020	UNIBAN	NT	NT	Aprueba	Aprueba	1992	Rechaza	
12015060	TULENAPA	NT	NT	Aprueba	Aprueba	1987	Aprueba	1987
12015070	APTO LOS CEDROS	NT	NT	Rechaza	Aprueba	2004	Rechaza	
12020010	PUEBLO BELLO	NT	NT	Aprueba	Aprueba	1992	Rechaza	
12025030	MELLITO EL	NT	NT	Aprueba	Aprueba	2006	Aprueba	2003
12025040	TURBO	NT	NT	Rechaza	Rechaza		Rechaza	
13015040	REPRESA URRÁ	NT	NT	Rechaza	Rechaza		Rechaza	

Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados obtenidos, se infiere que ninguna de las estaciones presenta tendencia (positiva o negativa); aunque hayan cambios en media y varianza para diversos periodos, éstos pueden deberse a falta de registros, cambios debido a fenómenos macroclimáticos tipo (ENSO), entre otros; de acuerdo a estos resultados no es pertinente realizar un tratamiento a las series de precipitación con técnicas de no estacionariedad para ajustes de funciones de probabilidad, la obtención de lluvias



extremas basadas en registros de precipitación máxima en 24 horas o curvas IDF (Intensidad Duración Frecuencia), pueden ser tratadas con técnicas empíricas de uso común en el argot científico.

En la Tabla 8 se presenta el resumen de los test estadísticos que evidencian cambios en media o varianza y tendencias para la temperatura media.

Tabla 8. Pruebas de homogeneidad y tendencias series de temperatura media.

CÓDIGO	ESTACIÓN	PRUEBAS DE TENDENCIA		PRUEBAS DE CAMBIO EN LA MEDIA			PRUEBAS DE CAMBIO EN LA VARIANZA	
		Prueba T	Hotelling-Pabst	Prueba T simple	Mann & Whitney	Año	Prueba F simple	Año
12015020	UNIBAN	NT	NT	Rechaza	Aprueba	2013	Aprueba	1984
12015060	TULENAPA	NT	NT	Aprueba	Aprueba	2001	Aprueba	2008
12015070	APTO LOS CEDROS	T (+)	T (+)	Aprueba	Aprueba	2007	Rechaza	
12025030	MELLITO EL	T (+)	T (+)	Aprueba	Aprueba	2005	Aprueba	2005
12025040	TURBO	T (+)	T (+)	Aprueba	Aprueba	1997	Rechaza	
13015040	REPRESA URRRA	NT	NT	Aprueba	Aprueba	2012	Rechaza	

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos de las pruebas de tendencias, las estaciones Aeropuerto Los Cedros (12015070), El Mellito (12025030) y Turbo (12025040), presentan tendencia positiva en los registros de temperatura media, este hallazgo, sumado a los escenarios de cambio climático desarrollados por el IDEAM (2015) indican que habrá modificaciones sustanciales en las temperaturas, las precipitaciones y un aumento del nivel del mar en la región. Se proyecta que la temperatura del Urabá antioqueño, aumente entre 1,2°C (en la zona andina del territorio) y 1,9°C (en los municipios de norte y centro de la región) al año 2070.

Se seleccionó la estación Aeropuerto Los Cedros para ejemplificar, el análisis de consistencia de la información de precipitación y temperatura que puede ser revisado en mayor detalle en el [Anexo 29](#) y [Anexo 30](#) Análisis de consistencia.

- Estación Aeropuerto Los Cedros (12015070).

Es una de las estaciones que registra la mayor cantidad de parámetros climáticos y posee series completas de información histórica desde 1984 a la fecha. En la Figura 2, se puede observar que el régimen de precipitación no presenta ningún tipo de tendencias, los valores destacados como outliers en 5 meses del año, fueron solo considerados dudosos por el test estadístico pero validados según el análisis realizado a la serie diaria de lluvia. La curva de masas simple no tiene ningún cambio o sobre salto en su linealidad. Finalmente, el cambio en el valor promedio del año 2004 no es muy significativo entre periodos, sin embargo, el test de cambio en la media, lo valida estadísticamente según la hipótesis nula.



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

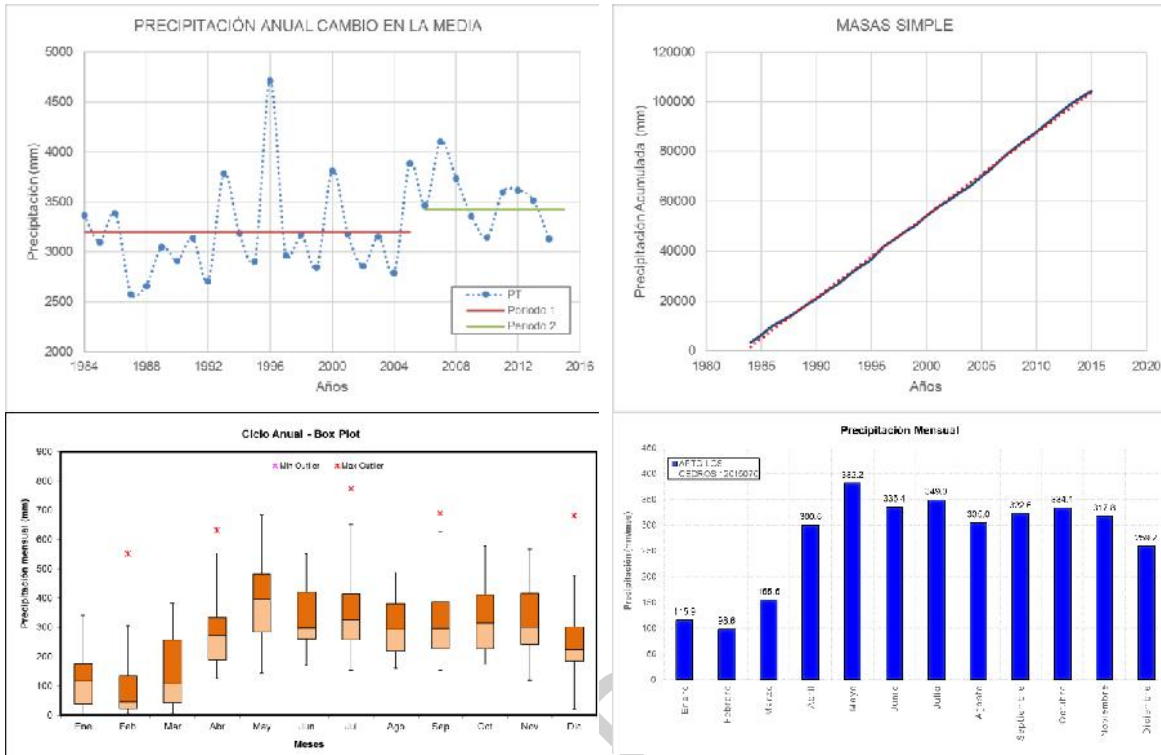
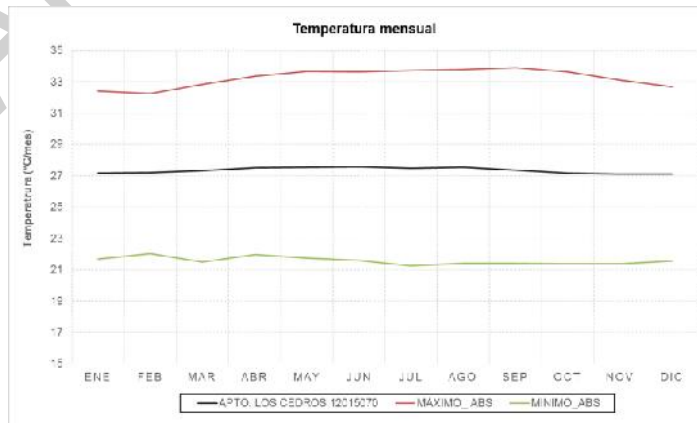


Figura 2. Resultados gráficos análisis de consistencia precipitación Aeropuerto Los Cedros.
Fuente: UT Río Turbo y Currulao, 2017.

En relación con la temperatura media, en la Figura 3 se muestra su comportamiento y resultados gráficos de los test estadísticos planteados. Aunque en términos promedios mensuales, la estación registra un valor homogéneo de 27°C, a nivel anual los resultados presentan tendencia positiva, es decir, hay incrementos en el registro de este parámetro. Los periodos identificados con cambio en el valor medio (año 2007) tienen una diferencia térmica de 0,3°C, magnitud considerable si se tienen en cuenta las proyecciones del IDEAM en la zona del Urabá Antioqueño. Como referencia, se menciona que la diferencia en media en la estación de Turbo es de 0,7°C, para los periodos intra anuales.



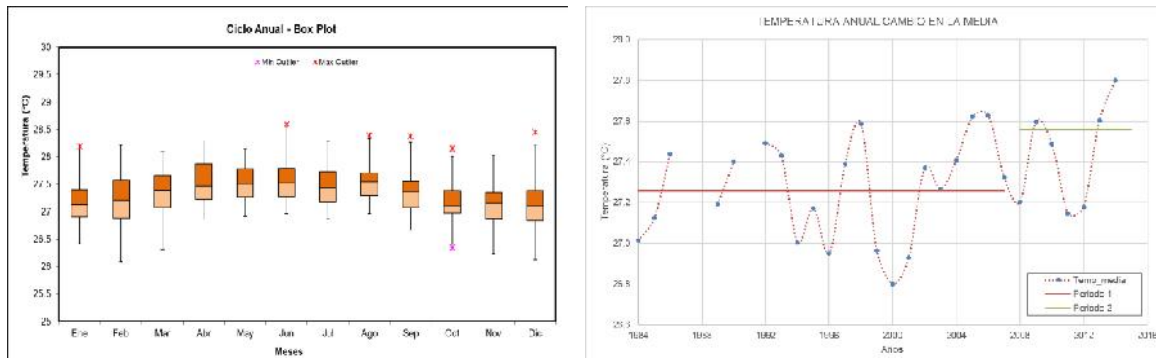


Figura 3. Resultados gráficos análisis de consistencia temperatura media Aeropuerto Los Cedros.
Fuente: UT Río Turbo y Currulao, 2017.

3.1.2 Variabilidad climática

De acuerdo con (Pabón C, 2011), la Variabilidad Climática se define como las fluctuaciones del clima durante períodos de tiempo tales como meses, años o decenios, de manera que es natural registrar valores por encima o por debajo de la normal climatológica o valor normal (promedio de 30 años). Esta diferencia es perturbada cuando cada una de esas fluctuaciones en sus respectivas escalas de tiempo, (intraestacional, interanual, interdecadal y secular), interactúan entre sí de manera que intensifican o debilitan los parámetros meteorológicos.

Para Colombia, la variabilidad climática está condicionada por procesos geofísicos desde la escala horaria hasta la escala interanual, entre ellos el ciclo diurno de temperaturas, las ondas tropicales del este, el ciclo semianual debido al paso de la ZCIT, El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), y la Oscilación Inter Decadal del Pacífico (Poveda, 2004).

Con el fin de establecer la afectación de fenómenos regionales como el Niño sobre el régimen climático de la cuenca, se determinó el grado de asociación lineal entre los distintos índices que monitorean las oscilaciones en el clima a nivel global y regional (NOAA¹), con series de precipitación y temperatura lo suficientemente representativas del territorio. Así como, la identificación de periodos extremos con base en la anomalía de las series (diferencia entre el valor registrado de la variable y su promedio anual).

3.1.2.1 El Niño – Oscilación del Sur (ENSO)

Los fenómenos ENSO, son impulsados por el desplazamiento de masas de aguas cálidas o frías en el océano pacífico ecuatorial y subtropical, entre las costas occidentales de Suramérica y el continente asiático (ver Figura 4). La fase fría del ENSO, corresponde al fenómeno La Niña, fase que se presenta frente a las costas suramericanas, intensificando los vientos alisios, la corriente ecuatorial y subsecuente intensificación de la corriente fría de Humboldt, por tanto, se intensifica la surgencia (up-welling), emerge la termoclina y, en consecuencia, aumenta la concentración de nutrientes en las aguas de las costas suramericanas.

¹ <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>



Bajo este escenario, ahora las aguas cálidas se concentrarán cerca de las costas asiáticas y en Oceanía, haciendo que se robustezca el sistema de baja presión que fortalece la circulación zonal de Walker, que finalmente, después de un largo recorrido, favorece la precipitación sobre el territorio colombiano.

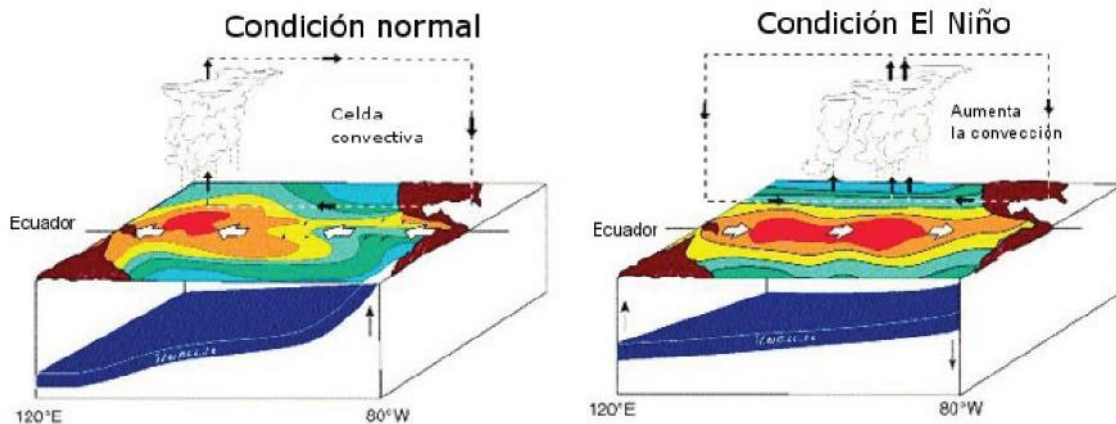


Figura 4. Océano Pacífico tropical a nivel superficial y en profundidad sobre la región de desarrollo del ENSO.

Fuente: http://www.wrh.noaa.gov/fgz/science/el_nino.php.

Uno de los indicadores que caracterizan el evento ENSO es el denominado índice ONI (Índice Oceánico El Niño). El ONI se basa en la desviación de la temperatura superficial del mar (SST) con respecto al promedio en la parte central del Pacífico tropical y es la magnitud utilizada para monitorear, evaluar y pronosticar un evento ENSO.

Se calcula como la media móvil de 3 meses consecutivos, de las anomalías de la (SST) en la región Niño 3, 4 (centro del Pacífico). Un evento El Niño se caracteriza por ONI positivos mayores o iguales a + 0,5°C. El evento La Niña se caracteriza por ONI negativos menores o iguales a - 0,5°C. Para ser catalogado como un período Niño o Niña, es necesario que el ONI alcance valores superiores a estos rangos, durante al menos 5 períodos consecutivos de 3 meses. El Centro de investigación internacional Golden Gate Weather Services, proponen una categorización del ONI de acuerdo a su intensidad, como se presenta en la Figura 5.

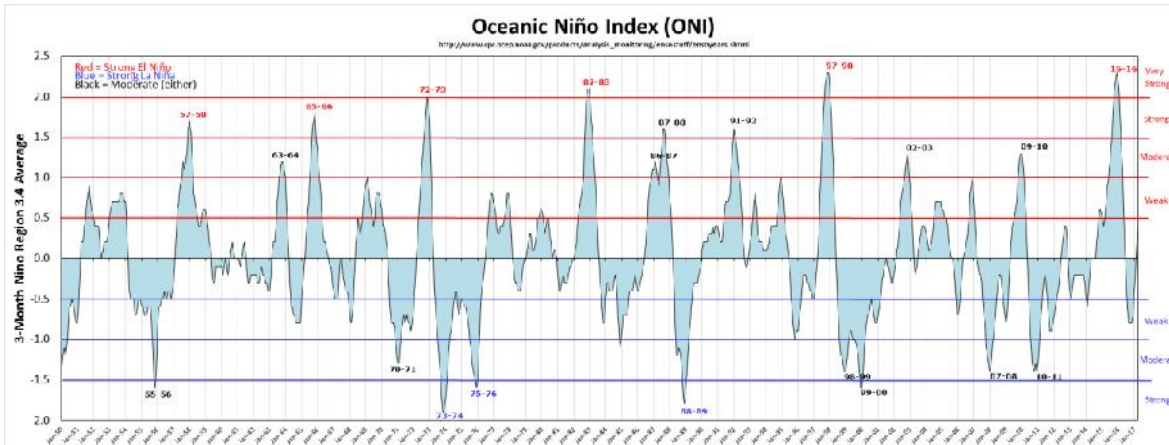


Figura 5. El índice (ONI) Oceanic Niño Index (1950 - 2017).
Fuente: <http://ggweather.com/enso/oni.htm>.

Los efectos producidos por este tipo de fluctuaciones climáticas en la cuenca se manifiestan por el cambio de humedad, la evaporación, la precipitación y variaciones en los regímenes de vientos. Una lectura de la Figura 5 con efectos en el territorio nacional, se interpretan con la influencia del fenómeno El Niño, ocurrido a partir del segundo semestre de 2009, el cual se prolongó hasta el primer semestre de 2010 y que posteriormente cambió de fase y se transformó en un evento frío La Niña, la cual se prolongó hasta los inicios del año 2012.

3.1.2.2 Índices Océano Atmosféricos (IOA)

Estos índices pueden dividirse entre los que representan las Teleconexiones climáticas, la Temperatura Superficial del Océano Pacífico (SST Pacífico) y la atmósfera sobre éste, especialmente en la franja tropical, y los representativos de la Temperatura Superficial del Océano Atlántico (SST Atlántico) y su atmósfera, así como los que monitorean el ENSO en el pacífico tropical, los cuales han sido divididos en un número de zonas llamadas Niño 1, 2, 3, 4, y 3.4 (el cual es un traslape de las regiones 3 y 4).

El Niño 1 está definido en el área comprendida entre las coordenadas 80W - 90W y 5S - 10S, Niño 2 entre 80W - 90W y 0S - 5S, Niño 3 entre 90W - 150W y 5N - 5S, Niño 4 entre 150W - 160E y 5N - 5S, y Niño 3.4 entre 120W - 170W y 5N - 5S (Figura 6).

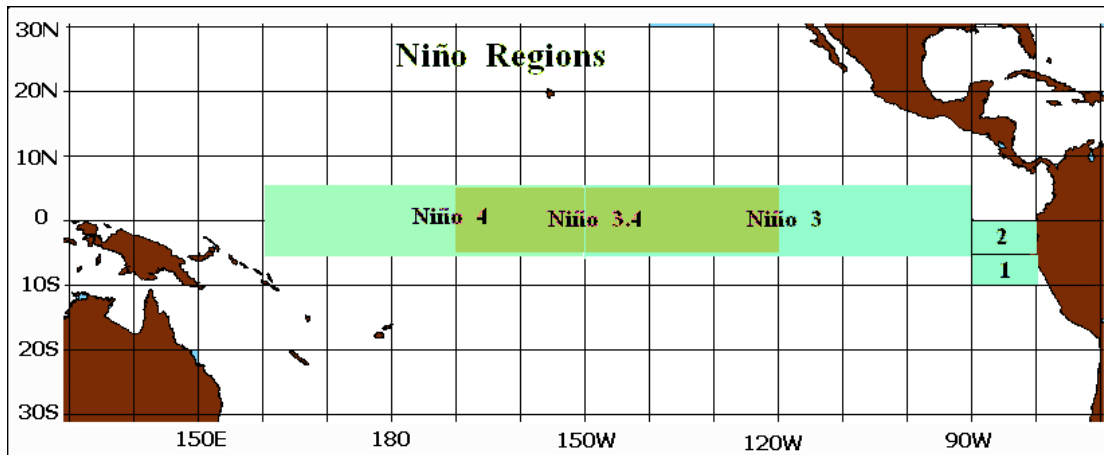


Figura 6. Regiones de desarrollo y monitoreo del fenómeno El Niño sobre el Océano Pacífico Tropical.

Fuente: http://ggweather.com/enso/nino_regions.gif.

El Centro de Predicciones Climáticas (CPC - The Climate Prediction Center) de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration), ha generado información semanal de estos índices a partir de 1990 y mensual desde 1950, mientras la División de Ciencias Físicas (PSD - Physical Sciences Division) de la NOAA, tiene información mensual de las regiones conjuntas Niño 1 y 2 desde 1948 (Niño 1 + 2).

En la Tabla 9, se describen los índices Océano Atmosféricos objeto de los análisis del POMCA Río Turbo y Currulao.

EN ETAPA DE FORMULACIÓN



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

Tabla 9. Descripción de los Índices Océano Atmosféricos.

ACRÓNIMO	ÍNDICE	DESCRIPCIÓN	MÉTODO	VARIABLES	REFERENCIA
PNA	Patrón del Pacífico y América del Norte	Patrón de variación de baja frecuencia en la circulación atmosférica y teleconexión sobre el Pacífico Norte y América del Norte	Funciones ortogonales rotadas de las anomalías	empíricas Pr	(Barnston A, 1987)
WP	Índice del Pacífico Oeste	Cambios en la locación e intensidad de la corriente de chorro del Pacífico Norte	Funciones ortogonales rotadas de las anomalías	empíricas Pr	(Barnston A, 1987)
NAO	Oscilación del Atlántico Norte	Cambios en la intensidad y posición de la corriente de chorro del Atlántico Norte, de la trayectoria de las tormentas y con el transporte de calor y humedad sobre el Atlántico Norte	Diferencias anomalías	entre --	(Jones, Briffa, Barnett, & Tett, 1998)
PDO	Oscilación Decadal del Pacífico	Variabilidad interanual e interdecadal del Pacífico Norte	Funciones ortogonales anomalías	empíricas (FEO) de las --	(Mantua, Hare, Zhang, Wallace, & Francis, 1997)
SOI	Índice de la Oscilación del Sur	Variabilidad interanual de la posición geográfica e intensidad de los centros de baja y alta presión sobre el Pacífico Sur Ecuatorial (ENSO).	Diferencias anomalías	entre Pr	(Trenberth K. , 1984)
QBO	Oscilación bienal	Oscilación bianual de los vientos zonales en la estratósfera sobre el ecuador	Promedio anomalías	de las VZ	(Ebdon & Veryard, 1961)
MEI	Índice Multivariado del ENSO	Variabilidad interanual del ENSO sobre el Pacífico Tropical	Funciones ortogonales anomalías	empíricas (FEO) de las TSM, TSA, VZ, VM, Pr, N	(Wolter, 1987)
Niño 1+2 Niño 3 Niño 4 Niño 3.4	Índices del ENSO	Efectos de la variabilidad interanual del ENSO sobre la TSM en distintas regiones del Pacífico Tropical.	Promedio anomalías	de las TSM	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/
Best	Serie bi-variada del ENSO	Variabilidad interanual de los procesos oceánicos y atmosféricos relacionados al ENSO sobre el Pacífico Sur Ecuatorial	Promedio anomalías	de las TSM, Pr	(Smith & Sardeshmukh, 2000) http://www.esrl.noaa.gov/psd/people/cathy.smith/best/
ONI	Índice de la Oscilación del Norte	Eventos climáticos tropicales (ENSO) y extratropicales sobre el Pacífico Norte	Diferencias anomalías	entre	(Schwing & Gaxiola-castro, 2002)
TNI	Índice Trans-Niño	Evolución del ENSO en el Pacífico Tropical.	Diferencias anomalías	entre	(Trenberth, Caron, Stepaniak, & Worley, 2000) http://www.cgd.ucar.edu/cas/papers/jgr2001b/jgr2.html
WHWP	Alberca Cálida Occidental	Anomalías de la TSM de la región del Pacífico Oriental Tropical, Golfo de México y Mar Caribe con TSM > 28,5°C	Promedio anomalías	de las	(Wang & Enfield, 2001)



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

ACRÓNIMO	ÍNDICE	DESCRIPCIÓN	MÉTODO	VARIABLES	REFERENCIA
TNA	Índice del Atlántico Norte/Sur tropical	Variabilidad de la TSM en la parte tropical del Atlántico Norte/Sur	Promedio de anomalías	de las	(Enfield D. , Mestas-Nuñez, Mayer, & Cid-Serrano, 1999)
TSA AMO	Oscilación Multidecadal del Atlántico	Variabilidad decadal de la TSM en el Atlántico Norte	Promedio ponderado de anomalías	TSM	(Enfield, Mestas-Nuñez, & Trimble, 2001)

Fuente: Modificado de (NOAA, 2017).





Las series de estos indicadores fueron obtenidas en la página web de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA).
<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>.

Las temáticas descritas anteriormente se desarrollan a continuación, se presenta inicialmente las anomalías obtenidas en las 9 estaciones climáticas homogenizadas, para diversas ventanas temporales según la longitud de sus registros. En la Figura 7 se puede observar el resultado de las anomalías de la precipitación.

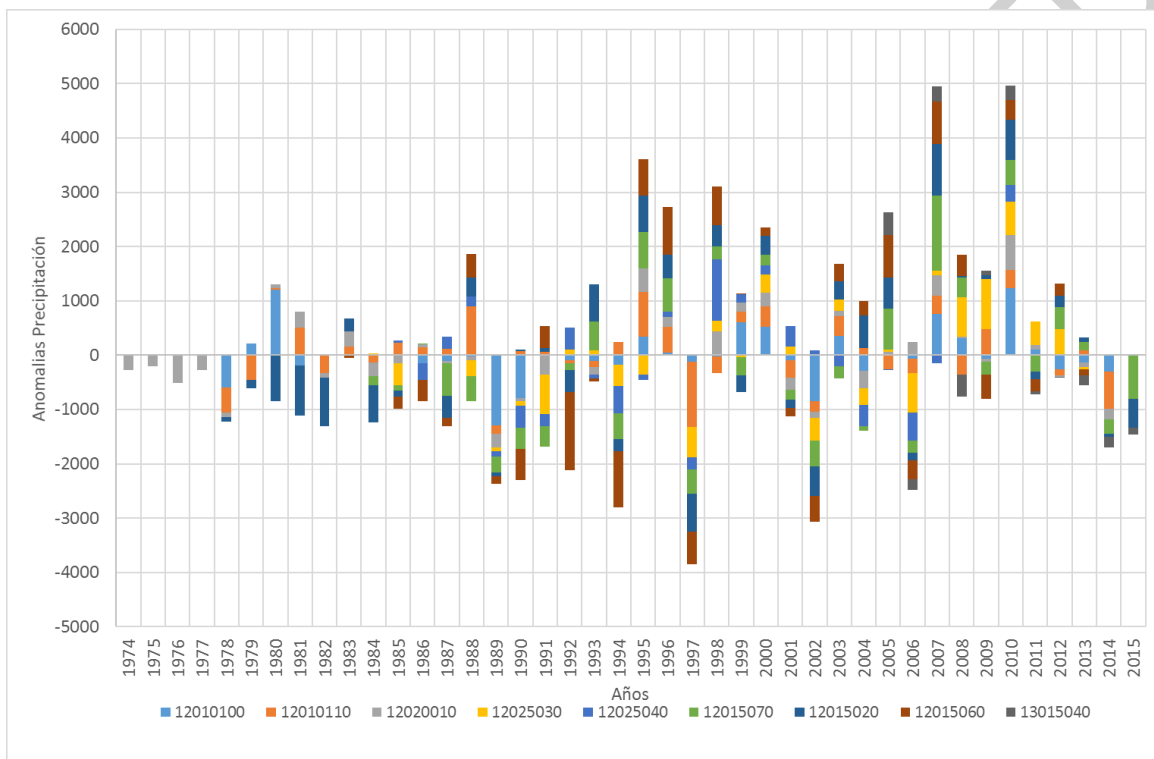


Figura 7. Anomalías de series de precipitación.
Fuente: Elaboración propia.

Las gráficas de barras apiladas representan la distribución de la anomalía de un año en particular según la información de la estación climática; las anomalías por debajo del valor central representan años en los que las precipitaciones fueron deficitarias y las anomalías por encima del valor central, corresponden a periodos con excesos. Los años en los cuales se obtenga la mayor o menor magnitud de la anomalía, son considerados como extremos y guardan relación directa con la variabilidad climática en la región.

Los periodos considerados como de mayor déficit corresponden a los años 1992, 1994, 1997, 2002 y 2006. Siendo el año 1997 el de mayor déficit, este periodo está relacionado con el fenómeno ENSO, en su fase cálida (El Niño).

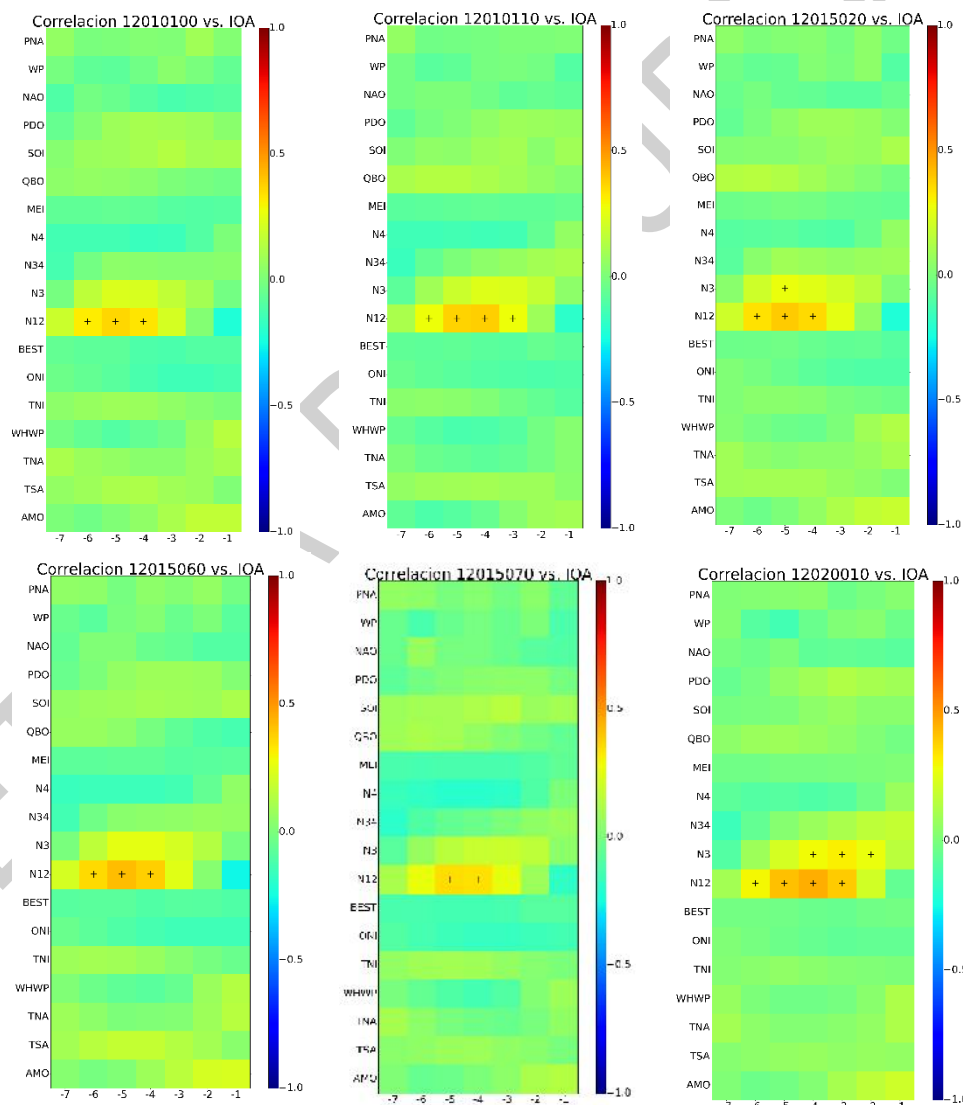
Los periodos considerados como de mayores excesos corresponden a los años 1995, 2007 y 2010. Siendo el año 2010 el de mayor aporte, este periodo está relacionado con el fenómeno ENSO, en su fase fría (La Niña).



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

De acuerdo con el comportamiento de las anomalías de las precipitaciones, se puede inferir el grado de exposición de la cuenca en ordenación a las amenazas meteorológicas dada las variaciones en el régimen climático. En síntesis, se observan mayor cantidad de años con anomalías negativas que positivas, sin embargo, la magnitud de las anomalías positivas es en gran medida superior a las negativas, es decir, la cuenca está expuesta a eventos extremos de excesos de mayor intensidad, pero suelen presentarse eventos deficitarios con más frecuencia.

En la Figura 8 se presenta la correlación lineal de la precipitación y los índices océano-atmosféricos propuestos. Este resultado da cuenta del fenómeno macroclimático que describe en mejor medida la variabilidad en la cuenca. Se menciona que las correlaciones se realizaron con rezagos de hasta 7 meses, con el ánimo de incluir de alguna manera la correspondencia con fenómenos interanuales. Las matrices de correlación pueden consultarse en el [Anexo 32](#).



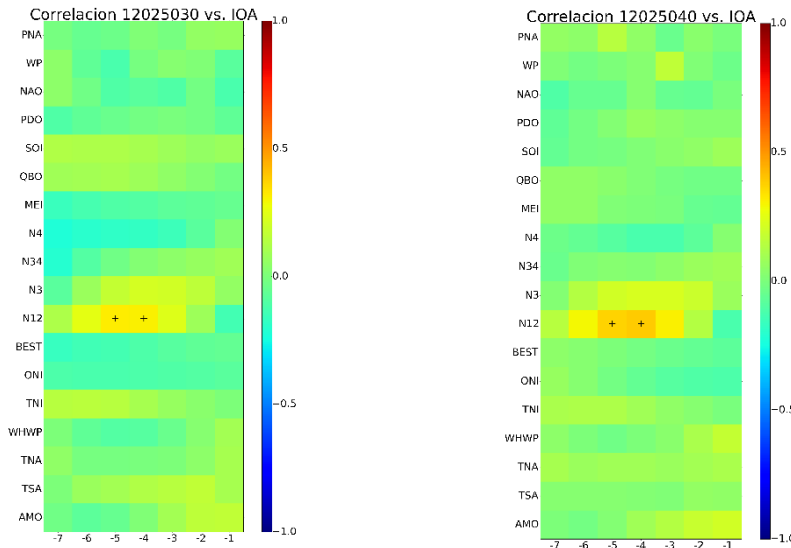


Figura 8. Correlación de precipitación vs IOA.
Fuente: Elaboración propia.

La significancia estadística de las correlaciones se demarca en la ilustración con el símbolo (+). En términos generales, la mejor correlación de la precipitación se manifiesta con las anomalías de la Temperatura Superficial del Mar - TSM en el Océano Pacífico Central (Región Niño 3 y Niño 1,2).

Continuando con la propuesta metodológica, se realiza el mismo procedimiento para la variable temperatura media, en la Figura 9 se presentan las anomalías.

EN ETAPA DE REVISIÓN

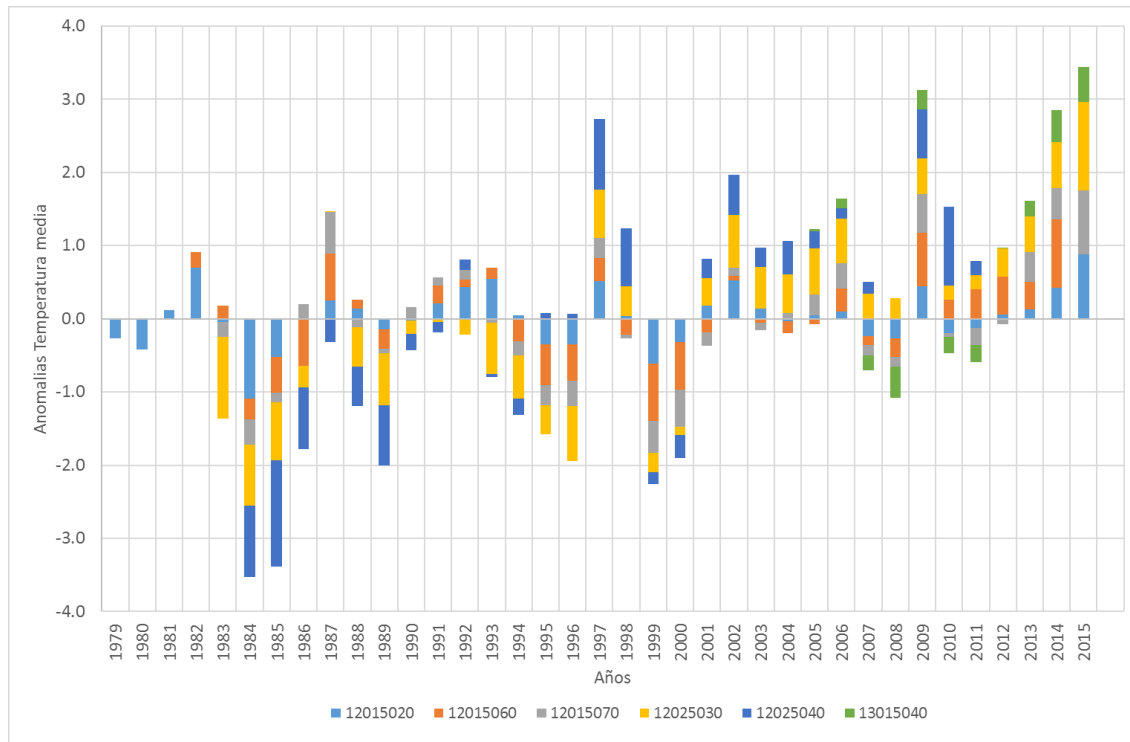


Figura 9. Anomalías de series de temperatura media.
Fuente: Elaboración propia.

Las anomalías por debajo del valor central representan años en los que las temperaturas fueron menores que el promedio anual y las anomalías por encima del valor central, corresponden a periodos más cálidos. Los años en los cuales se obtenga la mayor o menor magnitud de la anomalía, son considerados como extremos y guardan relación directa con la variabilidad climática en la región.

Al comparar las anomalías de la precipitación con las anomalías de la temperatura, se logra identificar una relación inversa, y se destacan claramente los años de mayor influencia de fenómenos macroclimáticos, en particular el año 1997 considerado como el de mayor déficit hídrico, representa también anomalías positivas, categorizándose como un año muy cálido. Dados los resultados presentados, el año más caluroso corresponde a 2015 y el periodo más frío ocurrió en 1984.

En la Figura 10 se presenta la correlación lineal de la temperatura media y los índices océano atmosféricos propuestos. Se menciona que las correlaciones se realizaron con rezagos de hasta 7 meses, con el ánimo de incluir de alguna manera la correspondencia con fenómenos interanuales. Las matrices de correlación pueden consultarse en el [Anexo 33](#).



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

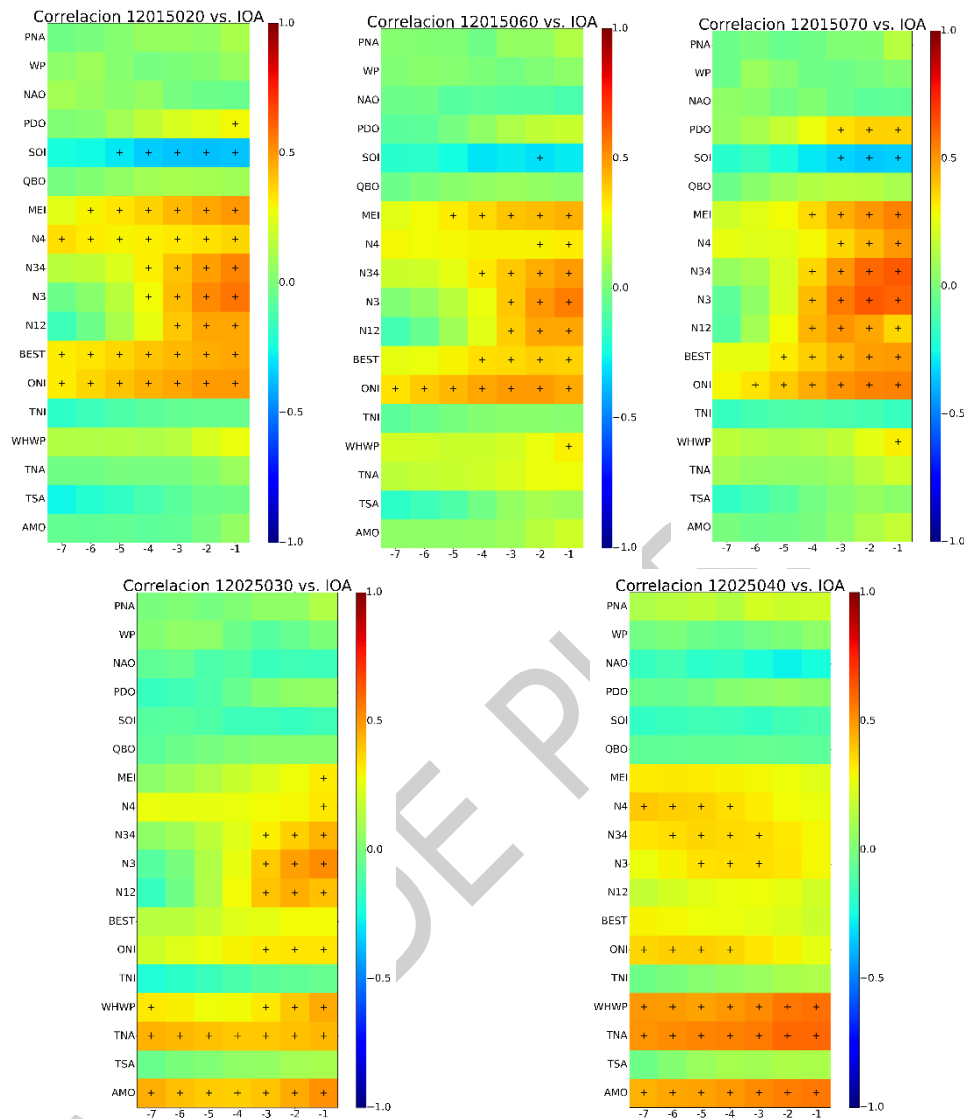


Figura 10. Correlación de temperatura media vs IOA.

Fuente: Elaboración propia.

La significancia estadística de las correlaciones se demarca en la ilustración con el símbolo (+). Los resultados en términos generales presentan correlaciones por encima del 60% de la temperatura media con las anomalías de la Temperatura Superficial del Mar - TSM en el Océano Pacífico Central (Región Niño 3.4), así mismo el índice ONI, también presenta correlaciones significativas.

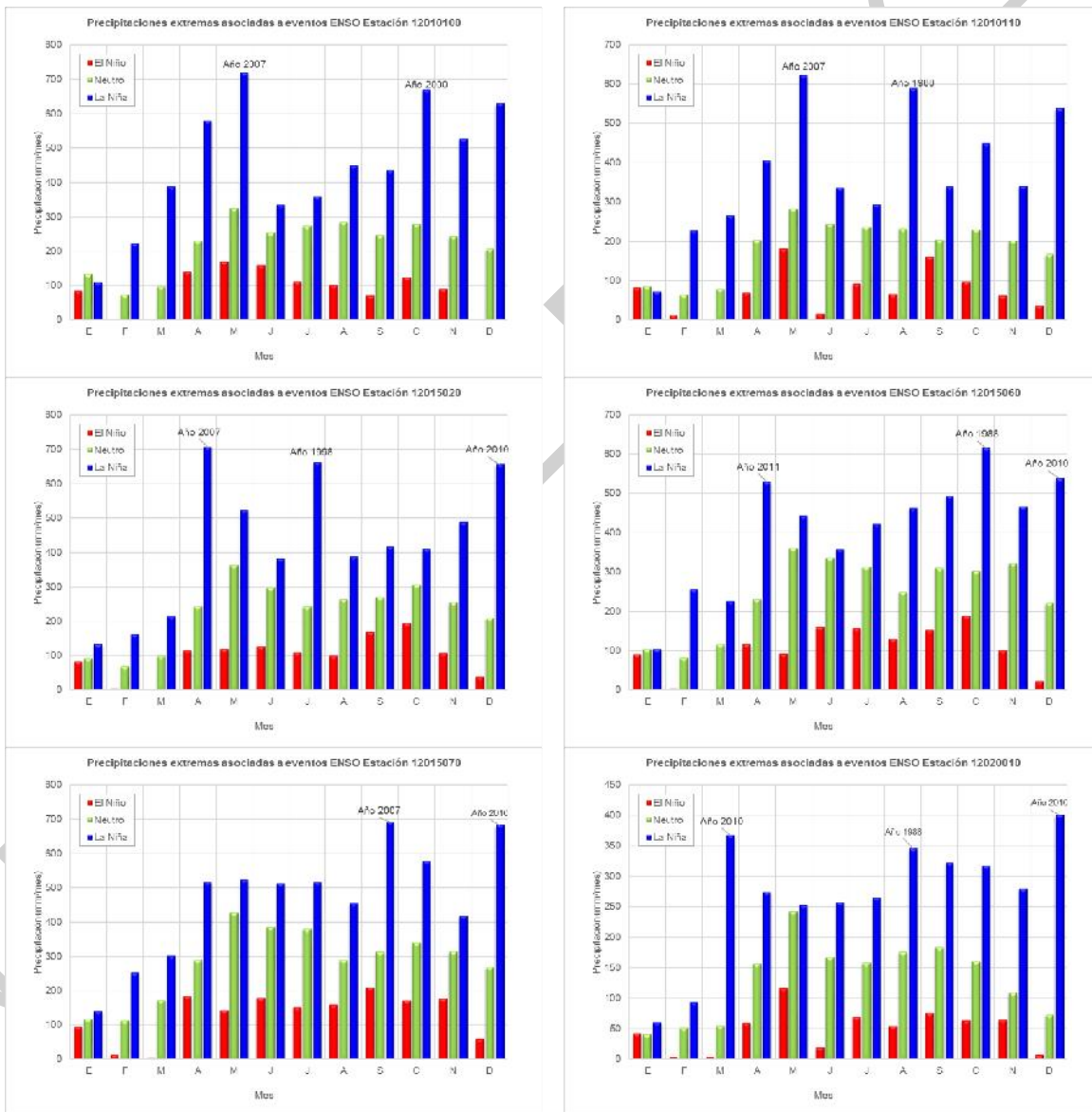
Una mención especial merece la estación El Mellito (12025030) y Turbo (12025040), las mayores correlaciones se dieron con los índices WHWP, TNA y AMO. Todos estos representan variabilidad de la TSM en el océano Atlántico Norte, Pacífico Oriental Tropical, Golfo de México y Mar Caribe.



FASE DE DIAGNÓSTICO
 PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

En conclusión, tanto la precipitación como la temperatura media, guardan una relación directa con lo que ocurre en las regiones de desarrollo y monitoreo del fenómeno El Niño sobre el Océano Pacífico Tropical, dada esta relación se presenta a continuación un análisis entre la precipitación mensual y los valores del índice ONI (Figura 11).

Como fue expuesto anteriormente, el ONI, se calcula como la media móvil de 3 meses consecutivos de las anomalías de la (SST) en la región Niño 3.4 (centro del Pacífico) y según la clasificación realizada a los periodos históricos, se comparan eventos El Niño, La Niña y Neutro con las series de precipitación, con el fin de identificar los meses con mayor impacto en cuanto a valores extremos, dados estos eventos de variabilidad climática en la cuenca del Río Turbo - Currulao.



EN

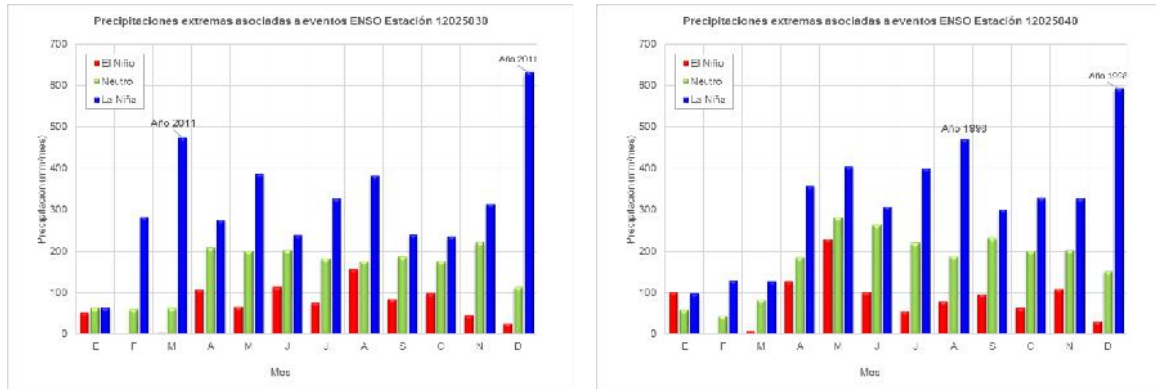


Figura 11. Ciclo mensual multianual de la precipitación bajo la influencia del ENSO.
Fuente: Elaboración propia.

Los meses de mayor vulnerabilidad a eventos El Niño corresponden a: diciembre, febrero y marzo, su disponibilidad hídrica se reduce a cero. En cuanto a los de mayor vulnerabilidad a eventos La Niña se tiene: diciembre, abril, mayo, septiembre y octubre; cuando ocurre el evento, la magnitud total de lluvia puede llegar a duplicarse. Estos procesos pueden consultarse en el [Anexo 37](#).

3.1.3 Caracterización climática (Temporal y espacial)

Este ítem se encarga de la caracterización (temporal y espacial) del clima en la cuenca del Río Turbo y Currulao en un contexto regional, teniendo en cuenta la información meteorológica tratada estadísticamente en procesos anteriores. Se presenta la estimación de curvas de intensidad duración frecuencia – IDF y la espacialización de variables climáticas referida a: precipitación media anual y mensual; temperatura media, máxima y mínima mensual y anual; evapotranspiración potencial y real anual y mensual.

Como ya se ha mencionado, el análisis de las variables del clima para el POMCA Río Turbo - Currulao, se realizó con información registrada en las estaciones operadas por el IDEAM, es evidente la falta de registros en la parte alta de la cuenca, esto limita de alguna manera el análisis acá presentado. Cabe resaltar que se exploró trabajar con datos estimados con modelos climáticos globales como los dispuestos en <http://worldclim.org/version2>, no obstante y dada la ventana temporal (1970 – 2000), para la que se estimó esta información de series climáticas, su homogenización con los datos registrados en tierra no fue posible.

3.1.3.1 Precipitación

La precipitación se mide en milímetros, cada milímetro de lluvia equivale a un litro de agua por cada metro cuadrado de territorio irrigado por la misma (1 mm = 1 litro/m²). La precipitación es considerada como el motor impulsador de la escorrentía, por tal motivo su importancia en la determinación de la oferta hídrica del territorio. En esta sección, se hace una descripción de la distribución temporal que tiene la precipitación a escala anual y mensual. Posteriormente, se presenta la distribución espacial de la misma. En la Figura 12 se puede apreciar el comportamiento temporal de la lluvia a escala anual.



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

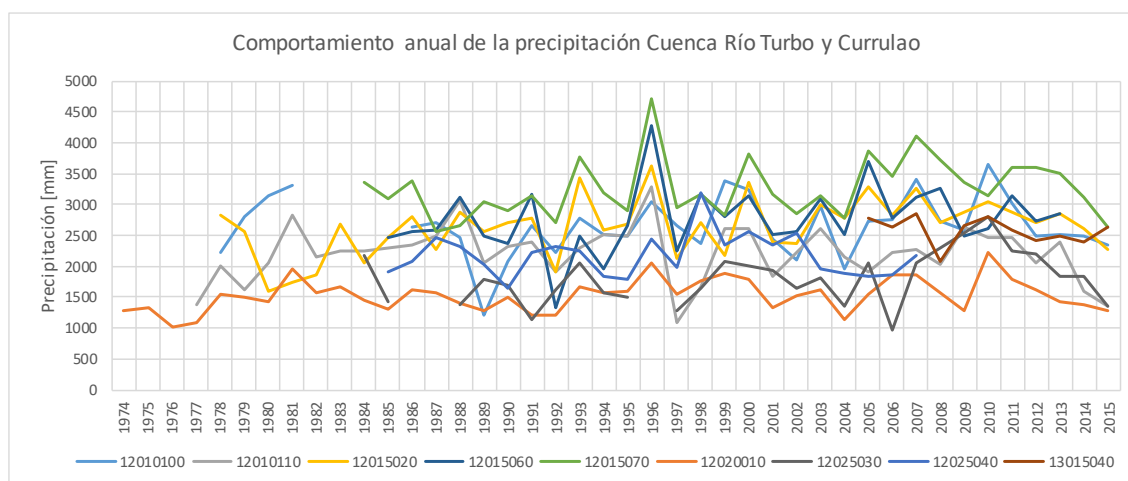


Figura 12. Precipitación total anual registrada en las estaciones pluviométricas y climatológicas.
Fuente: Elaboración propia.

Según el CIOH, las precipitaciones son generadas principalmente por la presencia del sistema de baja presión anclado de Panamá que se mantiene activo durante la mayor parte del año con una presión interna en época húmeda de hasta 1.005 mb y en época seca de 1.010 mb. Asimismo, la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), se mantiene oscilando en época húmeda sobre este sector (5° - 11° de latitud norte) y en época seca la influencia de este sistema es menor.

Los valores de precipitación promedio anual fueron estimados particularmente para el periodo de registros de cada estación, excluyendo los años que no contaran con información de por lo menos 8 meses no continuos; el periodo generalizado para el análisis comprende de 1974 a 2015. Bajo esta premisa, los valores obtenidos como promedios multianuales se presentan en la Tabla 10:

Tabla 10 Precipitación promedio multianual (mm).

CÓDIGO	NOMBRE	PPT_ ANUAL
12010100	EUPOL	2651
12010110	PRADO MAR	2211
12015020	UNIBAN	2640
12015060	TULENAPA	2755
12015070	APTO LOS CEDROS	3261
12020010	PUEBLO BELLO	1532
12025030	EL MELLITO	1803
12025040	TURBO	2182
13015040	REPRESA URRRA	2578

Fuente: Elaboración propia.

La representación espacial de la variable precipitación se realizó mediante el método de interpolación espacial: Inverse – Distance - Weighted (IDW, por sus siglas en inglés), método usado ampliamente debido a su simplicidad de formulación y su aplicación persistente en los entornos operativos (García, Peters-Lidard, & Goodrich, 2008).

Los análisis de precipitación de las estaciones citadas para la cuenca del Río Turbo - Currulao permiten inferir que su régimen de lluvia varía desde los 1.500 mm/año en la



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

estación Puerto Bello, hasta los 3.260 mm/año en Aeropuerto Los Cedros, la estación más representativa localizada dentro del polígono es Turbo y registra un promedio de 2.180 mm/año (Figura 13).

EN ETAPA DE PUBLICIDAD



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

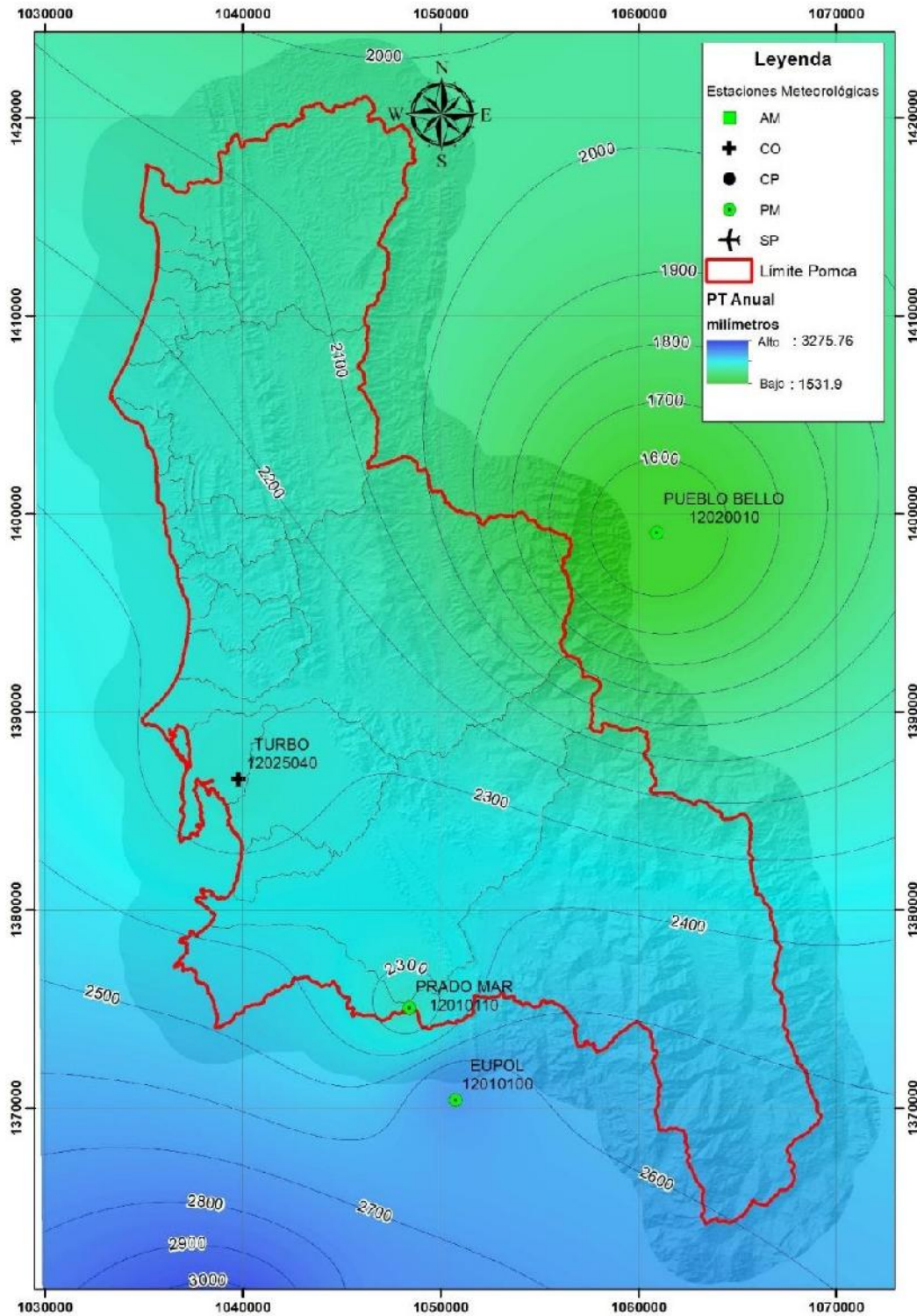


Figura 13. Isoyetas y rangos de precipitación total multianual.
Fuente: Elaboración propia.



FASE DE DIAGNÓSTICO
 PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

En la Figura 14 se presenta el comportamiento mensual multianual de las precipitaciones.

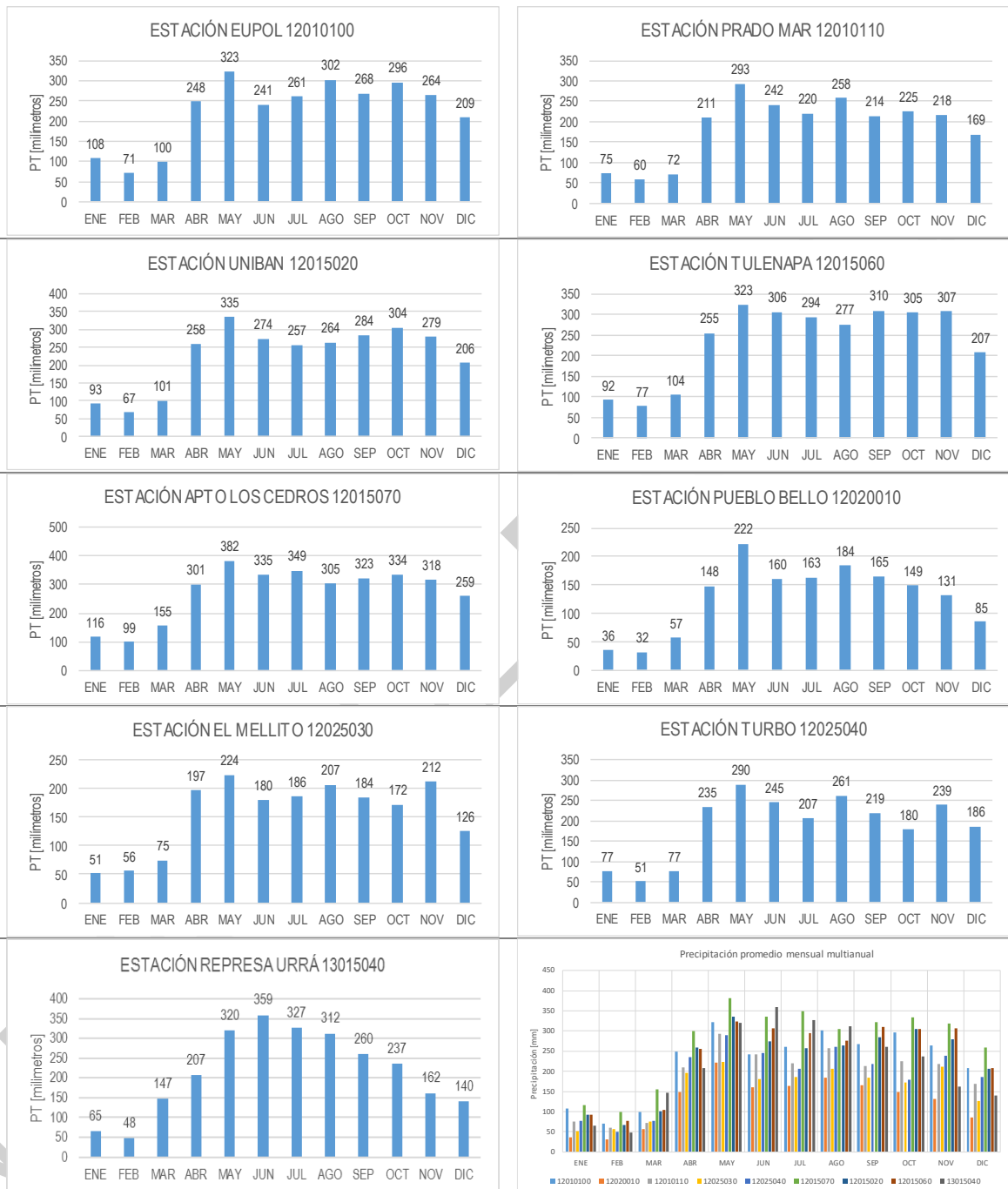


Figura 14. Régimen mensual de la precipitación.
 Fuente: Elaboración propia.



No se evidencia un régimen definido en el comportamiento temporal de la precipitación en las estaciones citadas, excepto para la estación URRÁ, que fue incluida en el análisis con la finalidad de poder manejar una espacialización adecuada de acuerdo con el método propuesto. Según el IDEAM, este régimen pluviométrico es de tipo monomodal 1 (Mm1), el cual se caracteriza por tener una temporada lluviosa continua entre abril y noviembre, con un periodo seco muy marcado de diciembre a marzo. La distribución espacial de las lluvias a escala mensual se presenta en las siguientes ilustraciones (Figura 15, Figura 16 y Figura 17), la información numérica de lluvias se puede consultar en la Tabla 11.

Tabla 11 Valores mensuales multianuales de precipitación.

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
120101	108.	70.8	99.9	248.	322.	241.	261.	302.	268.	296.	264.	208.
00	47	1	2	19	56	43	10	28	15	49	37	63
120200	35.9	31.9	57.4	148.	222.	159.	163.	183.	165.	148.	130.	85.0
10	0	5	8	17	14	70	05	76	12	62	98	2
120101	75.1	59.5	71.8	210.	293.	241.	220.	257.	213.	225.	217.	169.
10	1	6	4	53	46	74	18	61	52	15	51	12
120250	51.4	55.8	74.5	196.	224.	180.	186.	207.	184.	172.	212.	125.
30	9	8	7	73	08	32	10	07	26	23	12	83
120250	76.8	50.5	76.5	234.	289.	245.	206.	261.	218.	179.	239.	186.
40	3	5	2	90	58	43	92	48	95	51	03	08
120150	115.	98.5	155.	300.	382.	335.	349.	305.	322.	334.	317.	259.
70	86	8	48	56	18	41	00	00	64	10	79	18
120150	92.8	66.9	100.	258.	334.	274.	257.	264.	284.	304.	279.	205.
20	4	0	52	49	73	42	27	05	00	27	29	61
120150	91.9	77.2	104.	254.	323.	306.	293.	276.	309.	304.	307.	207.
60	3	6	50	95	14	42	97	75	84	71	31	46
130150	64.9	47.7	147.	207.	319.	358.	326.	312.	260.	236.	161.	139.
40	7	3	45	15	97	72	83	44	43	57	55	99

Fuente: Elaboración propia.

EN ETAPA DE DIAGNÓSTICO



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

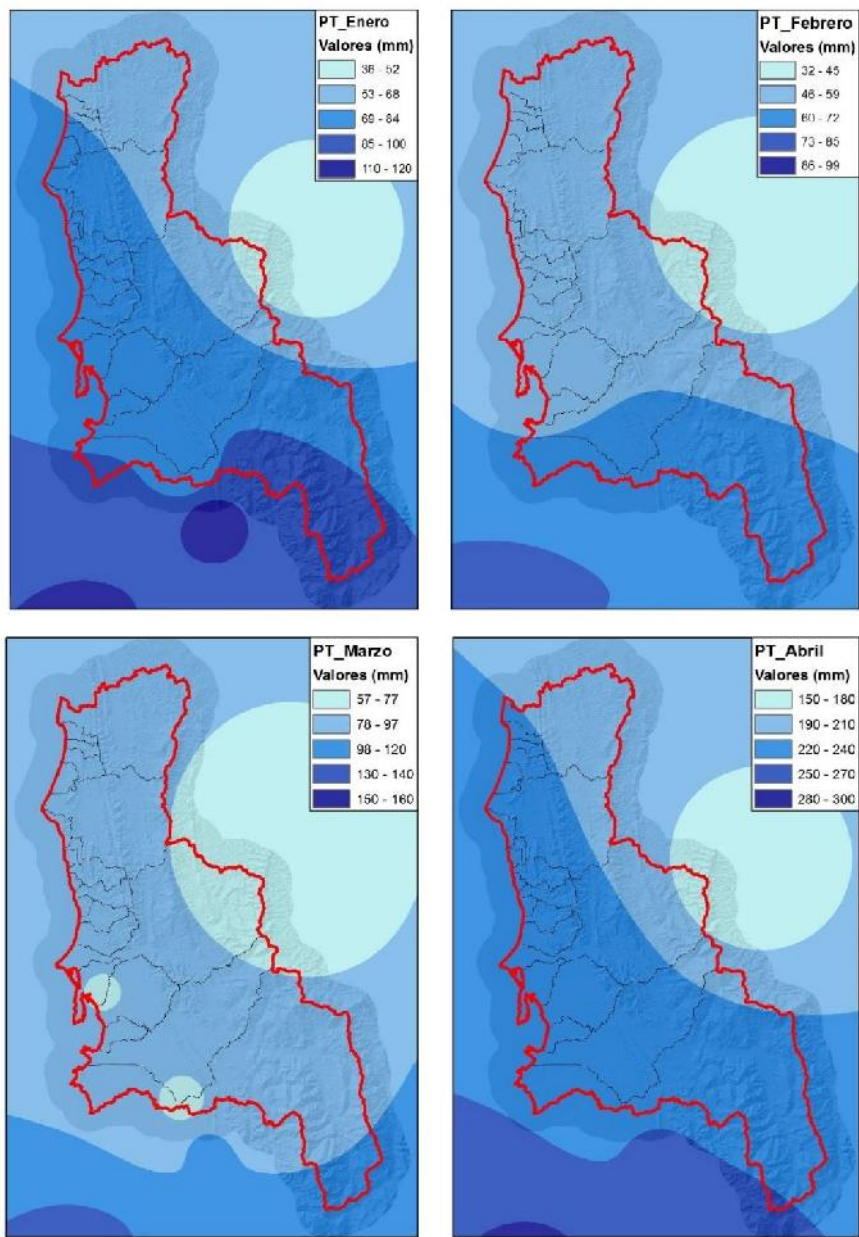


Figura 15. Distribución mensual de la precipitación en el primer cuatrimestre del año.
Fuente: Elaboración propia.



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

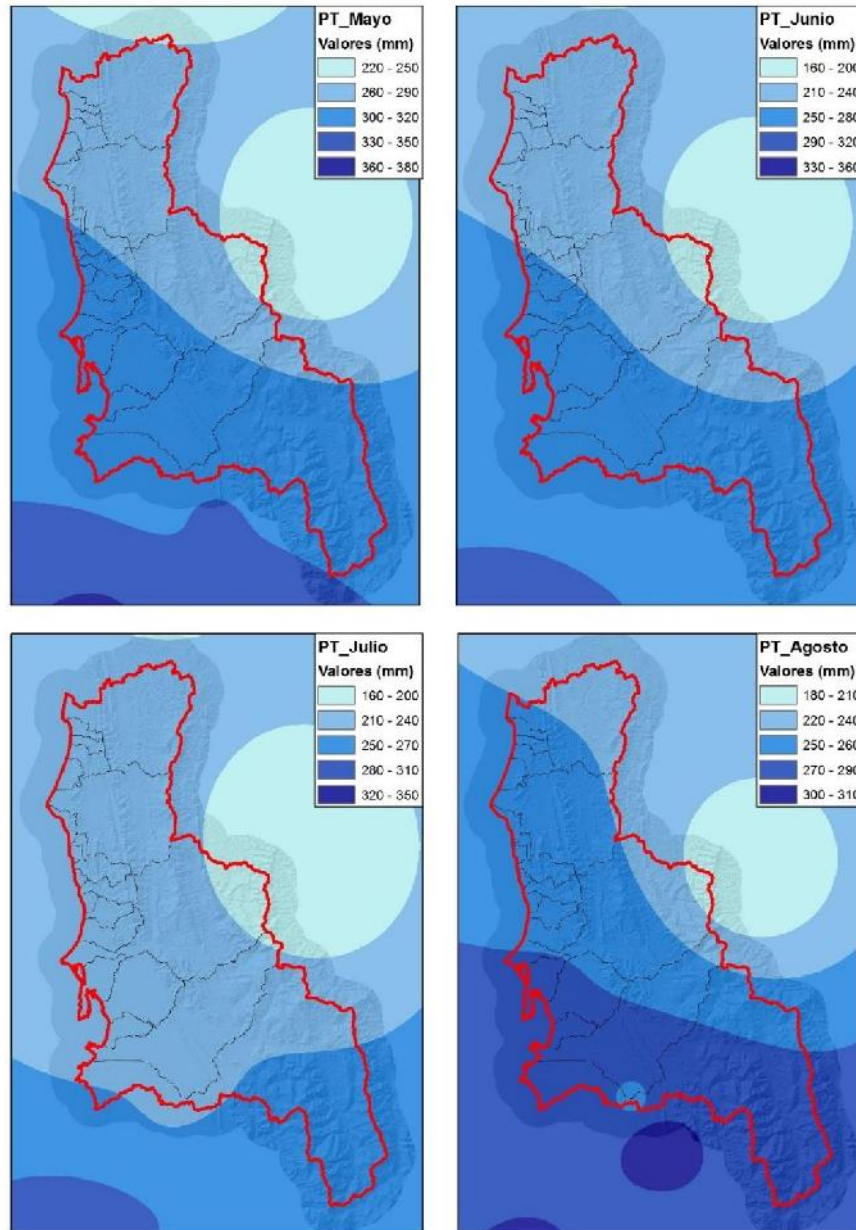


Figura 16. Distribución mensual de la precipitación en el segundo cuatrimestre del año.
Fuente: Elaboración propia.



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

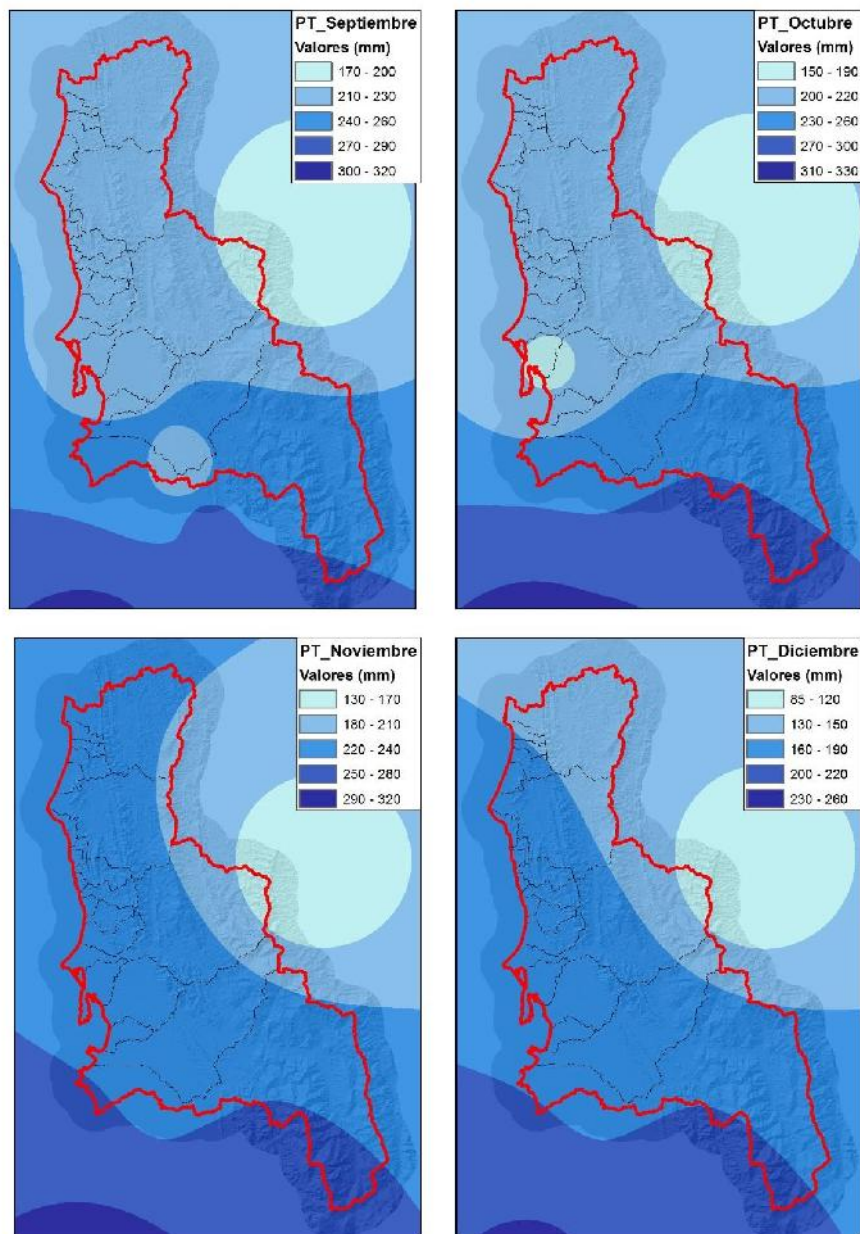


Figura 17. Distribución mensual de la precipitación en el tercer cuatrimestre del año.
Fuente: Elaboración propia.

Con la espacialización del régimen de lluvias, se pueden identificar zonas de la cuenca con el mayor o menor aporte de precipitación a lo largo del año hidrológico, los meses más secos corresponden a diciembre, enero, febrero y marzo, siendo el mes de marzo el de menores aportes, especialmente en el costado centro oriental de la cuenca. El mes de mayores aportes es mayo con un rango a latitudinal en la cuenca de 200 a 350 mm/mes.



En la Figura 18 se presentan los máximos valores de precipitación en 24 horas para las estaciones de análisis.

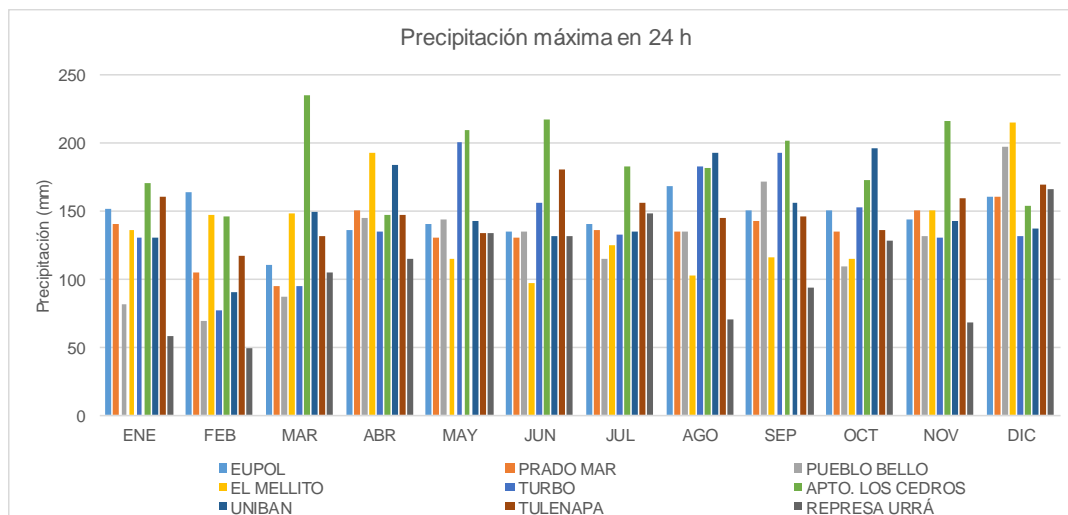


Figura 18. Valores de precipitación máxima en 24 horas.
Fuente: Elaboración propia.

La estación Aeropuerto Los Cedros es la que mayores registros de este parámetro presenta, los dos mayores valores han sido de 235 mm/día en el mes de marzo del año 2008 y 216 mm/día en el mes de junio de 2012. El valor más frecuente es de 150 mm/día. Revisar información numérica en la Tabla 12.

Tabla 12 Régimen de la precipitación máxima en 24 horas

NOMBRE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
EUPOL	152	164	110	136	140	135	140	168	150	150	144	160
PRADO MAR	140	105	95	150	130	130	136	135	143	135	150	160
PUEBLO BELLO	82	69	87	145	144	135	115	135	172	109	132	197
EL MELLITO	136	147.3	148.7	193	115	97	125	103	116	115	150	214.6
TURBO	130	77	95.1	135	200	156	133	182.2	193.2	153	130	131.7
APTO. LOS CEDROS	170	146.5	235.3	147.5	209.7	217	182.7	182	201.7	173	216.2	154.1
UNIBAN	130.1	90	149.3	183.8	142.7	132	135	192.2	156.3	196	142.3	136.8
TULENAPA	160	117	131.8	147	134	181	156.2	144.4	146	136	159.2	169.5
REPR	58	49	105	115	133.3	132	148.4	70.5	93.5	128.5	68.5	165.5

Fuente: Elaboración propia.

El análisis gráfico y numérico de la precipitación puede consultarse en el [Anexo 36](#).



3.1.3.1.1 Análisis de eventos máximos de precipitación

La obtención de valores extremos máximos de lluvia para diversos periodos de retorno en particular (2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50, 100 y 500 años), se realizó empleando el ajuste de diversas funciones de probabilidad a los registros de precipitación máxima anual. El procedimiento fue realizado para 6 estaciones climáticas (Eupol – 12010100, Prado Mar – 12010110, Pueblo Bello – 12020010, Turbo – 12025040, El Mellito – 12025030 y Aeropuerto Los Cedros – 12015070), en la Figura 19 puede verse el procedimiento de ajuste para la estación Aeropuerto Los Cedros, para las demás estaciones puede consultarse el [Anexo 29](#).

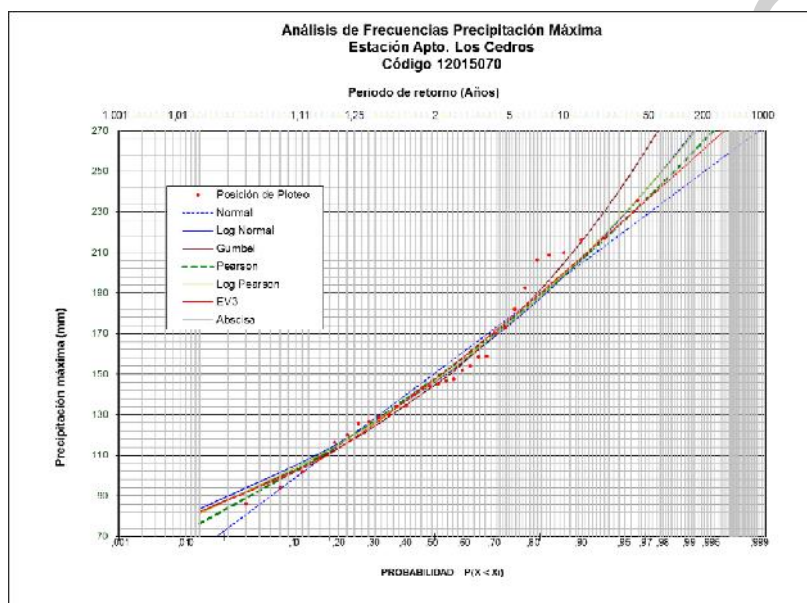


Figura 19. Salida gráfica del ajuste de funciones de probabilidad a las Pmáx (Est. Apto. Los Cedros)

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 13 se presentan los valores de precipitación obtenidos del análisis de frecuencia para eventos extremos máximos en las 6 estaciones citadas.

Tabla 13. Lluvias detonantes para diversos periodos de retorno

CÓDIGO	ESTACIÓN	TR AÑOS (PRECIPITACIÓN MÁXIMA) MM									
		2	5	10	15	20	25	30	50	100	500
1201010	EUPOL	122.	143.	154.	160.	164.	167.	170.	176.	183.	200.
0		7	4	9	8	8	7	0	1	9	0
1201011	PRADO MAR	115.	134.	144.	149.	152.	154.	156.	161.	166.	178.
0		6	6	3	1	2	5	3	0	7	1
1202001	PUEBLO BELLO	97.7	129.	150.	162.	170.	177.	182.	196.	216.	261.
0			5	6	5	8	2	4	9	5	8
1202504	TURBO	125.	157.	178.	190.	198.	205.	210.	225.	244.	290.
0		8	6	7	6	9	3	6	1	7	0
1202503	EL MELLITO	107.	140.	162.	174.	183.	189.	195.	210.	230.	277.
0		3	3	1	4	0	7	1	1	4	4
1201507	APO. LOS CEDROS	150.	185.	205.	215.	221.	226.	230.	240.	252.	277.
0		2	7	2	1	5	3	1	1	6	9

Fuente: Elaboración propia.



Las funciones de probabilidad que mejor ajustaron dado el menor valor del estadístico Chi², se presentan en la Tabla 14.

Tabla 14 Funciones de mejor ajuste de lluvia detonante

CÓDIGO	ESTACIÓN	FUNCIÓN DE AJUSTE	Chi ²
12010100	EUPOL	Log-Pearson	8.9
12010110	PRADO MAR	Valor Extremo 3	1.55
12020010	PUEBLO BELLO	Gumbel	5.54
12025040	TURBO	Gumbel	6.54
12025030	EL MELLITO	Gumbel	8.41
12015070	APO. LOS CEDROS	Valor Extremo 3	6.49

Fuente: Elaboración propia.

3.1.3.1.2 Curvas Intensidad duración frecuencia – IDF sintéticas

La estimación de curvas IDF consideró escenarios de precipitación con periodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50, 100 y 500 años. El método de obtención de estas curvas sintéticas se basa en los trabajos realizados por Rodrigo Vargas y Mario Díaz-Granados en 1998, que dividen el país en cuatro regiones climatológicas a saber: Región Andina (R1), Región del Caribe (R2), Región del Pacífico (R3) y Región Orinoquía (R4).

La ecuación general propuesta es:

Ecuación 1. Estimación curvas IDF.

$$i \left(\frac{mm}{hr} \right) = \frac{a * T_r^b * M^d}{\left(\frac{t_c}{60} \right)^c}$$

Donde:

i : intensidad de precipitación en milímetros por hora (mm/hora).

T_r : Periodo de retorno en años.

M : Precipitación máxima promedio anual en 24 horas a nivel multianual.

t_c : Duración de la lluvia en minutos (min).

a, b, c, d : Parámetros de ajuste de la regresión según la región climática.

Dado que el área de la cuenca del Río Turbo - Currulao se encuentra en la región Caribe (R2), los coeficientes asignados según el método son: $a = 24,85$, $b = 0,22$, $c = 0,5$, $d = 0,1$. El procedimiento fue realizado para 6 estaciones climáticas (Eupol – 12010100, Prado Mar – 12010110, Pueblo Bello – 12020010, Turbo – 12025040, El Mellito – 12025030 y Aeropuerto Los Cedros – 12015070), éste puede ser consultado en el [Anexo 34](#).

A modo de ejemplo se presenta en la Figura 20 las curvas IDF obtenidas para la estación Turbo dada la información de lluvias máximas en 24 horas registradas.

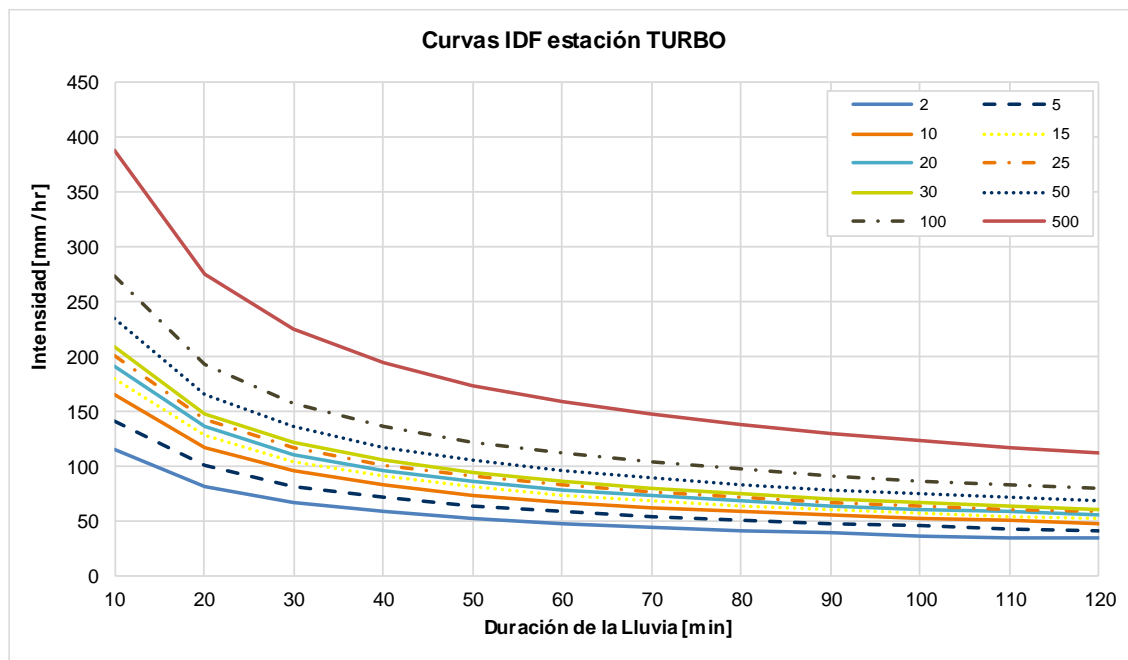


Figura 20. Curvas IDF para la estación Turbo (12025040).
Fuente: Elaboración propia.

La lectura de la curva IDF es la siguiente: se determina la duración de la lluvia que podría ser de 60 minutos, se selecciona de acuerdo con el requerimiento o diseño que se planté realizar el periodo de retorno en años (p.e. 2 años) y se lee en las ordenadas el valor de la intensidad en (mm/h), que para el ejemplo es de 50 mm/hr, como lluvia detonante.

3.1.3.2 Temperatura superficial

La temperatura es una magnitud física que caracteriza el movimiento aleatorio medio de las moléculas en un cuerpo físico. En particular, cuando se habla de la temperatura del aire, nos estamos refiriendo a la medida del estado térmico del aire con respecto a su habilidad de comunicar calor a su alrededor (IDEAM, 2005).

En esta sección se hace una descripción de la distribución temporal que tiene la temperatura a escala anual y mensual, para el periodo comprendido de 1985 a 2015. Posteriormente, se presenta la distribución espacial de la misma en términos anuales. En la Figura 21 se puede apreciar el comportamiento temporal de la temperatura media a escala anual. La Figura 22 corresponde a las series máximas absolutas de temperatura, las temperaturas mínimas absolutas se representan en la Figura 23.



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

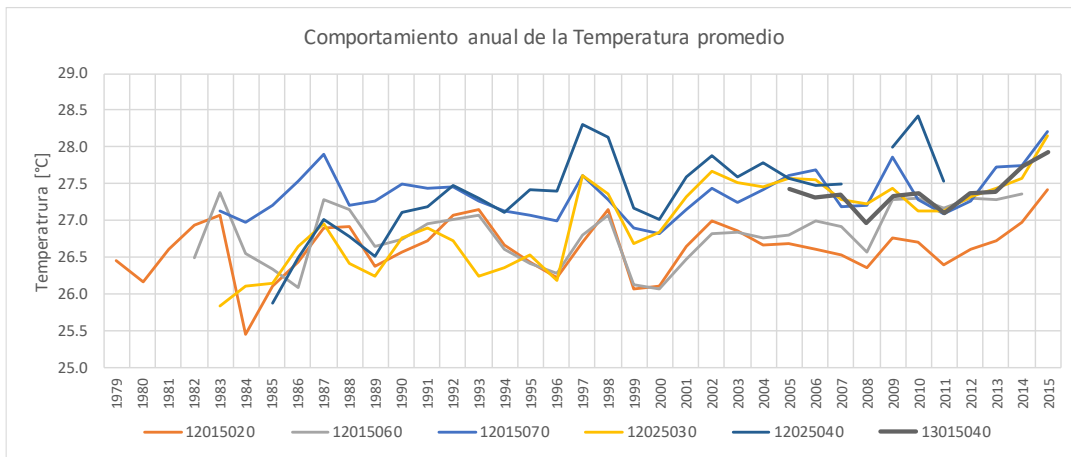


Figura 21. Temperatura media anual registrada en las estaciones climatológicas.
Fuente: Elaboración propia.

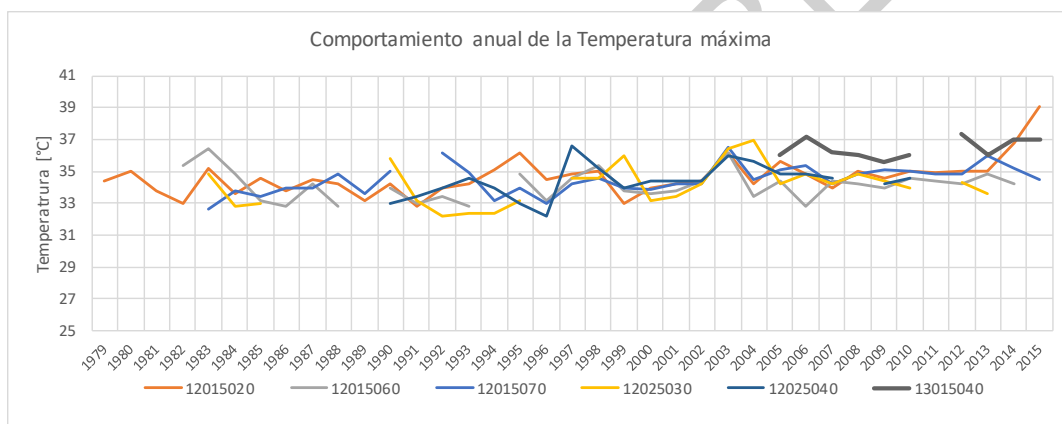


Figura 22. Temperatura máxima anual registrada en las estaciones climatológicas.
Fuente: Elaboración propia.

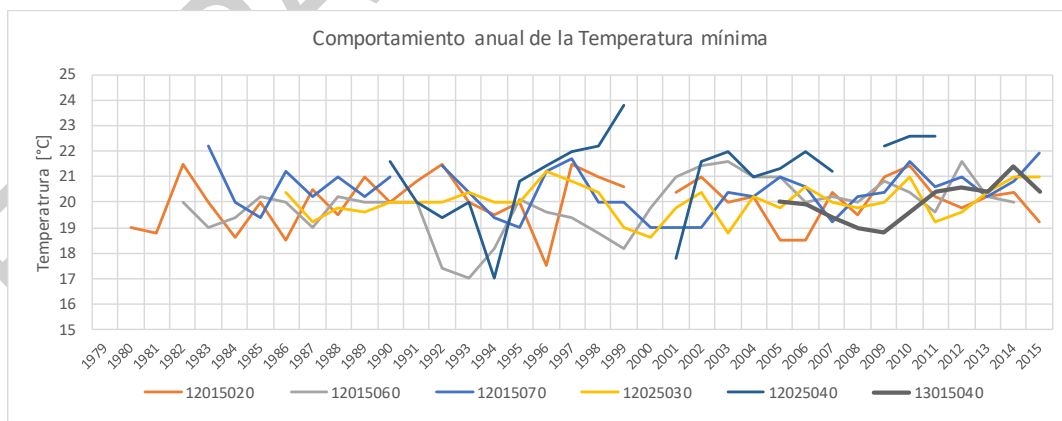


Figura 23. Temperatura mínima anual registrada en las estaciones climatológicas.
Fuente: Elaboración propia.



En términos promedios la temperatura oscila entre los 25,5°C a los 28°C en la cuenca en ordenación. En cuanto a la temperatura máxima absoluta, es clara la tendencia que marcan las series al ascenso desde el periodo 2002 y 2003. En estos dos años se evidenció un salto en todas las series de hasta 1°C, el registro histórico de temperaturas máximas promedio antes de este evento estaba en 34°C, para el periodo actual se presenta un valor cercano a los 35°C, siendo el año 2015 el más cálido. La temperatura mínima absoluta ha marcado bajos de hasta 17°C, sin embargo, su valor promedio antes del año 2009 fluctuaba en los 20°C, luego de este periodo también se observa un aumento de 0,5°C. En la Tabla 15 se presentan los valores promedios, máximos y mínimos absolutos multianuales.

Tabla 15. Precipitación promedio multianual (mm).

CÓDIGO	NOMBRE	T PROM	T MÍN	T MÁX
12015020	UNIBAN	26,6	17,5	39,1
12015060	TULENAPA	26,8	17,0	36,4
12015070	APTO LOS CEDROS	27,4	19,0	36,5
12025030	EL MELLITO	27,0	18,6	37,0
12025040	TURBO	27,4	17,0	36,6
13015040	REPRESA URRÁ	27,4	18,8	37,4

Fuente: Elaboración propia.

La representación espacial de la variable temperatura se realizó mediante el método de interpolación espacial: Inverse – Distance – Weighted (IDW, por sus siglas en inglés). Este método de interpolación es apropiado para condiciones en las que se disponga de poca densidad espacial de puntos de muestreo y que estos no presenten mucha variabilidad en el parámetro climático monitoreado, así como para condiciones altitudinales. La desventaja del método radica en que no tiene en cuenta gradientes altitudinales, por ejemplo, para la temperatura, sin embargo, la homogeneidad de los parámetros da lugar a inferir que el efecto de la orografía no es determinante para el POMCA del Río Turbo Currulao, por tal motivo la aplicabilidad del método de interpolación IDW se considera aceptable. En la Figura 24 se representa la espacialización de la temperatura promedio. La Figura 25 corresponde a la espacialización de la temperatura máxima y la temperatura mínima se ilustra en la Figura 26.

EN ETAPAS



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

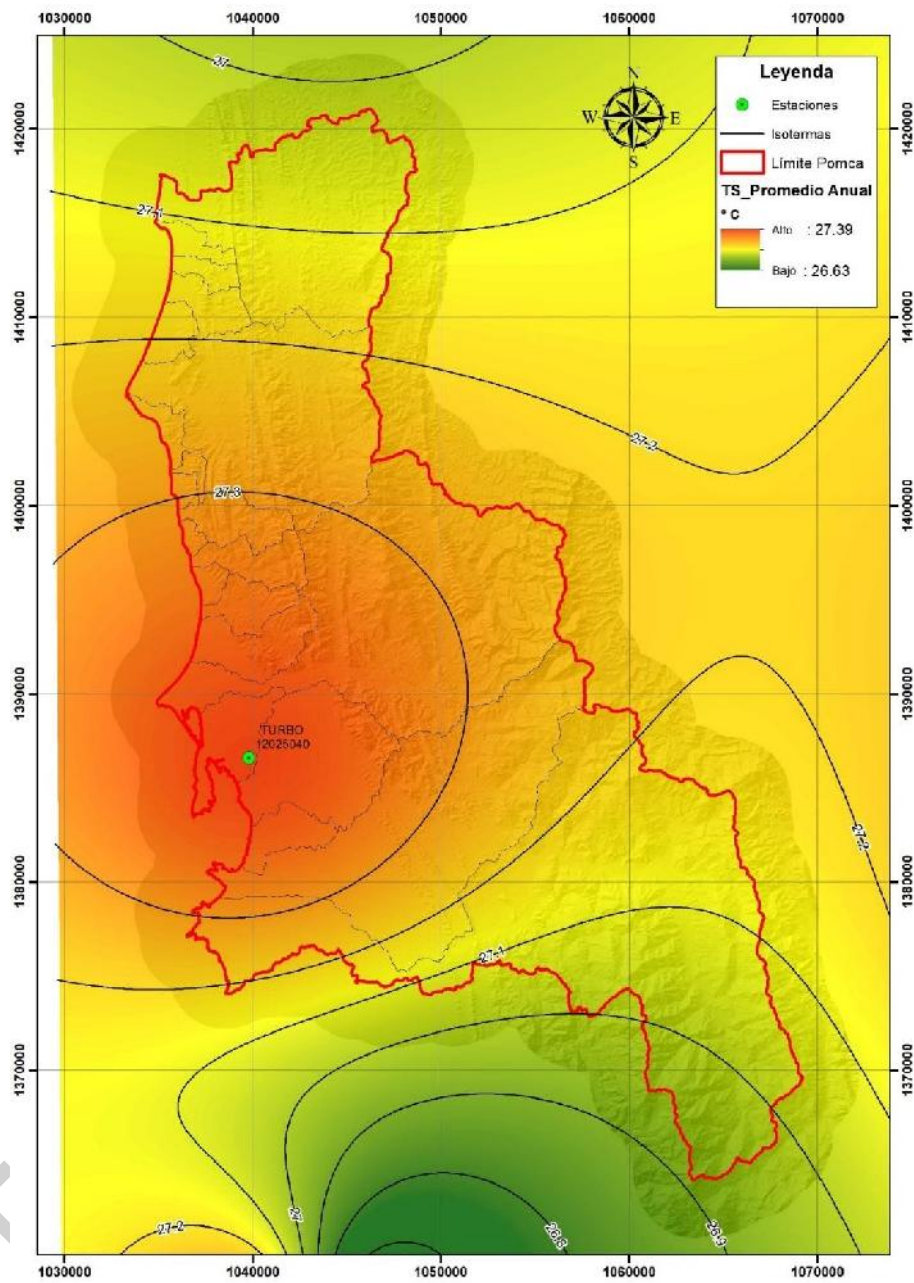


Figura 24. Isotermas y rangos de temperatura promedio multianual.
Fuente: Elaboración propia.

ENVET

ADAD



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

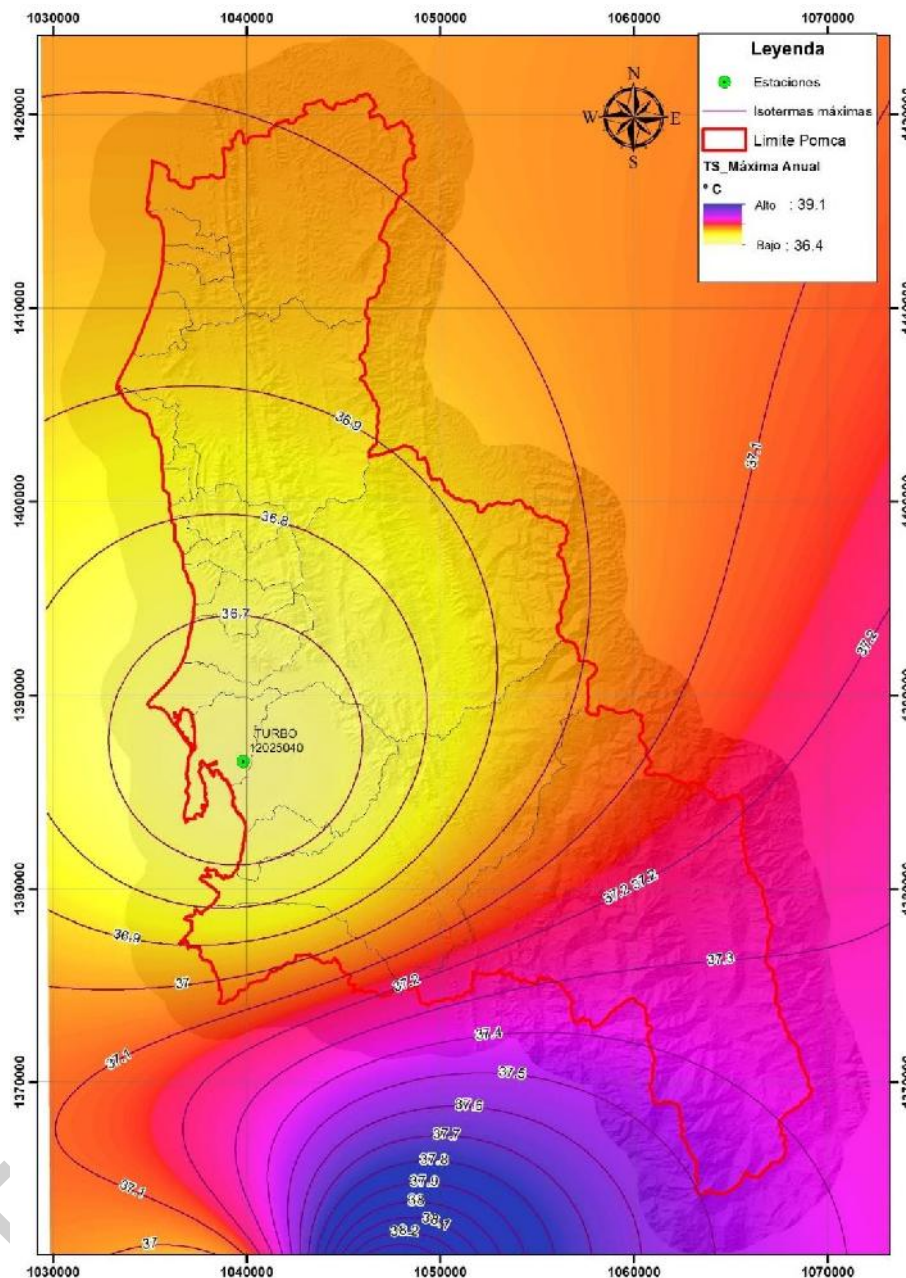


Figura 25. Isotermas y rangos de temperatura máxima promedio multianual.
Fuente: Elaboración propia.



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

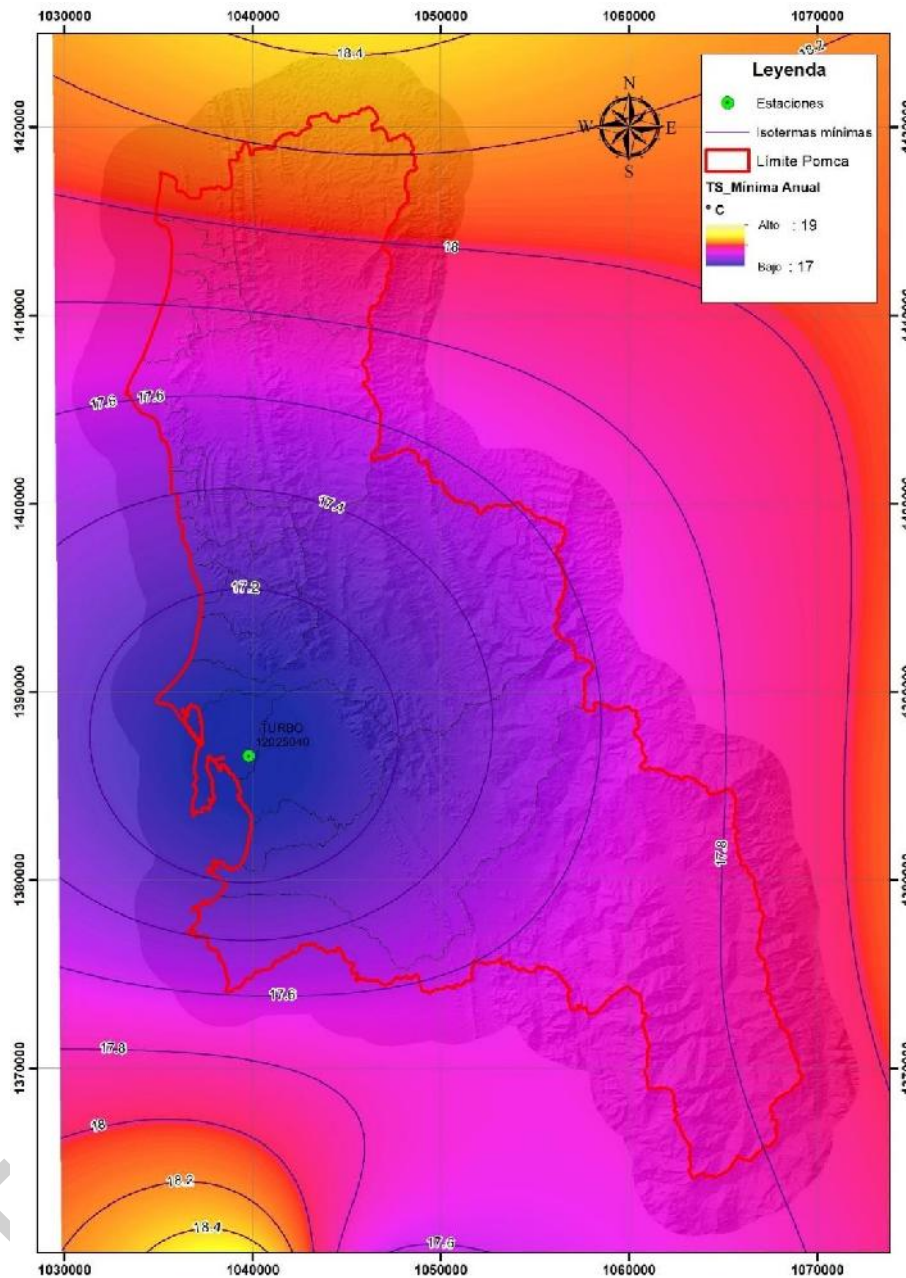


Figura 26. Isotermas y rangos de temperatura mínima promedio multianual.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 27 se presenta el comportamiento mensual multianual de la temperatura mínima, máxima absolutas promedio y media mensual multianual.



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

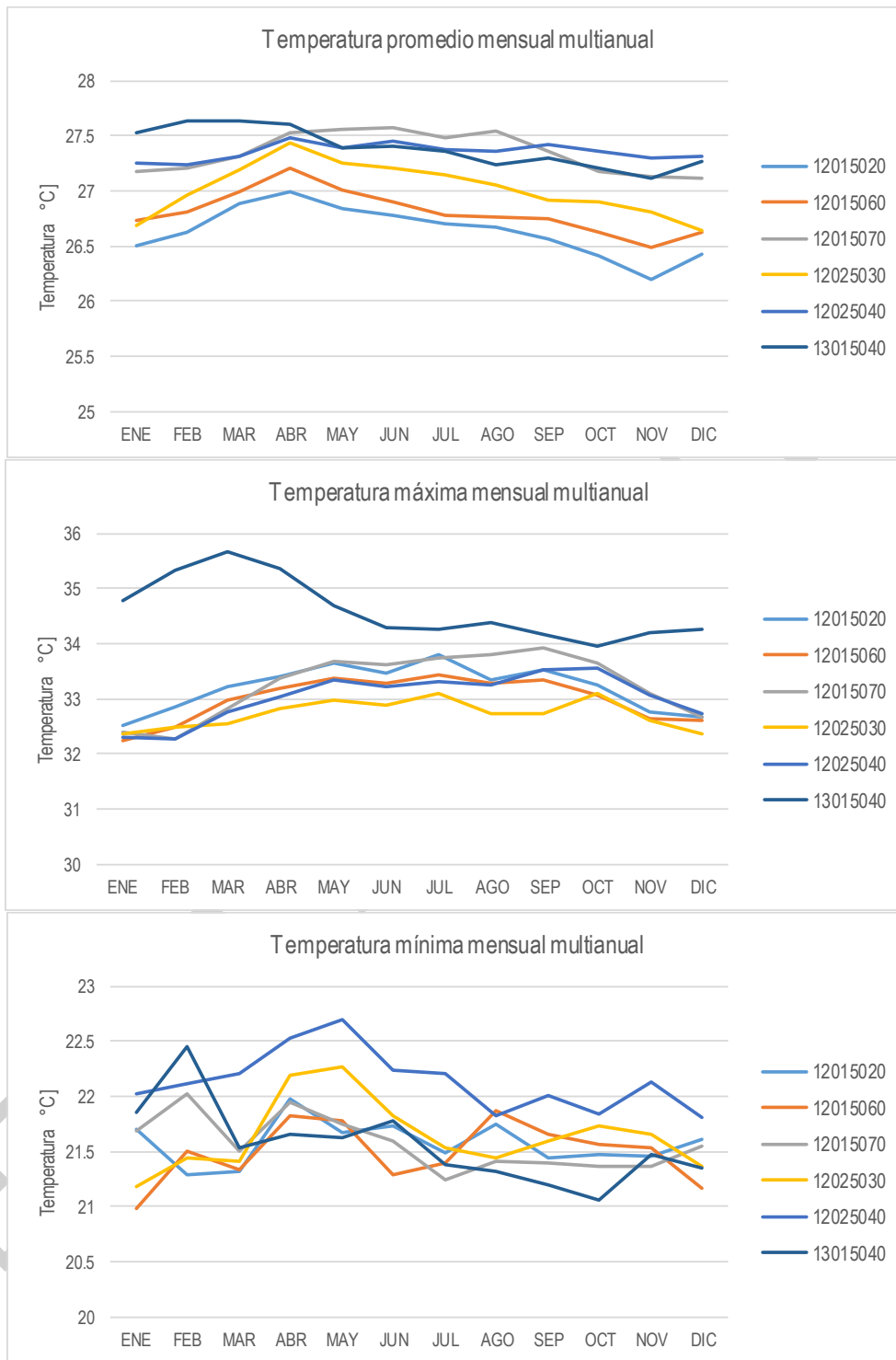


Figura 27. Régimen mensual de la temperatura.
Fuente: Elaboración propia.



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

Los meses de marzo y abril son los más cálidos en la cuenca, sin embargo, los periodos en los que se evidencian los extremos máximos y mínimos de temperatura corresponden a los meses de septiembre y octubre. En la Tabla 16 se puede consultar el valor numérico de la temperatura en las diversas estaciones climáticas.

Tabla 16 Valores mensuales de temperatura media, máxima y mínima

Mes	12015020			12015060			12015070		
	T°C prom	T°C máx	T°C mín	T°C prom	T°C máx	T°C mín	T°C prom	T°C máx	T°C mín
ENE	26.51	32.53	21.70	26.73	32.53	20.99	27.17	32.40	21.69
FEB	26.62	32.85	21.29	26.82	32.85	21.51	27.20	32.26	22.02
MAR	26.89	33.21	21.31	27.00	33.21	21.33	27.32	32.82	21.50
ABR	27.00	33.41	21.97	27.21	33.41	21.83	27.53	33.37	21.95
MAY	26.84	33.64	21.67	27.00	33.64	21.78	27.55	33.67	21.74
JUN	26.77	33.46	21.73	26.90	33.46	21.28	27.58	33.62	21.59
JUL	26.70	33.79	21.48	26.78	33.79	21.39	27.48	33.73	21.24
AG	26.68	33.35	21.75	26.77	33.35	21.88	27.54	33.79	21.40
O									
SEP	26.56	33.52	21.45	26.75	33.52	21.66	27.36	33.91	21.39
OCT	26.42	33.26	21.47	26.62	33.26	21.57	27.18	33.64	21.36
NOV	26.20	32.77	21.45	26.48	32.77	21.53	27.13	33.11	21.37
DIC	26.42	32.68	21.61	26.62	32.68	21.17	27.12	32.68	21.55

Mes	12025030			12025040			13015040		
	T°C prom	T°C máx	T°C mín	T°C prom	T°C máx	T°C mín	T°C prom	T°C máx	T°C mín
ENE	26.68	32.35	21.17	27.25	32.29	22.02	27.52	34.79	21.85
FEB	26.96	32.48	21.44	27.24	32.28	22.12	27.63	35.34	22.45
MAR	27.19	32.55	21.42	27.31	32.78	22.21	27.63	35.68	21.54
ABR	27.43	32.83	22.19	27.48	33.03	22.53	27.61	35.37	21.65
MAY	27.26	32.98	22.27	27.38	33.36	22.70	27.38	34.70	21.62
JUN	27.20	32.88	21.83	27.45	33.23	22.24	27.40	34.28	21.78
JUL	27.15	33.10	21.53	27.38	33.32	22.21	27.36	34.26	21.38
AG	27.06	32.74	21.44	27.36	33.24	21.82	27.24	34.38	21.32
O									
SEP	26.92	32.73	21.60	27.42	33.53	22.00	27.30	34.17	21.20
OCT	26.90	33.10	21.73	27.36	33.56	21.84	27.21	33.96	21.06
NOV	26.81	32.59	21.66	27.29	33.07	22.13	27.11	34.20	21.47
DIC	26.64	32.36	21.36	27.32	32.74	21.81	27.26	34.25	21.34

Fuente: Elaboración propia.

El análisis gráfico y numérico de la temperatura puede consultarse en el [Anexo 36](#).

La distribución espacial de la temperatura media mensual se presenta en la Figura 28, Figura 29 y Figura 30. Por su parte la temperatura mínima a nivel mensual se puede consultar en la Figura 31, Figura 32 y Figura 33.

Finalmente en la Figura 34, Figura 35 y Figura 36 se presenta la distribución espacial de la temperatura máxima mensual.



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

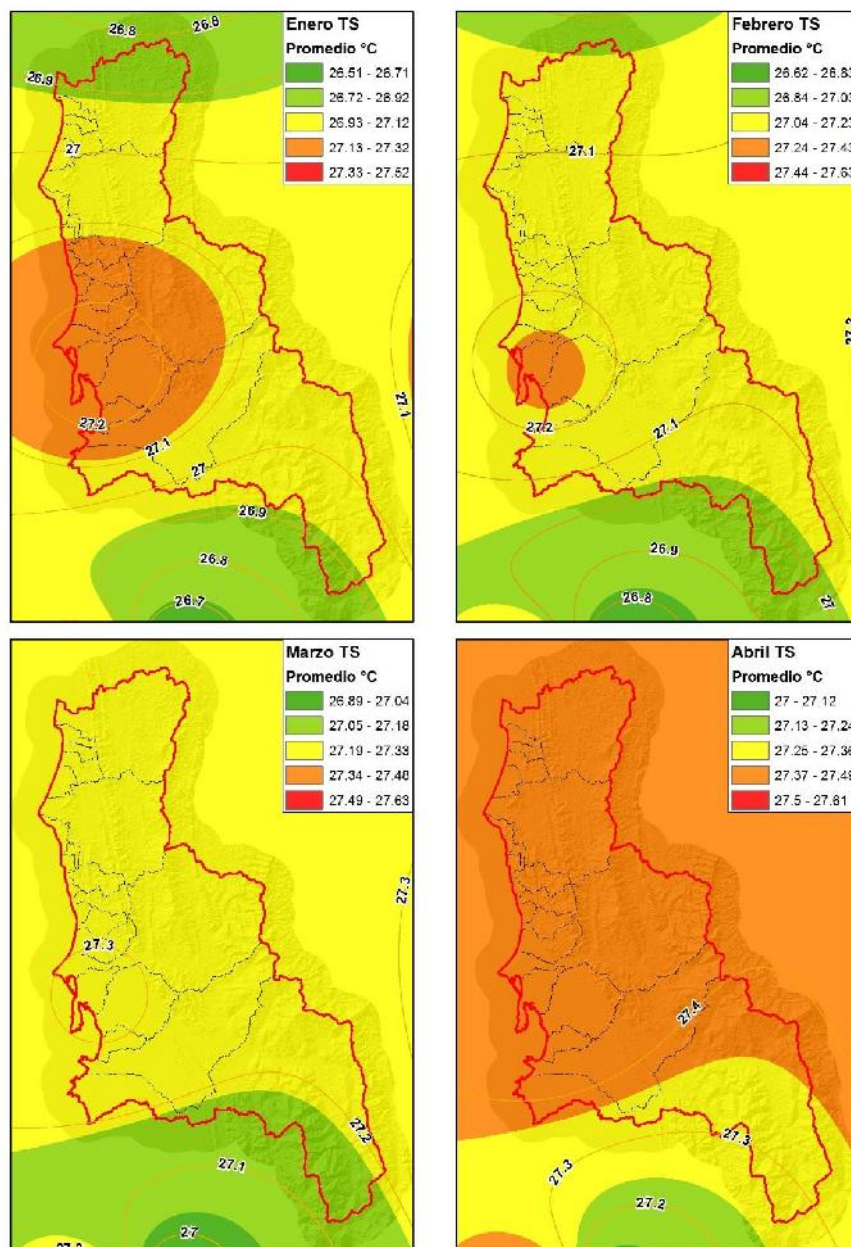


Figura 28. Distribución mensual de la temperatura media en el primer cuatrimestre del año.
Fuente: Elaboración propia.



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

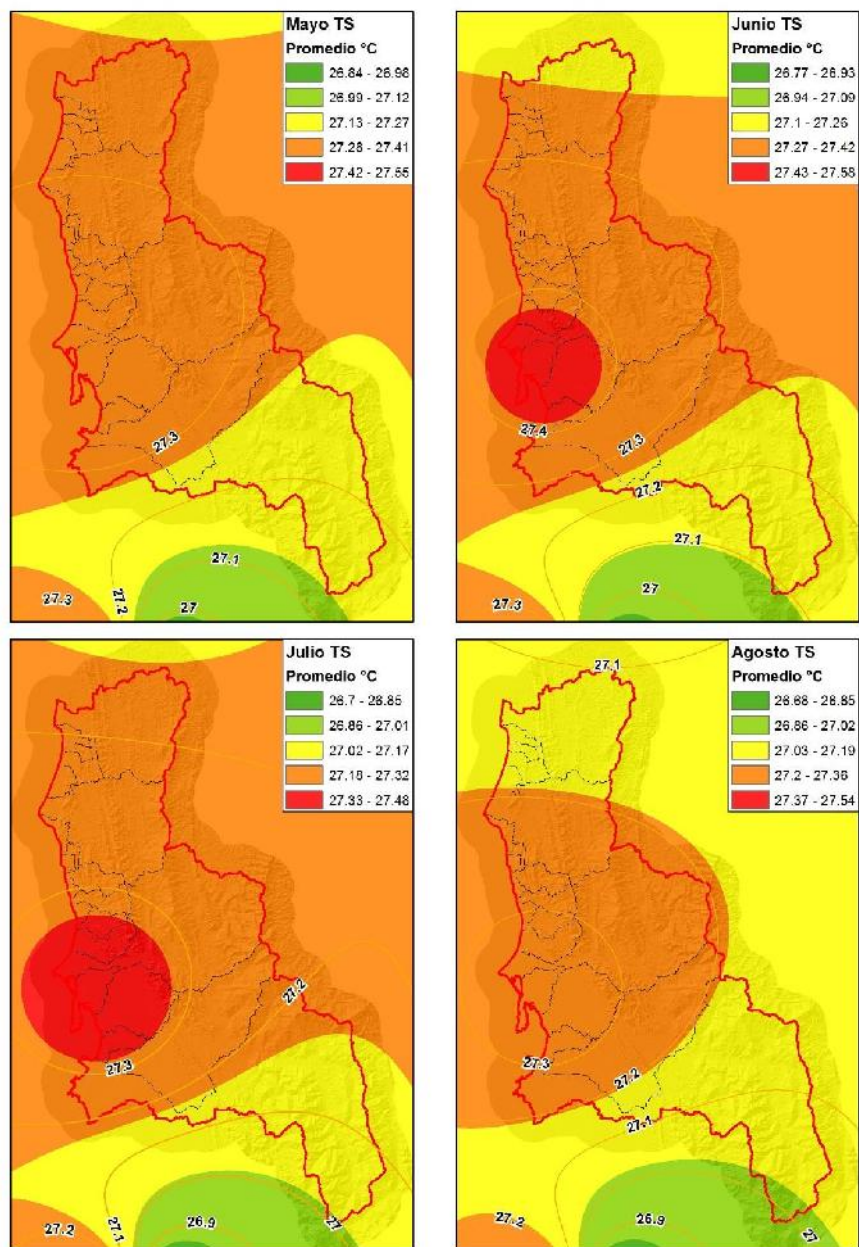


Figura 29. Distribución mensual de la temperatura media en el segundo cuatrimestre del año.
Fuente: Elaboración propia.



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

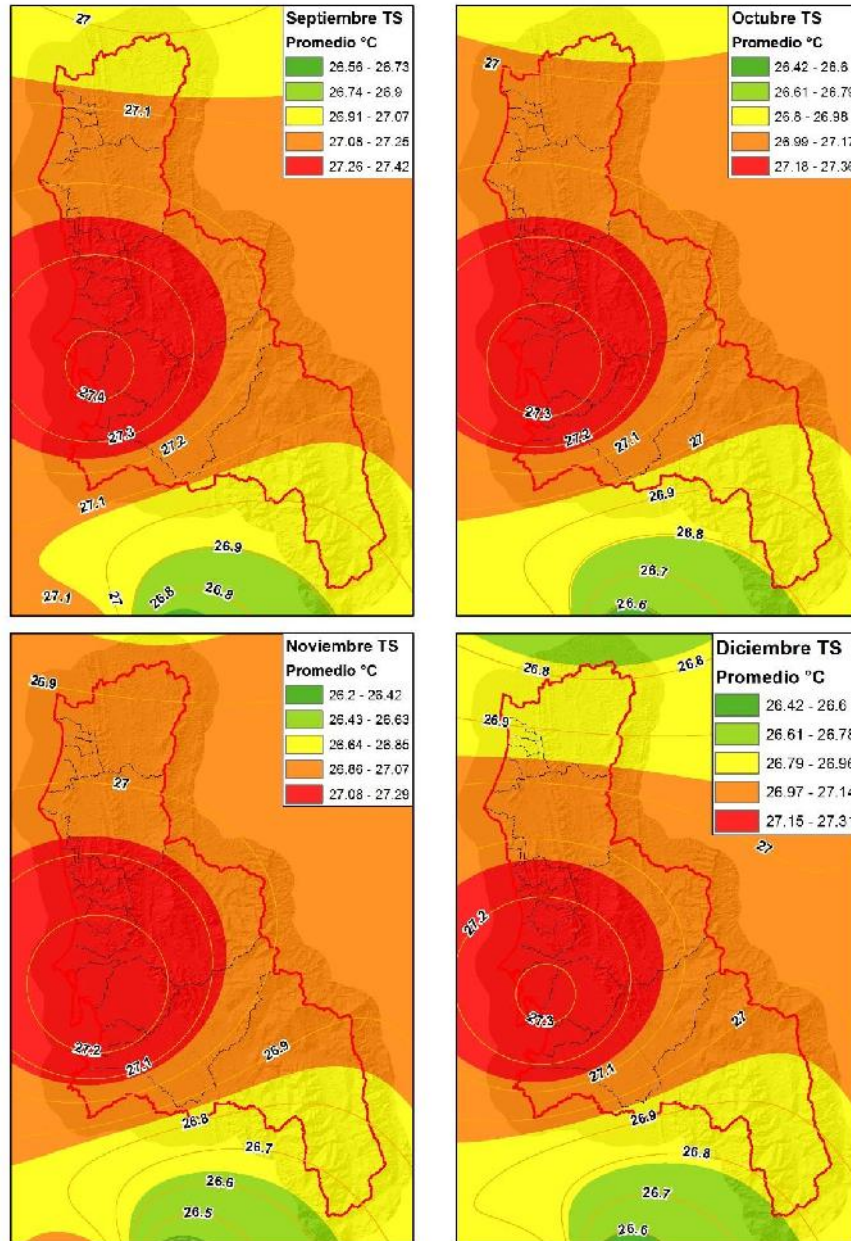


Figura 30. Distribución mensual de la temperatura media en el tercer cuatrimestre del año.
Fuente: Elaboración propia.



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

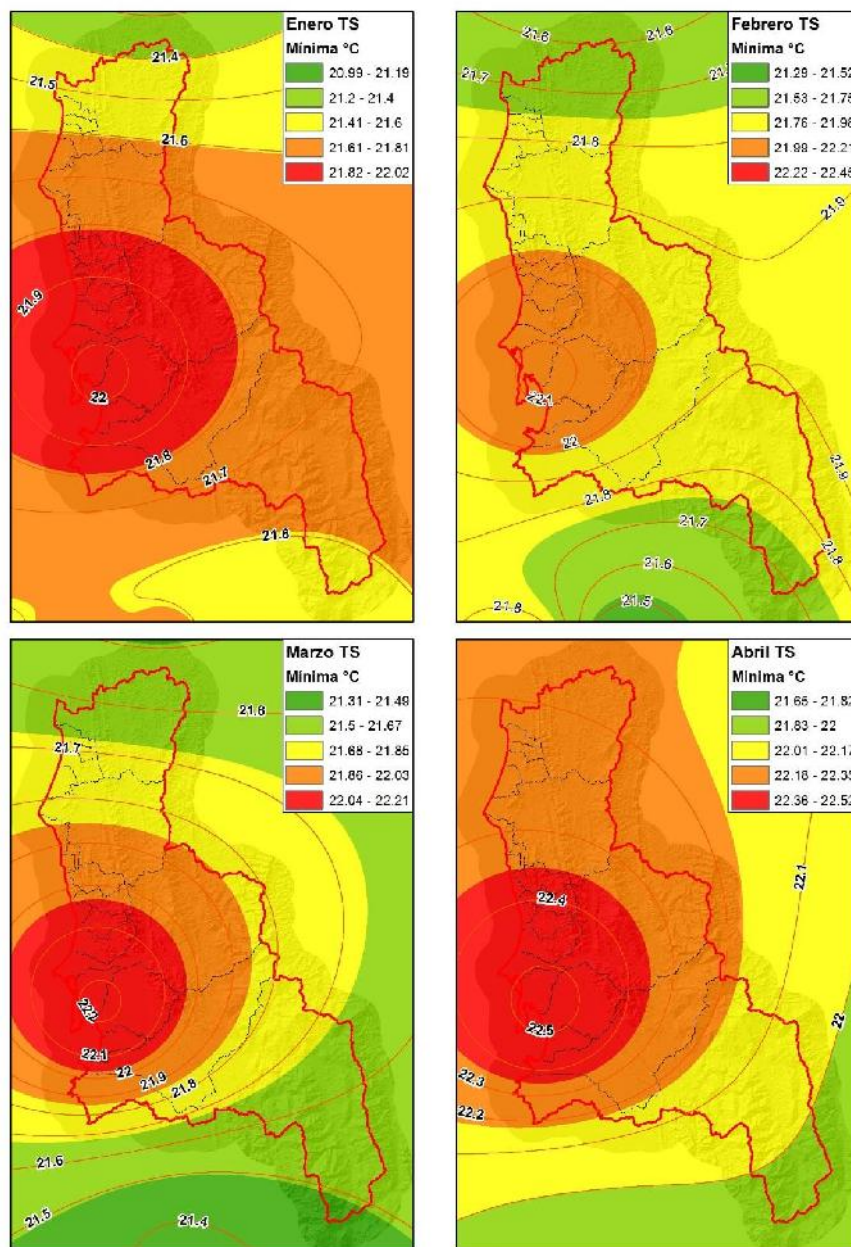


Figura 31. Distribución mensual de la temperatura mínima en el primer cuatrimestre del año.
Fuente: Elaboración propia.



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

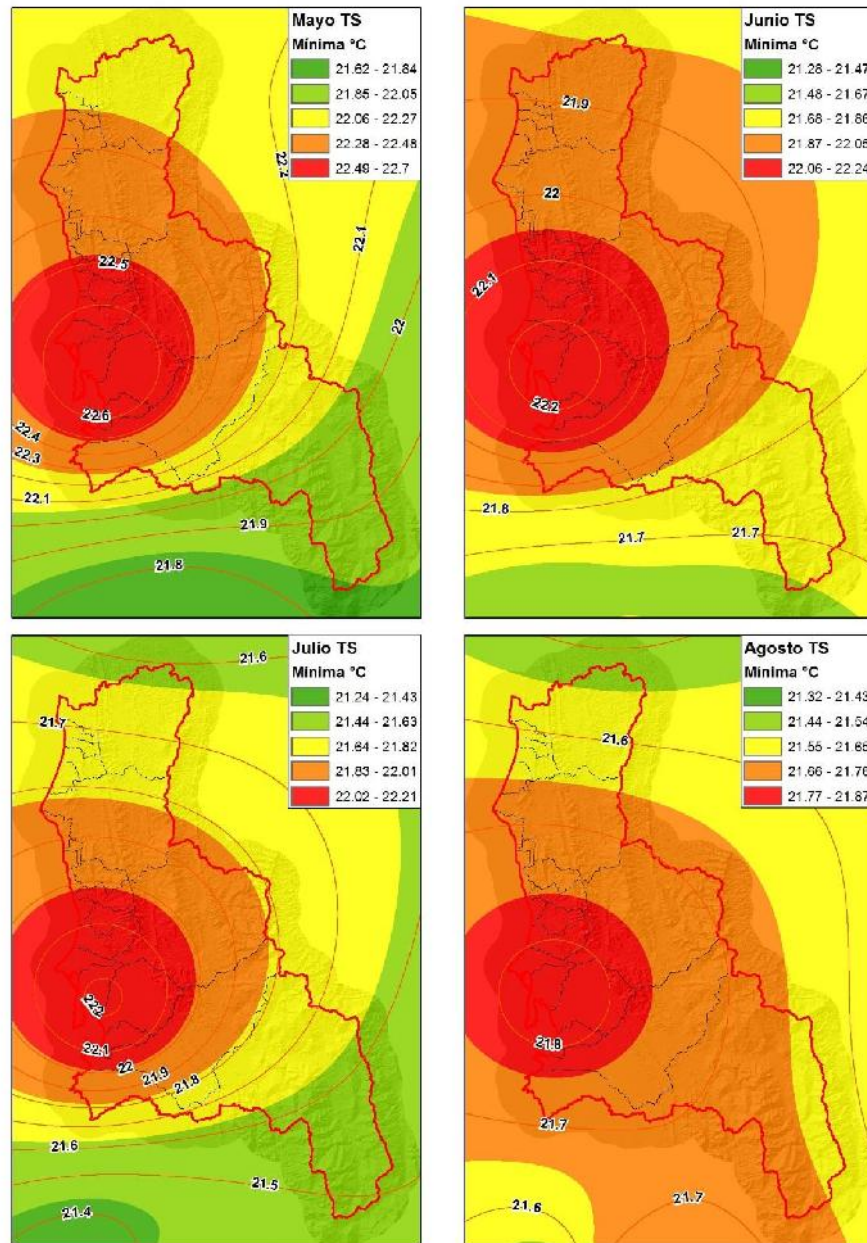


Figura 32. Distribución mensual de la temperatura mínima en el segundo cuatrimestre del año.
Fuente: Elaboración propia.



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

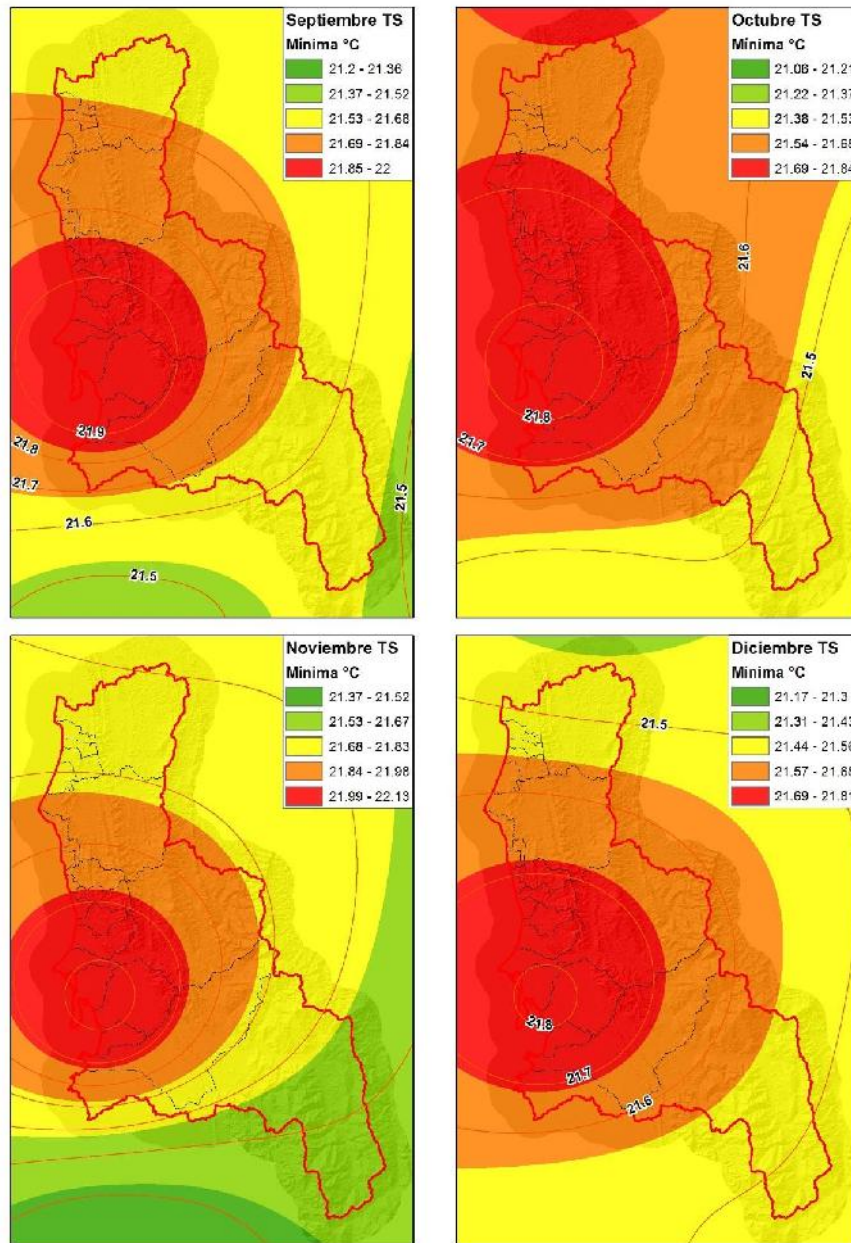


Figura 33. Distribución mensual de la temperatura mínima en el tercer cuatrimestre del año.
Fuente: Elaboración propia.



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

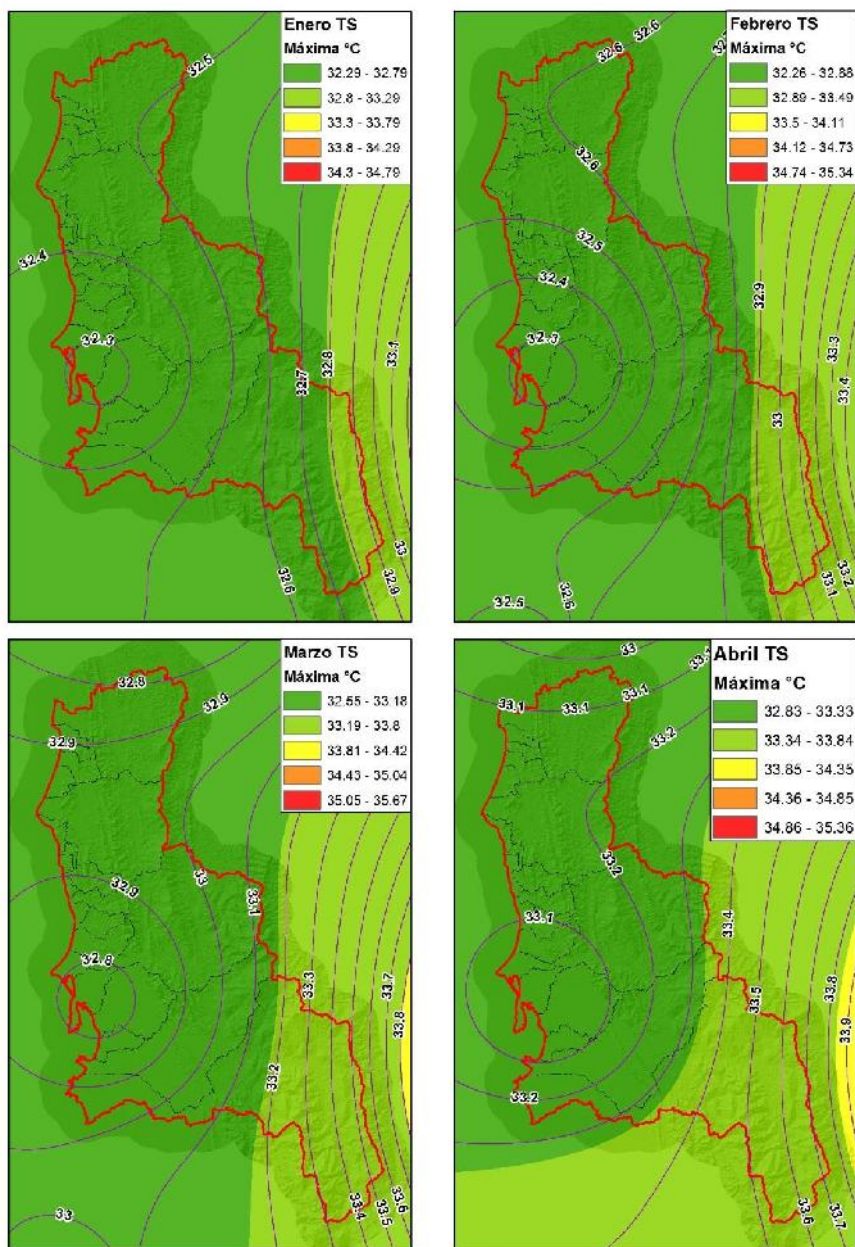


Figura 34. Distribución mensual de la temperatura máxima en el primer cuatrimestre del año.
Fuente: Elaboración propia.



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

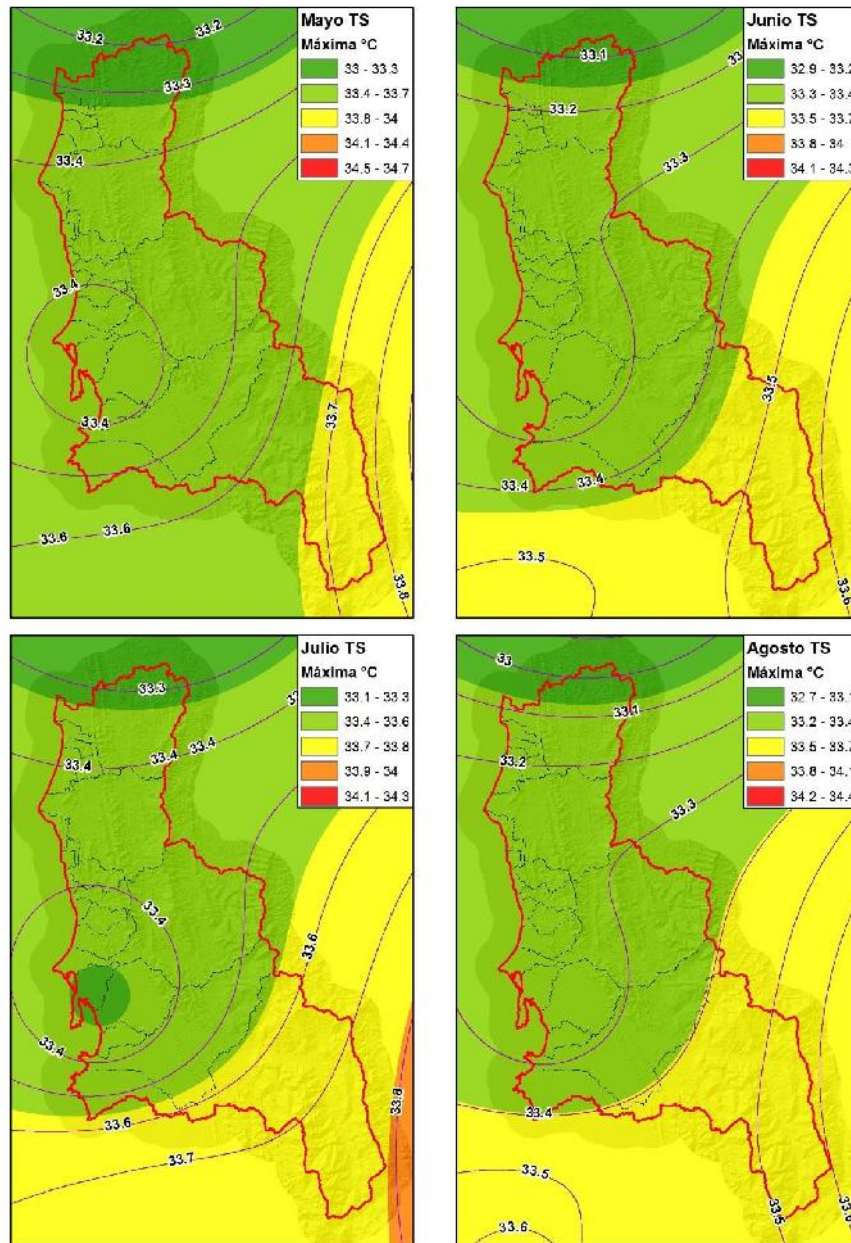


Figura 35. Distribución mensual de la temperatura máxima en el segundo cuatrimestre del año.
Fuente: Elaboración propia.

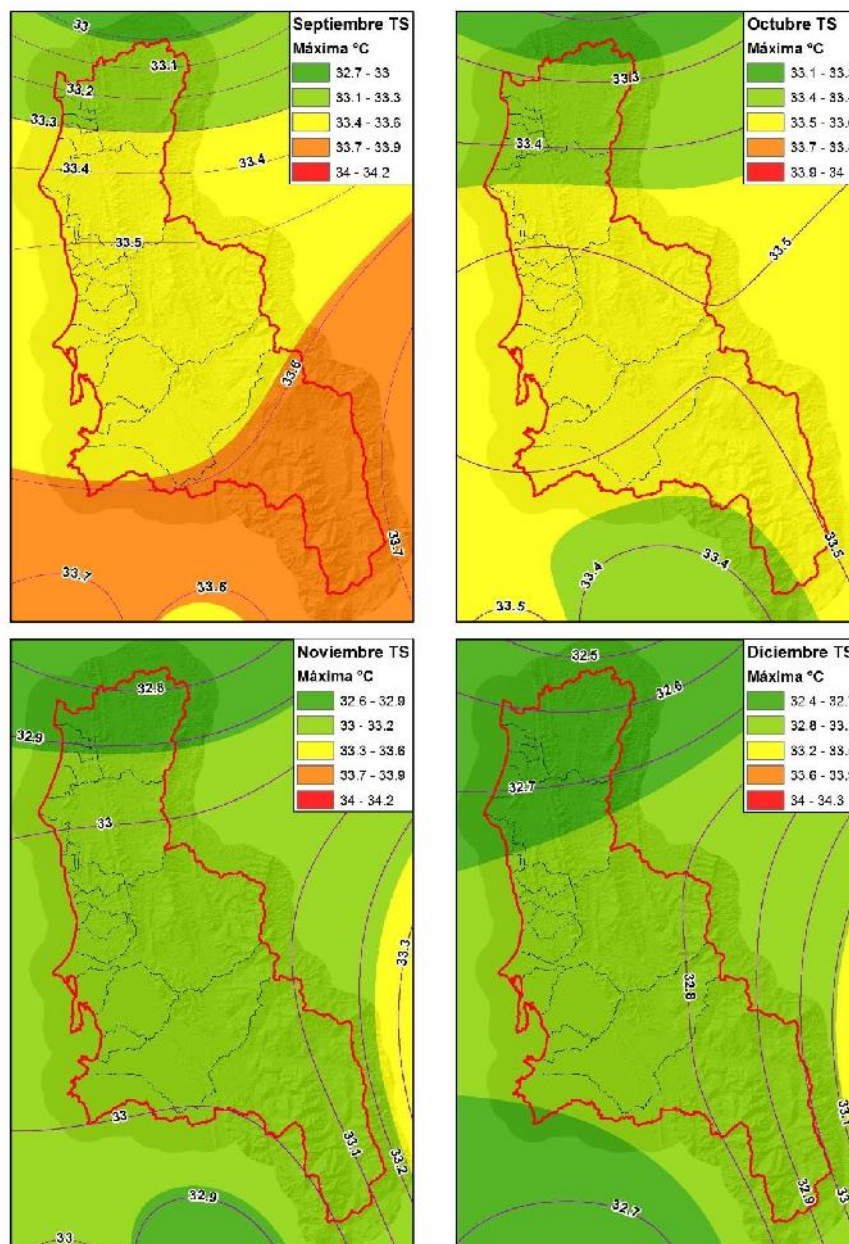


Figura 36. Distribución mensual de la temperatura máxima en el tercer cuatrimestre del año.
Fuente: Elaboración propia.

3.1.3.3 Humedad relativa

La humedad relativa del aire se define como “el vapor de agua que existe en una masa de aire, expresado como un porcentaje de la cantidad total que existiría si el aire estuviese saturado a esta temperatura. Se expresa en unidades enteras que van de cero (0) hasta el 100%.” Los valores de humedad relativa dependen de la temperatura (IDEAM, 2005).



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

A continuación, se presenta la descripción de la distribución temporal de la humedad relativa a escala anual y mensual en las estaciones de análisis, la estación Turbo (12025040) no se tuvo en cuenta debido a que no aprobó los test estadísticos en cuanto a disponibilidad de información, el periodo de análisis comprende de 1983 a 2015. En la Figura 37 se puede consultar el comportamiento de este parámetro a escala anual.

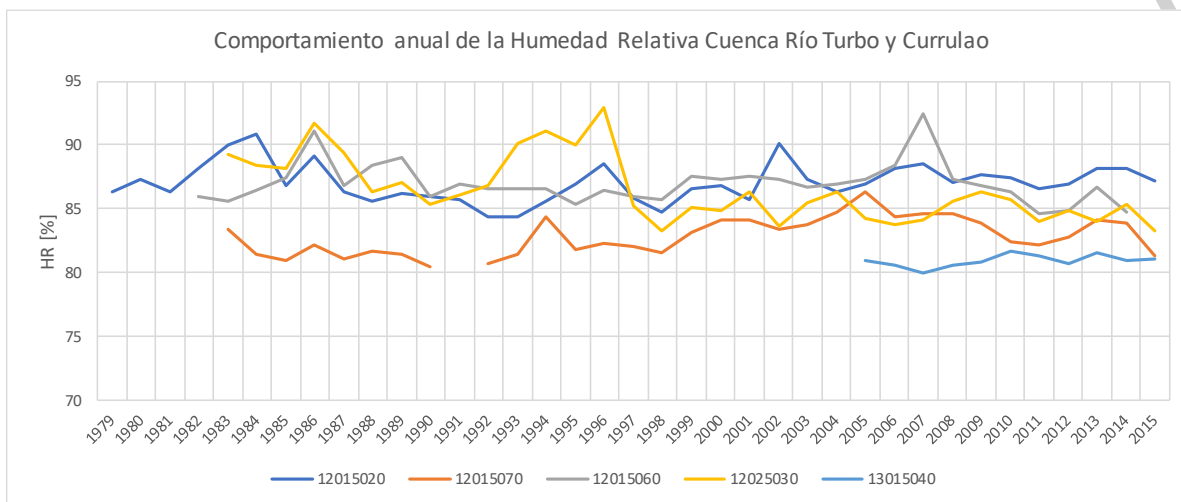
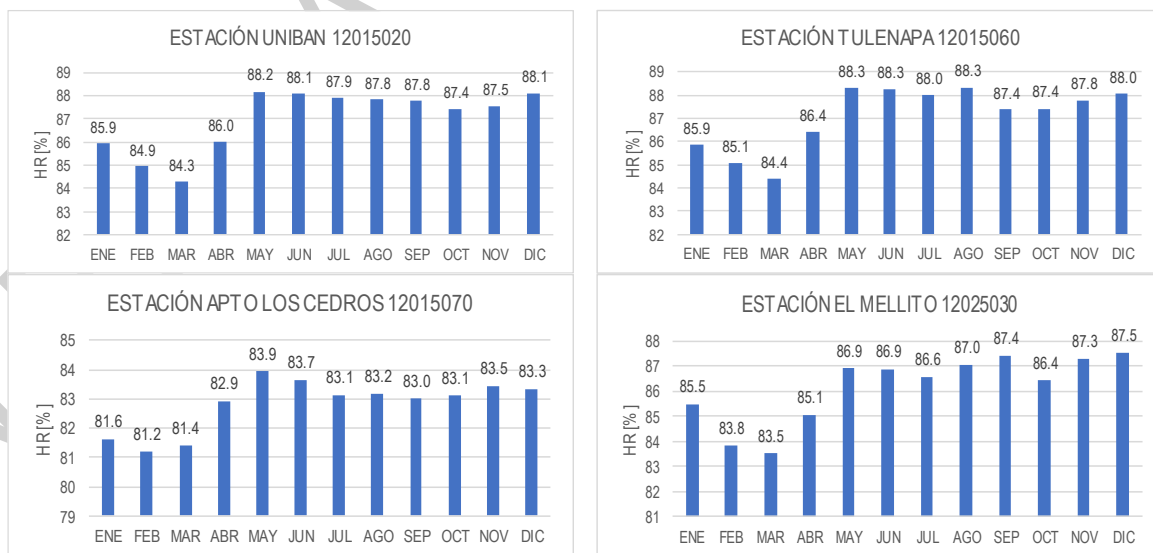


Figura 37. Humedad relativa media anual registrada en las estaciones climatológicas.
Fuente: Elaboración propia.

Los valores promedios anuales de la humedad relativa oscilan entre el 80 al 90 % en las diversas estaciones analizadas. La estación El Mellito (12025030) presentó un cambio en su valor modal en el año 1996 a 1997.

En la Figura 38 se presenta el comportamiento mensual multianual de la humedad relativa.



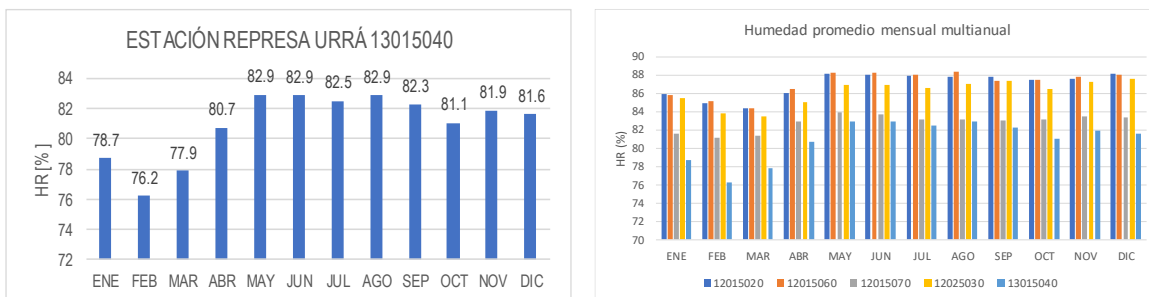


Figura 38. Régimen mensual de la humedad relativa.
Fuente: Elaboración propia.

El comportamiento mensual de la humedad relativa está relacionado directamente con el régimen de lluvias, los valores más bajos de este parámetro corresponden a los de menores precipitaciones (enero a marzo). En la Tabla 17 se puede consultar el valor numérico de este parámetro en las estaciones analizadas.

Tabla 17 Valores mensuales de la humedad relativa

Mes	12015020	12015060	12015070	12025030	13015040
ENE	85.9	85.9	81.6	85.5	78.7
FEB	84.9	85.1	81.2	83.8	76.2
MAR	84.3	84.4	81.4	83.5	77.9
ABR	86.0	86.4	82.9	85.1	80.7
MAY	88.2	88.3	83.9	86.9	82.9
JUN	88.1	88.3	83.7	86.9	82.9
JUL	87.9	88.0	83.1	86.6	82.5
AGO	87.8	88.3	83.2	87.0	82.9
SEP	87.8	87.4	83.0	87.4	82.3
OCT	87.4	87.4	83.1	86.4	81.1
NOV	87.5	87.8	83.5	87.3	81.9
DIC	88.1	88.0	83.3	87.5	81.6

Fuente: Elaboración propia.

El análisis gráfico y numérico de la humedad relativa puede consultarse en el [Anexo 36](#).

3.1.3.4 Brillo solar

El brillo solar representa el tiempo que se encuentra iluminada una región o área, esta variable está relacionada con los procesos de evaporación y evapotranspiración y se expresa en horas/día. El periodo de análisis corresponde de 1983 a 2015.

En la Figura 39 y Figura 40 se puede observar su comportamiento mensual multianual en términos promedio y valores máximos diarios.

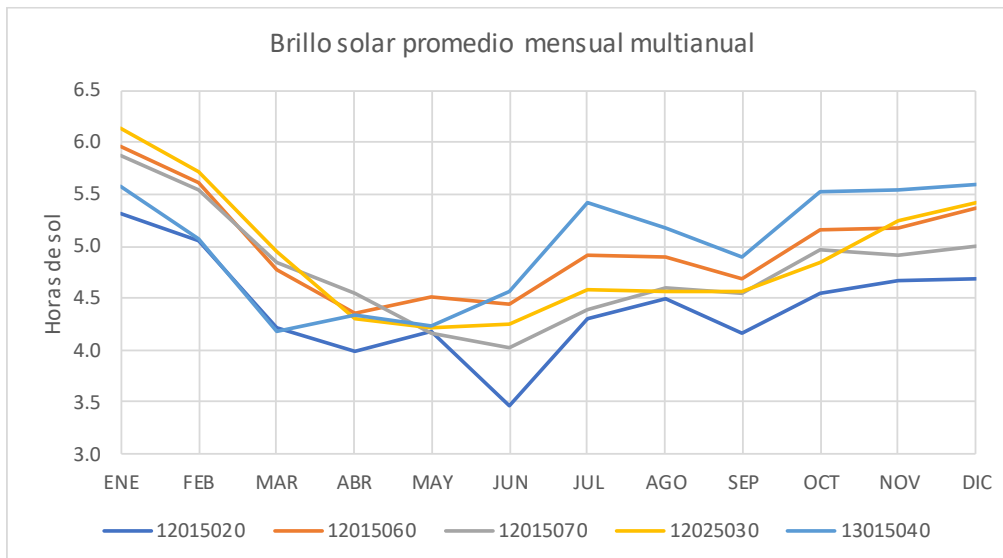


Figura 39. Valores promedios mensuales multianuales de horas de sol.
Fuente: Elaboración propia.

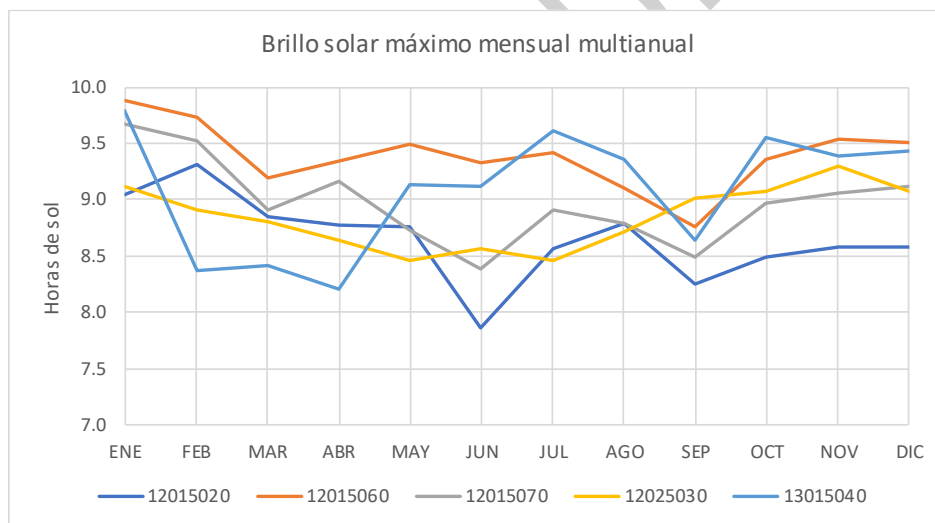


Figura 40. Valores máximos mensuales multianuales de horas de sol.
Fuente: Elaboración propia.

Los meses de enero y febrero son los más iluminados en el año, el valor medio es de 5,7 h/día para este bimestre; el máximo valor registrado ha sido 10 h/día de sol. El mes con menos horas de sol corresponde a junio.

Tabla 18 Valores medios diarios de brillo solar.

Mes	12015020	12015060	12015070	12025030	13015040
ENE	5.32	5.96	5.87	6.13	5.57
FEB	5.06	5.61	5.55	5.72	5.08
MAR	4.21	4.78	4.85	4.94	4.17
ABR	3.99	4.35	4.54	4.29	4.34
MAY	4.18	4.51	4.16	4.21	4.23



Mes	12015020	12015060	12015070	12025030	13015040
JUN	3.46	4.44	4.02	4.24	4.56
JUL	4.30	4.91	4.38	4.58	5.41
AGO	4.49	4.89	4.59	4.57	5.18
SEP	4.17	4.68	4.54	4.56	4.90
OCT	4.55	5.16	4.96	4.84	5.53
NOV	4.67	5.17	4.92	5.25	5.54
DIC	4.69	5.36	5.00	5.42	5.59

Fuente: Elaboración propia.

El análisis gráfico y numérico del brillo solar puede consultarse en el [Anexo 36](#).

3.1.3.5 Velocidad y dirección del viento

El viento es el movimiento natural del aire, éste transporta energía y masa. Las mediciones del viento se hacen de acuerdo con dos criterios: velocidad a la cual determina su fuerza y se mide en unidades de m/s (metros por segundo) y la dirección, es decir, desde donde sopla el viento (orientación del vector), ésta se mide en grados (°) tomando como origen el Norte geográfico (IDEAM, 2006).

La única estación con registros de este parámetro es la del Aeropuerto Los Cedros (12015070) para el periodo 1984 a 2006. En la Figura 41 se presentan los valores mínimos, medios y máximos promedios de velocidad del viento.

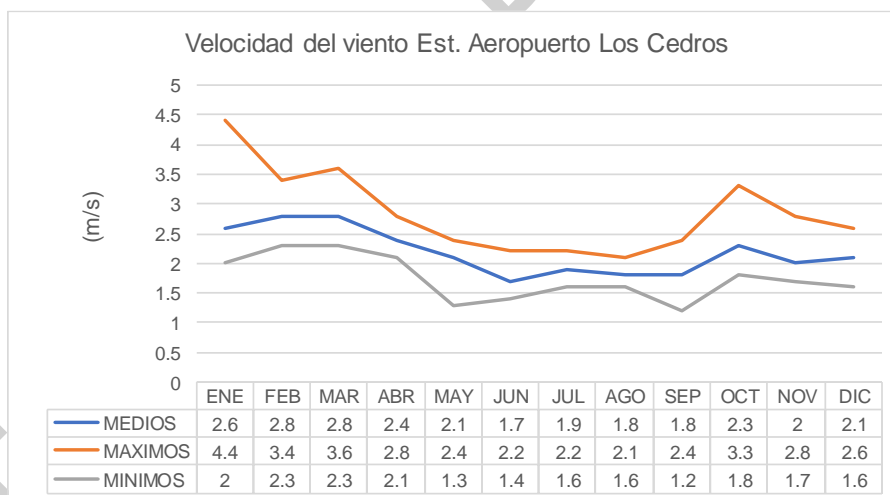


Figura 41. Valores medios de velocidad del viento estación Apto. Los Cedros (12015070).

Fuente: Elaboración propia.

Los registros consultados para velocidad máxima absoluta del viento se presentan en la Tabla 19.

Tabla 19. Valores máximos absolutos de velocidad del viento.

AÑO	1994	1995	1996	1999	2000	2001	2002	2003	2005	2006
Vel. Máxima (m/s)	16,5	7,5	7,1	4,9	8	7,7	9,2	8	7,2	9,4
Dirección	NE	N	W	SW	NW	NW	NW	W	SE	NW

Fuente: Elaboración propia.



Según la escala de Beaufort (medida empírica de la intensidad del viento), el mayor registro de este valor que fue de 16,5 m/s se clasifica según la escala como de orden 7, denominado viento fuerte, caracterizado por los aspectos de mar gruesa, con espuma arrastrada en la dirección NE.

Con los registros de velocidades diarias del viento y su dirección, fue posible elaborar la rosa de los vientos (Figura 42), que fue dividida en 8 direcciones (N, NE, E, SE, S, SO, O, NO); cada barra en el gráfico indica la frecuencia con que sopla el viento desde esa dirección.

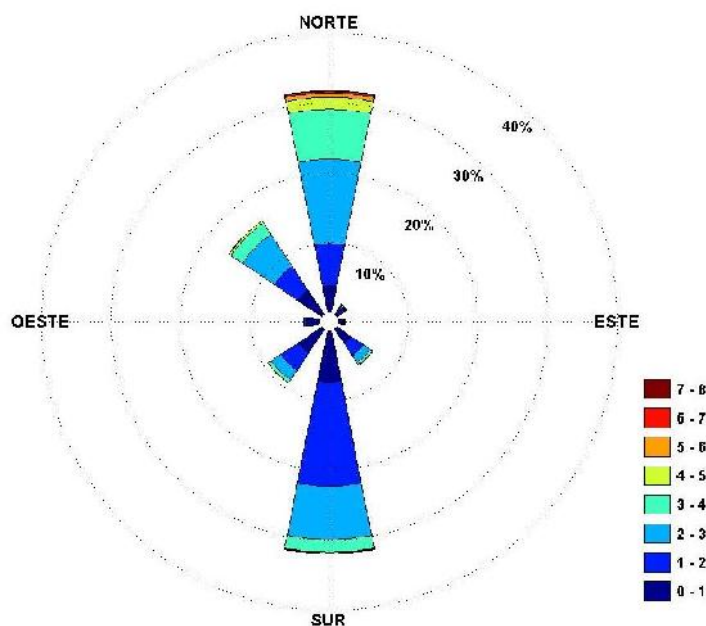


Figura 42. Rosa de los vientos estación Apto. Los Cedros (12015070).
Fuente: Elaboración propia.

Se observa que el viento proviene predominantemente del Norte y Sur, igualmente se observa que las velocidades del viento en su mayoría se encuentran en el rango de los 1 a 2 m/s (dirección sur frecuencia relativa 15%) y 2 a 3 m/s (dirección norte frecuencia relativa 12%). En la Tabla 20 se puede consultar el porcentaje de cada rango de velocidad según la dirección predominante.

Tabla 20. Frecuencia relativa porcentual de la velocidad del viento.

Frecuencia %		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
Rango de velocidad (m/s)	0 a 1	3,9%	0,9%	0,7%	2,3%	7,3%	4,0%	2,0%	4,1%
	1 a 2	6,0%	0,3%	0,1%	2,2%	15,0%	3,1%	0,2%	4,1%
	2 a 3	12,1%	0,2%	0,0%	1,2%	7,6%	1,6%	0,1%	5,5%
	3 a 4	7,1%	0,1%	0,0%	0,4%	1,9%	0,5%	0,0%	1,9%
	4 a 5	1,7%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,3%
	5 a 6	0,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%
	6 a 7	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	7 a 8	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Fuente: Elaboración propia.



El análisis gráfico y numérico de la velocidad del viento puede consultarse en el [Anexo 36](#).

3.1.3.6 Evaporación

La evaporación es la emisión de vapor de agua desde una superficie húmeda a temperatura inferior al punto de ebullición (IDEAM, 2005). Es medida en un tanque evaporímetro y se expresa en milímetros. Solo en 4 de las estaciones climatológicas se registra este parámetro: Uniban (12015020), Tulenapa (12015060), El Mellito (12025030) y Urrá (13015040), los análisis se realizan para el periodo de 1986 - 2015. En la Figura 43 se presenta el comportamiento mensual de la evaporación.

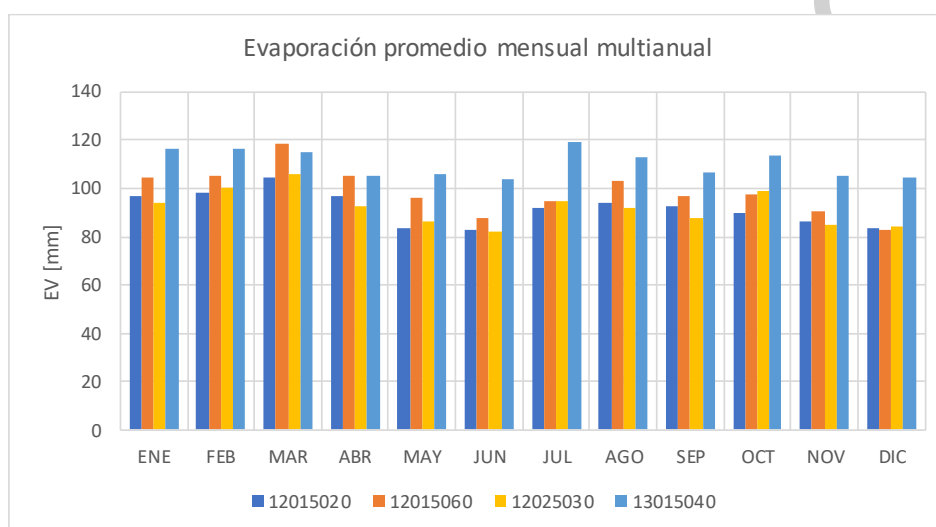


Figura 43. Evaporación mensual multianual.
Fuente: Elaboración propia.

Los meses con menor evaporación corresponden a mayo y junio, los valores durante el año hidrológico fluctúan desde los 80 mm hasta los 120 mm/mes (ver Tabla 21). El análisis gráfico y numérico de la evaporación puede consultarse en el [Anexo 36](#).

Tabla 21 Valores mensuales de evaporación de tanque

MES	12015020	12015060	12025030	13015040
ENE	96.6	104.6	94.1	116.2
FEB	98.3	105.5	100.0	116.6
MAR	104.5	118.2	105.7	115.3
ABR	96.8	105.5	92.7	105.2
MAY	83.5	95.9	86.6	105.6
JUN	82.7	87.9	81.8	103.9
JUL	92.2	94.9	94.9	119.3
AGO	94.2	102.8	91.8	112.8
SEP	92.4	96.5	87.8	106.6
OCT	89.9	97.7	99.2	113.6
NOV	86.3	90.5	85.0	105.0
DIC	83.3	82.9	84.1	104.3

Fuente: Elaboración propia.



3.1.4 Balance hídrico de largo plazo

Según lo establecido por (Velez, Poveda, & Mesa, 1995), la base física del balance hídrico a largo plazo es la formulación de las ecuaciones de conservación de masa para volúmenes de control en columnas de suelo, atmósfera y la unión de ambas. El contorno horizontal de las columnas queda definido por la divisoria de aguas de la cuenca en cuestión, desde donde se prolongan infinitas líneas verticales hacia abajo y/o hacia arriba según el caso. El borde inferior de la columna de suelo es un estrato impermeable y el borde superior de la columna atmosférica es su tapa. La superficie de la cuenca es el borde superior (inferior) de la columna de suelo (atmosférica).

En la Figura 44 se define W como el almacenamiento de agua en la atmósfera o agua, en unidades de longitud (volumen por unidad de área), P es la precipitación, E es la evaporación (incluye la transpiración), Q es el flujo neto de humedad en la atmósfera, S es el almacenamiento de agua en el suelo, también en unidades de longitud, R es el flujo de agua hacia afuera de la columna de suelo; constituido por la escorrentía superficial y/o subterránea. P , E , Q y R están expresados en unidades de longitud por unidad de tiempo, es decir flujo o caudal por unidad de área.

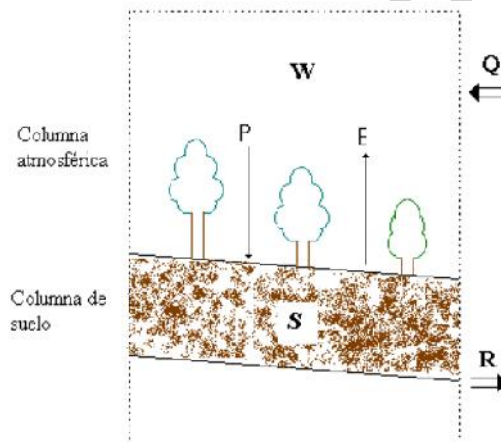


Figura 44. Conservación de la masa de agua en la columna del sistema suelo-atmósfera.
Fuente: (Velez, Poveda, & Mesa, 1995).

El balance de agua para la atmósfera está dado por la ecuación,

Ecuación 2. Balance de agua para la atmósfera.

$$Q + E - P = \frac{dW}{dt}$$

Y el balance de agua para la columna de suelo es,

Ecuación 3. Balance de agua para la columna de suelo.

$$P - E - R = \frac{dS}{dt}$$

Si se combinan estas dos ecuaciones, resulta la ecuación de balance de agua para el volumen de control,



Ecuación 4. Balance de agua para el volumen de control.

$$Q - R = \frac{d(W + S)}{dt}$$

Considerando la integración sobre un intervalo de tiempo largo (varias décadas), de tal manera que los cambios en las cantidades almacenadas W y S sean despreciables. Se tiene entonces que el promedio a largo plazo del influjo atmosférico neto Q debe ser igual al promedio de largo plazo de la escorrentía neta, R y que ambos son iguales a la diferencia entre los respectivos promedios de precipitación, P , y evaporación, E . La ecuación de balance de agua para la columna quedaría así,

Ecuación 5. Balance de agua para la columna.

$$R = P - E$$

La Ecuación 5 es una aproximación que supone que el cambio en la cantidad almacenada en el suelo (o en la atmósfera) en el largo plazo es despreciable respecto a los demás términos. Esta aproximación es muy buena para el cálculo de los promedios de largo plazo. La suposición adicional que se hace es la identificación de R como la escorrentía superficial (Esc).

La imposibilidad de observar, medir o estimar la componente subterránea justifica el empleo de esta metodología como herramienta de cálculo de los caudales multianuales para las unidades hidrográficas jerarquizadas y codificadas en la cuenca del Río Turbo y Currulao. La Ecuación 5 se usó de manera directa como herramienta para estimar dicha escorrentía. Esto requiere entonces la estimación de la lluvia y la evaporación. La precipitación es una variable más o menos bien medida y que se puede estimar aceptablemente, tal como se presentó en ítems anteriores. La evaporación es una variable no observable directamente y de difícil estimación. Sin embargo, la posibilidad de medir el caudal en algunas unidades hidrográficas permite validar el método de estimación de la evaporación.

3.1.4.1 Métodos de cálculo de la evapotranspiración

En general, los valores de evapotranspiración son en cantidad, los que ocupan el segundo lugar después de la precipitación en un balance hídrico (Xu, C; Singh, V P, 1998). Se conoce como evapotranspiración (ET) la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006). En este punto es fundamental tener claro los conceptos de ET potencial (ETP) y real (ETR), la primera se define como la pérdida de agua de un terreno cubierto por una cobertura verde de poca altura, por evaporación y transpiración de las plantas sin limitaciones de agua (Thorntwaite, 1948); mientras que la real o actual (según algunos autores) se refiere a la misma pérdida de agua bajo las condiciones de almacenamiento de agua en el suelo durante el periodo de análisis.

La medición de la ETP no es fácil. Para determinarla experimentalmente, se requieren aparatos específicos y mediciones precisas de varios parámetros físicos o el balance del agua en suelo (balance hídrico) en lisímetros. Estos métodos en general requieren de un alto grado de inversión y personal altamente calificado, sin embargo, son necesarios para la validación de los métodos indirectos de estimación de ETP. En cuanto a ETR, es



aún más difícil de medir que la ETP, ya que además de los factores que influyen en la ETP, en ETR se deben tener en cuenta la humedad en el suelo y el tipo de cobertura (kc) (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006).

Los modelos de ETP pueden ser agrupados en modelos de temperatura, modelos de radiación, modelos combinados y modelos de tanque (Ponce, 1989). Sin embargo, en nuestro país no se cuenta con un desarrollo propio para la ETP y/o ETR, por lo que se tiene que recurrir a las distintas fórmulas disponibles en la literatura desde los 40's y que siguen vigentes con algunas modificaciones hoy en día.

Este estudio contempló inicialmente o de manera preliminar, la aplicación de 10 métodos de cálculo entre ETP y/o ETR desarrollados con la información climática registrada en las estaciones previamente analizadas, con el ánimo de escoger principalmente un método de estimación de ETP.

En la Tabla 22 se presentan los métodos empleados y su requerimiento de información, para conocer el desarrollo conceptual de cada método se recomienda revisar el documento ESTUDIO FAO RIEGO Y DRENAJE N° 56. (ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp56s.pdf), donde se explican los procedimientos y diversos parámetros de cada método.

Tabla 22. Métodos de cálculo de ETP y ETR preliminares empleados en el estudio.

Método ETP o ETR	Sigla	Parámetros									
		T _{MEDIA} °C	T _{MIN} °C	T _{MAX} °C	H %	Brillo Solar Horas	Vel. Viento o vapor m/s	Presión de vapor kPa	Eva. Tanque mm	Altitud msnm	
Método Thornthwaite (ETP)	THW	X									X
Método Turc (ETP)	TUR	X			X	X					
Método Hargreaves (ETR)	HAG	X	X	X							
Método Penman-Monteith (ETR)	PMT	X	X	X	X	X	X	X	X		X
Método Blanney-Cridle-FAO	BCR	X				X					
Método Ecuación De Cenicafé	CEN										X
Método Tanque A (Cultivo Verde)	TA1	X				X		X		X	
Método Tanque A (Suelo Desnudo)	TA2	X				X		X		X	
Método García Y López	GLP	X				X					
Método Jensen-Haise- 1963	JHE	X	X								X

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 45 y Figura 46 se presentan los resultados de la ETP y/o ETR obtenida según el método de análisis para las estaciones climáticas Turbo (12025040) y Aeropuerto Los Cedros (12015070) respectivamente, los métodos de Tanque A (Cultivo verde) y Tanque A (Suelo desnudo) no fueron desarrollados para estas estaciones, debido a la falta de información del parámetro evaporación de tanque.

Este procedimiento puede consultarse para la totalidad de estaciones en el [Anexo 31](#).



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

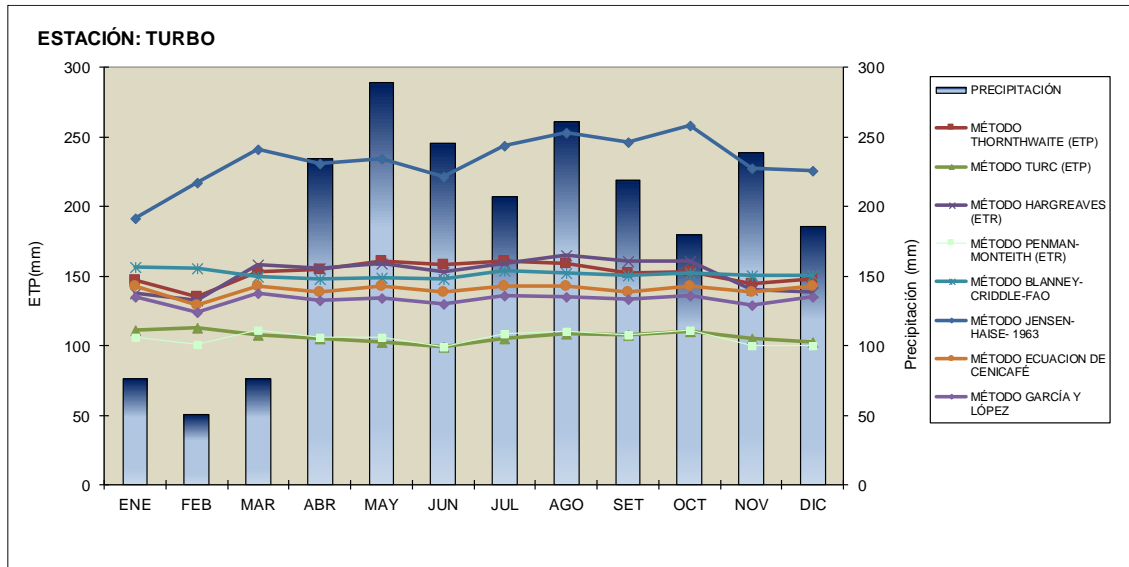


Figura 45. Evapotranspiración Potencial y Real estación Turbo (12025040).
Fuente: Elaboración propia.

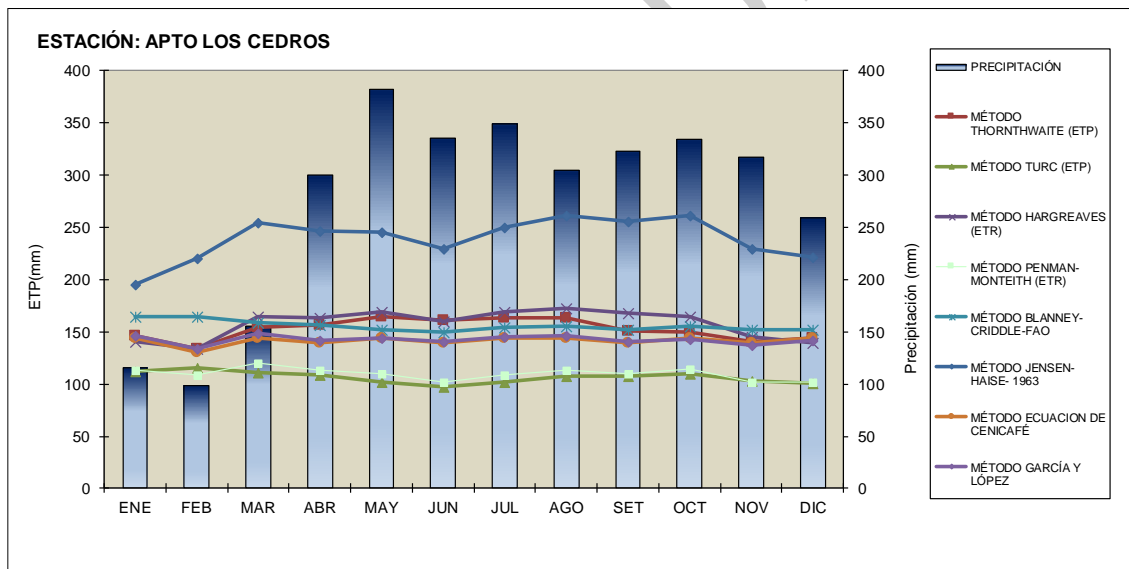


Figura 46. Evapotranspiración Potencial y Real estación Apto Los Cedros (12015070).
Fuente: Elaboración propia.

Como puede observarse en la gráfica anterior, los resultados de esta variable difieren entre sí con valores de hasta 100 mm/mes según el método evaluado. La escogencia del método que mejor se ajuste a la estimación de la ETP, se abordó de la siguiente manera:

- Espacialización de la Evapotranspiración potencial obtenida por cada metodología.
- Espacialización de la Precipitación anual (previamente este proceso ya se realizó).
- Se obtiene una primera aproximación de escorrentía superficial de acuerdo con la (Ecuación 5). Este resultado no debe entenderse como el caudal de largo plazo, debido



a que se está empleando el valor de la ETP, es solo un valor de referencia para ser comparado con el caudal observado y escoger el método que mejor se ajuste.

- Se identificaron las estaciones hidrológicas y se obtuvo el área de drenaje al punto de medición.
- Con la escorrentía estimada espacialmente por cada metodología, se obtuvo un caudal promedio multianual estimado para cada área de drenaje de las estaciones hidrológicas existente, esto con el fin de obtener ordenes de magnitud similares a los caudales reales o registrados:

Ecuación 6. Caudal promedio multianual estimado.

$$Q_{est} = \frac{Escorrentía (mm) * Área(km^2)}{(86.4 * Periodo de tiempo (días))}$$

- Se obtiene el caudal promedio multianual observado por cada estación hidrológica (este procedimiento se explica en el acápite Hidrología).
- Finalmente se obtiene un error absoluto promedio que evalúa el desempeño de cada método de cálculo de ETP.

La Tabla 23 muestra los valores de caudales observados multianuales para las estaciones hidrológicas, así como su área aferente expresada en km².

Tabla 23. Caudales observados multianuales.

ID	CÓDIGO	NOMBRE	TP	CORRIENTE	COORDENADAS		DATUM	ÁREA (km ²)	CAUDAL (m ³ /s)
					MAGNAS OESTE	SIRGAS Norte			
1	12027030	El Tres	LM	Guadualito	1046268,529	1383634,859		75,88	1,543
2	12027040	Currulao	LM	Currulao	1049142,965	1375828,377		231,12	4,611
3	12027060	El Dos	LM	Turbo	1042284,748	1390429,67		149,29	3,027

Fuente: Elaboración propia.

En las siguientes tablas se presenta la validación de las metodologías de ETP en los puntos de control hidrológico.

Tabla 24. Validación de escogencia del método de ETP cuenca río Guadualito Est. 12027030.

MÉTODOS EVAPOTRANSPIRACIÓN	SIGLA	EST. EL TRES 12027030				
		Esc (Mm)	Área Km ²	Qest m ³ /s	Qobs m ³ /s	Error
Método Blanney-Criddle-FAO	BCR	441,60	75,88	1,06	1,54	31%
Método Ecuacion De Cenicafé	CEN	577,10	75,88	1,39	1,54	10%
Tanque Evaporímetro	EVT	512,38	75,88	1,23	1,54	20%
Método García y López (ETP)	GLP	653,96	75,88	1,57	1,54	2%
Método Hargreaves (ETR)	HAG	498,79	75,88	1,20	1,54	22%
Método Jensen-Haise- 1963	JHE	-564,98	75,88	-1,36	1,54	188%
Método Penman-Monteith (ETR)	PMT	987,39	75,88	2,38	1,54	54%
Método Tanque A (Cultivo Verde)	TA1	1259,22	75,88	3,03	1,54	96%
Método Tanque A (Suelo Desnudo)	TA2	1045,60	75,88	2,52	1,54	63%
Método Thornthwaite (ETP)	THW	463,22	75,88	1,11	1,54	28%
Método Turc (ETP)	TUR	984,90	75,88	2,37	1,54	54%

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 25. Validación de escogencia del método de ETP cuenca río Currulao Est. 12027040.

MÉTODOS EVAPOTRANSPIRACIÓN	SIGLA	EST. CURRULAO 12027040				
		Esc (mm)	Área Km ²	Qest m ³ /s	Qobs m ³ /s	error
Método Blanney-Criddle-FAO	BCR	592,29	231,12	4,34	4,61	6%
Método Ecuacion De Cenicafé	CEN	731,25	231,12	5,36	4,61	16%
Tanque Evaporímetro	EVT	1239,56	231,12	9,08	4,61	97%
Método García y López (ETP)	GLP	799,29	231,12	5,86	4,61	27%
Método Hargreaves (ETR)	HAG	540,49	231,12	3,96	4,61	14%
Método Jensen-Haise- 1963	JHE	-453,78	231,12	-3,33	4,61	172%
Método Penman-Monteith (ETR)	PMT	1133,20	231,12	8,30	4,61	80%
Método Tanque A (Cultivo Verde)	TA1	1401,11	231,12	10,27	4,61	123%
Método Tanque A (Suelo Desnudo)	TA2	1186,88	231,12	8,70	4,61	89%
Método Thornthwaite (ETP)	THW	641,95	231,12	4,70	4,61	2%
Método Turc (ETP)	TUR	1139,39	231,12	8,35	4,61	81%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26. Validación de escogencia del método de ETP cuenca río Turbo Est. 12027060.

MÉTODOS EVAPOTRANSPIRACIÓN	SIGLA	EST. EL DOS 12027060				
		Esc (mm)	Área Km ²	Qest m ³ /s	Qobs m ³ /s	error
Método Blanney-Criddle-FAO	BCR	270,55	149,29	1,28	3,03	58%
Método Ecuacion De Cenicafé	CEN	407,48	149,29	1,93	3,03	36%
Tanque Evaporímetro	EVT	930,80	149,29	4,41	3,03	46%
Método García y López (ETP)	GLP	484,09	149,29	2,29	3,03	24%
Método Hargreaves (ETR)	HAG	249,01	149,29	1,18	3,03	61%
Método Jensen-Haise- 1963	JHE	-730,74	149,29	-3,46	3,03	214%
Método Penman-Monteith (ETR)	PMT	817,74	149,29	3,87	3,03	28%
Método Tanque A (Cultivo Verde)	TA1	1091,12	149,29	5,17	3,03	71%
Método Tanque A (Suelo Desnudo)	TA2	878,27	149,29	4,16	3,03	37%
Método Thornthwaite (ETP)	THW	287,37	149,29	1,36	3,03	55%
Método Turc (ETP)	TUR	813,22	149,29	3,85	3,03	27%

Fuente: Elaboración propia.

Las metodologías que mejores resultados ofrecieron en cuanto a su cercanía con el caudal observado fueron: García y López para las cuencas Turbo y Guadualito y Thornthwaite para la cuenca Currulao. Se elige el método de García y López como el que mejor describe la Evapotranspiración Potencial, con el ánimo de homogenizar cálculos espaciales.

Una vez obtenida una primer aproximación a la ETP, en aras de escoger el método más conveniente y que represente menor incertidumbre en los resultados, se procede a describir de manera más particular, para entender sus requerimientos y procesos.

3.1.4.2 Evapotranspiración potencial

A continuación, se describe el método de García y López (1970), seleccionado como representativo para la región. Es un modelo de temperatura, adaptado al trópico que permite estimar la evapotranspiración potencial diaria entre latitudes 15° N y 15° S.



Desarrollada a partir de la correlación de los datos de temperatura y déficit de saturación con los de la evapotranspiración potencial medidos en seis estaciones tropicales.

Ecuación 7. Evapotranspiración potencial en mm día-1

$$ETP_d = 1.21 * 10^n * (1 - 0.01 * HR) + (0.21 * T) - 2.30$$

Ecuación 8. Coeficiente de temperatura adimensional.

$$n = \frac{7.45 * T}{234.7 + T}$$

Donde;

ETPd evapotranspiración potencial en mm día-1

n Coeficiente de temperatura adimensional

T es la temperatura media diaria del aire en °C

HR es la humedad relativa media diaria en % medida a las 8 a.m. y 2 p.m. Sin embargo, normalmente este dato no se obtiene fácilmente, por lo cual, se utiliza HR media.

Los valores de evapotranspiración potencial anual fueron obtenidos para las estaciones climáticas de análisis Tabla 27.

Tabla 27. Evapotranspiración potencial multianual (mm).

CÓDIGO	NOMBRE	ETP_ ANUAL
12015020	Uniban	1532
12015060	Tulenapa	1546
12015070	Apto Los Cedros	1711
12025030	El Mellito	1590
12025040	Turbo	1603
13015040	Represa Urra	1764

Fuente: Elaboración propia.

La representación espacial de esta variable se realizó mediante el método de interpolación espacial: Inverse - Distance - Weighted (IDW, por sus siglas en inglés). Los análisis de ETP de las estaciones citadas para la cuenca del Río Turbo y Currulao permiten inferir que su régimen varía desde los 1.530 mm/año en la estación Unibán, hasta los 1.760 mm/año en Urrá, la estación más representativa localizada dentro del polígono es Turbo y registra un promedio de 1.600 mm/año (Figura 47).



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

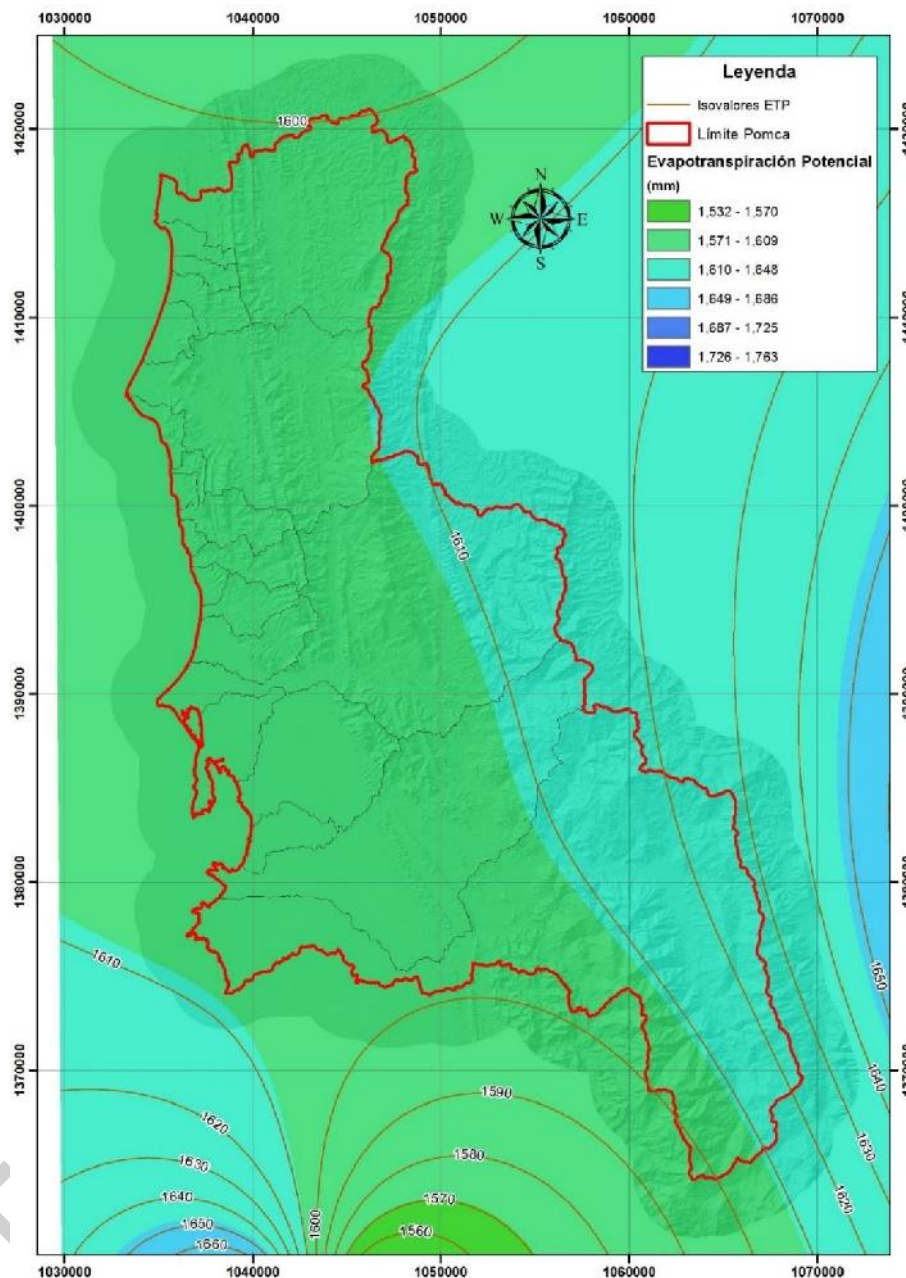


Figura 47. Isovalores de la Evapotranspiración potencial multianual.
Fuente: Elaboración propia.

El comportamiento mensual de la ETP, estimado para cada una de las estaciones se presenta en la Figura 48.

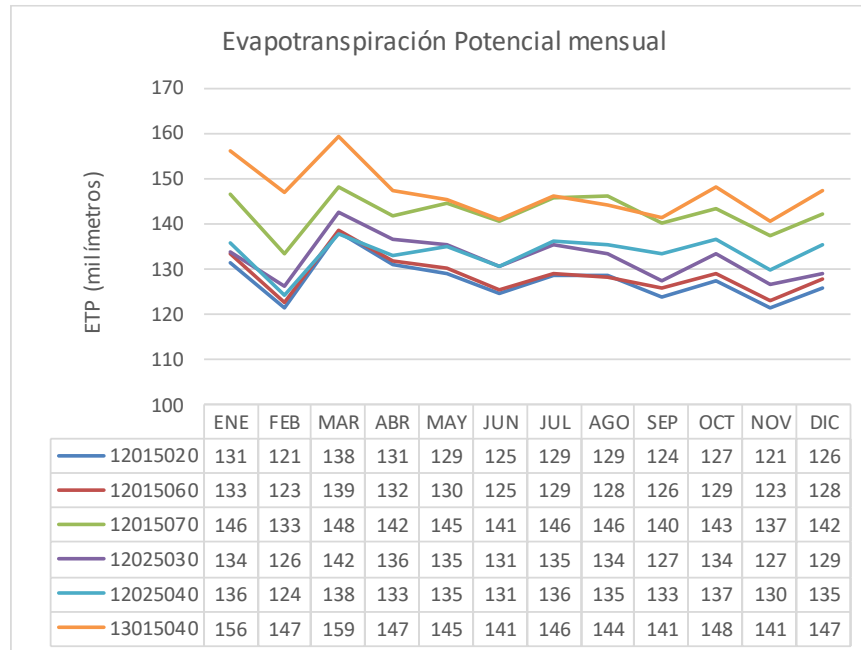


Figura 48. Comportamiento mensual de la Evapotranspiración potencial.
 Fuente: Elaboración propia.

El régimen de esta variable a nivel mensual es muy homogéneo en las estaciones evaluadas, el mes de mayor pérdida de agua por evapotranspiración corresponde a marzo, con rangos desde los 120 a 160 mm/mes.

Con la evaluación de esta variable el procedimiento a seguir es la obtención de la evapotranspiración real (ETR), una vez definida es posible la obtención de caudales medios anuales de largo plazo para cada unidad hidrográfica jerarquizada (subcuencas y microcuencas). La metodología seleccionada para la obtención de la ETR es el balance hídrico mensual, que involucra la capacidad máxima de almacenamiento del suelo (CMA) derivada del estudio de suelos del POMCA.

En la Figura 49, Figura 50 y Figura 51, se presenta la espacialización de la variable ETP a escala mensual.



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

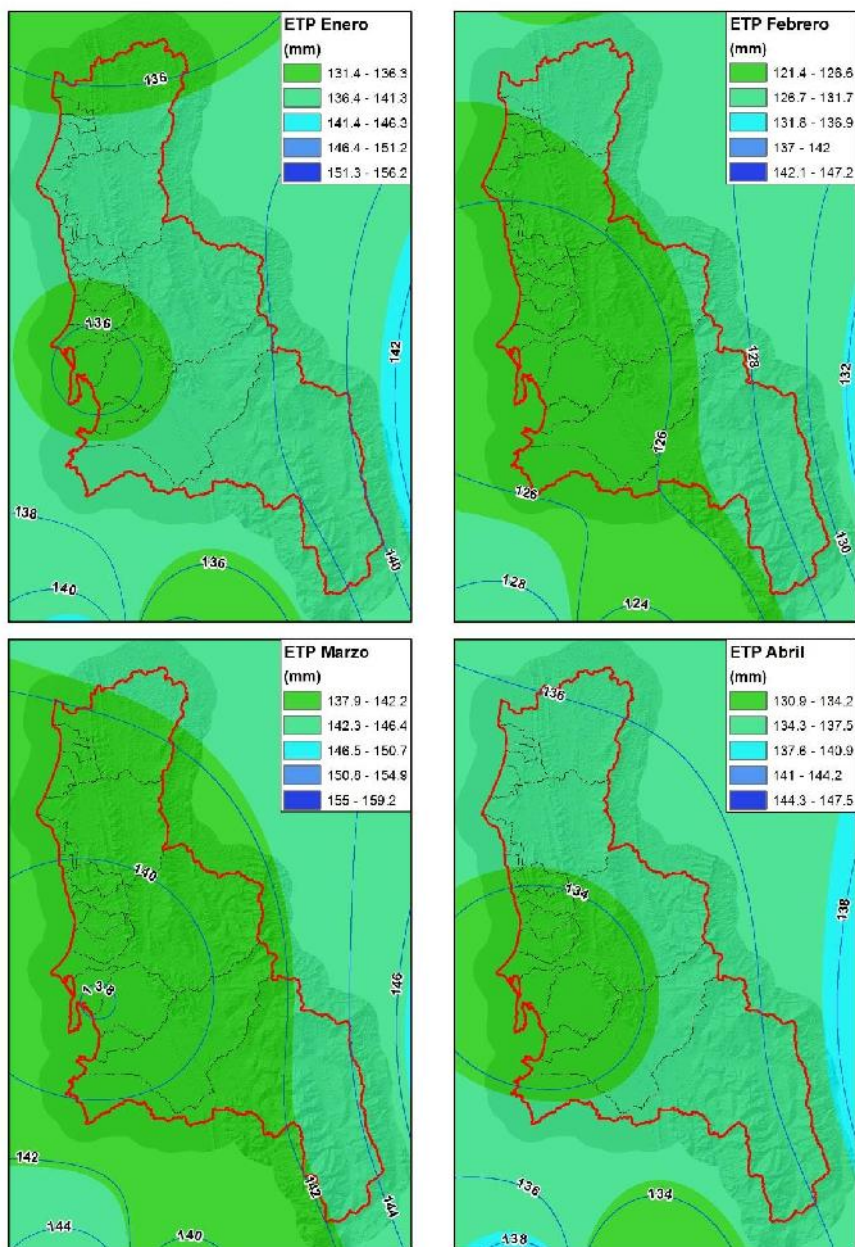


Figura 49. Distribución mensual de la Evapotranspiración potencial en el primer cuatrimestre del año.

Fuente: Elaboración propia.



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

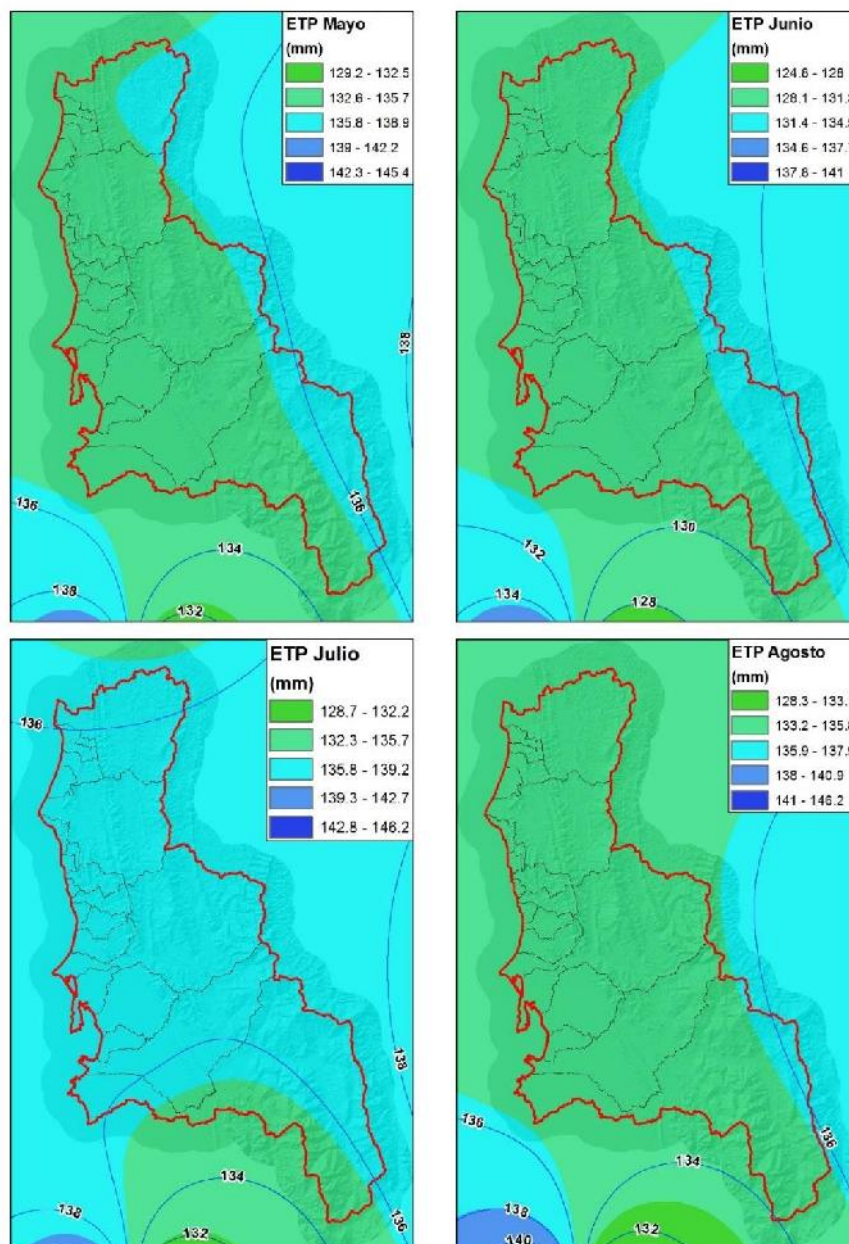


Figura 50. Distribución mensual de la Evapotranspiración potencial en el segundo cuatrimestre del año.

Fuente: Elaboración propia.

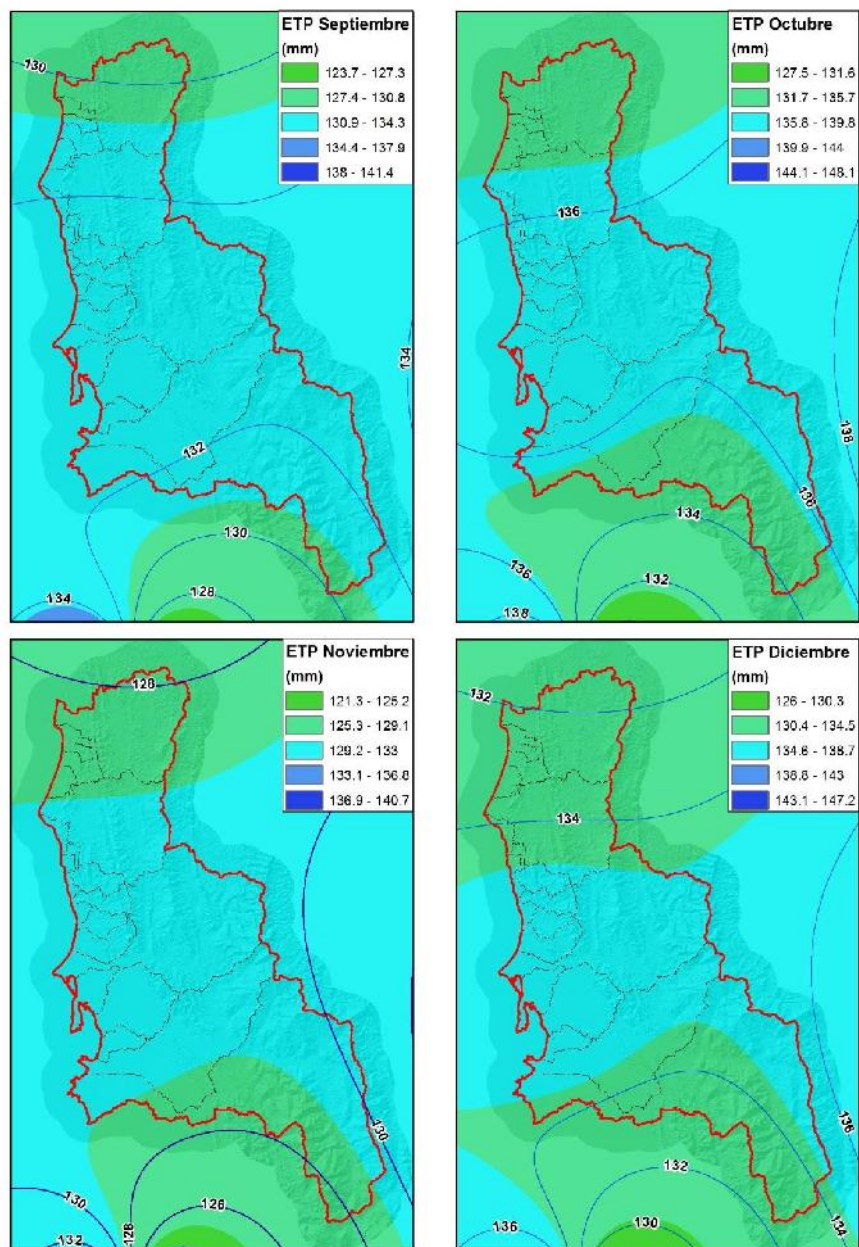


Figura 51. Distribución mensual de la Evapotranspiración potencial en el tercer cuatrimestre del año.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.4.3 Balance hídrico mensual (hidroclimático)

Esta herramienta permite estimar las ganancias de agua por lluvia o riego y las pérdidas por evaporación, escorrentía, drenaje profundo y la variación del almacenamiento de agua en el suelo. Conocer el balance hídrico de un área permite determinar, la disponibilidad del recurso hídrico y la magnitud macroclimática de los períodos con



exceso o deficiencia de agua en una unidad de trabajo sometida a estudios agroclimáticos e hidroclimáticos. Existen diversos métodos para estimar estas variables de interés hidroclimático. Entre ellos se encuentra el método de Thornthwaite el cual se empleará en el presente estudio (García & Montoya, 1972). Cabe resaltar que los valores de ETP requeridos por este método, son los obtenidos mediante la implementación de la ecuación de García y López realizados previamente.

Los términos y conceptos involucrados en el balance hidroclimático se definen a continuación:

- Almacenamiento de agua útil (A): existe cuando la precipitación $P > E_p$, quedando una reserva de humedad que se acumula mes a mes y no puede ser superior a la capacidad del campo o cantidad máxima de agua (CMA) que puede soportar el suelo en consideración.
- Exceso (E): existe si la precipitación es mayor que la evapotranspiración potencial y si hay un excedente de agua, una vez completado el almacenaje en el suelo. A la suma de los excesos producidos mes a mes durante todo el año se le denomina exceso anual.
- Déficit (D): cuando la precipitación es menor que la evapotranspiración potencial, se evapora y transpira toda el agua precipitada. La cantidad que hace falta para completar el total de E_p se toma del almacenamiento y si, aun así, no se completa el valor de E_p el faltante se considera como déficit.
- Evapotranspiración real (E_r): es la evapotranspiración que realmente, ocurre en función del agua disponible ($P+A$). Máximo puede ser igual a la potencial.
- Cálculo del almacenaje de agua útil (A):
 - Se verifica si la precipitación es mayor o menor a la evapotranspiración potencial en el período considerado. Se busca el mes en el que la diferencia se hace máxima y se adopta la Capacidad Máxima de Almacenamiento del suelo, según sea $P > E_p$ o $P < E_p$, respectivamente.
 - El cálculo del almacenaje de agua útil de los meses calendario siguientes, es el resultado de la suma del almacenaje del mes anterior más la precipitación del mes en cuestión, constituyen el agua disponible; la diferencia entre esta (agua disponible) y la evapotranspiración potencial nos determina el almacenaje:

Ecuación 9. Cálculo del almacenaje de agua útil.

$$\text{Agua disponible} = A_{i-1} + P_i$$

$$\text{Almacenaje} = (A_{i-1} + P_i) - E_{pi}$$

- Realizar una prueba preliminar de cálculo del balance hídrico supone conseguir un valor de arranque para el almacenaje A consistente, el valor de A correspondiente al mes fijado con la CMA (mm): "se suponen como límites". En caso de no ser así, se parte



del último valor calculado y se realiza nuevamente toda la operación y así sucesivamente hasta que haya plena coincidencia:

- Si $A_i > CMA$, entonces $A_i = CMA$; el excedente de la CMA es el exceso de agua de ese mes E_i ; la deficiencia de ese mes, obviamente, $D_i = 0$,
- Si $CMA > A$, el exceso y la deficiencia de ese mes son iguales a cero,
- Si $A_i < 0$, la deficiencia $D_i = (P_i - E_{pi})$ si $P < E_{pi}$
- $D_i = E_{pi} - (P_i + A_{i-1})$, si $(P_i + A_i) < E_{pi}$.

• Cálculo de la variación de almacenamiento de agua útil (ΔA): es igual a la diferencia entre el valor de almacenamiento de agua útil del mes considerado y el mes anterior.

• Cálculo de la evapotranspiración real:

$$\text{Si } P > E_p \Rightarrow E_r = E_r$$

$$\text{Si } P < E_p \Rightarrow E_r = P + |\Delta A|$$

• Comprobación del balance: para los valores anuales debe cumplirse la siguiente relación: $P + D = E_p + E$.

La capacidad máxima de almacenamiento de agua en el suelo fue obtenida con base en la caracterización física de las unidades de suelo definidas para este estudio. Se estimó un valor de CMA por unidad hidrográfica. En la Tabla 28 se presentan valores medios, mínimos y máximos obtenidos de la interpolación de cada unidad de suelo para las 21 subcuencas jerarquizadas. Los valores correspondientes a las 12 microcuencas se pueden consultar en la Tabla 29.

Tabla 28. Capacidad máxima de almacenamiento de agua por subcuencas.

ID	SUBCUENCAS	CÓDIGO	MÍN	MÁX	MED
1	Río Currulao	1202-01-01	0,11	151,08	105,02
2	Río Guadualito	1202-01-02	33,29	161,65	121,05
3	Quebrada Guadualito	1202-01-03	0,29	146,74	77,22
4	Quebrada El Cuna	1202-01-04	56,64	164,00	111,66
5	Zona Urbana Turbo	1202-01-05	0,09	78,87	49,43
6	Río Turbo	1202-01-06	0,08	207,97	119,29
7	Quebrada Aguas Claras - Estorbo	1202-01-07	34,45	109,12	85,66
8	Quebrada Cope	1202-01-08	83,13	105,67	95,01
9	Quebrada NN1	1202-01-09	92,63	96,20	94,15
10	Río Punta de Piedra	1202-01-10	93,10	108,71	101,34
11	Quebrada NN2	1202-01-11	93,71	97,51	95,84
12	Río Cirilo	1202-01-12	96,42	104,56	101,37
13	Quebrada NN3	1202-01-13	97,16	102,00	99,60
14	Quebrada Tie	1202-01-14	99,53	104,07	102,05
15	Quebrada NN4	1202-01-15	99,83	107,88	104,02
16	Río Caiman Nuevo	1202-01-16	67,28	147,98	112,83
17	Quebrada Seca	1202-01-17	87,35	132,97	120,38
18	Río Totumo	1202-01-18	14,18	129,01	82,72
19	Quebrada Manuela	1202-01-19	0,06	76,74	32,09
20	Quebrada La Anguilla	1202-01-20	0,31	90,40	44,52
21	Río Caimán Viejo - Tigre	1202-01-21	28,52	137,60	95,94

Fuente: Elaboración propia.



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

Tabla 29. Capacidad máxima de almacenamiento de agua por microcuenca.

ID	MICROCUENCAS	CÓDIGO	MÍN	MÁX	MED
1	Río Caraballo	1202-01-01-01	106,95	112,13	109,80
2	Quebrada NN	1202-01-01-02	111,34	131,34	118,0
3	Quebrada El Limón	1202-01-02-01	142,97	152,94	148,74
4	Quebrada Alto Mulatos	1202-01-02-02	105,97	108,43	107,27
5	Quebrada Los Indios	1202-01-02-03	126,67	130,48	128,51
6	Río Turbo	1202-01-06-01	67,23	207,96	125,04
7	Quebrada San Felipe	1202-01-06-02	130,30	143,65	135,56
8	Quebrada La Mina	1202-01-06-03	103,02	115,61	108,88
9	Quebrada Copez	1202-01-07-01	104,21	109,64	106,78
10	Río Cirilo	1202-01-12-01	96,95	104,55	101,64
11	Quebrada NN	1202-01-12-02	98,85	100,10	99,54
12	Quebrada Tie	1202-01-14-01	101,63	102,46	102,04

Fuente: Elaboración propia.

A modo de ejemplo, se presenta el procedimiento para la obtención del balance hídrico para la subcuenca del río Currulao, los cálculos y gráficos derivados para cada subcuenca se puede consultar en el [Anexo 31](#).

EN ETAPA DE PUBLICIDAD



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

Tabla 30. Parámetros balance hídrico mensual subcuenca 1202-01-01.

PARÁMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
ETP	138.13	127.26	142.06	135.35	135.55	131.13	135.93	135.31	131.81	135.52	129.09	134.16	1611.30
PT	82.72	61.22	88.47	225.52	301.45	246.93	239.00	266.07	239.17	244.53	233.79	178.89	2407.76
A Disp	50	-16	-54	90.17	256.07	221	208	236	212	214	210	150	1776.44
<u>Alm Suelo</u>	<u>49.61</u>	<u>0.0</u>	<u>0.0</u>	<u>90.17</u>	<u>105.0</u>	<u>105.0</u>	<u>105.0</u>	<u>105.0</u>	<u>105.0</u>	<u>105.0</u>	<u>105.0</u>	<u>105.0</u>	979.98
D _{H Soil}	-55.42	-49.61	0.00	90.17	14.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exc	0.00	0.00	0.00	0.00	151.05	115.80	103.07	130.76	107.36	109.00	104.70	44.73	866.48
Def	0.00	-16.43	-53.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-70.02
ETR	138	111	88	135	136	131	136	135	132	136	129	134	1541.28
Inicial	-55.4	-66.0	-53.6	90.2	165.9	115.8	103.1	130.8	107.4	109.0	104.7	44.7	
CMA	105.02												
P+D	2407.76												
ETR+E	2407.76												

Comprobación
VERDADERO

Fuente: Elaboración propia.



La inicialización del balance se presenta para el mes de septiembre, dado que en este periodo la capacidad de almacenamiento del suelo es máxima y con su inicialización en este mes se logra obtener la comprobación del balance $P + D = E_p + E$, (Figura 52).

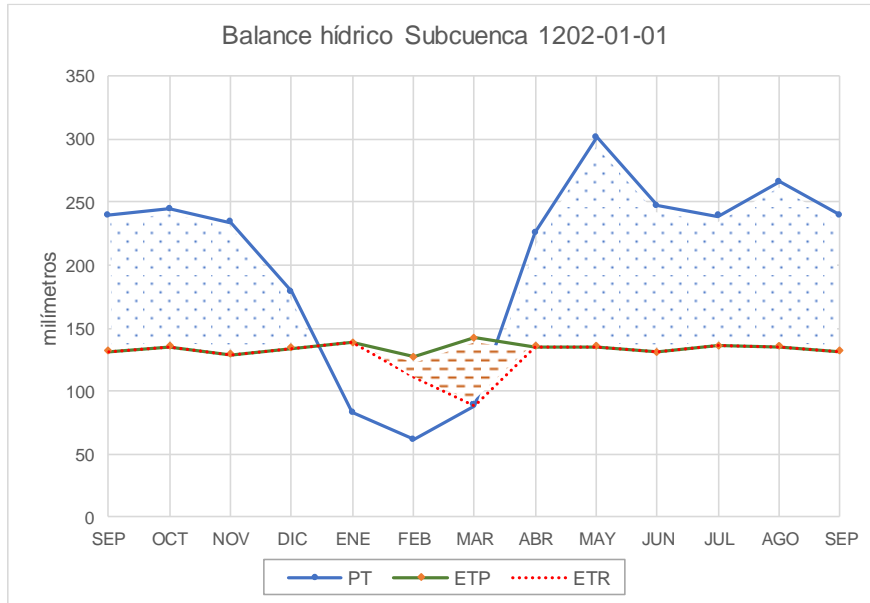


Figura 52. Balance hidroclimático mensual subcuenca río Currulao (1202-01-01).
Fuente: Elaboración propia.

La Figura 52, tiene la siguiente lectura: el área contenida entre las líneas de ETP y ETR corresponde al déficit, es decir que los meses dónde el déficit se hace máximo son febrero y marzo; si la línea de precipitación está por encima de ETR corresponde a periodos en los que se produce Almacenamiento en reserva + excedentes (abril a noviembre); cuando la ETR está por encima de la precipitación corresponde a periodos en los que la unidad hidrográfica hace uso de la reserva del suelo (diciembre a marzo).

Este comportamiento se hace típico en todas las subcuencas y microcuencas jerarquizadas, como puede verse en la Figura 53 la microcuenca de la quebrada San Felipe 1202-01-06-02 (contenida en la subcuenca del río Turbo), el mes de mayor déficit corresponde a marzo.

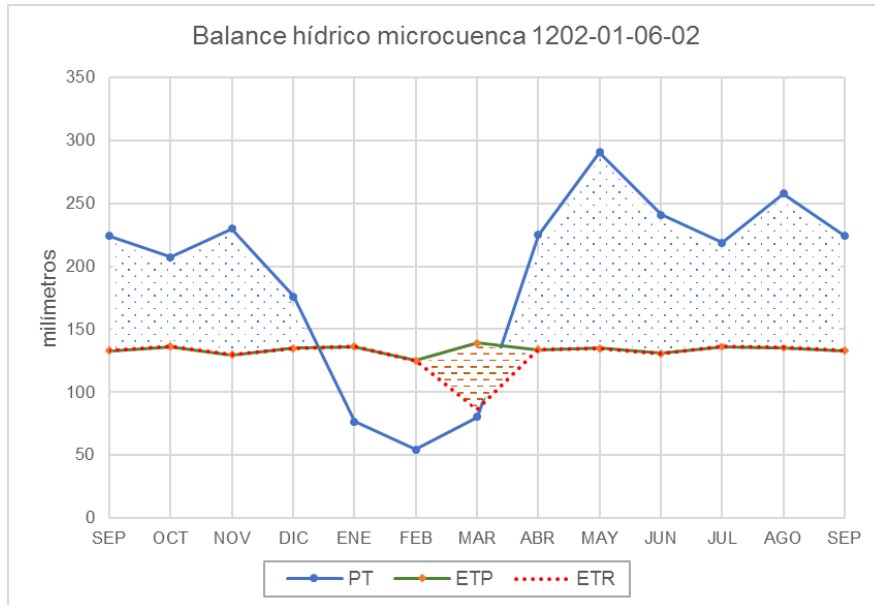


Figura 53. Balance hidroclimático mensual microcuenca quebrada San Felipe (1202-01-06-02).
Fuente: Elaboración propia.

Del balance hidroclimático mensual fue posible obtener la evapotranspiración real, para cada unidad hidrográfica (ver Tabla 31) que oscila en términos anuales entre los 1.440 a 1.540 mm/año, a continuación, se exponen los resultados de esta variable, así como del caudal medio anual de largo plazo.



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

Tabla 31. Evapotranspiración real por subcuenca a nivel mensual.

SUBCUENCA	CÓDIGO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Río Currulao	1202-01-01	138	111	88	135	136	131	136	135	132	136	129	134	1541
Río Guadualito	1202-01-02	137	119	80	134	135	131	136	135	133	136	129	135	1540
Quebrada Guadualito	1202-01-03	136	75	80	133	135	131	136	135	133	136	130	135	1496
Quebrada El Cuna	1202-01-04	136	106	79	133	135	131	136	135	133	136	130	135	1526
Zona Urbana Turbo	1202-01-05	127	51	77	133	135	131	136	135	133	137	130	135	1460
Río Turbo	1202-01-06	137	98	76	134	135	131	136	135	133	136	130	135	1517
Quebrada Aguas Claras - Estorbo	1202-01-07	136	79	79	133	135	131	136	135	133	136	130	135	1499
Quebrada Cope	1202-01-08	136	88	80	134	135	131	136	135	133	136	130	135	1509
Quebrada NN1	1202-01-09	136	88	81	134	135	131	136	135	133	136	130	135	1510
Río Punta de Piedra	1202-01-10	136	93	81	134	135	131	136	135	133	136	130	135	1515
Quebrada NN2	1202-01-11	136	89	82	134	135	131	136	135	133	136	130	135	1512
Río Cirilo	1202-01-12	137	92	81	134	135	131	136	135	133	136	129	135	1515
Quebrada NN3	1202-01-13	137	92	82	134	135	131	136	135	132	136	129	134	1515
Quebrada Tie	1202-01-14	137	93	82	134	135	131	136	135	132	136	129	134	1516
Quebrada NN4	1202-01-15	137	95	83	135	135	131	136	135	132	136	129	134	1518
Río Caiman Nuevo	1202-01-16	137	98	80	135	136	131	136	135	132	136	129	134	1519
Quebrada Seca	1202-01-17	137	109	82	135	136	131	136	135	131	136	129	133	1530
Río Totumo	1202-01-18	137	69	82	135	136	131	136	135	131	135	129	133	1489
Quebrada Manuela	1202-01-19	100	54	82	136	136	131	136	135	131	135	129	133	1437
Quebrada La Anguilla	1202-01-20	111	55	82	136	136	131	136	135	131	135	129	133	1448
Río Caimán Viejo - Tigre	1202-01-21	136	77	80	136	136	131	136	135	130	135	128	132	1492

Fuente: Elaboración propia.



3.1.4.4 Evapotranspiración Real y caudal medio anual de largo plazo

Retomando la Ecuación 5, se obtiene una lámina de agua que puede ser expresada en caudal por unidad de área. En la Tabla 32 se presenta el caudal medio anual para cada subcuenca jerarquizada, el valor de caudal para las microcuencas se puede consultar en la Tabla 33.

Tabla 32. Caudal medio de largo plazo para subcuencas.

ID	SUBCUENCAS	CÓDIGO	PT (mm)	ETR (mm)	Esc. (mm)	ÁREA (km ²)	Qmed (m ³ /s)
1	Río Currulao	1202-01-01	2407.76	1541.28	866.48	265.17	7.29
2	Río Guadualito	1202-01-02	2293.51	1540.19	753.31	124.74	2.98
3	Quebrada Guadualito	1202-01-03	2316.69	1495.63	821.06	9.61	0.25
4	Quebrada El Cuna	1202-01-04	2288.07	1525.85	762.22	43.07	1.04
5	Zona Urbana Turbo	1202-01-05	2273.81	1460.06	813.75	15.75	0.41
6	Río Turbo	1202-01-06	2104.39	1517.04	587.35	159.80	2.98
7	Quebrada Aguas Claras - Estorbo	1202-01-07	2276.07	1499.37	776.71	16.42	0.40
8	Quebrada Cope	1202-01-08	2271.11	1509.36	761.76	9.42	0.23
9	Quebrada NN1	1202-01-09	2277.44	1509.89	767.55	2.99	0.07
10	Río Punta de Piedra	1202-01-10	2251.40	1514.77	736.63	10.90	0.25
11	Quebrada NN2	1202-01-11	2270.09	1511.93	758.17	1.70	0.04
12	Río Cirilo	1202-01-12	2244.05	1514.79	729.26	11.89	0.27
13	Quebrada NN3	1202-01-13	2255.55	1514.91	740.64	2.27	0.05
14	Quebrada Tie	1202-01-14	2243.80	1516.27	727.53	2.21	0.05
15	Quebrada NN4	1202-01-15	2239.10	1518.20	720.90	4.42	0.10
16	Río Caiman Nuevo	1202-01-16	2167.94	1518.86	649.07	97.45	2.01
17	Quebrada Seca	1202-01-17	2198.00	1530.16	667.84	6.45	0.14
18	Río Totumo	1202-01-18	2168.69	1489.00	679.69	8.91	0.19
19	Quebrada Manuela	1202-01-19	2155.67	1436.74	718.94	4.10	0.09
20	Quebrada La Anguilla	1202-01-20	2147.40	1448.06	699.33	4.63	0.10
21	Río Caimán Viejo - Tigre	1202-01-21	2087.72	1492.25	595.47	95.56	1.80

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33. Caudal medio de largo plazo para microcuencas.

ID	MICROCUENCAS	CÓDIGO	PT (mm)	ETR (mm)	Esc (mm)	ÁREA (km ²)	Qmed (l/s)
1	Río Caraballo	1202-01-01-01	2505,84	1554,68	951,16	6,05	182,48
2	Quebrada NN	1202-01-01-02	2484,50	1563,00	921,51	3,61	105,58
3	Quebrada El Limón	1202-01-02-01	2363,07	1575,00	788,07	0,46	11,59
4	Quebrada Alto Mulatos	1202-01-02-02	2049,11	1502,70	546,41	0,30	5,18
5	Quebrada Los Indios	1202-01-02-03	2287,82	1546,69	741,13	0,81	19,05
6	Río Turbo	1202-01-06-01	2093,88	1521,90	571,98	150,29	2725,93
7	Quebrada San Felipe	1202-01-06-02	2282,14	1552,13	730,01	0,91	21,17
8	Quebrada La Mina	1202-01-06-03	2214,37	1518,78	695,60	1,06	23,27
9	Quebrada Copez	1202-01-07-01	2255,83	1519,64	736,18	1,39	32,50
10	Río Cirilo	1202-01-12-01	2242,94	1514,91	728,03	11,01	254,26
11	Quebrada NN	1202-01-12-02	2257,15	1514,59	742,56	0,19	4,40
12	Quebrada Tie	1202-01-14-01	2244,33	1516,33	727,99	0,11	2,53

Fuente: Elaboración propia.

Las unidades de los caudales para las subcuencas se expresan en metros cúbicos por segundo (m³/s), a su vez las unidades para las microcuencas de esta variable se expresan en litros por segundo (l/s). La espacialización de la evapotranspiración real anual puede observarse en la Figura 54.

En la Figura 55, Figura 56 y Figura 57, se presenta la distribución espacial a resolución mensual de la ETR.



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

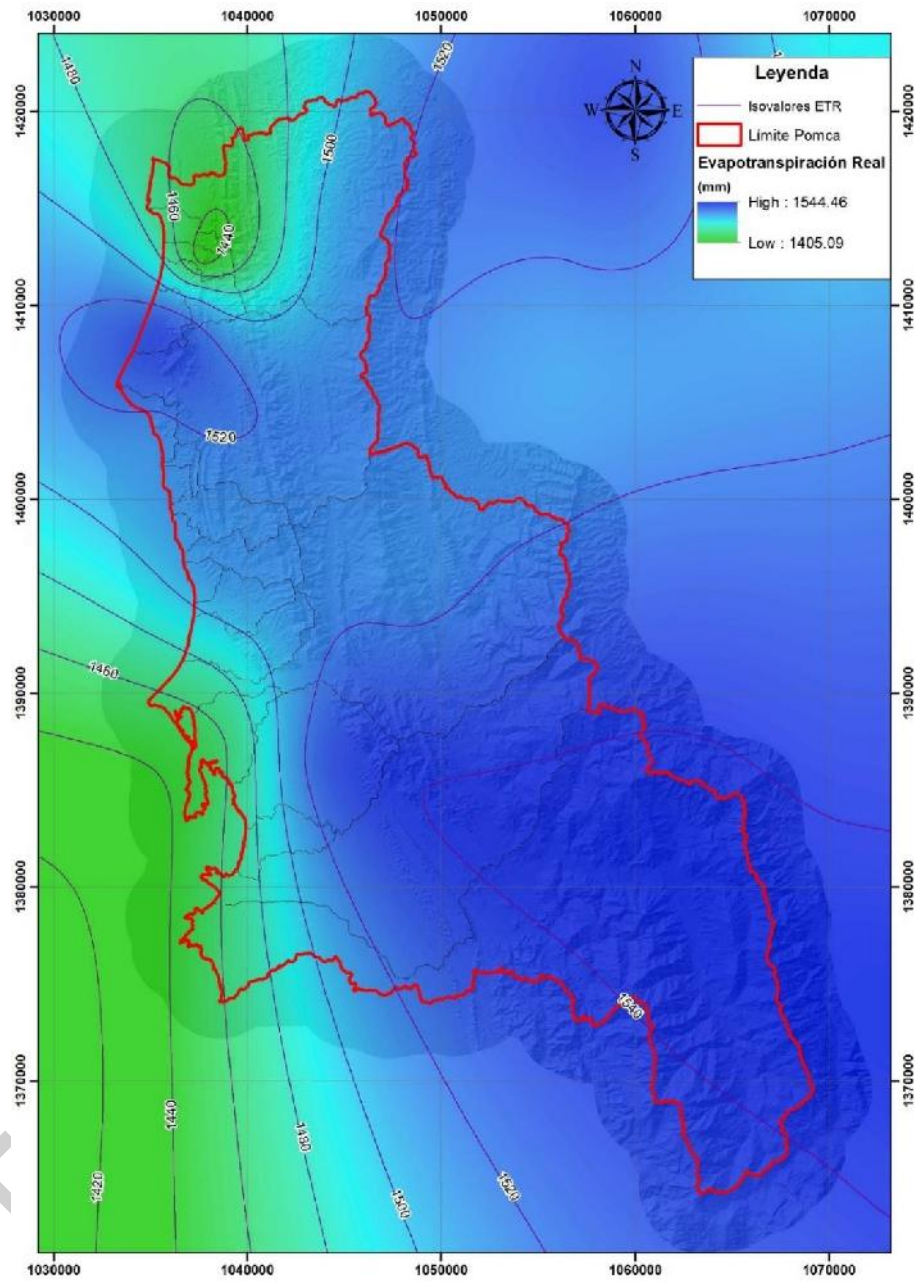


Figura 54. Isovalores de la Evapotranspiración real multianual.
Fuente: Elaboración propia.



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

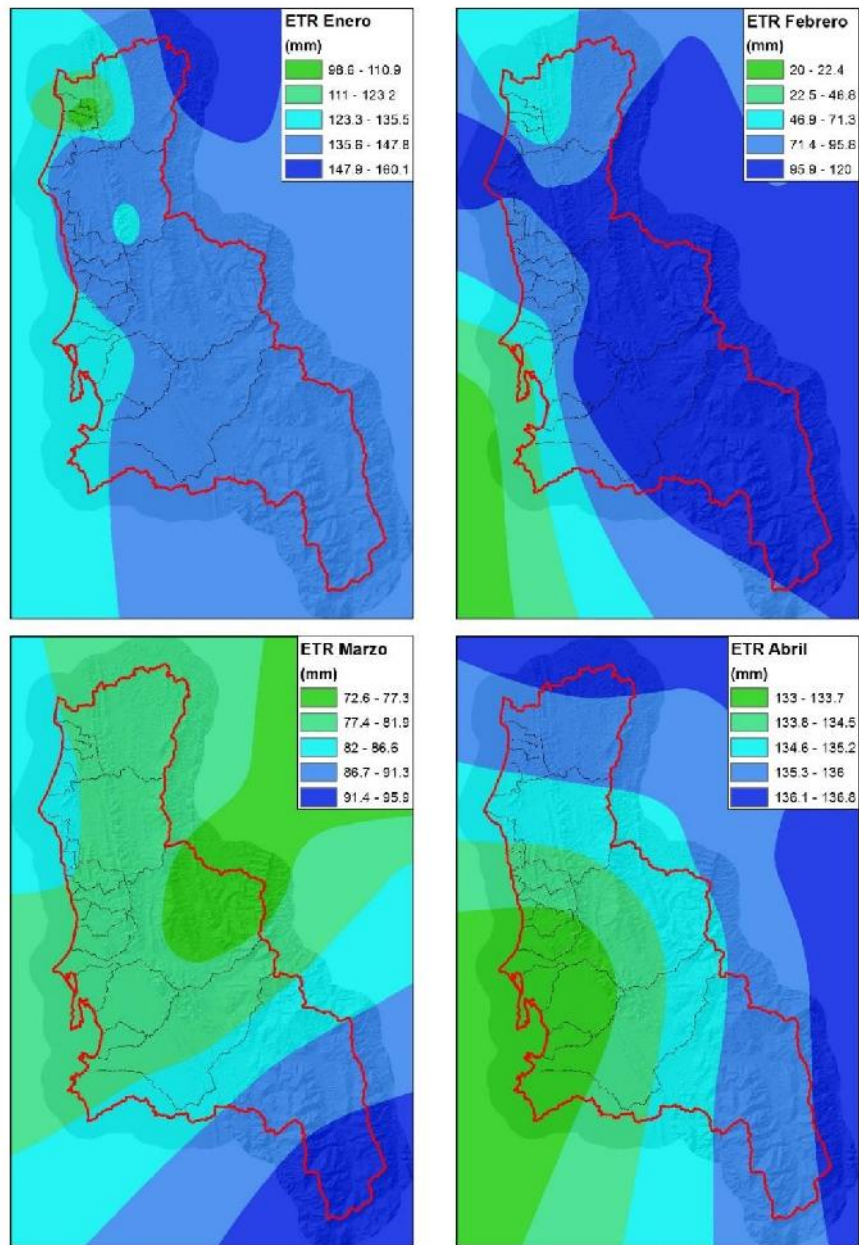


Figura 55. Distribución mensual de la Evapotranspiración real en el primer cuatrimestre del año.
Fuente: Elaboración propia.



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

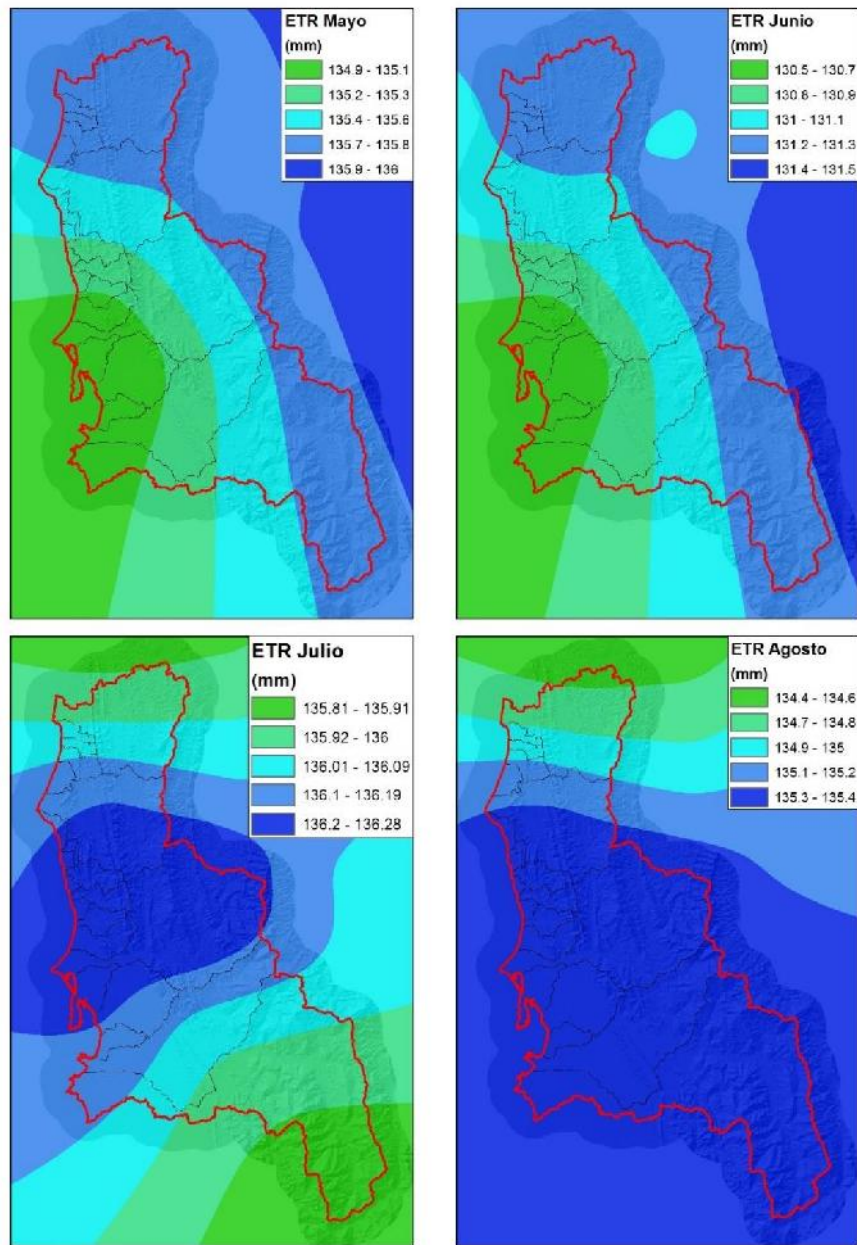


Figura 56. Distribución mensual de la Evapotranspiración real en el segundo cuatrimestre del año.

Fuente: Elaboración propia.

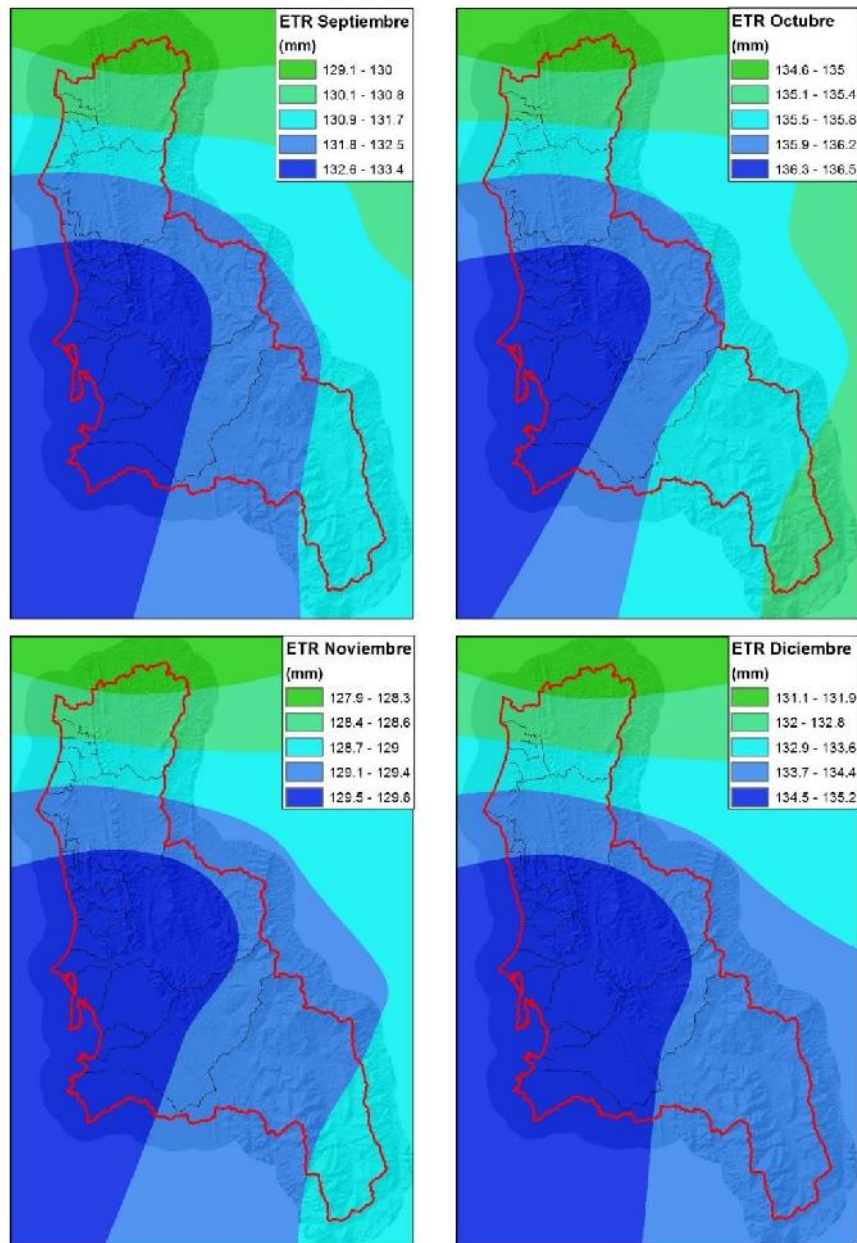


Figura 57. Distribución mensual de la Evapotranspiración real en el tercer cuatrimestre del año.
Fuente: Elaboración propia.

3.1.5 Clasificación climática de la cuenca

El estudio prevé desarrollar la zonificación climática según el método de Caldas – Lang, la cual proporciona un elemento de apoyo para la interpretación y delimitación de las unidades de paisaje. El sistema de clasificación climática de Caldas – Lang utilizado para el presente trabajo, esencialmente se fundamenta en dos modelos, cuyo marco teórico se expone a continuación.



3.1.5.1 Modelo climático de Caldas - Lang

Se basa principalmente en las observaciones y conclusiones del Sabio Francisco José de Caldas, consistentes en la recopilación de una extensa serie de información relativa a la altura sobre el nivel del mar (altitud) y su influencia en la variación de las temperaturas, primera clasificación de Pisos Térmicos desarrollada para la Región Andina. A través de estas investigaciones y posteriores comprobaciones de esta teoría se confirmó la existencia de un gradiente de la temperatura con la altitud. Los límites expuestos por Caldas corresponden a los siguientes pisos térmicos (ver Tabla 34).

Tabla 34. Clasificación del clima según Caldas.

PISO TÉRMICO	RANGO ELEVACIÓN	RANGO TEMPERATURAS
Cálido	0 a 800	$T \geq 24^{\circ}\text{C}$
Templado	800 a 1800	$24^{\circ}\text{C} > T > 18^{\circ}\text{C}$
Frío	1800 a 2800	$18^{\circ}\text{C} > T > 12^{\circ}\text{C}$
Muy Frío	2800 a 3700	$12^{\circ}\text{C} > T > 6^{\circ}\text{C}$
Extremadamente frío	3700 a 4700	$6^{\circ}\text{C} > T > 0^{\circ}\text{C}$
Nival	> 4700	$T < 0^{\circ}\text{C}$

Fuente: (IDEAM, 2005).

Para la clasificación de Lang, se emplean variables de entrada como la precipitación media anual (mm) y la temperatura media anual ($^{\circ}\text{C}$). Estos parámetros se relacionan mediante el cociente entre la precipitación y la temperatura, llamado Factor de Lang el cual describe las condiciones de humedad (ver Tabla 35).

Tabla 35. Factor de humedad de Lang.

FACTOR DE HUMEDAD	FACTOR DE LANG (P/T)	SÍMBOLO
Desértico	0 a 20	D
Árido	20,1 a 40	A
Semiárido	40,1 a 60	Sa
Semihúmedo	60,1 a 100	Sh
Húmedo	100,1 a 160	H
Superhúmedo	> 160,1	SH

Fuente: (IDEAM, 2005).

Finalmente, el geólogo suizo Paul Schaufelberguer (1962), combinó las clasificaciones de Caldas con la de Lang, obteniendo 25 tipos de clima, en los cuales se considera el factor térmico y el factor de humedad. En la Tabla 36, se puede observar los tipos de clima según la metodología Caldas-Lang.

Tabla 36. Relación de los climas según la metodología Caldas Lang.

TIPO CLIMÁTICO	SÍMBOLO
Cálido Superhúmedo	CSH
Cálido húmedo	CH
Cálido Semihúmedo	CSh
Cálido Semiárido	CSa
Cálido Árido	CA
Cálido Desértico	CD
Templado Superhúmedo	TSH
Templado Húmedo	TH
Templado Semihúmedo	TSh
Templado Semiárido	TSa
Templado Árido	TA
Templado Desértico	TD
Frío Superhúmedo	FSH
Frío Húmedo	FH



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

TIPO CLIMÁTICO	SÍMBOLO
Frío Semihúmedo	FSh
Frío Semiárido	FSa
Frío Árido	FA
Frío Desértico	FD
Páramo bajo Superhúmedo	PBSH
Páramo bajo Húmedo	PBH
Páramo bajo Semihúmedo	PBSH
Páramo bajo Semiárido	PbSa
Páramo alto Superhúmedo	PASH
Páramo alto Húmedo	PAH
Nieves perpetuas	NP

Fuente: (IDEAM, 2005).

Siguiendo el método descrito de Caldas y Lang, se obtuvo la clasificación climática de la cuenca del Río Turbo y Currulao.

- Piso térmico: Cálido (C)
- Factor de humedad: Semihúmedo (Sh)
- Tipo de clima: Cálido Semihúmedo (CSh)

El procedimiento consistió en obtener el factor de Lang (P/T), mediante un álgebra de mapas entre el ráster de precipitación y el ráster de temperatura, para finalmente categorizar los rangos establecidos en la Tabla 34 y definir el tipo de clima para el área en ordenación. Los resultados del factor de Lang para dicha área fueron de mínimo 60 mm/°C, un máximo de 95 mm/°C y un valor promedio de 80,7 mm/°C; lo que categoriza homogéneamente un clima CÁLIDO SEMIHÚMEDO en la cuenca. En la Figura 58 se puede observar la clasificación climática de la cuenca en ordenación.

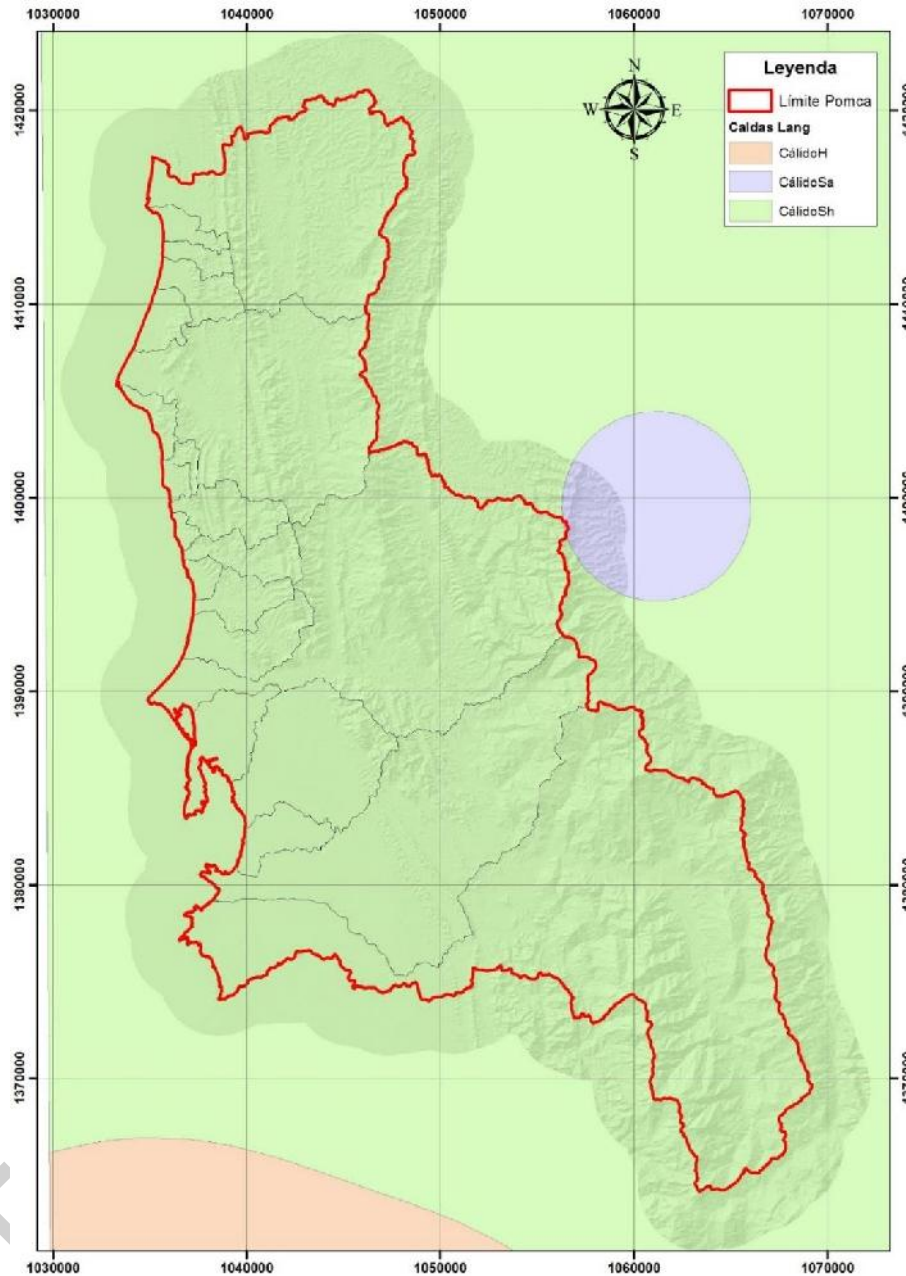


Figura 58. Clasificación climática Caldas - Lang. Fuente: Fuente: Elaboración propia.

3.1.6 Índice de aridez

Se adopta la metodología propuesta en el ENA 2010 (IDEAM, 2010). El índice de aridez es otro indicador del régimen natural y ha sido definido como una característica del clima que muestra de manera cualitativa, los lugares con excedentes y déficit de agua. La evapotranspiración potencial y real representa para este caso, un factor determinante en la obtención de este índice.



Los componentes de la ecuación del índice de aridez son la evapotranspiración potencial y la evapotranspiración real, aplicadas como se expresa en la siguiente ecuación:

Ecuación 10. Índice de aridez.

$$I_a = \frac{ETP - ETR}{ETP}$$

Donde

- I_a : Índice de aridez (adimensional)
 ETP : Evapotranspiración potencial (mm)
 ETR : Evapotranspiración real (mm)

La interpretación del índice de aridez se presenta en la Tabla 37.

Tabla 37 Calificación del Índice de aridez

ÍNDICE DE ARIDEZ	CALIFICACIÓN CUALITATIVA	DESCRIPCIÓN
< 0.15	Altos excedentes	Altos excedentes de agua
0.15-0.19	Excedentes	Excedentes de agua
0.20-0.29	Moderado y excedentes	Moderado y excedentes de agua
0.30-0.39	Moderado	Moderado
0.40-0.49	Bajo	Moderado y deficitario de agua
0.50-0.59	Deficitario	Deficitario de agua
> 0.6	Altamente deficitario	Altamente deficitario de agua

Fuente: (IDEAM, 2010).

Empleando la Ecuación 10 y los insumos previamente descritos como la ETP y ETR, el índice de aridez se calculó y se espacializó en el mapa de la Figura 59. De acuerdo con los resultados obtenidos en gran parte del territorio los valores del IA se encuentran en el rango de 0,2 a 0,29 categorizado como de Moderado y excedentes de agua. Solo la subcuenca del río Currulao y quebrada Guadualito presentan algunas zonas categorizadas con Excedentes de agua (Tabla 38).

El IA estimado para toda la cuenca del río Turbo Currulao (código 1202-01), agregada en subcuencas, se categoriza como de Moderado y excedentes de agua.



FASE DE DIAGNÓSTICO
 PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

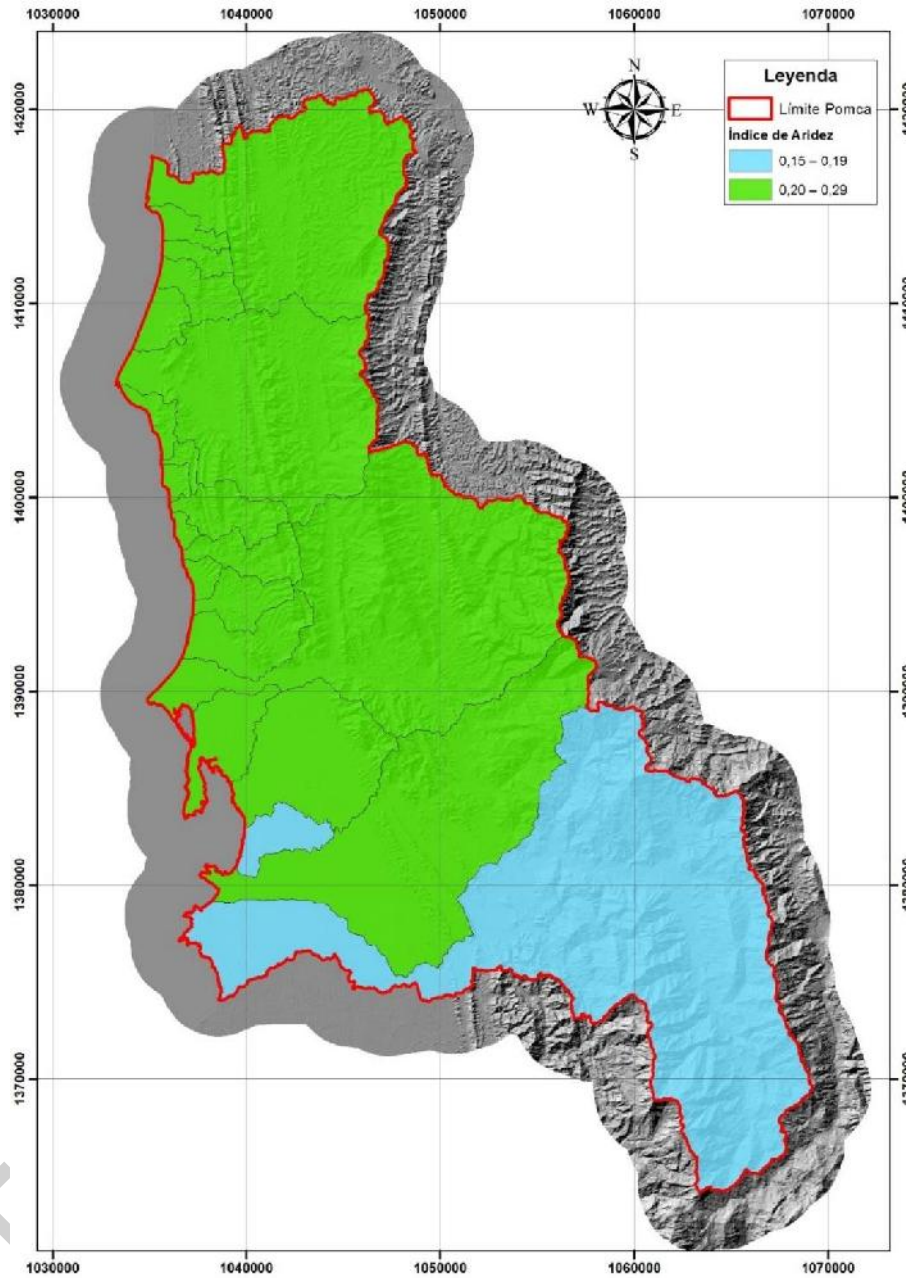


Figura 59. Índice de aridez para la cuenca del Río Turbo y Currulao.
 Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38. Índice de aridez por subcuenca.

ID	SUBCUENCAS	CÓDIGO	IA	CATEGORÍA
1	Río Currulao	1202-01-01	0.189	Excedentes de agua
2	Río Guadualito	1202-01-02	0.200	Moderado a excedentes de agua
3	Quebrada Guadualito	1202-01-03	0.197	Excedentes de agua
4	Quebrada El Cuna	1202-01-04	0.200	Moderado a excedentes de agua
5	Zona Urbana Turbo	1202-01-05	0.201	Moderado a excedentes de agua
6	Río Turbo	1202-01-06	0.224	Moderado a excedentes de agua



ID	SUBCUENCAS	CÓDIGO	IA	CATEGORÍA
7	Quebrada Aguas Claras - Estorbo	1202-01-07	0.201	Moderado a excedentes de agua
8	Quebrada Cope	1202-01-08	0.202	Moderado a excedentes de agua
9	Quebrada NN1	1202-01-09	0.201	Moderado a excedentes de agua
10	Río Punta de Piedra	1202-01-10	0.204	Moderado a excedentes de agua
11	Quebrada NN2	1202-01-11	0.202	Moderado a excedentes de agua
12	Río Cirilo	1202-01-12	0.205	Moderado a excedentes de agua
13	Quebrada NN3	1202-01-13	0.204	Moderado a excedentes de agua
14	Quebrada Tie	1202-01-14	0.205	Moderado a excedentes de agua
15	Quebrada NN4	1202-01-15	0.206	Moderado a excedentes de agua
16	Río Caiman Nuevo	1202-01-16	0.215	Moderado a excedentes de agua
17	Quebrada Seca	1202-01-17	0.211	Moderado a excedentes de agua
18	Río Totumo	1202-01-18	0.214	Moderado a excedentes de agua
19	Quebrada Manuela	1202-01-19	0.216	Moderado a excedentes de agua
20	Quebrada La Anguilla	1202-01-20	0.217	Moderado a excedentes de agua
21	Río Caimán Viejo - Tigre	1202-01-21	0.224	Moderado a excedentes de agua

Fuente: Elaboración propia.

3.1.7 Conclusiones e identificación de necesidades de información

Una vez desarrollado el capítulo de caracterización climática en la cuenca del Río Turbo y Currulao, se destacan aspectos importantes como la relación que existe entre la precipitación y temperatura media, con lo que ocurre en las regiones de desarrollo y monitoreo del fenómeno El Niño sobre el Océano Pacífico Tropical, más específicamente con las anomalías de la Temperatura Superficial del Mar - TSM en el Océano Pacífico Central (Región Niño 3 y Niño 1,2).

Una mención especial merece la estación El Mellito (12025030) y Turbo (12025040), las mayores correlaciones se dieron con los índices WHWP, TNA y AMO. Todos estos representan variabilidad de la TSM en el océano Atlántico Norte, Pacífico Oriental Tropical, Golfo de México y Mar Caribe.

De acuerdo con el comportamiento de las anomalías de las precipitaciones se pudo inferir el grado de exposición de la cuenca en ordenación a las amenazas meteorológicas dada las variaciones en el régimen climático. En síntesis, se observan mayor cantidad de años con anomalías negativas que positivas, sin embargo, la magnitud de las anomalías positivas es en gran medida superior a las negativas, es decir, la cuenca está expuesta a eventos extremos de excesos de mayor intensidad, pero suelen presentarse eventos deficitarios con más frecuencia.

De acuerdo con los resultados obtenidos de las pruebas de tendencias, las estaciones Aeropuerto Los Cedros (12015070), El Mellito (12025030) y Turbo (12025040), presentan tendencia positiva en los registros de temperatura media; como referencia se menciona que la diferencia en medias en la estación de Turbo es de 0,7°C, para los periodos intra anuales evaluados. Estos hallazgos, sumado a los escenarios de cambio climático desarrollados por el IDEAM (2015), indican que habrá modificaciones sustanciales en las temperaturas, las precipitaciones y un aumento del nivel del mar en la región, se proyecta que la temperatura del Urabá antioqueño, aumente entre 1,2 °C (en la zona andina del territorio) y 1,9°C (en los municipios de norte y centro de la región) al año 2070.



En términos generales el clima en la región se describe así:

- **Precipitación:** El régimen pluviométrico es de tipo monomodal 1 (Mm1), el cual se caracteriza por tener una temporada lluviosa continua entre abril y noviembre, con un periodo seco muy marcado de diciembre a marzo. Las lluvias varían desde los 1.500 mm/año en la estación Puerto Bello, hasta los 3.260 mm/año en Aeropuerto Los Cedros, la estación más representativa localizada dentro del polígono es Turbo y registra un promedio de 2.180 mm/año.
- **Temperatura:** La temperatura media oscila entre los 25,5°C a los 28°C en la cuenca en ordenación. En cuanto a la temperatura máxima absoluta, es clara la tendencia que marcan las series al ascenso desde el periodo 2002 y 2003. En estos dos años se evidenció un salto en todas las series de hasta 1°C, el registro histórico de temperaturas máximas promedio antes de este evento estaba en 34°C, para el periodo actual se presenta un valor cercano a los 35°C, siendo el año 2015, el más cálido.
- **Humedad relativa:** Los valores promedios anuales de la humedad relativa oscilan entre el 80 al 90% en las diversas estaciones analizadas.
- **Brillo solar:** Los meses de enero y febrero son los más iluminados en el año, el valor medio es de 5,7 h/día para este bimestre; el máximo valor registrado ha sido 10 h/día de sol. El mes con menos horas de sol corresponde a junio.
- **Velocidad y dirección del viento:** El viento proviene predominantemente del Norte y Sur, las velocidades del viento en su mayoría se encuentran en el rango de los 1 a 2 m/s (dirección sur frecuencia relativa 15%) y 2 a 3 m/s (dirección norte frecuencia relativa 12%).
- **Evapotranspiración Potencial (ETP):** El método de García y López es el que mejor describe la Evapotranspiración Potencial en la cuenca. El régimen varía desde los 1.530 mm/año en la estación Unibán, hasta los 1.760 mm/año en Urrá, la estación más representativa localizada dentro del polígono es Turbo y registra un promedio de 1.600 mm/año.
- **Evapotranspiración Real (ETR):** Del balance hidrológico mensual fue posible obtener la evapotranspiración real que oscila en términos anuales entre los 1.440 a 1.540 mm/año, para las unidades hidrográficas jerarquizadas.
- **Clasificación Climática:** Homogéneamente se categoriza un clima CÁLIDO SEMIHÚMEDO en la cuenca.
- **Índice de Aridez:** En más del 90% del territorio los valores del IA se encuentran en el rango de 0,2 a 0,29 categorizado como de Moderado y excedentes de agua. Solo la subcuenca del río Currulao y Guadualito presentan algunas zonas categorizadas con Excedentes de agua.



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

En cuanto a las necesidades de información, todas se sintetizan en la falta latente de estaciones de medición meteorológicas dentro de la cuenca en ordenación. La única estación interna es Turbo (12025040) representativa de la región, pero se encuentra suspendida desde el año 2011. Esta situación se cataloga como una potencial problemática de la cuenca.

La recomendación que se deriva de este análisis es el diseño y puesta en marcha de una red local de medición climatológica, donde se monitoreen variables como: la precipitación, temperatura, humedad relativa, radiación solar, brillo solar, evaporación y velocidad y dirección del viento a escala diaria o menor. Esto se justifica dado los evidentes cambios que se proyectan para la región del Urabá en cuanto a variabilidad y cambio climático.

EN ETAPA DE PUBLICIDAD



3.2 GEOLOGÍA

El área hidrográfica comprendida por la cuenca del Río Turbo-Currulao se encuentra incluida en la zona comprimida y deformada, conformada por las Serranías de Sinú-San Jacinto, las cuales fueron plegadas, falladas y desplazadas intensamente en sentido NW-SE, debido a la geodinámica ejercida entre El Bloque Chocó-Panamá, rígido al oeste y la Placa Suramericana al este, dejando como expresión, una Cuenca de Urabá con secuencia litológica plegada asimétricamente y hundida; y la Cuenca del Sinú, levantada y fallada con tendencia por medio de la Falla de Uramita, convergencia hacia el oeste y expresada hacia el oriente sobre el área de estudio, por fallas paralelas y pliegues, con la misma tendencia.

La cartografía geológica investigada indica que los efectos compresivos sobre el sector son dinámicos y que la Falla de Uramita estaría representada en el área por la Falla de La Trampa, al este de Turbo, con rumbo N30°W hasta la localidad de El Dos: esta disposición indica en principio, que el sector SW en donde predominan los sedimentos cuaternarios está hundido en relación con la secuencia de la Formación Pavo Inferior levantada y predominante al NE. La flexión semicircular que presentan las fallas al norte de la Falla de El Dos, junto con el efecto compresivo y desplazamiento diferencial, comprueba que ésta es sinextral y que la secuencia de la Formación Pavo Inferior (NgPi), fue desplazada hacia el oeste, hasta alcanzar la línea de costa, dejando una franja muy estrecha de sedimentos cuaternarios. Como una consecuencia, la expresión de los sedimentos cuaternarios aumenta a partir de la desembocadura de la Quebrada Caimán Nuevo hacia Necoclí. Esta es la mayor anomalía estructural que afecta al área de la Cuenca Río Turbo-Currulao.

La secuencia detrítica y turbidítica de edad Neógena conformada geológicamente por unidades correspondientes a las formaciones Pavo (NgP) y Arenas Monas (NgAm) predominantes sobre el área y presente sobre un relieve relativamente bajo, con regular expresión morfoestructural y fuertemente degradado por procesos naturales y antrópicos principalmente.

La evaluación de información e interpretación secuencial y temporal de dichos insumos produjo como resultados, un Marco Geológico Regional, una diferenciación y división litoestratigráfica básica para investigar el desarrollo Geológico Estructural expresado sobre el área, producido por los esfuerzos y deformación generados por la compresión diferencial, que en sentido E-W se ejerció sobre la subcuenca del Sinú, adjunta a la de San Jacinto, al desplazarse sobre un basamento cretáceo más rígido, sobre la Cuenca de Urabá, limitada por medio de la Falla de Uramita (INGEOMINAS, 1999).

Se obtuvo un Mapa Geológico Detallado a escala 1:25.000, al cual se le dio validez mediante dos comprobaciones de campo y se sectorizó estructuralmente al comparar factores básicos como predominio de unidades más detríticas y competentes, con mayor grado de afectación estructural y densidad de fallas con orientación NW-SE, en contraste con unidades menos competentes, con composición menos detrítica y deformada estructuralmente, con presencia de menor densidad de fallas cuya orientación varía entre NE-SW y NW-SE; este mapa se integró con el Mapa Geomorfológico, para obtener los mapas y salidas cartográficas reportados.



Se ha incluido un capítulo sobre la Evolución Geológica del área, como complemento para entender que la geodinámica regional de los cinturones deformados del Sinú-San Jacinto desde la época de Haffer (1963) hasta la actualidad, es de tal complejidad, que toda la secuencia turbidítica que la conforma, presenta tales variaciones en sus “facies” de sedimentación, que (INGEOMINAS, 1999), no pudo definir una columna litoestratigráfica “tipo” aplicable al área investigada. Para fines prácticos y aplicabilidad sobre el área, la división litológica definida es el pilar sobre el cual se apoyan las condiciones geotécnicas, al tener en cuenta el aporte de los procesos morfodinámicos obtenidos mediante el Mapa Geomorfológico.

3.2.1 Antecedentes

Teniendo en cuenta la gran diferencia entre utilizar información existente a escalas 1:100.000 o mayores y producir una cartografía a escala 1:25.000, sustentada con fotointerpretación detallada y controles de campo: las publicaciones cartográficas y la bibliografía disponible no enfoca descripciones detalladas ni soportan resultados de apoyo tangibles y representativos.

Por lo tanto, a continuación, se presenta puntualmente el análisis y la evaluación de cada una de las publicaciones consultadas como una primera aproximación hacia la cartografía detallada:

GEOTEC.LTDA 1997 (GEOTEC, 1997). Cartografía geológica de la región del Sinú, Noroeste de Colombia. (Planchas 50, 51, 59, 60, 61, 69, 70, 71, 79, 80), Vol. 1, INGEOMINAS.

La cartografía geológica realizada por GEOTEC.LTDA en dicho año fue producida a escala 1:100.000 sobre mapas topográficos del IGAC en 1999, los cuales se transfirieron hacia versión digital en 2010, diferenciando estratigráficamente cuatro unidades, Formación Pavo Inferior, Formación Pavo Superior, Formación Arenas Monas y Cuaternario representado por Aluvión/Terrazas. El informe de soporte generado por GEOTEC LTDA. no presenta una Columna Estratigráfica representativa correspondiente a las Formaciones Pavo y Arenas Monas, ni su localización con descripción detallada, sobre cada una de las secciones levantadas, siendo este soporte fundamental, impreciso y por lo tanto su descripción no es la adecuada para aplicarla a escala detallada 1:25.000, esto, debido a que el área de estudio sobre la Serranía del Sinú está conformada por turbiditas, con muchos cambios de facies laterales, razones por las cuales, aporta información, sólo a nivel regional sobre 10 planchas.

Hernández P. O. 2009 (Hernández O. , 2009). Cartografía Geológica y Modelamiento Estructural de las Cuencas de Urabá y Sinú-San Jacinto a partir de la interpretación de imágenes de Sensores Remotos y Monitoreo Sísmico. Informe Final Convenio Interadministrativo UNAL-ANH. Estudio Tectónico Estructural a partir del Monitoreo Sísmico y Anomalías de Campos Potenciales. Informe Final Convenio Interadministrativo 070 /2008 UNAL-ANH. Bogotá.

Es un informe cartográfico regional, muy valioso, en el cual se integra evaluación estructural de superficie con la del subsuelo, investigando la relación espacial que existe entre el movimiento de las placas tectónicas y su incidencia en el desarrollo de las Subcuencas de Urabá (en proceso de subsidencia) y las del Sinu-San Jacinto, en



levantamiento, por medio de la Falla de Uramita (NW-SE), que es un cabalgamiento sinextral con vergencia hacia el SW. Las secciones transversales que acompañan al informe confirman que los cinturones o serranías de San Jacinto y Sinú, se han desplazado desde el oriente hacia el occidente, por medio de fallas lítricas, a partir de un basamento cretácico: el frente de despegue de la segunda, por medio de la Falla de Uramita, muestra un cabalgamiento muy claro sobre la secuencia sedimentaria de la Cuenca de Urabá (en el sector del Golfo), lo cual indica que existe un levantamiento diferencial del labio levantado, en relación con la línea de costa. Según concepto, Estructural muy personal, la Falla de Uramita se considera como activa.

Estas dos publicaciones son las más importantes porque aportaron información básica, aplicables al PROYECTO.

Marín J.P et al. 2010 **Fuente especificada no válida.** Evaluación Geológica y Prospectividad del Sector Sinú-Urabá. Bol.Geol. N°1 pp. 145-153. Univ. Ind. de Sant. Bucaramanga.

Es una publicación que investiga sobre el potencial de los hidrocarburos en la región, como un avance exploratorio, fundamentado en información secundaria, teniendo en cuenta el basamento cretácico, como roca fuente.

Garzón F. 2012 (Garzón Varón, Modelamiento estructural de la zona límite entre la microplaca de Panamá y el bloque norandino a partir de la interpretación de imágenes de rada, cartografía geológica, anomalías de campos potencias y líneas sísmicas, 2012). Modelamiento Estructural de la Zona Límite entre la Microplaca Panamá y el Bloque Norandino a partir de la Interpretación de Imágenes de Radar, Cartografía Geológica, Anomalías de Campo Potenciales y Líneas Sísmicas. Tesis Universidad. Nacional. Bogotá.

Esta tesis retoma los resultados y adjunta algunos apartes de su Director Orlando Hernández. Es regional y no aporta nada nuevo.

Mora H. 2006. Red Nacional de Estaciones Geodésicas Satelitales GPS, con Propósitos Geodinámicos. INGEOMINAS-Documento BPIN. Planeación Nacional. Bogotá.

Este documento aportó las ubicaciones satelitales necesarias para ser utilizadas como básicas en el Proyecto UNAL-ANH., por Hernández O et al. 2009.

Flinch J. et al., 2003. Structural Evolution of the Sinu-Lower Magdalena Area (Northern Colombia).

Esta publicación consultada aporta dos columnas litológicas generalizadas y reformadas por el autor, pero no son muy representativas, porque utiliza una nomenclatura estratigráfica regional, con diferentes nombres sobre secuencias presentes en la Serranía de San Jacinto como la unidad, Formación Paujil. Aplica edades a los ambientes de depósito, refiriéndose a las Subcuenca de San Jacinto.

Vargas G. et al., 2009. Inventario, interpretación y evaluación de la información geológica, geofísica y geoquímica perteneciente al área libre de la cuenca Urabá. Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá.



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

Aunque se consultó, su contenido apporto muy poco al proyecto. Universidad Nacional, Facultad de Minas, Servicio Geológico Nacional 2015). Ordenación de Cuencas Hidrográficas, "Memoria Explicativa-de la Zonificación-de la Susceptibilidad y la Amenaza Relativa por Movimientos en Masa a escala 1:100.000", Planchas Necoclí-69, Turbo-79 y Apartado-80".

El análisis y evaluación de este trabajo realizado a escala regional es tal vez una aproximación preliminar sobre la Susceptibilidad y los Mapas de Amenaza Relativas, utilizando un Método Heurístico, Procesos Jerárquicos Analíticos, para obtener Mapas de Amenazas Relativas, utilizando un Método Analítico Directo, según la Metodología ITC-IGAC.

Este informe incluye clasificación de susceptibilidad, muy alta, alta, media, baja y muy baja, y se refiere a (movimientos en masa o SIMMAS del S.G.C (2012) sobre las mencionadas planchas a escala 1:100.000, pero la valoración incluye sectores que son regionales como Tierra Alta, Carepa, Tanela, etc., y por lo tanto los porcentajes indicados incluyen factores poco precisos: indica que las zonas de susceptibilidad a movimientos en masa altos se encuentran localizados sobre la secuencia detrítica de la Formación Pavo, en inmediaciones del Filo de la Mona y la zona de influencia del Río Turbo. El informe presenta material de campo como fotografías y descripciones correspondientes a áreas que se ubican por fuera del área del Proyecto POMCA-TURBO/CURRULAO, localizados en la Serranía del Darién y otros sitios periféricos. Adicionalmente, la mayoría de los insumos cartográficos utilizados estaban a escala 1:100.000, poco aplicables a la cartografía a escala 1:25.000, la cual está en proceso por parte del Servicio Geológico, con las observaciones de los profesionales temáticos, que tuvimos la oportunidad de asistir al 4º Foro Final, el pasado 17 de septiembre, para producir un Protocolo Aplicable a los MM.

Tabla 39. Fuentes secundarias utilizadas

DOCUMENTO	FUENTE	FECHA	ENTIDAD-EDITORIAL	FORMATO	CALIDAD DEL INSUMO
Cartografía geológica de la región del Sinú, Noroeste de Colombia. (Planchas 50, 51, 59, 60, 61, 69, 70, 71, 79, 80), Vol. 1, INGEOMINAS.	GEOTEC.LTDA	1997-2003	INGEOMINAS	Informe	Buena. Información completa y oficial de la geología general cubiertas por las planchas mencionadas.
Cartografía Geológica y Modelamiento Estructural de las Cuencas de Urabá y Sinú-San Jacinto a partir de la Interpretación de Imágenes de Sensores Remotos y Monitoreo Sísmico. Informe Final	Hernández P. O. et al.	2009	UNAL-ANH	Informe	Buena. Información valiosa en la definición del modelo geológico estructural de la cuenca



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

DOCUMENTO	FUENTE	FECHA	ENTIDAD-EDITORIAL	FORMATO	CALIDAD DEL INSUMO
Evaluación Geológica y Prospectividad del Sector Sinú-Urabá	Marín J.P et al.	2010	UIS	Informe	Media. Se presentan características de la cuenca dirigidas a la prospectividad de hidrocarburos en el área.
Modelamiento Estructural de la Zona Límite entre la Microplaca Panamá y el Bloque Norandino a partir de la Interpretación de Imágenes de Radar, Cartografía Geológica, Anomalías de Campo Potenciales y Líneas Sísmicas	Garzón F	2012	UNAL	Tesis	Media. Un enfoque parecido al informe de Hernández, aunque regional.
Red Nacional de Estaciones Geodésicas Satelitales GPS, con Propósitos Geodinámicos	Mora H.	2006	INGEOMINAS	Informe	Baja. De este informe parten los estudios de interpretación de sensores remotos y monitoreo sísmico para la cuenca.
Structural Evolution of the Sinu-Lower Magdalena Area (Northern Colombia)	Flinch J. et al.	2003	AAPG	Artículo	Media. Artículo investigativo en el que se trata todo el marco geológico del bloque en cuestión junto a su evolución.
Inventario, interpretación y evaluación de la información geológica, geofísica y geoquímica perteneciente al área libre de la cuenca Urabá	Vargas G. et al.	2009		Informe	Baja. Aporta datos inéditos sobre la cuenca aunque su relevancia es mínima.
Ordenación de Cuencas Hidrográficas, "Memoria Explicativa de la Zonificación de la Susceptibilidad y la Amenaza Relativa por Movimientos en Masa a escala		2015	UNAL-SGC	Informe	Media. Informe sobre la zonificación de susceptibilidad en el área cubierta por las planchas mencionadas.



DOCUMENTO	FUENTE	FECHA	ENTIDAD-EDITORIAL	FORMATO	CALIDAD DEL INSUMO
1:100.000", Planchas Necoclí- 69, Turbo-79 y Apartado-80"					

Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Insumos utilizados

Tabla 40. Información utilizada para la elaboración de la cartografía geológica detallada de la Cuenca del Río Turbo-Currulao.

COMPONENTE	INSUMOS	ESCALA	FORMATO	FUENTE
Modelo digital de elevación (DEM)	DEM de la cuenca	Píxeles de 5*5 metros	En dato continuo	IGAC
Planchas 69-Necoclí y 80-Apartado	Geología regional	1:100.000	pdf	Servicio Geológico Nacional (1999) y la Memoria Técnica correspondiente, transcrita por (GEOTEC, 2003).
Base topográfica para transferencia de información técnica	Carta General SIGAC, planchas, 69-IV-A, 69-IV-B, 69-IV-C, 69-IV-D, 79-II-A, 79-II-B, 79-II-C, 79-II-D, 79-IV-A, 79-IV-B, 80-III-A, 80-III-C	1:25.000	GeoDataBase	Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2011),
Fotografías aéreas (1983-1985) de baja resolución, contraste lateral y pobre recubrimiento longitudinal deficientes	Líneas de vuelo dispersas en orientación lateral y pobre recubrimiento lateral (Tabla 41)	Diferentes escalas	Raster	Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2011),
Imágenes de radar (1992), de excelente calidad cuanto a resolución y contraste	Imágenes de radar INTERA12 enpancromáticas de radar, óptimas para interpretación geológica/monoscópica.	1:25.000	Raster	IGAC (1992)
Geomorfología	Mapa de la Cuenca Río Turbo-Currulao	1:25.000	GeoDataBase	Propia
Puntos SIMMA	NA		xlsx	SGC, 2014
Inventario	Georeferenciación de eventos de inestabilidad	Detalle	GeoDataBase	Propia

Fuente: Elaboración propia.



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO - CURRULAO

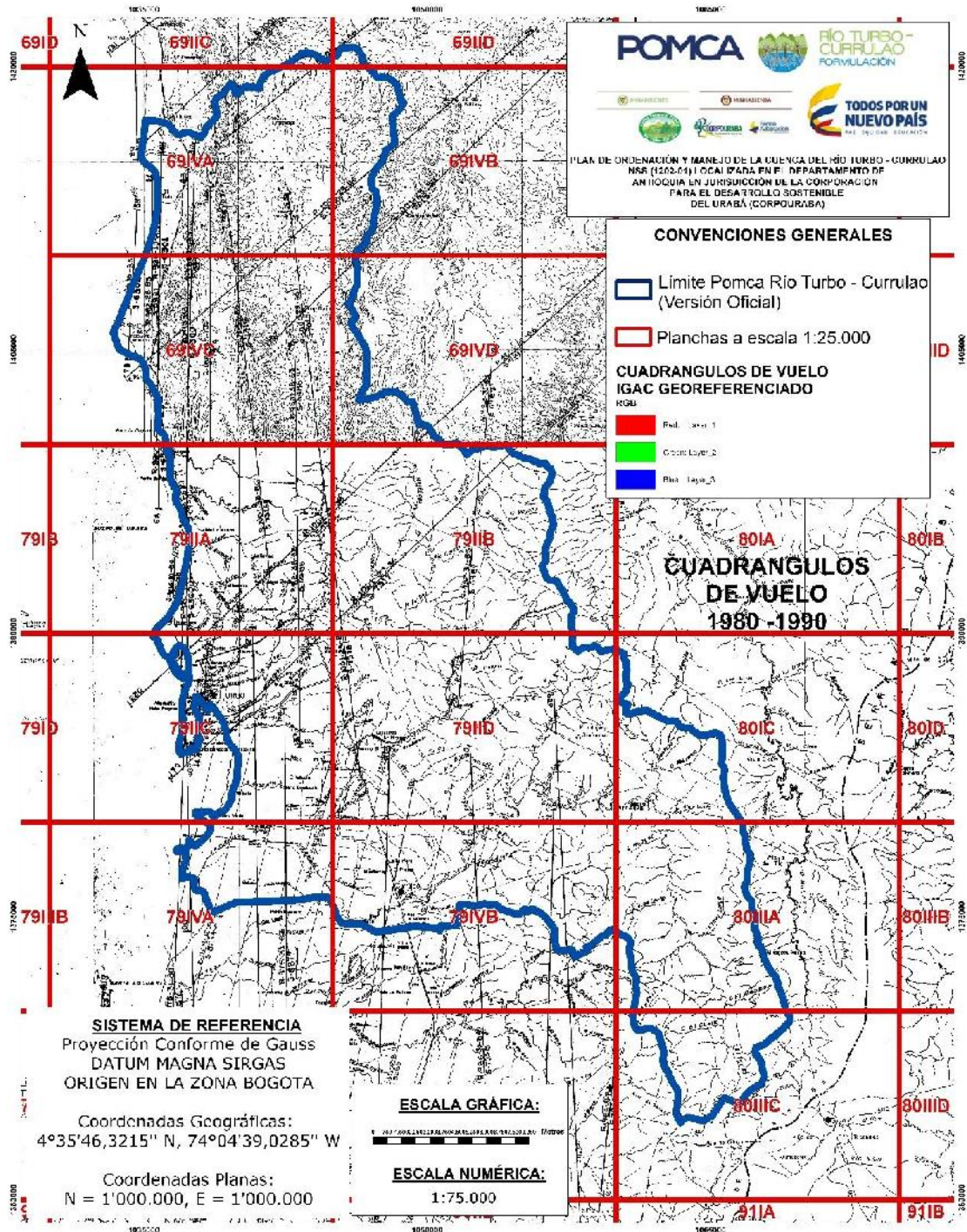


Figura 60. Mapa topográfico SIGAC 2010-2012 con líneas de vuelo.
Fuente: (SIGAC, 2012).



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

Tabla 41. Características de las fotografías aéreas (IGAC) sobre el área.

TABLA CON LA COBERTURA DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS QUE CUBREN EL ÁREA DEL PROYECTO								
FAJA No.	VUELO No.	SOBRE No.	FOTOGRAFÍA Nos.	TOTAL FOTOS	ESCALA/ORIENTACIÓN	LOCALIZACIÓN FAJA	CONTRASTE	
1	R-1001	S-7307	53 a 64	12	29 MIL/Diagonal NE_SW	De la costa hasta Sta. Fe de la Islita	Bajo y deriva	
2	R-1001	S-7313	132 a 140	9	28 MIL/Diagonal NE_SW	De San Rafael a Campamento	Moderado	
3	R-1001	S-7317	179 a 200	22	27 MIL/Diagonal NE_SW	De la costa a Pueblo Burra	Bajo	
4	R-1001	S-73-18	201 a 220	20	27 MIL/Diagonal NE_SW	De la costa a Río Mercedes	Moderado	
5	R-975	S-6877	64 a 75	11	31 MIL/NORTE-SUR	Desde Turbo a Pablo Berrero	Moderado	
6	R-982	S-6992	39 a 47	9	32 MIL/NORTE-SUR		Moderado	
7	R-986	S-7048	07 a 20	14	30 MIL/NORTE-SUR	De Río B. Colorado a Q. Fría	Moderado	
8	R-982	S-6987	00 a 43		31 MIL/NORTE-SUR		Moderado	
9	R-986	S-7049	21 a 39	19	30 MIL/NORTE-SUR		Moderado	
10	R-981	S-6986	331 a 339	9	30 MIL/NORTE-SUR		Moderado	
11	R-1001	S-7315	153 a 165	13	29 MIL/Diagonal NE_SW		Bajo	
12	R-920	S-6300	00 a 43	44	10 MIL/NORTE A SUR	Va paralelo a la línea de costa	Bueno	
SUBTOTAL				182				

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3 Generalidades de la Cuenca Turbo-Currulao

El área del POMCA Río Turbo-Currulao, localizada al este del Golfo de Urabá, presenta un relieve muy bajo a medio, conformado por turbiditas con grandes cambios de “facies” sedimentarias o variaciones laterales desde el punto de vista litológico, afectadas tectónicamente por sistemas de fallas con orientación N15°W, N30°W, N45°W, y N45°E y no se encuentran secuencias continuas y representativas.

Los esfuerzos compresivos con orientación E-W produjeron pliegues sinclinales con mejor expresión que las fallas y han deformado el relieve y producido por un alto grado de fracturamiento en las intercalaciones más detríticas, que intervienen directa o indirectamente, de acuerdo con la inclinación de las secuencias litológicas, en el efecto de infiltración y escorrentía superficial por las aguas lluvias.

Como producto de los factores anteriores, la alteración de las rocas ha sido muy alta, permitiendo desarrollar una cobertura vegetativa densa, la cual ha disminuido debido a efectos antrópicos, como deforestación y sobrepastoreo, lo cual ha dado lugar a inestabilidad en muchas laderas en donde predominan movimientos en masa, como se apreció durante las labores de campo. Como resultado, muchos afloramientos adolecen de perfiles representativos para definir patrones de fracturas a escala mesoscópica.



El área de trabajo no muestra vías de comunicación que presenten cortes de roca, con buenos afloramientos, sino que siguen generalmente las depresiones cercanas a quebradas y ríos; adicionalmente las vías transversales de acceso hacia las partes altas son de difícil o imposible tránsito y las crecientes en invierno impiden su paso para obtener información técnica.

La dinámica interna ejercida sobre el área costera está relacionada con la Falla de Uramita que parece ser activa y la distribución de los depósitos cuaternarios hacia el norte y sur de Turbo, es bastante dicente y guarda estrecha relación con los agentes erosivos.

La confiabilidad y calidad de la información obtenida con la interpretación fotogeológica detallada de las imágenes de radar INTERA (1992), a escala 1:50.000 fue básica para la obtención de información litológica y estructural del área potenciada con el Modelo de Elevación de 5m. Las fotografías aéreas como insumo aportaron información complementaria sobre algunos sectores.

La información obtenida con objetivo representativo permite darle validez al mapa geológico detallado a escala 1:25.000, el cual se integró con el geomorfológico para ser aplicado a un SIG, con fines de ordenación de la Cuenca Río Turbo-Currulao.

3.2.3.1 Metodología utilizada en el proceso

La metodología utilizada en el proceso de generación de la cartografía geológica escala 1:25.000 para el área de la Cuenca Río Turbo-Currulao, se detalla a continuación:

3.2.3.1.1 Plantillas topográficas básicas

Antes de iniciar la interpretación fotogeológica, se utilizó como plantilla básica de trabajo un acetato transparente, sobre el cual se dibujó con un marcador indeleble negro, la identificación de cada una de las HOJAS SIGAC, el sistema de coordenadas y los centros poblados y vías, a escala 1:25.000; se procedió igualmente a dibujar sobre dichos acetatos, la red de drenaje en color azul, con su correspondiente toponimia, para facilitar la obtención de transferencia de información fotogeológica procedente de cada uno de los insumos fotointerpretados, para obtener planchas representativas, con toda la información análoga y viables para poder ser capturadas digitalmente (Figura 61).

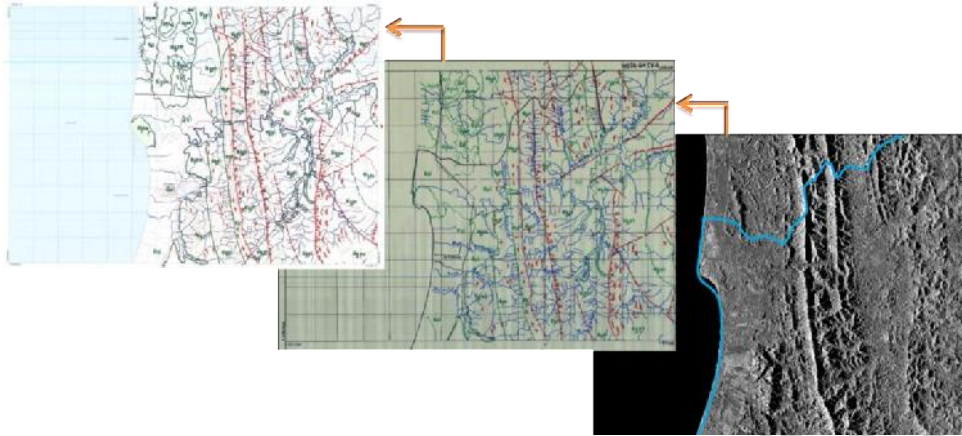


Figura 61. Procesos básicos de interpretación, partiendo en las imágenes, extrayendo la información en acetato y plasmándola en las planchas cartográficas oficiales.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3.1.2 Interpretación de imágenes de radar

Posteriormente, con esta información de base plasmada sobre las plantillas transparentes, se procedió a realizar la interpretación monoscópica utilizando las imágenes de radar a escala 1:25.000. Para realizar esta actividad se tuvo en cuenta que sobre toda el área predominan y afloran sólo rocas sedimentarias, con diferente grado de composición y estratificación, afectadas por un grado de tectonismo alto. Se analizó el contraste del relieve y se diferenció cada uno de los contactos entre unidades, de acuerdo con la representatividad entre las diferentes clases de rocas, utilizando claves fotogeológicas como composición, textura, estructura, pendiente, contrapendiente, tipo y clase de drenaje, así como las diferentes secuencias más estratificadas y las más homogéneas, etc, y los depósitos cuaternarios aluviales y terrazas, utilizando un marcador indeleble de color verde. Se definió la presencia de estructuras anticlinales y sinclinales, las diferentes clases de fallas y fracturas, utilizando las convenciones más adecuadas para representar la inclinación de los estratos, por sus actitudes fotogeológicas correspondientes a las rocas sedimentarias, utilizando un marcador indeleble de color rojo.

3.2.3.1.3 Interpretación de fotografías aéreas

Antes de iniciar la labor de interpretación estereoscópica de fotografías aéreas, es necesario, como preparación previa de cada vuelo, sobreponer acetatos transparentes sobre las fotografías alternas, fijarlos con cinta adhesiva y con marcador negro, indeleble, identificar el N° de la fotografía, el N° del vuelo, su posición en relación con el norte y trazar su correspondiente centro fotográfico, utilizando como referencia las marcas fiduciales.

Para realizar la interpretación tridimensional de fotografías aéreas, se empleó un estereoscopio de espejos marca TOPCON, con binoculares de ocho aumentos (8X), con el cual se efectuó la observación de cada uno de los estereopares, definiendo la línea de vuelo estereoscópica mediante la transferencia de los correspondientes centros fotográficos y la distancia de observación instrumental.



Como siguiente paso dentro del proceso interpretativo, se dibujó la red de drenaje en forma detallada, puesto que el tipo de drenaje y su densidad son indicativos como clave fotogeológica relacionada con la clase de roca, inclinación del relieve en relación con la pendiente/contrapendiente, sus zonas de contacto, etc. Posteriormente a este paso se identifica su posición sobre la plancha a escala 1:25.000, para identificar la toponimia correspondiente a la red de drenaje y observar su relación con el relieve asociado. Luego, se ubica nuevamente bajo visión binocular y comienza el proceso de separación de unidades entre rocas estratificadas, competentes e incompetentes y depósitos, utilizando un marcador indeleble de color verde. Para efectos de información temática, se utilizaron claves fotogeológicas clásicas, correspondientes a relieve, rugosidad, tono, textura, estructura vegetación, etc., las cuales permitieron diferenciar dentro de la clasificación de rocas sedimentarias, las clásticas predominantes, como arenitas con intercalaciones de conglomerados, arenitas interestratificadas con limolitas y limolitas con arcillolitas, previendo realizar una diferenciación relacionada con los parámetros de estratificación, dureza de la secuencia sedimentaria y su relación espacial.

Para la interpretación estructural se tuvo en cuenta la expresión de continuidad o discontinuidad de las secuencias litológicas diferenciadas, así como la exposición y espesor relativo de unidades; y su interrupción en la actitud o inclinación de los estratos o cambio en el rumbo por desplazamientos horizontales o verticales. Se definieron estructuras sinclinales y anticlinales y se diferenciaron conjuntos teniendo en cuenta la estratigrafía de referencia de (GEOTEC, 1997; INGEOMINAS, 1999; GEOTEC, 2003), representando también las actitudes con marcador indeleble de color rojo.

3.2.3.1.4 Interpretación del DEM de 5m

Se realizó la interpretación monoscópica del DEM de 5 m directamente sobre la pantalla del computador utilizando como insumos básicos de referencia, las tres planchas SIGAC (80-I-A, 80-III-A y 80-III-C) a escala 1:25.000, a las cuales se les iluminó el drenaje. Posteriormente se magnificó la escala del DEM hasta obtener una escala de observación monoscópica, muy similar a la de los mapas. A continuación, se utilizaron las claves fotogeológicas de tono, textura, tipo y densidad de drenaje, criterio de pendiente y contrapendiente, tipo y densidad de drenaje vs erosión, etc.

Se diferenciaron las unidades litológicas de la Formación Pavo, teniendo en cuenta el criterio de inclinación de secuencias litológicas y resistencia de las mismas, en relación con el drenaje y así se definió la presencia del Sinclinal de Ahuyamita, al norte de esta cuenca la presencia de la Falla de Turbo con rumbo E-W, igualmente la falla de Currulao con la misma dirección a lo largo de la depresión del río del mismo nombre, en donde se desarrollaron depósitos aluviales y de terrazas. La secuencia predominante corresponde a la Formación Pavo Superior, más limolítica y arcillolítica, fina a medianamente estratificada e invertida, principalmente en el sector occidental del área.

3.2.3.1.5 Traspaso de información a formato digital

Disponiendo finalmente de toda la información en formato análogo, sobre planchas cartográficas oficiales y en papel acetato, se procedió a escanear el material y georreferenciar cada una de las imágenes para su posterior digitalización en el software ArcGis 10.2, el cual permite consignar esta información en formato shapefile en puntos,



líneas y polígonos (Figura 62), posteriormente la información sería transferida al formato GDB, para su organización y entrega.

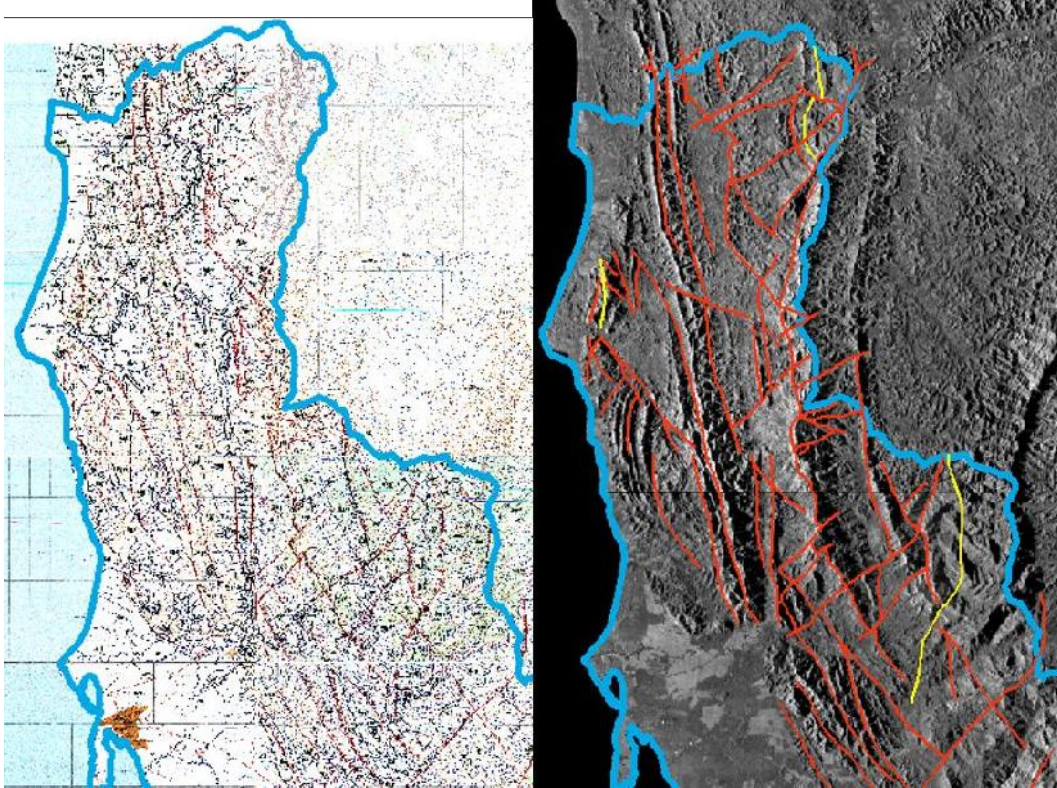


Figura 62. Proceso de digitalización de la información, en este caso ejemplo con lineamientos de la cuenca asociados a pliegues y fallamientos.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3.1.6 Salidas cartográficas intermedias

Durante el proceso de desarrollo de la cartografía desde la producción del primer mapa fotogeológico hasta el mapa de geología básica con fines de ordenación de cuencas hidrográficas a escala 1:25.000. Se desarrollaron dos salidas graficas intermedias para llevar a cabo una mejor interpretación por parte de los expertos temáticos, estas son:

3.2.3.1.6.1 Fotogeología para unidades geológicas de superficie

Esta salida cartográfica basada en la fotogeología de la zona presenta un primer acercamiento a los materiales superficiales de la cuenca teniendo en cuenta cambios en la morfología, patrones de drenaje y texturas del terreno, adicionalmente con información secundaria consultada se puede llegar a definir una primera división de la zona en rocas (Ramar, Rpi y Rps) y suelos transportados costeros, fluviales y volcánicos (Stc, Stf y Stv respectivamente).



3.2.3.1.6.2 Mapa geológico geomorfológico

Esta salida cartográfica presenta un cruce de las unidades geológicas de superficie, planteadas después de una primera campaña de campo, con los ambientes geomorfológicos de la cuenca, lo cual da al experto una idea del tipo de procesos que se llevan a cabo en superficie sobre las UGS preliminares, ayudando a definir los puntos de exploración geotécnica que se realizara posteriormente. Como se puede observar en la cuenca se identificaron en campo dos tipos de roca según su consistencia, blandas y muy blandas y se diferenciaron los tipos de suelos identificados previamente, así los suelos transportados costeros presentan barras, playas, espigas, terrazas, etc., los fluviales presentan terrazas, abanicos, cauces, llanuras de inundación, etc., al cruzar esto con los ambientes geomorfológicos se observa que zonas presentan predominancia de procesos denudacionales o si aún muestran sus cualidades estructurales, también se evidencia que zonas podrían estar afectadas por la dinámica fluvial y cuales por la dinámica marina de la cuenca.

3.2.3.2 Marco estructural y estratigráfico del Golfo de Urabá

El área de interés ubicada en la zona de influencia entre el Bloque Chocó- Panamá y el Terreno Sinú, separados por la Falla de Uramita, indica claramente la subducción del Terreno Chocó, cubierto por las secuencias sedimentarias depositadas en el Golfo de Urabá, bajo el Terreno Sinú ubicado hacia el este del Pozo Necoclí 1 (Figura 63). El primero evidencia una acreción prolongada desde el Cretácico tardío, la cual culmina con la consolidación de la cuenca ante-arco del Río Atrato, desde el Eoceno tardío, época a partir de la cual se manifiesta un evento erosivo de primer orden (conglomerados polimícticos de la Formación Salaquí), que da inicio a una sedimentación clástica con proveniencia continental a partir del Oligoceno. El amalgamamiento del Terreno Sinú al margen continental se concluye a partir del Eoceno medio, con el inicio de una sedimentación en condiciones epicontinentales (sedimentos calcáreos y oliostromas de la Formación Manantial); esta secuencia inicia con una sedimentación en aguas someras y termina en el Mioceno superior, con sedimentos costeros a fluviales (Unidad parte de Arenas Monas), las cuales constituyen las secuencias clásticas de la Serranía de Abibe y de las cuencas de los ríos Mulatos y San Juan.

La Falla de Uramita separa los sedimentos del Terreno Sinú de una cuña sedimentaria que subyace a la zona bananera y la parte oriental del Golfo de Urabá, tal como se encontró en el pozo Uraba-1629, localizado aproximadamente 10 km, costa afuera de Necoclí. Estas relaciones espaciales soportan la hipótesis de que la Falla de Uramita representa en la región de Urabá una sutura entre los terrenos Chocó-Panamá y Sinú; como efecto causal de este prisma sedimentario, se propone una flexión en la placa oceánica del bloque Chocó. En la zona limítrofe entre la planicie bananera y la Serranía de Abibe las anomalías de campos potenciales (Hernández O. , 2009) presentan un gradiente pronunciado hacia valores negativos, con un mínimo ubicado por debajo de la Serranía de Abibe y de las cuencas hidrográficas localizadas más al este (Figura 63); la yuxtaposición de estas anomalías positivas y negativas, respalda la constelación de una zona de subducción, estable desde el inicio de la sedimentación continental del Eoceno-Oligoceno.



3.2.3.2.1 Estratigrafía regional

En el área de interés, el límite entre el Bloque Chocó y el Terreno Sinú está cubierto por una secuencia de rocas sedimentarias del paleógeno y neógeno que supera los 3.000 m de espesor en Apartadó y Necoclí, a continuación, se hace una descripción general de las formaciones presentes en el área oriental de golfo de Urabá.

3.2.3.2.1.1 Pgma- Formación Maralú

Se suele presentar en formas dómicas en distintos puntos, pero no se pudo definir una sección tipo que mostrara su estructura continua con claridad, sin embargo, según (Colexcon, 1985), esta sección podría estar en la quebrada la resbalosa.

Fue llamado informalmente (INGEOMINAS - GEOTEC, 1997) la unidad 4 y a pesar de su poca exposición se divide en dos subunidades 4a y 4b, la primera compuesta por margas de color blanco o grises sin estructuras sedimentarias aparentes, alto contenido de foraminíferos, localmente intercaladas con capas finas de arenita lítica, y la segunda conformada por arcillolitas de color gris claro a verdoso, en algunos puntos pueden ser limosas y se encuentran intercaladas con capas finas de micritas asociadas a la subunidad inferior. Tiene espesores de centenas de metros según lo observado en la quebrada la resbalosa. Por datación relativa de foraminíferos esta unidad se depositó principalmente en el oligoceno en ambientes de plataforma marina somera posiblemente subsidente con aporte de material químico y volcánico desde oeste y este respectivamente.

3.2.3.2.1.2 Ngp- Formación Pavo

Esta unidad es una de las más extensas tanto en el cinturón de Sinú como en la cuenca Turbo-Currulao, también llamada informalmente por (INGEOMINAS - GEOTEC, 1997) como unidad 5 se ha dividido en subunidades 5a y 5b o pavo inferior y superior, estando subdivididas a su vez en más paquetes sedimentarios por su alta complejidad sedimentaria en cuanto a facies de depósito, esta formación tiene una edad de Mioceno y probablemente plioceno temprano, espesores muy variables por las constantes repeticiones de secuencias en el complejo sistema de fallas de la zona y ambientes de depósitos variado pero en general presentando una secuencia somera marina con pequeños ciclos de continentalización. Debido a su presencia en la cuenca se hablará más de esta formación en la sección e litoestratigrafía de la cuenca.

3.2.3.2.1.3 Ngpas- Unidad Loma verde

La unidad Loma verde definida por (INGEOMINAS - GEOTEC, 1997) es la subunidad superior de la formación Paujil y también la única que aflora en la cercanía de la cuenca Turbo-Currulao, compuesta principalmente por lodolitas con intercalaciones delgadas de limolitas calcáreas, en capas entre delgadas y medianas que son normalmente tabulares con contactos netos planos a ligeramente ondulados y pueden presentar fragmentos de plantas; Aunque las proporciones son 70% lodolitas, 20% limolitas y 10% arenitas en algunos puntos se pueden encontrar un aumento hasta de 30-40% de arenitas masivas en capas medias a gruesas.



La subunidad presenta una edad mioceno superior por foraminíferos, y un ambiente de depósito de aguas someras a neríticas muy subsidente, debido a los afloramientos tan esporádicos de esta unidad no se pudo definir una sección tipo clara, sin embargo, obtuvo información importante en la quebrada Brillante Norte y el carretable Pueblo Buho- Buenos Aires.

3.2.3.2.1.4 Ngmp – Unidad Morrocoy- El Pantano

También llamada informalmente unidad 9 fue subdividida en 4 unidades, 9 a, b, c y d, presenta diferentes espesores, pero en general cada subunidad tiene un espesor en promedio de 300-400m sin embargo en muchos puntos contactos inconformes hacen que las subunidades desaparezcan completamente, estos mismos contactos hacen complicado la descripción de los contactos inferior y superior de la formación. La edad de la unidad, principalmente por identificación de moluscos y correlaciones estratigráficas, se ubica en el mioceno tardío y plioceno temprano.

La unidad está compuesta por variadas litologías sedimentarias en sus distintas subunidades, generalmente está compuesta por intercalaciones de conglomerados, arenitas y lodolitas, con alto contenido de bioclastos principalmente de moluscos, bivalvos y restos de peces, en la parte media se describe la presencia de skolithos. Los conglomerados se pueden presentar en capas gruesas y muy gruesas, en general están compuestos por clastos de limolita y bioclastos con una matriz que varía de base a techo de manera granodecreciente, las arenitas son de grano fino a medio en general y presentan numerosas estructuras sedimentarias como calcos de carga, relleno y corte, el contenido de lodolita en general es bajo (INGEOMINAS - GEOTEC, 1997).

3.2.3.2.1.5 Ngam – Formación Arenas Monas

Debido a la discontinuidad de afloramientos no se ha logrado definir una sección tipo para esta unidad. Se dispone de una manera muy amplia en los sinclinales de Santa Catalina y El Carmen (Cinturón de San Jacinto). Se estima que tiene un espesor de 900 m, aunque se ha llegado a registrar hasta 1300 m en la quebrada La Arenosa (INGEOMINAS - GEOTEC, 1997). Tanto su contacto superior como inferior no han sido identificados formalmente, pues parece ser irregular debido al fallamiento. La edad estimada para la unidad es Mioceno tardío a Plioceno temprano.

La secuencia se compone de alternancias rítmicas y de carácter grano decreciente que incluyen a la base conglomerados arenosos de guijos que varían a arenitas conglomeráticas, arenitas y lodolitas al techo. Los conglomerados arenosos ocurren en un 5% de la secuencia total, presentando guijos hasta de 6 cm embebidos en una matriz de arenita de grano mediano a muy grueso, friables a localmente cementados por carbonato 5-10. Compuesta esencialmente por cuarzo, fragmentos líticos y chert negro. Las arenitas conglomeráticas se presentan en un 80% de la secuencia, son de grano fino a grueso y guijos pequeños (hasta de 1 cm); con un 5.10% de matriz arcillosa, friables o cementadas por carbonato u óxidos de hierro 8-12%; Las lodolitas ocurren en un 15% son de color gris verdoso; localmente teñidas de púrpura o rojo, blandas, macizas, en sectores propiamente limolitas, generalmente calcáreas y micáceas, en capas delgadas, de color gris verdoso claro. Se describirá más adelante lo observado en campo para esta formación en la cuenca.



3.2.3.2.1.6 Ngmpco- Formación Corpa

Esta unidad aflora muy poco en el área, Consta principalmente de conglomerados intercalados con areniscas conglomeráticas de grano grueso y esporádicamente capas de limolitas y arcillolitas, de color gris azul. El espesor varía de 2000 a 4000 metros. Esta unidad, se divide en 3 conjuntos, distinguibles por su litología (INGEOMINAS - GEOTEC, 1997).

Un primer conjunto que está conformado por areniscas de color amarillo grisáceo, de tamaño de grano fino a medio, compuestas por cuarzo, feldespato y fragmentos de roca volcánica y sedimentaria, en una matriz arcillosa, con empaquetamiento tangente a puntual. Se presentan en capas de 10 a 20 centímetros de espesor continuas paralelas, estratificadas con capas de lodolitas de color gris azulado claro, friables que se presentan en capas de 5 a 10 centímetros. El espesor de este conjunto en el sector de Carepa - El Roble alcanza los 165 metros.

El conjunto medio está conformado por capas de arenisca y conglomerado. Las areniscas son de color amarillo grisáceo, de grano fino a medio, conformadas por cuarzo, feldespato (plagioclasa) y fragmentos de roca volcánica y sedimentaria, subangulares, de baja esfericidad y moderada selección, con empaquetamiento tangente a puntual, en una matriz arcillosa.

Por último, el conjunto superior está compuesto por lodolitas de color gris azulado, con capas discontinuas no paralelas, de espesor 1 a 2 metros de espesor, intercaladas con capas discontinuas de conglomerados, con guijo de cuarzo, chert y roca volcánica en una matriz arenosa, de grano medio a grueso. Los guijos son subangulares a subredondeados con empaquetamiento puntual a flotante. El espesor de este conjunto en el sector de El Tres - El Alto es 115 metros.

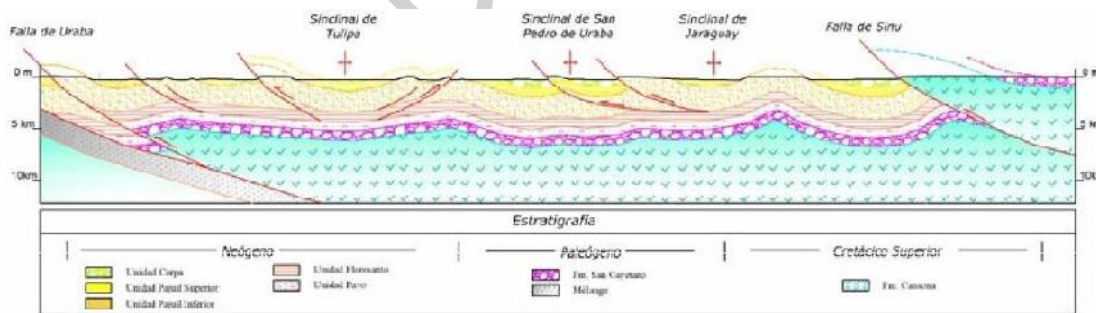


Figura 63. Subducción de la Cuenca de Urabá al occidente del Cinturón del Sinú, bajo el Cinturón de San Jacinto, por medio de la Falla de Uramita, en el Golfo de Urabá.

Fuente: (Garzón Varón, MODELAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA ZONA LÍMITE ENTRE LA MICROPLACA DE PANAMÁ Y EL BLOQUE NORANDINO A PARTIR DE LA INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES DE RADAR, CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA, ANOMALÍAS DE CAMPOS POTENCIALES Y LÍNEAS SÍSMICAS, 2012).

3.2.4 Litoestratigrafía

La litoestratigrafía del área definida en el marco del proyecto POMCA Río Turbo Currulao ha sido estudiada previamente por distintas instituciones tanto oficiales como de



investigación, este es el caso de (GEOTEC, 1997; GEOTEC, 2003), en el cual se presenta la información geológica a escala 1:100.000 más completa y vigente actualmente para toda la zona de los cinturones Sinú y San Jacinto; adicionalmente se han llevado a cabo estudios con fines de exploración petrolera por distintas empresas como Chevron, Ecopetrol y otras, estos estudios han aportado información valiosa proveniente de métodos como la sísmica y la gravimetría, lo cual ha ayudado a modelar mejor la distribución de las unidades sedimentarias a profundidad.

Con esta información y con riguroso trabajo de fotointerpretación y verificación de campo, se ha determinado que en el área afloran secuencias sedimentarias de edad neógeno, que están dispuestas en trenes estructurales N-S preferencialmente y buzamientos principalmente hacia el E, estas secuencias presentan un ambiente de depósito transicional, lo que se evidencia en las intercalaciones de distintas granulometrías, adicionalmente el intenso fallamiento y el diapirismo de lodo han dificultado la correlación de las unidades en la totalidad de la cuenca, sin embargo, se han identificado en la zona las unidades Pavo y Arenas Monas, igualmente se observaron las 2 subunidades de la unidad Pavo (Pavo Inferior y Pavo Superior), teniendo Pavo inferior su respectiva subdivisión en 3 paquetes, estas subdivisiones fueron las propuestas por (INGEOMINAS - GEOTEC, 1997) al llamar informalmente a la unidad Pavo como unidad 5 con subunidades 5a y 5b y los paquetes 5a1, 5a2 y 5a3. Además, por medio de interpretación de imágenes de radar, fotografías aéreas y modelo de elevación, se ha planteado en este proyecto la subdivisión de la subunidad Pavo superior en 4 paquetes, debido principalmente a su expresión morfológica en el terreno. Adicionalmente la zona presenta un amplio desarrollo de depósitos aluviales en las zonas de valle y marinos en las áreas planas cercanas a la línea de costa.

Es importante anotar que las unidades propuestas son principalmente identificadas mediante la interpretación de imágenes de sensores remotos, los inconvenientes presentados en la zona en los trabajos de campo y la misma naturaleza de los contactos en esta secuencia estratigráfica han hecho imposible definir un mayor detalle en la cartografía de estas, sin embargo se considera que a pesar de ciertas variaciones laterales en las capas, estas son bastante uniformes y se ven truncadas únicamente por fallas posteriores a su depósito.

A continuación, se hará una descripción de las unidades cartografiadas de la más antigua a la más reciente.

3.2.4.1 Formación Pavo

Como se mencionó, la formación Pavo fue delimitada por (GEOTEC, 1997), llamándola informalmente Unidad 5; se dividió en dos subunidades la inferior y la superior, diferenciándolas principalmente por la predominancia de areniscas en la parte inferior o basal; por extensión dentro de la cuenca es la principal unidad rocosa y controla la morfología de ésta. Mediante zonación fósil, se determinó que es edad mioceno y presenta facies de aguas someras y ambiente costero con constante influencia marina y fluvial.



3.2.4.1.1 Unidad Pavo inferior (Ngpi)

Geomorfológicamente corresponde a las zonas más escarpadas del área debido a la alta competencia de sus materiales, como todas las unidades de la zona, presentan trenes estructurales que se extienden de norte a sur y sobresalen por lo anterior. Básicamente son arenitas en un 70% intercaladas con un 30% de lodolitas, sin embargo, esta proporción puede variar aumentando levemente la cantidad de lodolitas hacia la parte media de la subunidad (Figura 64). Debido a esto, se ha dividido en 3 paquetes los cuales se denominarán Pavo Inferior 1, 2 y 3 (Ngpi1, Ngpi2 y Ngpi3 respectivamente).

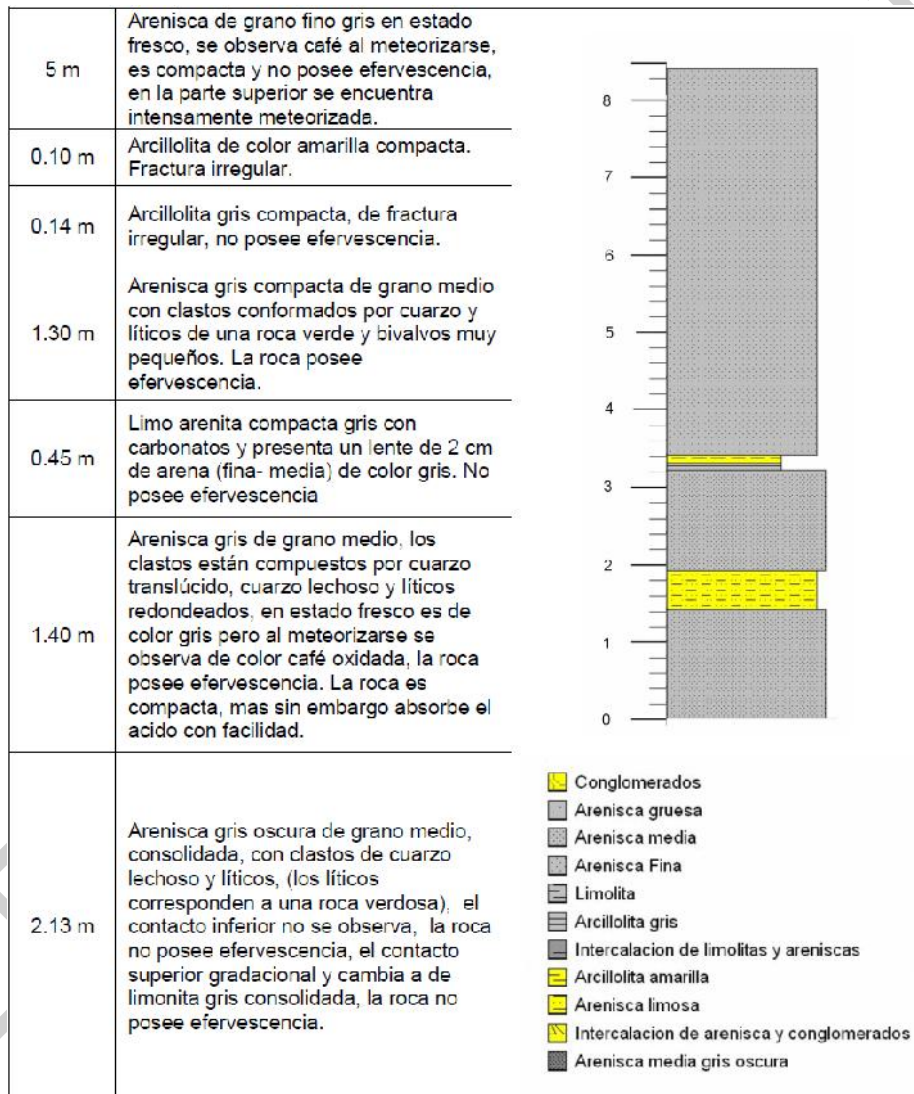


Figura 64. Columna estratigráfica de la cantera Piedrecitas mostrando una secuencia representativa de la subunidad Pavo inferior.

Fuente: (Gómez Rave, GEOLOGÍA, GEOFÍSICA, HIDROGEOQUÍMICA E ISÓTOPOS, COMO HERRAMIENTAS PARA DEFINIR UN MODELO CONCEPTUAL HIDROGEOLÓGICO, CASO DE APLICACIÓN: ACUÍFERO COSTERO DEL MUNICIPIO DE TURBO, 2009).



3.2.4.1.1.1 Paquete Pavo inferior 1 (Ngpi 1)

Unidad caracterizada por la presencia de arenitas intercaladas con lodolitas, las cuales suelen presentarse en menor proporción, las capas de arenitas presentan variados espesores desde 20 cm hasta 2 m, en general son planas y tabulares, con contactos inferiores erosivos (Figura 65 y Figura 66), las arenitas son de grano fino a medio y con un color pardo rojizo o amarillento, en su gran mayoría son cuarzoarenitas, contienen hasta un 5% de muscovita y ocasionalmente el contenido de líticas puede ser superior a 30%; así mismo, es común encontrar restos de materia orgánica como tallos, hojas y raíces oxidadas, suelen presentar una dureza moderadamente alta debido a buena cementación, lo cual, en muchos puntos, implica una porosidad y permeabilidad bajas. Las lodolitas suelen encontrarse intercaladas con las capas anteriormente descritas, aunque eventualmente se pueden encontrar en paquetes de capas gruesos, son de color gris oscuro y verdoso y presentan ocasionalmente nódulos alargados centimétricos de limolita calcárea.

Estas composiciones se pueden observar en la quebrada La Arena, donde capas gruesas de arenitas intercaladas con lodolitas generan morfología de saltos y pozos en la quebrada o también se puede ver en la carretera alterna Apartadó-Necoclí y en la cantera piedrecitas la cual presenta una secuencia más rítmica con poca diferencia de tamaño entre las capas de arena y lodolita; estas secuencias rítmicas permiten observar capas acuñadas posiblemente correspondientes a paleocanales que presentan estructuras como calcos de carga y laminación cruzada.



Figura 65. Capas medias a gruesas de arenita de Pavo Inferior 1 en el río Cirilo.
Coordenadas 1400191.03N, 706066.19E.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 66. Presencia de tallos y raíces oxidadas en la base de las capas.
Coordenadas 1389182.083N, 713851.83E
Fuente: Elaboración propia.

3.2.4.1.1.2 Paquete Pavo inferior 2 (Ngpi 2)

La subunidad Pavo Inferior 2 se caracteriza por una expresión morfológica de montañas moderadamente elevadas y de textura suave, con laderas disectadas por cárcavas y deslizamientos de tierra; presenta drenajes paralelos y litológicamente, está compuesta principalmente por lodolitas predominando sobre arenitas en una proporción 65% - 35% respectivamente.



Las lodolitas se presentan en potentes bancos de hasta 15 metros de espesor, son de color gris oscuro y en algunos puntos puede presentar un aumento en el contenido de arena llegándose a denominar lodolitas arenosas; es común ver lentes o nódulos de siderita concordantes con la laminación, así mismo en ciertas zonas se ven costras de óxidos rellenando fracturas o en superficies de contacto.

Las intercalaciones de arenita suelen ser cuarzosas en capas delgadas de color marrón y de grano fino a medio, es común que presenten restos de materia orgánica como tallos y hojas, y ocasionalmente estas arenitas presentan formas lenticulares y suelen estar muy bien cementadas con cemento calcáreo, lo que les da una alta dureza. Los materiales que componen este paquete tienden a generar suelos residuales muy espesos (Figura 67 y Figura 68).



Figura 67. Capas de lodolita con alta meteorización. Coordenadas 1394790.33N, 718441.037E
Fuente: Elaboración propia.



Figura 68. Nódulos de siderita en las capas de lodolita. Coordenadas 1391159.92N, 723627.11E
Fuente: Elaboración propia.

3.2.4.1.1.3 Paquete Pavo inferior 3 (Ngpi 3)

Esta subunidad presenta morfológicamente trenes estructurales bien definidos con planos estructurales suaves, con drenajes paralelos a subparalelos y contrapendientes escarpadas, se puede observar una secuencia casi completa en los flancos del sinclinal de Tulipa.

Está compuesta por intercalaciones de arenitas y lodolitas con predominancia de las primeras, las cuales presentan características similares a las infrayacentes aunque aumenta levemente el tamaño de grano y en algunos puntos la presencia de líticos, siendo éstas arenitas líticas o sublíticas; se presentan de color pardo rojizo o amarillento, en capas gruesas con contactos planos u ondulados, netos o transicionales con las lodolitas, ocasionalmente se encuentran algunos horizontes con bioclastos de bivalvos y gasterópodos y tienen alta dureza por cemento calcáreo, muchas veces estas arenitas presentan estructuras como laminación cruzada, contactos inferiores erosivos y calcos de carga.

Por otra parte, las lodolitas tienen color gris oscuro, pueden llegar a ser arenosas y aunque están en menor proporción aún se pueden presentar paquetes de hasta 6 metros



de espesor intercalados con las capas de arenita, en algunos puntos se puede observar presencia de madrigueras fósiles (Figura 69 y Figura 70) evidencia de organismos excavadores en ambientes someros o transicionales.



Figura 69. Capas gruesas de arenitas en la cuenca alta del río Turbo. Coordenadas 1395267.71N, 720742.02E
Fuente: Elaboración propia.



Figura 70. Bioclastos en las capas de arenita y presencia de madrigueras fósiles en las intercalaciones de lodolita. Coordenadas 1395267.71N, 720742.02E
Fuente: Elaboración propia.

3.2.4.1.2 Subunidad Pavo superior

Geomorfológicamente la subunidad se ve representada en las zonas menos escarpadas de la cuenca, como los valles y las zonas de lomeríos bajos, que se pueden observar en los ríos Caimán Viejo y Caimán Nuevo, en la zona norte de la cuenca y en el eje del sinclinal de Tulipa, sin embargo, debido a variaciones localizadas en su composición puede presentar montañas de mayor elevación como se observa en el valle alto del río Currulao.

En general esta unidad aflora enmarcada por grandes pliegues como el sinclinal de Tulipa, El Barro y Ahuyamita y por fallas inversas como la Falla de Yoky o la falla La Guagua, que la ponen en contacto con la subunidad infrayacente Pavo inferior. En general, presenta una predominancia de lodolitas y una tendencia a decrecer en



granulometría desde su base hasta el techo, por lo cual se observan algunas capas de arenita en sus niveles más basales. El difícil acceso a las zonas de afloramiento de la subunidad hace compleja su descripción.

3.2.4.1.2.1 Pavo Superior 1 (Ngps 1)

Corresponde a la parte inferior de la subunidad y también a sus horizontes más competentes debido a la predominancia de arenitas caracterizadas por presentar un tamaño de grano fino a muy fino, color pardo amarillento a rojizo, en capas medias planas y tabulares, con contactos netos, presentan cemento calcáreo, baja porosidad y permeabilidad media, intercaladas con capas de lodolitas color gris oscuro que suelen presentar distintos tonos por oxidación (Figura 71).



Figura 71. Capas medianas y planoparalelas de arenitas del paquete basal de la subunidad Pavo Superior. Coordenadas 1395267.51N, 720772.65E.
Fuente: Elaboración propia.

3.2.4.1.2.2 Pavo Superior 2 (Ngps 2)

Esta subunidad se caracteriza por su morfología de planicie y montañas poco escarpadas, conformando los grandes valles como la parte media del río Caimán Viejo, río Caimán Nuevo, quebrada Los Indios y parte de la cuenca alta del río Currulao.

Esta morfología se debe a la presencia de potentes bancos de lodolitas que se intercalan con arenitas en una proporción 60-40, las lodolitas pueden estar en paquetes de hasta 30 m de espesor, capas planoparalelas, son de color gris oscuro, algunas veces arenosas, que suelen presentar contactos erosivos con las arenitas y esporádicamente madrigueras tubiformes.

Las arenitas suelen presentarse en capas de variados tamaños, son sublíticas de grano fino a muy fino, de color pardo amarillento o grisáceo y generalmente presentan alta dureza por presencia de cemento calcáreo, incluso se pueden encontrar capas con microfósiles, también presentan ocasionalmente láminas de materia orgánica continuas (Figura 72).



Figura 72. Intercalación de lodolitas y arenitas, representativa del paquete pavo superior.
Coordenadas 1413391.17N, 709707.84E.
Fuente: Elaboración propia.

3.2.4.1.2.3 Pavo Superior 3 (Ngps 3)

Esta subunidad aflora con poca extensión en el área, expuesta en los ejes de los grandes pliegues y por medio de fallas inversas; consta de montañas poco elevadas con planos estructurales bien definidos y valles con lomeríos y montículos. Litológicamente presenta arenitas y lodolitas en proporciones iguales, las arenitas se observan en paquetes muy gruesos de capas planoparalelas y tabulares, de color pardo grisáceo, finas a medias, bien cementadas, presentan estructuras de flujo como ondulitas unidireccionales, laminación cruzada y también calcos de carga, intercaladas se encuentran capas gruesas (6-7 m) de lodolita oscura bien cementada (Figura 73 y Figura 74).



Figura 73. Paquetes de arenita plano paralelos con presencia de estructuras como ondulitas y laminación cruzada. Coordenadas 1486488.39N, 732992.20E.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 74. Capas de lodolita de Ngpi3 en las orillas del río Currulao, cerca de Nuevo Antioquia. Coordenadas 1391832.05N, 724305.74E.
Fuente: Elaboración propia.



3.2.4.1.2.4 Pavo Superior 4 (Ngps 4)

Este paquete se encuentra exclusivamente en el eje del sinclinal del Barro al norte de la cuenca, y aflora en las quebradas de la cuenca alta del río Caimán Viejo; presenta una morfología de cerros denudados con laderas suaves y contrapendientes inclinadas. Consiste en lodolitas arenosas en capas tabulares de 10 a 20 cm de espesor y color gris oscuro, intercaladas con capas de arenita de 10 cm bien cementadas de color gris claro y grano fino a muy fino. Ocasionalmente se encuentran capas de arena de grano medio a grueso en capas tabulares, con laminación planoparalela interna.



Figura 75. Capas casi verticales de lodolitas arenosas en la vereda Barro Arriba. Coordenadas 1392999.81N, 719532.55E. Fuente: Elaboración propia.



Figura 76. Capas de arenita de grano medio a grueso con laminación interna. Finca La Lucha. Coordenadas 1392538.55N, 709938.11E. Fuente: Elaboración propia.

3.2.4.2 Unidad Arenas Monas

Esta es la unidad litificada más joven del área, se distingue morfológicamente por presentar lomas y espinazos de poca altura, laderas de baja pendientes en general y con buen desarrollo de suelos residuales, se pueden observar buenos afloramientos en el río Caraballo, la cantera Acapulco y algunos montículos en la vereda Casablanca sobre la vía Turbo-Necoclí (Figura 77).



Figura 77. Estratificación cruzada, calcos de carga, contactos erosivos y deformación del sedimento blando son estructuras representativas de la formación Arenas Monas. Coordenadas 1382192.61N, 716737.30E. Fuente: Elaboración propia.



Se distingue principalmente de la unidad Pavo por la presencia de conglomerados y arenitas de tamaño grueso. Los conglomerados son oligomícticos y presentan principalmente guijos redondeados subesféricos en una matriz de arena media y gruesa, las capas de arenita son delgadas a medias, tabulares y planas y pueden ser lodosas aunque es común que sean conglomeráticas (Figura 78) su nivel de dureza es muy variable desde cementadas hasta friables y por ultimo las lodolitas son de color gris oscuro y se suelen presentar en capas tabulares y con contactos transicionales.

Se pueden observar en esta secuencia estructuras de depósitos de alta energía como laminación convoluta, calcos de carga y estratificación cruzada (Figura 77); según el afloramiento se puede observar la presencia de paleocanales y secuencias sedimentológicas que indican divagación de ríos de mediana a alta energía.



Figura 78. Contacto transicional entre conglomerados y arenita en el río Caraballo. Coordenadas 1382130.74N, 716798.19E.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.4.3 Depósitos Cuaternarios

3.2.4.3.1 Depósitos aluviales (Qal – Qca)

Los valles de los grandes ríos de la cuenca entre ellos los ríos Turbo, Currulao y Guadualito, presentan un gran desarrollo de depósitos aluviales, como lo son variados niveles de terraza y abanicos terraza. Las terrazas generalmente están compuestas por arena muy fina o limo de colores pardo amarillento o grisáceo y de dos metros por nivel (Figura 79), sobre estas se ha sembrado extensamente plátano y banano o se han desarrollado como potreros para ganadería.



Figura 79. Niveles de terraza arenosos de los ríos Guadualito y Currulao respectivamente.
Coordenadas 1487598.07N, 718997.35E.
Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, se ha presentado un desarrollo de depósitos aluviales de tipo torrencial en lo que se ha denominado abanicos terraza y algunas zonas de los valles de los ríos; estos depósitos tienen un espesor de 1-3 m y presentan una predominancia de clastos de arenitas principalmente de 10 a 30 cm de diámetro, entre esféricos y discoidales, sin imbricación evidente y una meteorización moderada (Figura 80), la matriz está compuesta principalmente por arena gruesa y presenta un color pardo rojizo, en general presentan estructura granodecreciente. Finalmente se ha nombrado como depósitos de cauce aluvial (Qca) a los depósitos actualmente en formación en el fondo de los lechos de los ríos principales de la cuenca, compuestos por arenas y gravas en su mayoría.



Figura 80. Depósitos aluviales antiguos en los valles de los ríos Caraballo y Currulao.
Coordenadas 1410039.22N, 705059.60E.
Fuente: Elaboración propia.

3.2.4.3.2 Depósitos coluviales (Qco – Qac)

Los depósitos coluviales o de gravedad (Qco) se encuentran en gran parte de las laderas de la cuenca, sobre todo en las laderas de los grandes valles como por ejemplo el valle del río Guadualito; estos depósitos se presentan matriz soportados, los clastos son de arenita, son angulares y prismáticos, la matriz es de color gris oscuro de arena media y



limo, debido a su proceso genético, se presentan con una estructura caótica, sin una selección aparente y clastos con poco transporte (Figura 81). Es común encontrar también coluviones asociados a procesos de remoción en masa de los suelos residuales en las partes altas de las laderas, los cuales se acumulan en sus partes bajas llegando a desarrollar espesores de hasta 5-6 metros.

Adicionalmente se han identificado depósitos aluvio-coluviales (Qac) asociados a la actividad combinada de la gravedad y de las aguas de escorrentía, estos depósitos se localizan generalmente en las partes altas de los valles estrechos de la cuenca, suelen generar superficies planas pero con texturas rugosas en fotografías y modelos de elevación, a pesar de que conservan características de los coluviones anteriormente descritos, presentan algunos clastos un poco más re trabajados o con mayor grado de madurez, también se asocian a depósitos torrenciales.



Figura 81. Depósitos coluviales en ladera norte del valle del río Guadualito, este depósito tiene un espesor mayor a 5 m. Coordenadas 1409475.50N, 706587.61E.
Fuente: Elaboración propia.

3.2.4.3.3 Depósitos marinos (Qm – Qmo)

Los depósitos marinos de la zona se presentan en toda la franja costera, aunque tienen mayor desarrollo desde la población de El Tié hasta el límite sur de la cuenca, esto debido a la afectación de la falla sinextral de El Dos. Son depósitos de arenas finas hasta medias y con presencia de bioclastos, sin embargo, la constante influencia fluvial y marina en el período reciente en la cuenca, ha generado una interdigitación de los depósitos haciendo difícil una definición precisa del contacto con los depósitos aluviales.

En algunas zonas la acumulación de cuerpos de agua salobres y las bajas energías del medio, han dado lugar al desarrollo de ecosistemas con organismos halófilos como manglares y variados tipos de crustáceos, moluscos y peces, esta interacción junto a depósitos de lodos y arenas muy finas han llevado a la definición de los depósitos marinos orgánicos (Qmo) presentes en la cuenca, que se han identificado principalmente por mosaicos fotográficos a lo largo de la línea costera de la cuenca.

En la zona de reserva indígena Tule, se han encontrado horizontes de unos 40 cm de espesor, muy superficiales con contenidos mayores al 90% de bioclastos calcáreos, con



una matriz casi inexistente de material fino y con abundante materia orgánica (Figura 82). Por la posición de estos depósitos a unos 2 km de la costa y 172 m de altura, se evidencia la presencia de paleoambientes marinos someros y la intensa actividad tectónica reciente que ha afectado la zona.



Figura 82. Detalle de horizontes con abundancia de bioclastos superficiales y bien conservados, pertenecientes a las terrazas marinas. Coordenadas 1409475.50N, 706587.61E.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.4.4 Vulcanismo de Lodo- Qd

En la cuenca se identificaron algunas estructuras dómicas principalmente mediante imágenes de radar, a estas estructuras se les dio un origen asociado al vulcanismo de lodo previamente reportado en la zona, aunque no se conoce a fondo los mecanismos de ascenso del lodo y tampoco su proveniencia, se considera que se debe a la intensa actividad tectónica reciente (Orogenia Andina) presente en la zona, así, mediante las fallas principalmente de cabalgamiento y el alto contenido de agua y gases, lodos provenientes de formaciones lodosas como Maralú, han encontrado un plano de debilidad óptimo para ascender hasta la superficie. En la zona no se encuentran domos demasiado extensos o voluminosos, aunque sí se podrían describir como campos con numerosos domos pequeños de 4-5 m de diámetro.

En la visita realizada en este trabajo de campo a los diapiros de las veredas San Felipe y Manuel Cuello, se observó que están activos, presentando constantemente expulsión de gases y lodo (Figura 83).



Figura 83. Diapiro de lodo en la vereda San Felipe, se observan derrames de material reciente.
Coordenadas 1390560.91N, 716195.22E.
Fuente: Elaboración propia.

3.2.5 Marco geológico regional

El ambiente geotectónico y evolución del noroeste de Suramérica, en donde se encuentra localizada el área de estudio, involucra la presencia de límites entre placas oceánicas y continentales, sistemas montañosos y cuencas marinas, con presencia de pliegues y fallas regionales, cuyos eventos acrecionales dieron origen a la Cordillera Occidental por el choque entre las placas Caribe y Suramericana, con desplazamiento relativo de 10-22 mm/año, en sentido este-noroeste (Hernández O. , 2009), durante el Cretáceo superior-Paleoceno (Figura 84). Desde el Cretácico tardío al Neógeno temprano, la Placa del Caribe comienza a moverse continuamente hacia el noreste a lo largo de una zona de fallas con orientación NE-SW y de esta manera se lleva a cabo el emplazamiento de la Cordillera Occidental y el basamento de la Cuenca del Caribe (Terrenos Sinú- San Jacinto), a lo largo de fallas transcurrentes, con una deformación de tipo transpresivo y desplazamiento dextral: esta aproximación se efectuó durante el Mesozoico-Cenozoico (Hernández O. , 2009) indicando que las rocas formadas en la margen occidental de Colombia, pudieron haber sido generadas en el occidente y acrecionadas a la cadena montañosa de los Andes (Hernández O. , 2009).

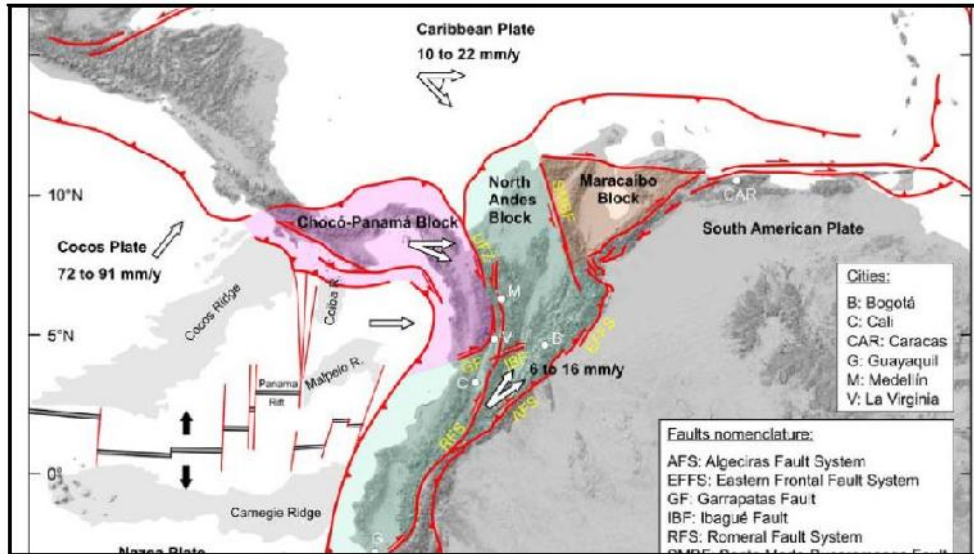


Figura 84. Configuración actual de las Placas Suramericana y Caribe con un desplazamiento relativo de 10-22 mm/año, en sentido este-oeste el límite entre los terrenos de Chocó-Panamá y Bloque Andino.

Fuente: (Hernández O. , 2009).

De acuerdo con (Duque-Caro H. , 1980) durante el Cretácico tardío-Paleoceno, existían dos provincias principales, el margen oriental emergido que correspondía a la actual Cordillera Central y la Sierra Nevada de Santa Marta, limitadas por la falla o sutura de Romeral y con ambiente netamente oceánico sobre las áreas sumergidas hacia el occidente, compuestas esencialmente por basaltos y serpentinitas, sobre un área en expansión oceánica en la cual se depositaron rocas pelágicas, con abundante microfauna, en ambientes marinos profundos y batiales.

3.2.5.1 Geotectónica del área de influencia

La Microplaca de Panamá, comprende el Istmo de Panamá y está delimitada al oriente por la Zona de Fractura de Panamá, que separa las placas de Cocos y Nazca, al norte del Cinturón Deformado de Panamá, el cual separa a su vez el Escudo de Panamá, de la Placa del Caribe; al sur, por la Falla de Transformación de Panamá, postulada por (Jordan, 1975) y (Hey, 1977) y al oriente por una zona de deformación difusa, localizada en la frontera entre Colombia y Panamá (Adamek, Frohlich, & Pennington, 1988), (Kellogg & Vega, 1995), la cual es considerada como una de las zonas con mayor sismicidad del noroccidente de Suramérica.

Los arcos que conforman el Bloque Panamá-Chocó se formaron durante el Mioceno como un rosario de islas, que permitían la comunicación del mar Caribe con el Océano Pacífico. Más tarde, hace 6 Ma., según (Duque-Caro H. , 1980) y desde hace 12 a 20 Ma. al presente, según (Trenkamp, Kellogg, Freymueller, & Mora, 2002), el Arco de Panamá-Chocó, colisionó con el norte de Suramérica y en el Plioceno Inferior se inició el desarrollo del actual Istmo de Panamá, que dibuja un notorio arco en su unión con el norte de Colombia (De Porta, 2003).



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

Las medidas geodésicas satelitales con GPS apoyan la existencia de la microplaca rígida de Panamá, la cual se mueve hacia el norte respecto de la placa Caribe y hacia el oriente, respecto de la microplaca Andes Norte (Kellogg & Vega, 1995; Mora, 1995) los estudios de geodesia satelital realizados en las ciudades de Panamá, Cartagena y Bogotá, sugieren que la microplaca de Panamá está colisionando actualmente con la microplaca Andes Norte a una tasa de 8 a 21 mm/año. Durante el período comprendido entre 1963 y 1981 ocurrieron en esta zona fronteriza más de 64 terremotos con magnitud mayor a 5,0, o mayor como el terremoto somero de enero 20 de 1994, con una intensidad de 7,9 en la escala de Richter (Kellogg & Vega, 1995). Los mecanismos focales de los dos terremotos en octubre de 1992, en el NW de Colombia ($M_s=6,6$ y $7,2$) son consistentes con una compresión NW-SE (Kellogg & Vega, 1995), así como lo sugieren también los estudios de sismicidad en la región offshore, límite entre Colombia y Panamá, por fallamiento complejo y difuso, a lo largo de fallas de cabalgamiento y de rumbo, con orientación NW-SE (Adamek, Frohlich, & Pennington, 1988). La Magnitud de los sismos registrados entre Feb-Sep. del 2009, se aprecia distribuida en la Figura 85.

Durante el Eoceno medio, se presenta un incremento en los esfuerzos compresionales dextrolaterales, los cuales producen el plutonismo tonalítico de Chalán y Mandé y se inicia el levantamiento del Cinturón de San Jacinto y de la Cordillera Occidental, en lo que (Duque-Caro H. , 1980) denomina Orogenia Pre-Andina; posteriormente, durante el Eoceno Tardío-Oligoceno, se inicia en el Cinturón de Sinú y San Jacinto, una sedimentación pelágica, con muy bajo aporte clástico, que origina margas, cherts y lodolitas silíceas. Durante el Mioceno Tardío- Plioceno aumenta la inestabilidad tectónica sobre el área, debido a esfuerzos compresivos laterales; éstos generaron la separación de la Sierra Nevada de Santa Marta de la Cordillera Central, a lo largo de la Falla de San Jorge y comienza hacia el occidente del Cinturón San Jacinto- Sinú, una sedimentación turbidítica, con gran aporte terrígeno-continental.

La Orogenia Andina (Plio-Pleistoceno) produce múltiples fenómenos en el Cinturón del Sinú, como el volcanismo de lodo en la franja sedimentaria, e inflexión con movimientos transcurrentes a lo largo de la Falla de Romeral y levantamiento y plegamiento en el Cinturón de San Jacinto.



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO - CURRULAO

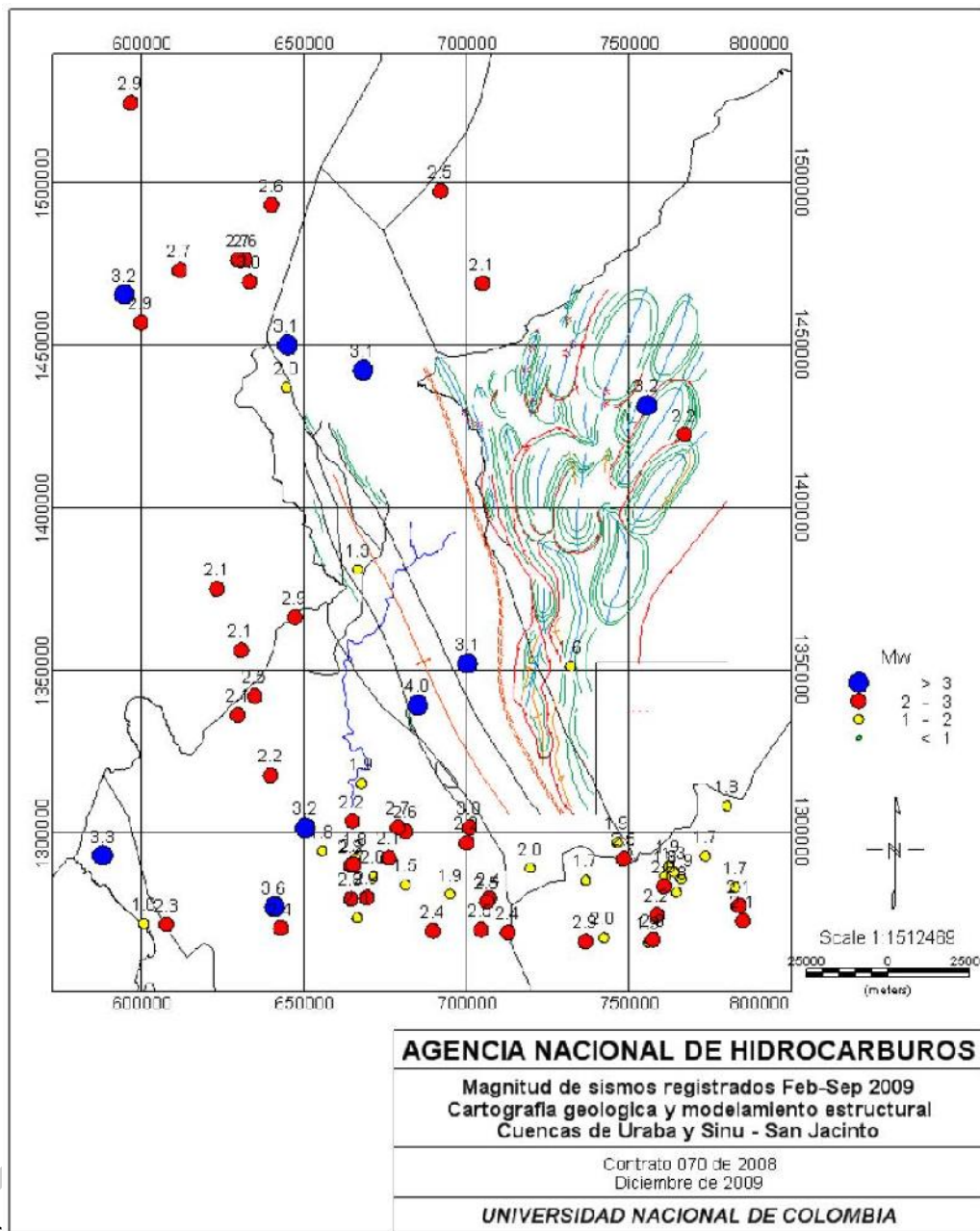


Figura 85. Distribución espacial de los eventos sísmicos registrados por la Red Sismológica de Urabá. Son escasos los sismos en las Cuencas de Sinú, San Jacinto.
Fuente: (Hernández O. , 2009).

El Estudio Tectónico y Estructural a partir del Monitoreo Sísmico y Anomalías de Campos Potenciales, realizado por la Universidad Nacional de Colombia, define un Modelo Digital del Terreno en el Sector de Urabá, a partir de datos de elevación con estaciones gravimétricas compiladas (Figura 86, 2009): éste semidetalla la relación espacial presente en las rocas sedimentarias que conforman las secuencias plegadas y falladas



del Cinturón del Sinú-San Jacinto al este y la Serranía del Darién al oeste, y su interrelación con la secuencia depositada en el Golfo de Urabá.

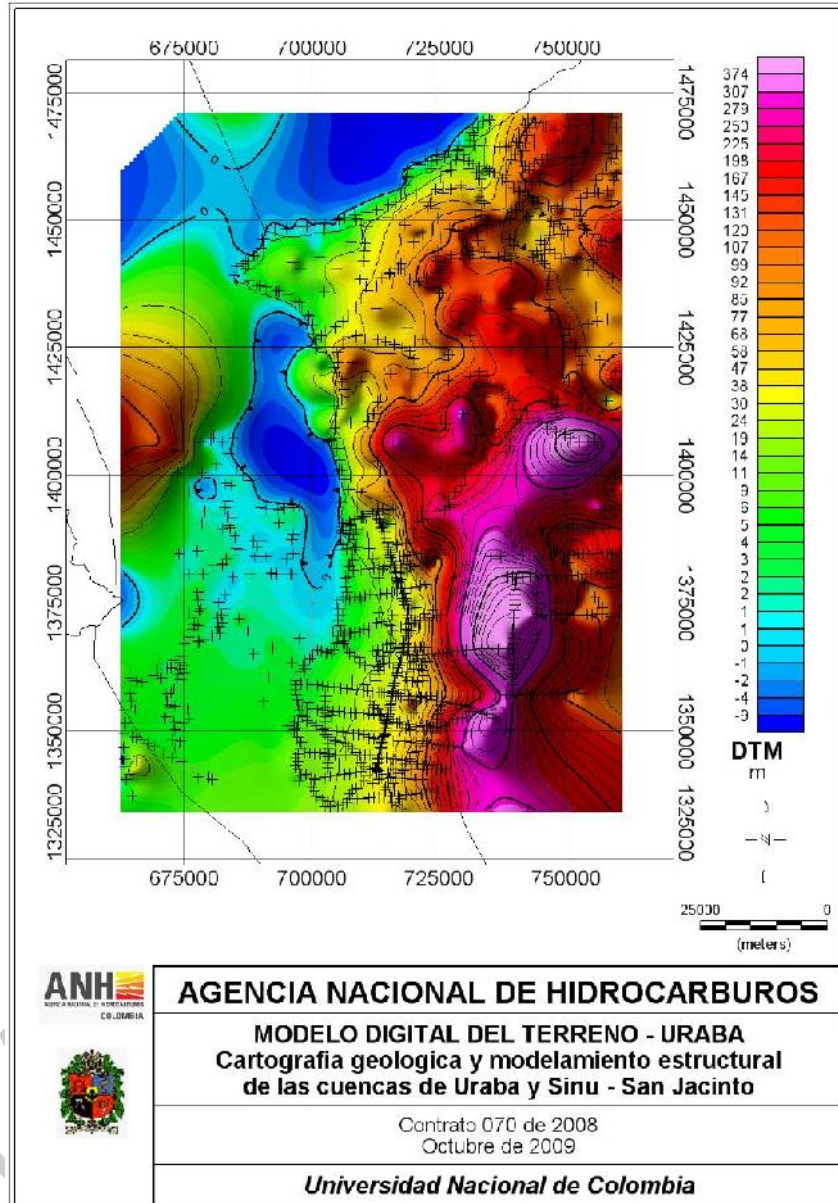


Figura 86. Modelo Digital del Terreno en el sector de Urabá a partir de datos de elevación de estaciones gravimétricas.

Fuente: (Hernández O. , 2009).

3.2.5.2 Tectónica regional

El Cinturón del Sinú consta de un área plegada y fallada del margen continental, ya previamente consolidado con respecto a la zona de subducción fallada de la Placa del Chocó, en donde se presenta un relieve bajo a medio, cuyo estilo estructural presenta



sinclinales limitados por fallas de cabalgamiento, con vergencia hacia el oeste, los cuales afectan a anticlinales estrechos e invertidos, a partir de la Falla de Uramita.

El Cinturón plegado y fallado del Sinú, corresponde a un prisma de acreción dominante entre la Falla de Urabá y la Falla de Sinú (Figura 63), en donde no existe un talud deposicional y la imbricación tectónica es poco intensa e independientemente del espesor real y de la edad de las unidades de la columna del Mioceno. Se puede afirmar, que las diferencias en superficie son mínimas y que el plegamiento no generó desniveles estructurales mayores, de acuerdo con las siguientes consideraciones.

1. El Cinturón del Sinú carece de un desnivel topográfico sobresaliente y de un nivel de exhumación avanzado hacia las partes internas. En él se reconocen dos provincias morfotectónicas: 1) La Serranía de Abibe en el borde suroccidental del Terreno Sinú, que se caracteriza por presentar elevaciones de hasta 1.000 m, y 2) El terreno ondulado de las cuencas de los ríos Mulatos, San Juan, Turbo, Currulao y Quebrada Tulipa, que no superan los 300 m de elevación. En su parte meridional, la Serranía de Abibe se compara con un monoclinal basculado hacia el E, con estructuras asimétricas, en donde los flancos occidentales son plegados y fallados con inclinaciones hasta subverticales y los flancos orientales, poco estructurados y moderadamente inclinados hacia el E (Figura 87). En esta configuración estructural, los estratos más antiguos y el basamento volcanoclástico del Cretáceo tardío se exponen hacia el piedemonte occidental. En el contexto de zonas de subducción activas o inactivas, las estructuras uniformemente basculadas hacia el continente definen "flexiones positivas", ya que la placa inferior soporta la placa superior y la flexiona hacia arriba.



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

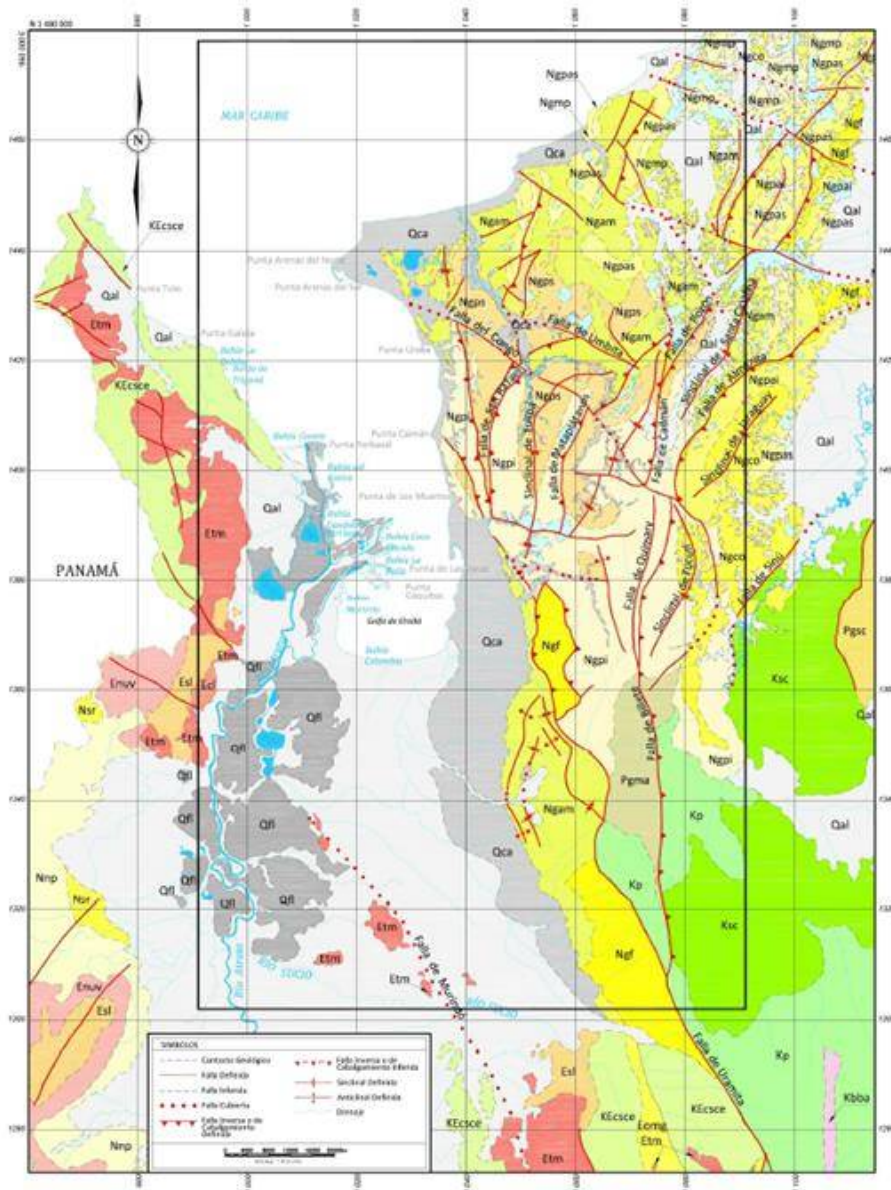


Figura 87. Mapa Geológico Estructural-Regional del área de Urabá, obtenido a partir de planchas 1:100.000 de INGEOMINAS (1999-2005).

Fuente: (Garzón Varón, MODELAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA ZONA LÍMITE ENTRE LA MICROPLACA DE PANAMÁ Y EL BLOQUE NORANDINO A PARTIR DE LA INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES DE RADAR, CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA, ANOMALÍAS DE CAMPOS POTENCIALES Y LÍNEAS SÍSMICAS, 2012).

Los flancos de los pliegues del Cinturón del Sinú están conformados por las secuencias clásticas del Mioceno y en los núcleos de los sinclinales, se presentan sedimentos fluviales de la unidad de Arenas Monas, para la cual se supone una edad del Plioceno, tal como se aprecia en el perfil de la Figura 87. Con este concepto, vale la pena recalcar la dificultad de fijar una secuencia completa para las unidades terciarias en el área, tal como lo propone el Atlas Geológico de Ingeominas (planchas 69, 70, 79 y 80), puesto



que los pozos petroleros, que perforaron el Anticlinal de Dos Bocas y Necoclí, permiten presumir que ciertas unidades del Mioceno podrían representar cambios laterales de facies entre ambientes de depósito de plataforma más internos o más externos. Es importante entonces anotar que al oeste del Cinturón del Sinú los sedimentos del Mio-Plioceno representados por la unidad de Arenas Monas, suprayace a sedimentos arcillosos, litorales que se cartografiaron como unidades, del Pavo inferior y superior. Al E del área de interés, sin embargo, los estratos fluviales del Mio/Plioceno se asignan a la unidad de Corpa, la cual concluye en las secuencias marinas-someras de las unidades de Pajuil.

2. El Cinturón del Sinú exhibe con sus pliegues de borde y sus sinclinales amplios en su parte interna, dos provincias estructurales con evolución estructural muy particular. Hacia el frente de deformación del Cinturón que limita con el borde de las llanuras de la zona bananera, se destacan colinas alargadas en forma de cuchillas, que se extienden desde el Cerro el Águila, al N de Necoclí, hasta Chigorodó por más de 50 km; éstos corresponderían geomorfológicamente, a una o dos escamas plegadas o anticlinales fallados, cuyos flancos occidentales están muy inclinados a invertidos y los orientales, moderadamente inclinados, que exhiben vergencia hacia el W y presentan ejes de una doble inmersión hacia el interior de los sinclinales en forma de cubeta. El tren de estas estructuras es de dirección SSW-NNE y presentan disposición perpendicular a un campo de esfuerzo debido al control estructural de la sutura que separa los terrenos de Chocó y Sinú, como efecto de las fracturas regionales. La Figura 87 presenta el Mapa Geológico-Estructural Regional del Golfo de Urabá, según (Garzón Varón, MODELAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA ZONA LÍMITE ENTRE LA MICROPLACA DE PANAMÁ Y EL BLOQUE NORANDINO A PARTIR DE LA INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES DE RADAR, CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA, ANOMALÍAS DE CAMPOS POTENCIALES Y LÍNEAS SÍSMICAS, 2012).

3. El Cinturón del Sinú presenta volcanes de lodo activos en su parte interna debido a la presencia de shales sobrepresionados, pero este vulcanismo está prácticamente ausente en el frente suroccidental de la Serranía de Abibe. Del Municipio de Necoclí, hacia el norte, el vulcanismo de lodo afecta igualmente a los pliegues frontales del borde occidental del Cinturón del Sinú, en menor proporción; este cambio concuerda con la disminución de la intensidad del plegamiento, hacia la Falla de Urabá, que se expresa por la ausencia de anticlinales fallados, típicos del sector entre Currulao y Mutatá. El Sinclinal de Necoclí expone dos conos volcánicos de un tamaño menor que su eje: la geoforma de mayor tamaño, se observa en la terminación sur del Sinclinal de Tulipa, la cual presenta un abombamiento elíptico con diámetros de 5,5 km por 7,0 km, que está drenada, en gran parte, por las cabeceras del Río Turbo, en donde presenta un drenaje radial en su exterior y adicionalmente su forma alargada, paralelamente al eje el Sinclinal de Tulipa, podría tomarse como evidencia para un abombamiento sin-tectónico, en analogía con calderas de rocas ígneas.

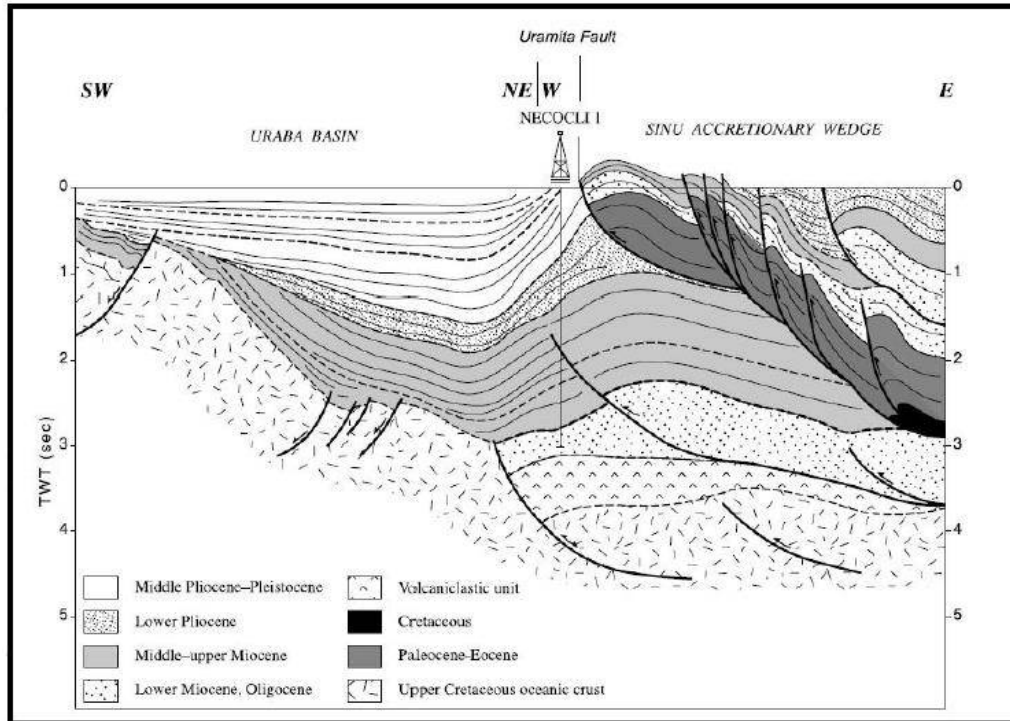


Figura 88. Perfil Estructural Transversal del Cinturón del Sinú, en dirección NW-SE entre Necoclí y Tierra Alta.

Fuente: Modificado de (Garzón Varón, MODELAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA ZONA LÍMITE ENTRE LA MICROPLACA DE PANAMÁ Y EL BLOQUE NORANDINO A PARTIR DE LA INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES DE RADAR, CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA, ANOMALÍAS DE CAMPOS POTENCIALES Y LÍNEAS SÍSMICAS, 2012).

3.2.5.3 Geología estructural del área Turbo-Currulao

Esta importante área del Urabá antioqueño, ubicada en las estribaciones de la Serranía del Sinú, está conformada por una secuencia de rocas turbiditas del Neógeno, correspondientes a las formaciones Pavo Inferior (NgPi), Pavo Superior (NgPs) y Arenas Monas (NgAm). La interpretación, análisis y evaluación de fotografías aéreas, sensores remotos y modelos de elevación, conjuntamente con los reconocimientos de campo, indican que, geotectónicamente, esta secuencia detrítica con variaciones de facies se encuentra muy deformada, plegada y fallada, debido a los esfuerzos compresivos con orientación preferencial E-W, que la desplazaron sobre un basamento cretácico más rígido.

Regionalmente, la cartografía geológica detallada y actualizada a escala 1:25.000 permite, de acuerdo con la relación espacial que presentan las diferentes unidades y estructuras, diferenciar el área en 4 sectores, teniendo en cuenta la concentración de esfuerzos y deformación de secuencias litoestratigráficas. En la Figura 89 se muestra el mapa geológico a escala 1:25.000 con fines de ordenación.

1. El sector noroccidental del área presenta una amplia distribución de la Formación Pavo Superior (NgPs), sobre la cual se aprecia un efecto distensivo y circular, ejercido por el Sistema de fallas de Yoky y Caimán Viejo, expresado por una fuerte compresión



en el sur y una gran amplitud en el norte, producidas durante la flexión del amplio Sinclinal de Tulipa. La estructura principal se encuentra deformada y desplazada debido al Sistema de fallas Caimán Viejo-Yoky, un cabalgamiento con vergencia hacia el oeste, que levanta la secuencia de la Formación Pavo Inferior (NgPi), sobre la Formación Pavo Superior (NgPs). Adicionalmente, se aprecia un efecto combinado de rotación, desarrollado por el desplazamiento lateral de la secuencia más resistente de la Formación Pavo inferior (NgPi) sobre una menos resistente y flexible, correspondiente a la Formación Pavo Superior (Ngps), con movimiento transcurrente-sinextral. La Falla de La Mona, presente hacia el occidente, sirve de límite de despegue de este sector más resistente sobre otro más plástico, razón por la cual se puede indicar que la expresión de la Formación Pavo Superior (NgPs) tiene mayor amplitud hacia el norte y una menor amplitud hacia el sur, donde está más comprimida.

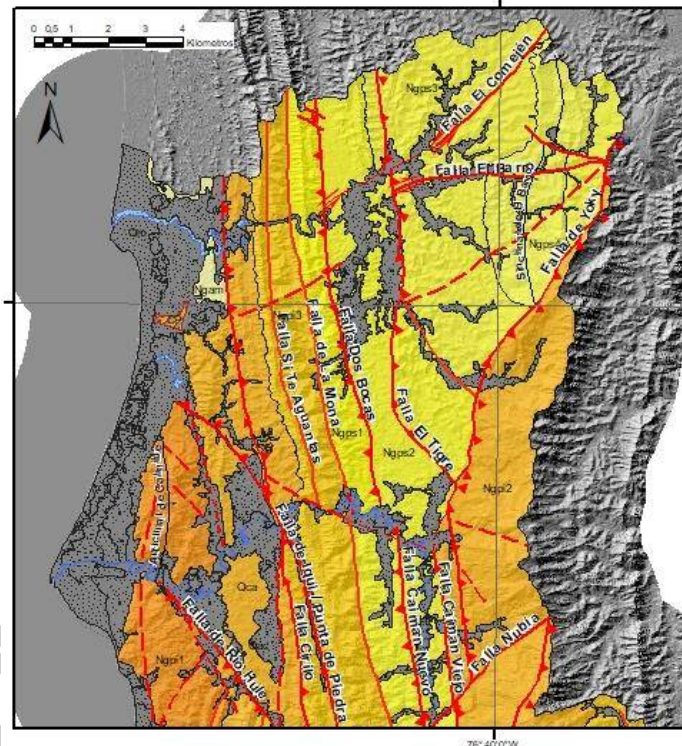


Figura 89. Detalle del sector noroccidental de la geología de la cuenca Turbo-Currulao a escala 1:25000, con principales rasgos estructurales.
Fuente: Elaboración propia.

2. El sector estructural occidental comprendido entre la falla normal de La Mona y norte de la población de Turbo presenta evidencias de una deformación muy fuerte, debido a la alta compresión ejercida en el frente de "choque y cabalgamiento" de la secuencia detrítica del Sinclinal del Sinú sobre la secuencia del Golfo de Urabá, por medio de la Falla de Uramita, de acuerdo con el Marco Geológico Regional, según (Hernández O. , 2009), las fallas presentes en este sector son principalmente inversas, de ángulo alto, escalonadas, y de densidad alta, con posible repetición de secuencias en rocas de la Formación Pavo Inferior (NgPi), sobre las cuales predomina también un alto grado de fracturación y degradación, al presentar mayor alternancia de arenitas conglomeráticas, arenitas y limolitas, distribuidas sobre un relieve muy bajo.

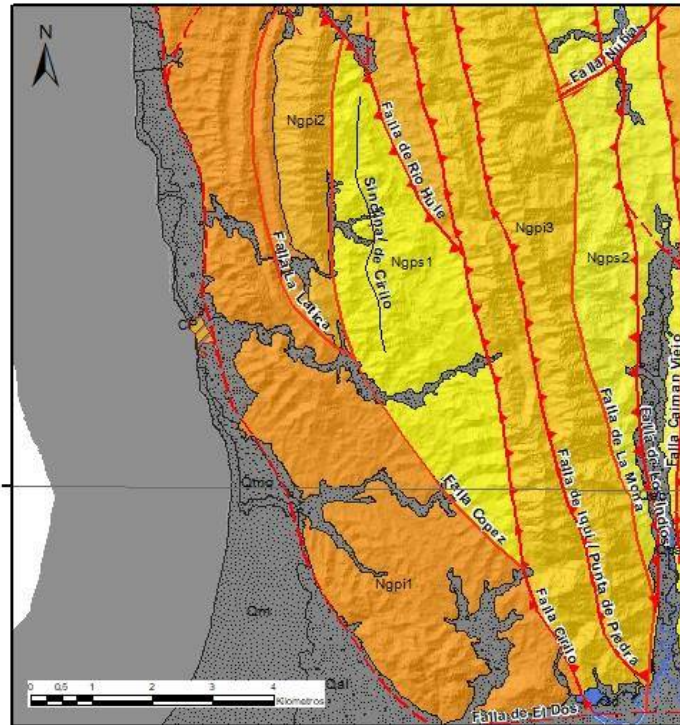


Figura 90. Detalle del sector occidental de la geología de la cuenca Turbo-Currulao a escala 1:25000, con principales rasgos estructurales.
Fuente: Elaboración propia

3. Este sector con distribución regional más amplia que las anteriores, se presenta distribuido en el área centro oriental en donde predominan las secuencias de la Formación Pavo Inferior (NgPi 2,3) que conforman el amplio Sinclinal de Tulipa, limitado hacia el occidente por el Sistema de Fallas Yoky, Caimán Viejo y El Limón-La Trampa, con movimiento dextral y hacia el sureste por la Falla de la Guagua, normal. Esta estructura importante que se encuentra levantada hacia el norte y deprimida hacia el sur, como producto de su flexión y deslizamiento lateral, presenta un conjunto de fallas de tensión orientadas NW y SE, en la zona de influencia en el cierre periclinal, mientras que otras encuentran desplazadas por fallas inversas con vergencia hacia el SE y normales con rumbo NE-SW. La Falla Transversal de El Dos, sinextral, indica que la secuencia que conforma el flanco SW del Sinclinal de Tulipa está desplazada hacia el E, en relación con la secuencia presente al norte de la misma y es allí en donde se observan los efectos de flexión y flexodeslizamiento.

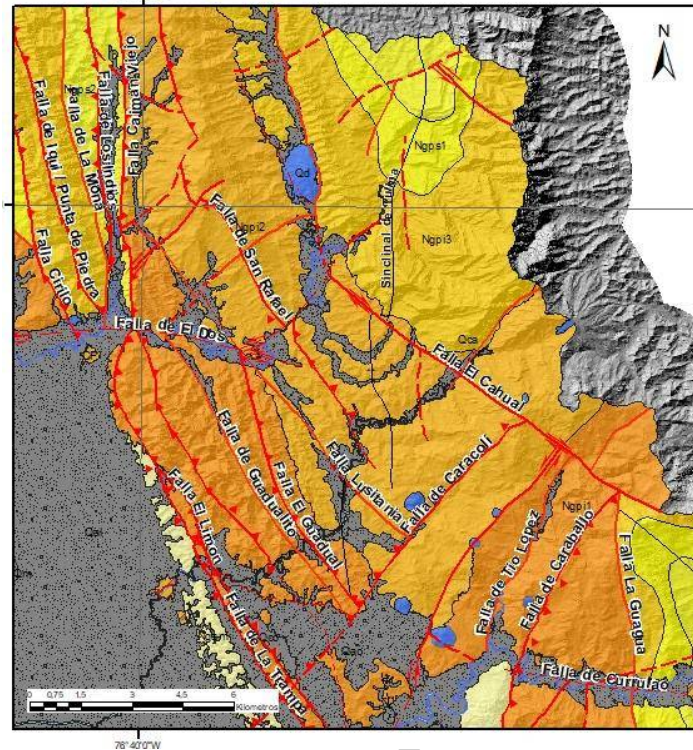


Figura 91. Detalle del sector central de la geología de la cuenca Turbo-Currulao a escala 1:25000, con principales rasgos estructurales.

Fuente: Elaboración propia.

4. El sector SE del área Turbo-Currulao presenta como contraste el Sinclinal de Ahuyamita, una estructura muy angosta, comprimida, alargada y levantada, con alto rango de deformación sobre la secuencia incompetente de la Formación Pavo Superior (NgPs), cuyo eje estructural incompleto presenta una dirección regional N-S, presente sobre un relieve alto y seccionado transversalmente desde el norte hacia el sur, debido a múltiples fracturas longitudinales y transversales, que producen actitudes verticales e inversión en su flanco occidental. Esta estructura limita hacia el oriente con la Falla de Ahuyamita, un cabalgamiento, que pone en contacto a la secuencia de la Formación Pavo Inferior (NgPi) sobre la del Pavo Superior (NgPs) y hacia el occidente con la Falla de La Guagua, que es aparentemente normal.

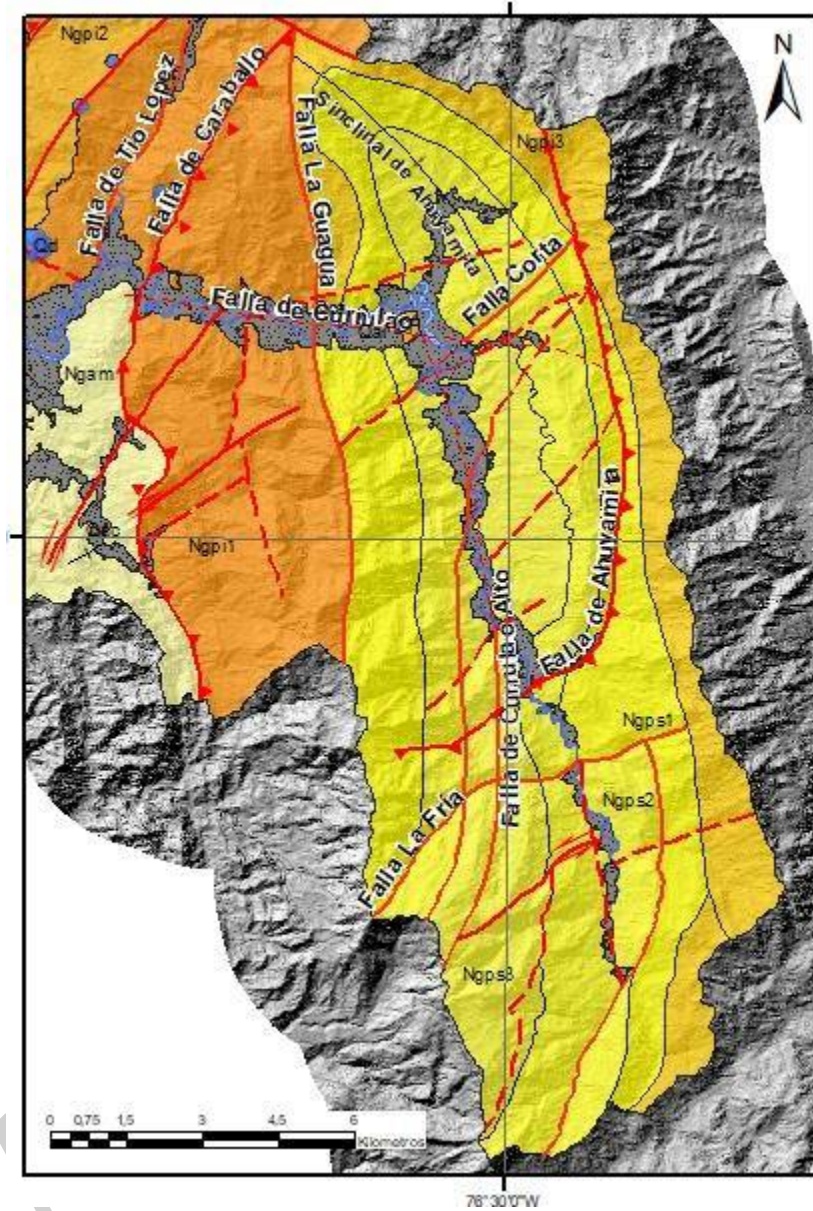


Figura 92. Detalle del sector suroriental de la geología de la cuenca Turbo-Currulao a escala 1:25000, con principales rasgos estructurales.
Fuente: Elaboración propia.

3.2.5.4 Pliegues

En el área de interés se presentan, dos pliegues regionales importantes: hacia el NE, el amplio Sinclinal de Tulipa, con el subpliegue del Sinclinal del Barro, generado sobre rocas de la Formación Pavo Inferior (NgPi), una secuencia medianamente competente y hacia el SE, el angosto Sinclinal de Ahuyamita, conformado sobre rocas de la Formación Pavo Superior (NgPs) más incompetentes. Estructuras de menor desarrollo y amplitud como los sinclinales de El Barro, Cirilo y Solitario, así como el Anticlinal de Calinibe, son muy locales y algunos corresponden a pliegues secundarios o de arrastre.



3.2.5.4.1 Sinclinal de Tulipa

Esta amplia estructura regional presenta en el área, un cierre sur periclinal, asimétrico, deformado, fallado y desplazado; su eje estructural, con una longitud de 20 km, está orientado N-S, el cual se encuentra flexionado, debido a esfuerzos compresivos. En su núcleo afloran rocas correspondientes a la secuencia inferior de la Formación Pavo Superior (NgPs1), expresado por bancos de limolitas arenosas, más estratificadas, inclinadas entre 45° y 70° hacia el NE, mientras que el oriental, 20° a 30° hacia NW. La secuencia infrayacente de la Formación Pavo Inferior (NgPi3), un poco más competente, presenta posible repetición de secuencia y distribución caótica debido a fallas orientadas NW-SE, como las de San Rafael y Santa Bárbara Abajo y a las de Caracolí y Tío López, con dirección NE-SW. Las rocas de la Formación Pavo Inferior (NgPi) que predominan sobre esta estructura, presentan un grado de fracturación medio y el relieve que ocupa ha sido muy degradado por el régimen hídrico de alta densidad, dando lugar a numerosos depósitos cuaternarios, producidos por las cuencas hidrográficas de los ríos Turbo y Guadualito.

3.2.5.4.2 Sinclinal de Ahuyamita

Es una estructura estrecha y alargada en sentido N-S presente en el SE del área, con un cierre emergente cuyo eje está flexionado hacia N15°E; está limitada hacia el sur por la Falla de Currulao, que desplaza el curso del Río del mismo nombre, hacia el W. Su continuidad hacia el sur es incierta y parece estar obliterado por la Falla de Currulao Alto, que esta a su vez acompañada por pequeñas fallas transversales (sin nombre), que repiten, desplazan e invierten a la secuencia de rocas limolíticas predominantes de la Formación Pavo Superior (NgPs), principalmente hacia el flanco occidental.

3.2.5.4.3 Sinclinal de El Barro

Corresponde a una flexión angosta y alargada con rumbo ondulante N-S, que presenta una longitud de unos 8 km y está conformada por rocas de la Formación Pavo Superior (NgPs4), de composición más limolítica y arcillolítica; la estructura está afectada por un desplazamiento dextral menor.

3.2.5.4.4 Sinclinal de Cirilo

Es una estructura estrecha, muy local y flexionada, que se extiende por 8 km al norte de la localidad de El Dos; está conformada por rocas de la Formación Pavo Superior (NgPs2), de composición limolítica y arcillolítica, limitada por las fallas de Copez y Cirilo.

3.2.5.4.5 Sinclinal Solitario

Es una estructura muy local con rumbo N-S, ubicada en inmediaciones del Río Currulao: presenta poca expresión sobre un relieve muy bajo, en rocas de la Formación Arenas Monas (Ngam).



3.2.5.4.6 Anticlinal de Calinibe

Con rumbo N10°E y longitud de 6 km, se presenta muy cerca de la línea de costa, al sur de la localidad de Necoclí y está conformada por rocas de la Formación Pavo Inferior (NgPi1).

3.2.5.5 Fallas

El área de la cuenca Turbo-Currulao está fuertemente fallada como respuesta a esfuerzos compresivos que han generado corrimientos y desplazamientos considerables dentro de las secuencias litoestratigráficas predominantes de las Formaciones Pavo (NgP) y Arenas Monas (NgAm), en sentido oeste-este, en contraposición a aquellos sectores en donde se presentan estructuras sinclinales que se han comportado geodinámicamente, en forma más pasiva, debido a la gran cantidad de flexionamientos que han disipado o atenuado los esfuerzos deformantes, lo cual se traduce en poca repetición de secuencias y presencia de relieves morfoestructurales, cuya disposición típica obedece a las secuencias detríticas que los conforman. A continuación, se describirá cada una de las fallas, indicando su relación espacial e importancia.

3.2.5.5.1 Falla de Caimán Viejo

Es una falla de cabalgamiento con rumbo N-S y vergencia hacia el W, que, en una longitud de 18 km, pone en contacto a rocas de la Formación Pavo Inferior (NgPi), sobre la secuencia de la Formación Pavo Superior, desde la localidad de El Dos, hasta inmediaciones del río Caimán Nuevo.

3.2.5.5.2 Falla de Yoky

Es una falla de cabalgamiento, con rumbo N-S, que varía circularmente en forma ondulante hacia N25°E sobre el extremo norte del área, con una longitud de 20 km, se intersecta con la anterior y continúa guardando la misma relación espacial estructural y litoestratigráfica que su antecesora.

3.2.5.5.3 Falla de La Mona

Esta falla normal con rumbo N15°W es muy representativa en el área y se extiende por 29 km, desde la localidad de El Dos en inmediaciones del Río Turbo hacia los nacimientos de la Quebrada La Puerca, en el norte. Pone en contacto a las secuencias de las formaciones Pavo Inferior (NgPi3) y Pavo Superior (NgPs1).

3.2.5.5.4 Falla de Iquí- Punta de Piedra

Esta falla inversa con vergencia hacia el SW, con 22 km de longitud y rumbo N15°W, está localizada inmediatamente hacia el occidente de la Falla del Filo de la Mona y controla el curso rectilíneo de las quebradas de las cuales toma su nombre y discurren sobre arenitas conglomeráticas y lodolitas de la Formación Pavo Inferior (NgPi).



3.2.5.5.5 Fallas de Caimán Nuevo y Quebrada de los Indios

Se ha interpretado como una falla inversa con rumbo N15°W y vergencia hacia el E, paralela a la anterior, con una longitud aproximada de 20 km, que define hacia el este de su traza la presencia de las quebradas de donde toma su nombre y entalla cursos rectilíneos de aguas. Está emplazada en rocas limolíticas de la Formación Pavo Superior (NgPs1), que presentan poca expresión superficial.

3.2.5.5.6 Falla de Cirilo

Se ha interpretado como una falla de cabalgamiento en el sector sur, e inversa en el del norte, con rumbo N20°W y vergencia hacia el SW, la cual se extiende desde la localidad de El Dos, en inmediaciones del Río Turbo, hasta el N de Necoclí, con una longitud de 25 km. Esta estructura pone en contacto a la secuencia de la Formación Pavo Inferior (NgPi3) sobre la del Pavo Inferior (NgPi1) hasta intersectarse con la Falla La Latica; en su parte media se une con la Falla de Hule, la cual levanta la secuencia de la Formación Pavo Inferior (NgPi3) sobre la de la Formación Pavo Superior (NgPs1), observándose un efecto de flexodeslizamiento sobre una secuencia de limolitas y arenitas, que presentan fuerte buzamiento hacia el E. Desde el Río Hule hacia el norte se aprecia el contacto entre las formaciones Pavo Inferior NgPi3 y NgPi2.

3.2.5.5.7 Falla del Río Hule

Es una estructura transcurrente dextral, con rumbo N35°W y longitud de 7 km. Conjuntamente con la anterior, es la responsable del flexionamiento en la Formación Pavo Superior (NgPs1). Como características, presenta desplazamiento lateral por 2 km de la Formación Pavo Inferior (NgPi3), en su parte media pone en contacto a las formaciones Pavo Inferior (NgPi2 y NgPi3), pero con diferentes rumbos estructurales; hacia el norte trunca la continuación de Calinibe hacia el sur, con posibles efectos de inversión.

3.2.5.5.8 Falla de El Dos

Está presente hacia el W de la Falla de Guadual siguiendo un rumbo E-W, controla el curso del Río Turbo y está enmascarada por los sedimentos cuaternarios; es de movimiento sinextral, limita la continuidad de la Falla de Guadualito hacia el norte, así como el espesor relativo de las formaciones Pavo Inferior (NgPi) y Pavo Superior (NgPs). Las dos formaciones anteriores además de estar flexionadas se desplazaron significativamente hacia el W al norte de su traza, mientras que, hacia el sur de la misma, los sedimentos aluviales se distribuyen ampliamente.

3.2.5.5.9 Sistema de fallas Copez-Latica

Presente al norte de Turbo está conformado por una falla semicircular (Falla de Copez) de 10 km de longitud, con rumbo SE-NW, a partir de la cual se desarrolla una satélite (Latica), siendo ambas generadas por el desplazamiento dextral de la Falla de Cirilo, en el sector sur; éstas, hacia el norte, chocan contra la Falla del Río Hule, coincidiendo con el movimiento dextral de esa falla.



3.2.5.5.10 Falla de San Rafael

Es una falla inversa con una longitud de aproximadamente 30 km, con rumbo inicial N15°W en el sector sur, que varía hacia el norte con rumbo paralelo al del Sinclinal de Tulipa, al cual afecta sobre su flanco occidental, debido al flexodeslizamiento producido durante la generación del pliegue; pone en contacto a la Formación Pavo Inferior (NgPi1) sobre la Formación Pavo Inferior (NgPi2) al norte y aparentemente, parece tener un comportamiento normal hacia el sur, donde es desplazada transversalmente por varias fracturas de menor rango.

3.2.5.5.11 Falla de Lusitania

Es una falla normal con rumbo N20°W y longitud de 8 km que tiene expresión entre la Falla de Caimán Viejo, sobre la quebrada de este nombre, hasta la Falla de Caracolí al sur del cierre estructural el Sinclinal de Tulipa. Se desarrolla principalmente sobre las rocas de la Formación Pavo Inferior (NgPi2).

3.2.5.5.12 Falla de Caracolí

Es una estructura transversal y normal con 9 km de longitud y rumbo N45°E, que controla el curso de la quebrada de la cual toma su nombre, entre la Falla de la Trampa al SW, se pierde hacia el NE, en límites del área cartografiada. Cerca de su traza, se encuentran localizados dos conos correspondientes a volcanes incipientes de lodo.

3.2.5.5.13 Sistema de fallas Guadual- Guadualito

Consta de dos fallas normales, paralelas, con rumbo N25°W, paralelas a la Falla de la Trampa, en una longitud de 10 km, la cual afecta a rocas de la secuencia inferior de la Formación Pavo Inferior (NgPi1), produciendo una repetición parcial en su sucesión.

3.2.5.5.14 Falla de Santa Bárbara

Tiene 9 km de longitud y un rumbo variable desde N45°E, la cual corta transversalmente la secuencia de la Formación Pavo Superior (NgPs1) presente en el núcleo del Sinclinal de Tulipa, en el extremo NE del área, donde además controla el curso superior de dicha quebrada. Se extiende con rumbo N60°E atravesando transversalmente la secuencia de la Formación Pavo Inferior (NgPi3 y 2) y termina en la Falla de San Rafael; es una falla típica de tensión, generada durante el plegamiento del Sinclinal de Tulipa.

3.2.5.5.15 Sistema de Fallas de Tío López-Caraballo

Corresponde a tres estructuras subparalelas, cuya orientación en el sector es N45°E, con longitudes aproximadas de 7 km, desarrolladas principalmente sobre una zona de alta compresión, producida por los esfuerzos diferenciales ejercidos tangencialmente entre los sinclinales de Tulipa (muy amplio) y de Currulao (muy estrecho), la cual ha deformado y fracturado con intensidad a la secuencia de la Formación Pavo Inferior (NgPi1). La primera conforma un alto morfoestructural con divisoria de aguas entre las quebradas Caracolí y Tío López, en donde se aprecian volcanes de lodo, la segunda controla el curso de la Quebrada Tío López y la de Caraballo, con movimiento inverso y vergencia hacia el NW, cambia su rumbo hacia N35°E y toda la secuencia en dirección



del Sinclinal de Currulao presenta actitudes variables hasta de N-S/ vertical, al sur e invertida hacia el oeste, hacia el norte, sobre un relieve muy bajo.

3.2.5.5.16 Falla de Caraballo

Esta estructura geológica merece una descripción especial, por estar estrechamente relacionada con varias anomalías morfoestructurales importantes así:

1. Esta falla de cabalgamiento con rumbo N-S y expresión ondulante en su sector sur, presenta vergencia hacia el NW y como producto de su movimiento dextral, combinado con el anterior, además de poner a la secuencia de la Formación Pavo Inferior (NgPi1) sobre la de la Formación Arenas Monas (NgAm), trunca la continuidad de la Falla de Currulao con rumbo E-W. Al oriente de esta falla, la secuencia de la Formación Pavo Inferior (NgPi1) es caótica hacia el oeste, pero la actitud de las rocas detríticas arenosas se aprecia casi vertical, con rumbo N-S, hacia el Sinclinal de Currulao Alto. En el sector norte el movimiento inverso de esta falla produce un gran angostamiento en las rocas de la Formación Pavo Inferior (NgPi1) conformada por arenitas conglomeráticas, limolitas y en menor proporción lodolitas.

2. Esta estructura, conjuntamente con la de Tío López, la cual controla el cauce de la quebrada del mismo nombre, dieron lugar durante su movimiento y emplazamiento, a la "cuña triangular conformada por las rocas de la Formación Arenas Monas (NgAm), que se encuentran limitadas entre las fallas de la Trampa, Caraballo y Tío López; dicha secuencia se encuentra parcialmente cubierta por los sedimentos cuaternarios, de amplia distribución, conformados aguas debajo de la confluencia de la quebrada Tío López y el Río Currulao: más hacia el sur y en forma coalescente con los depósitos de aluvión del Río Caraballo.

3.2.5.5.17 Falla de Currulao

Esta estructura transversal con rumbo N80°W y longitud de 10 km condiciona el curso del río de donde toma su nombre y se extiende desde el oriente donde está limitada por la Falla de Ahuyamita, hasta el occidente en donde se encuentra la Falla de Tío López, que lo desvía hacia el SW. Esta falla de Currulao limita hacia el sur la expresión clara del Sinclinal de Currulao y se presenta flexionado hacia el norte con rumbo N20°W, en su eje estructural y flancos.

3.2.5.5.18 Falla de la Guagua

Es una estructura con desplazamiento normal, que en una longitud de 10 km y rumbo N-S, pone aparentemente en contacto, a la secuencia de la Formación Pavo Superior (NgPs 1, 2), con la de la Formación Pavo Inferior (NgPi1). Las actitudes observadas sobre el flanco occidental de la secuencia inferior varían desde subverticales hasta invertidas, a medida que se desplaza hacia el sur.

3.2.5.5.19 Falla de Currulao Alto

Con rumbo N-S y longitud de 13 km, oblitera totalmente, la expresión de la estructura que originalmente estuvo completa en su primera fase de deformación, pero por estar desarrollada sobre una secuencia más incompetente y flexible, fue afectada por fallas



transversales que dieron lugar a una disposición caótica de secuencias y rasgos estructurales, los cuales hacen difícil visualizar la continuación del Sinclinal de Currulao, hacia el sur. Esta estructura afecta a las rocas de la Formación Pavo Superior (NgPs 1,2 y 3).

3.2.5.5.20 Falla de Ahuyamita

Esta estructura de cabalgamiento, con vergencia hacia el W se presenta al SE del área cartografiada con un rumbo ondulante N10°W, en una longitud de 15 km y pone en contacto a la secuencia de la Formación Pavo Inferior (NgPi3) sobre la secuencia de la Formación Pavo Superior (NgPs1). Es la responsable de la fuerte compresión que ejerció plegando estrechamente al Sinclinal de Currulao y su posterior deformación, lo cual generó inversión y fallamientos trasversales que la afectaron.

3.2.6 Evolución geológica de la cuenca

Como se ha mencionado anteriormente, la cuenca Río Turbo Currulao se encuentra en un área de confluencia de variados esfuerzos por colisiones entre distintas placas y bloques tectónicos, los principales son el bloque Andes Norte que representa la zona más noroccidental de la placa Suramericana; la placa Caribe y el bloque Chocó-Panamá; desde comienzos de paleógeno la proto-placa Caribe empieza a presentar un movimiento hacia el Noroeste con respecto al bloque Andes Norte, esto es denominado la orogenia Preandina por (Duque-Caro H. , 1980), provocando la colisión y la consecuente subducción de la primera bajo la segunda, este choque da lugar a la generación del cuerpo plutónico de Mandé en el paleoceno y eoceno inferior (ver Figura 93).

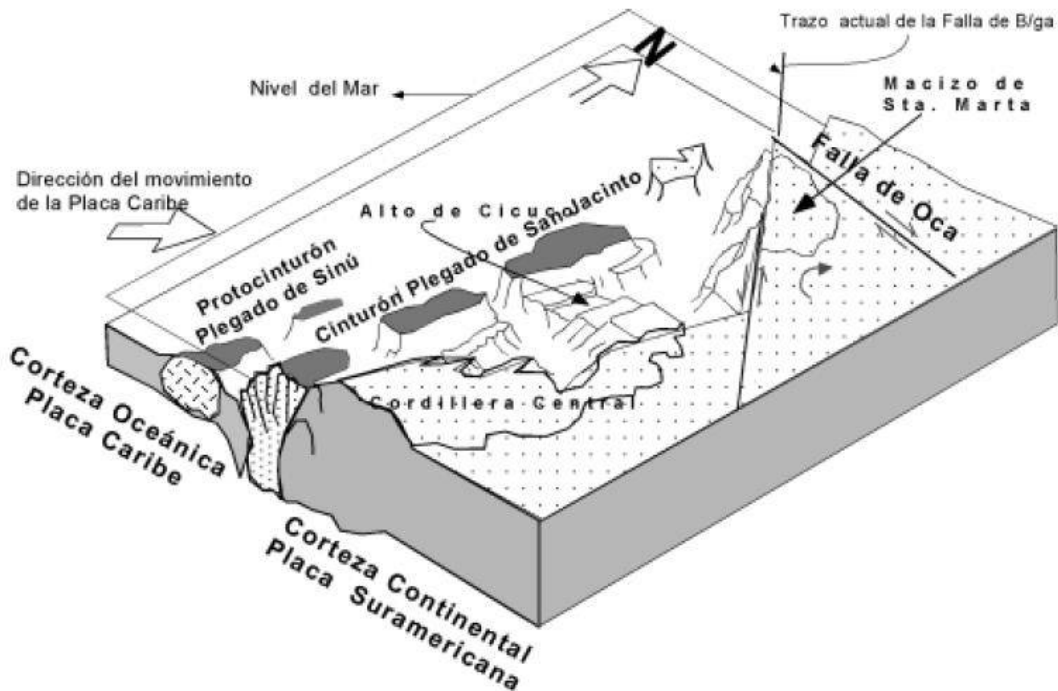


Figura 93. Bloquediagrama de la configuración estructural del norte de la placa suramericana en el oligoceno.

Fuente: (Reyes H. , 2004).

En la Figura 93 se ven unos cinturones de San Jacinto y Sinú muy antiguos, que, aunque ya han desarrollado un protoprisma de acreción, no han alcanzado alturas considerables y mares epicontinentales pueden depositar espesas secuencias sedimentarias.

Desde este momento, se empieza a generar un prisma acrecionario que conformaría los antiguos cinturones Sinú y San Jacinto, el modelo estructural inicial de este prisma estaría conformado para finales del oligoceno y se compone de un sistema de fallas de cabalgamiento con rumbo general N-NE y vergencia hacia el oeste (Figura 93); sin embargo, al no haber alcanzado mayor elevación, durante el mioceno, un ascenso en el nivel eustático marino, provocó el depósito de potentes secuencias sedimentarias como lo es la formación Pavo, que según las facies sedimentarias analizadas, muestra un ambiente de mar distal con poco aporte de material continental y en algunos puntos, con evidente desarrollo de fauna de ambiente transicional o somero, con aumentos importantes del porcentaje de componente calcáreo; potentes bancos de limolitas y arenitas de la subunidad Pavo Superior, pueden indicar el punto de mayor inundación del mioceno, sin embargo, paquetes importantes de arenitas medias y gruesas en el paquete Pavo superior 4 indican que la secuencia tiende a somerizarse hacia el tope de la unidad.

Durante el plioceno se comienza a dar la elevación del prisma acrecionario, dando inicio al proceso de configuración actual de los cinturones Sinú – San Jacinto; en esta época, se da el depósito de la formación Arenas Monas, también presente en la cuenca; esta formación evidencia una secuencia de continentalización, con paleocanales, estructuras de flujo unidireccionales y ambientes de mayor energía en general; se considera que a



finales del plioceno y durante el pleistoceno se dio la orogenia andina, lo que dio lugar a esfuerzos con dirección NW-SE que generaron fallamientos como la falla de Turbo, Currulao, El Dos, El Congo, que cortan las fallas antiguas de basamento como la falla de Uramita, Caimán Viejo, la Guagua y La Mona, y se cree que también han dado lugar a la generación del vulcanismo de lodo de la zona. Actualmente esta configuración de esfuerzos es vigente, presentando el choque de la placa Caribe y el bloque Panamá con la placa suramericana; en la zona, esta colisión se ve bien representada en la falla de Uramita.

3.2.7 Control de campo

Entre el día 28 de noviembre y el 18 de diciembre de 2016 se llevó a cabo la primera campaña de campo correspondiente a la temática de geología de la zona de estudio comprendida en el plan de ordenación y manejo de la cuenca Ríos Turbo-Currulao.

En total fueron 16 días de trabajo en campo, en los cuales se cubrió la mayor extensión posible de la zona, esto debido a que problemas de orden público y las condiciones climáticas no permitieron acceso a la totalidad del área y tampoco a zonas alejadas de caminos o senderos veredales.

Se realizaron finalmente 92 estaciones en esta campaña de campo, entre estaciones de litología, panorámicas y puntos de control, las cuales fueron registradas en libreta de campo con descripción de litología, datos estructurales y observaciones adicionales, asociado se tiene un registro fotográfico de gran parte de los afloramientos y vistas panorámicas. En algunos puntos representativos se registró la información en formatos de campo para descripción de unidades y para descripción de macizo rocoso donde fuera posible.

Entre los días 20 y 30 de junio se realizó una segunda campaña dirigida principalmente a la caracterización de las unidades geológicas de superficie de la cuenca, campaña que también sirvió para alcanzar zonas antes inaccesibles y hacer conjuntamente caracterización de las unidades geológicas principalmente en la zona norte de la cuenca.

3.2.7.1 Metodología

Para estas campañas de campo, se definieron inicialmente los senderos o carreteras que se adaptaran de mejor manera a la verificación de los puntos de interés de la temática de geología, de esta forma, se registraron estaciones en libreta de campo, las cuales tienen su correspondiente localización y altura, descripción litológica, toma de datos estructurales y fotografías, cuando fue posible y cuando el afloramiento de roca se consideró representativo se registró la información en formatos de campo.

3.2.7.2 Parámetros de toma de datos

Con el fin de verificar las unidades previamente propuestas mediante el análisis de imágenes de sensoramiento remoto, se tomaron datos de litología y datos estructurales, los primeros, dirigidos a definir los tipos de roca y depósitos en cuanto a composición, estructura, textura, selección, permeabilidad y porosidad, según lo especificado por (Fondo de Adaptación, 2014), también se describió, si estaba presente el nivel de meteorización según (Dearman W.R., 1974). Los datos estructurales de planos de



estratificación y fractura se tomaron con brújula tipo alemana registrando grado y dirección de buzamiento.

3.2.7.2.1 Libreta

La libreta de campo es el principal medio de registro de la información observada en campo, debido a la amplia zona a cubrir se registra en la libreta, de manera breve, información sobre las geometrías y litologías presentes en cada locación, con datos estructurales, esquemas representando columnas estratigráficas o cortes en perfil si fueron necesarios y las fotografías que tomadas en cada estación.

3.2.7.2.2 Registro fotográfico

Para estos controles de campo se procuró tener un registro fotográfico completo de las locaciones visitadas, por lo cual se capturaron más de 500 fotografías, de las cuales se seleccionaron 250 que representan de manera más concisa y clara lo observado en cada estación; cuando fue necesario, se hicieron tomas panorámicas para resaltar estructuras como fallas o pliegues importantes, toda la información incluso la orientación espacial de las fotografías panorámicas esta consignada en la libreta de campo.

3.2.7.2.3 Formatos

Teniendo en cuenta que la información sería registrada principalmente en la libreta para el control de campo de unidades geológicas, se tomaron los afloramientos que se consideraron representativos o que se presentaban frescos y bien expuestos para llenar los formatos de descripción de unidades geológicas; estos formatos presentan información de localización, tipo de afloramiento, material descrito, textura, humedad, permeabilidad, estructuras presentes y características de clastos y matriz si el material estaba constituido por éstos; adicionalmente se agregaron observaciones sobre afloramientos y las fotografías tomadas en el lugar, en total se tomaron 23 formatos para esta temática.

La segunda visita se enfocó principalmente en el registro de la información únicamente en formatos de caracterización tanto de roca como de suelo para las unidades geológicas de superficie; en estos formatos se registra información sobre la secuencia estratigráfica presente en cada locación, con una calificación para tamaño de grano, fabrica del material, rasgos de esfuerzos si los hay y valores arrojados por el martillo de Schmidt, dureza y una composición general si es para roca; para suelos se da información de color, textura, consistencia o densidad relativa, datos de penetrómetro, estructuras si estaban presentes y espesor de la secuencia, tanto los formatos de roca como de suelo presentan información de fotografías tomadas y observaciones hechas por el encargado.

3.2.7.3 Recorridos de campo

Debido a la posición Norte – Sur de las unidades geológicas, se procuró buscar recorridos con orientación Este-Oeste que cortaran y expusieran la mayor cantidad de unidades posibles (Figura 94), por lo tanto los ríos Turbo y Currulao con sus respectivas carreteras paralelas fueron prioridades, al igual que algunos drenajes primarios y secundarios como el río Cirilo, la quebrada Los Indios y la Arena, los cuales pueden ser abordados desde la carretera principal Apartadó – Necoclí. La zona norte del área, con las vías El Totumo-



Nueva Luz, Vereda La Caña y El Bobal-Pueblo Nuevo, pudo ser visitada en el segundo control de campo.

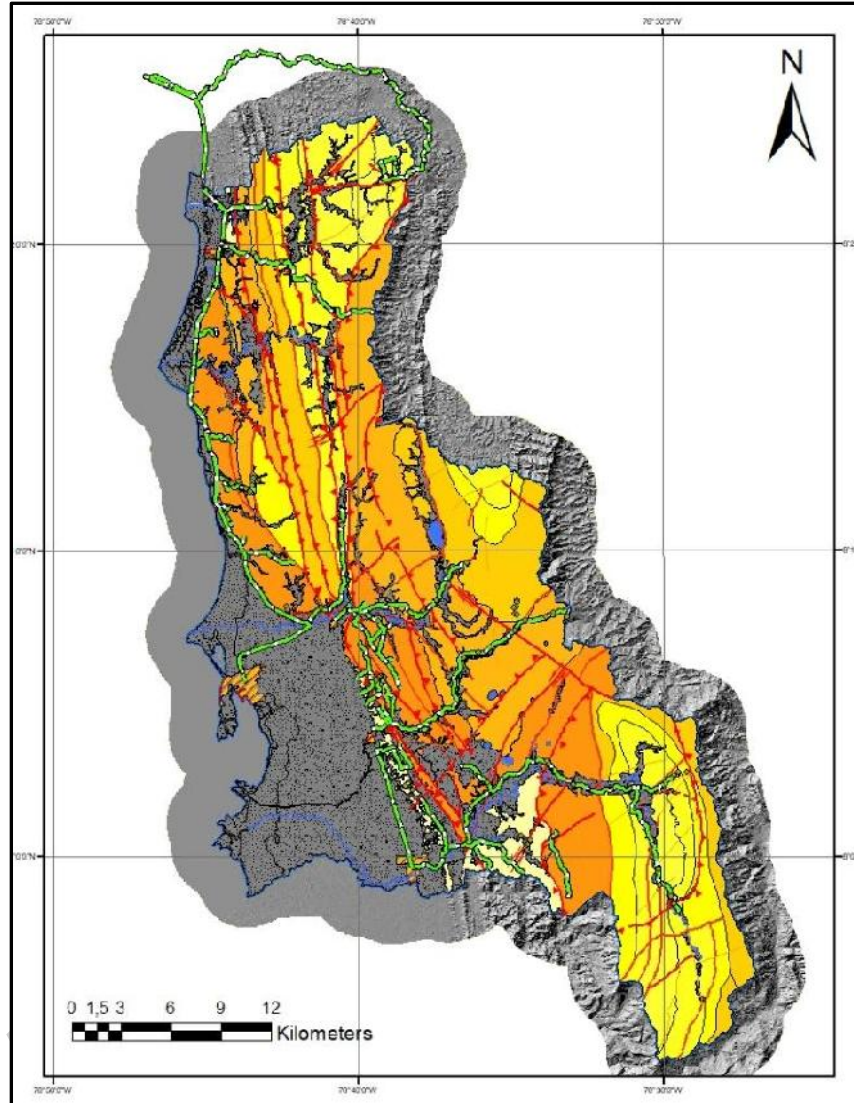


Figura 94. Mapa de la cuenca con los recorridos realizados (en verde) durante la campaña de campo.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.8 Conclusiones geología básica

- El área de la Cuenca Río Turbo-Currulao al NW de Antioquia, presenta morfoestructuralmente un relieve bajo, desarrollado sobre la Serranía del Sinú, con topografía variable entre los 1.000 m.s.n.m. en el sector del alto Currulao y 0,0 m.s.n.m. en la línea de costa, el cual se conformó sobre rocas sedimentarias, turbidíticas con variaciones laterales de facies del Neógeno, correspondientes a las Formaciones Pavo



Inferior (NgPi), Pavo Superior (NgPs), Arenas Monas (NgAm) y Depósitos Cuaternarios (Qal).

- La Cartografía Geológica básica publicada por (INGEOMINAS, 1999) a escala 1:100.000 y la Memoria Técnica (2003) producida por GEOTEC con enfoque regional, indica la distribución espacial discontinua entre características estratigráficas y estructurales, siendo su alcance muy restringido.

- La Cartografía Geológica Básica-Detallada a escala 1:25.000, generada para el ordenamiento de la Cuenca Rio Turbo-Currulao, se obtuvo mediante procesos combinados de interpretación geológica sobre fotografías aéreas pancromáticas, imágenes Radarsat y modelos de elevación (DMT), expresando inicialmente los resultados preliminares sobre planchas cartográficas SIGAC del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2011). Este proceso permitió diferenciar y subdividir litológicamente a la Formación Pavo Inferior en tres subunidades (NgPi,1,2,3) y a la Formación Pavo Superior, en cuatro subunidades (NgPs, 1,2,3,4); y mediante comprobaciones de campo realizadas sobre sectores representativos, se le dio validez, obteniendo información complementaria sobre ésta tan compleja, en donde el grado de alteración y saprolitización de las rocas es muy alto, sobre un relieve muy bajo, con rocas sometidas a alto grado de fracturación que aceleran procesos antrópicos y enmascaran las características estructurales a escala mesoscópica.

- Descriptivamente, el área investigada se divide en varios sectores, de acuerdo con el predominio de las secuencias litológicas y su disposición espacial condicionada al grado de afectación tectónica. El sector comprendido entre las fallas de Yoky-Caimán Viejo y el Filo de la Mona, compuesto por una secuencia detrítica muy fina de la Formación Pavo Superior (NgPs2) y sobre un relieve muy bajo, se encuentra muy comprimida hacia el sur y expandida al norte, entre secuencias más detríticas de grano grueso, correspondientes a la Formación Pavo Superior (NgPi 1,2,3), las cuales, presentan mayor grado de fracturación por la alta densidad de fallas con orientación NW-SE.

- Al oriente, el amplio Sinclinal de Tulipa, asimétrico y nucleado por rocas de la Formación Pavo Superior (NgPs1) con rocas detríticas finas, descansan sobre la gruesa secuencia detrítica de la Formación Pavo Inferior (NgPi 1,2,3) con desarrollo perimetral y afectación por fallas con rumbos NW-SE y NE-SW, sobre un relieve promedio de 300 m. La Falla de El Dos, sinextral con orientación E-W, desplaza hacia el oeste la secuencia de la Formación Pavo Inferior (NgPi), limitada al sur por la Falla de la Trampa, dejando hacia el sur una amplia cubierta de sedimentos cuaternarios.

- El Sinclinal de Ahuyamita presente en el sector SE del área es una estructura muy angosta, comprimida, deformada y levantada; está separada de la anterior por la Falla de la Guagua al W y por la Falla de Ahuyamita al E.

- La cuenca hidrográfica del Río Turbo-Currulao en la Serranía del Sinú, geológicamente está conformada por rocas sedimentarias, turbidíticas, del Neógeno,



constituidas por dos secuencias variables de arenitas conglomeráticas, arenitas (70%), limolitas y lodolitas (30%), correspondientes a la Formación Pavo Inferior (Ngpi) del Mioceno inferior, separadas por una intermedia de limolitas y lodolitas (70%), con intercalaciones de arenitas conglomeráticas (30%); sobre esta secuencia, la Formación Pavo Superior (Ngps), presenta conjuntos limolíticos y lodolíticos predominantes (70%), que en base y techo varían hacia arenitas y conglomerados, intercaladas con limolitas y lodolitas (30%); encima, la Formación Arenas Monas (Ngam), presenta conglomerados arenosos, que varían a arenitas. Sobre estas secuencias descansan discordantemente depósitos cuaternarios.

- La secuencia detrítica descrita, tectónicamente estuvo sometida a esfuerzos transpresivos con orientación NE-SW, debido a la subducción que generó el choque de la Placa del Caribe/Bloque Chocó y la Placa Norandina, a partir de la Orogenia cretácica; como consecuencia, la Cuenca de Urabá se hundió al occidente de la Falla de Uramita, mientras que las Serranías del Sinú-y San Jacinto, se levantaron, escalonadamente hacia el este.
- Dicha secuencia muestra los efectos producidos durante tres fases de deformación: durante la primera, se formaron pliegues regionales como el de Tulipa y Ahuyamita, hacia el oriente, conformados por secuencias más competentes (Ngpi) y limitados en sus flancos por fallas inversas, mientras que hacia el occidente se desarrollaron fallas subparalelas con orientación regional N10°-15°W, que levantaron un frente costero, constituido por secuencias más competentes (Ngpi), con mayor densidad de fallas con vergencia hacia el oeste. Durante la segunda fase, de mayor compresión, se acentuaron y reacomodaron las fallas y se observan efectos de flexodeslizamientos en la secuencia de la Formación Pavo inferior (Ngpi), por acomodación de las secuencias con dirección N30°W y flexión en fallas de cabalgamiento. La tercera fase de deformación se produjo por reactivación de fallas transformantes del basamento, con orientación N60°W.
- La Falla de El Dos, localizada al E de Turbo con rumbo E-W, presenta como características importantes las siguientes: Es una estructura de rumbo que se extiende desde la Falla de Guadualito hacia el W, con movimiento lateral izquierdo (sinextral), que controla el curso del Río Turbo, desplazada a la secuencia de las Formaciones Pavo Superior e Inferior (NgPs,i) y flexiona las fallas localizadas hacia el oeste de la del Filo de la Mona; limita la continuidad de la secuencia de la Formación Pavo Superior (NgPs) hacia el sur y la enfrenta con la de la Formación Pavo Inferior (NgPi1) y trunca la continuidad de la Falla de la Trampa.
- Los resultados finales obtenidos son de alta confiabilidad de acuerdo con la proyección de las características litológicas aportadas con las comprobaciones de campo; se integró la información geológica a la geomorfológica, se produjo una salida geomorfológica utilizando el mapa de pendientes y se obtuvo una salida cartográfica geológica-geomorfológica. Los resultados de los análisis geotécnicos de laboratorio realizados sobre las muestras colectadas en campo por el geotecnista permitirán obtener



una salida cartográfica para Unidades Geológicas de Superficie, aplicable al área del Proyecto.

3.2.9 Recomendaciones geología básica

- Se recomienda utilizar los resultados obtenidos con la cartografía del Mapa Geológico Detallado a escala 1:25.000, porque expresa en forma detallada y actualizada la sectorización estructural y los efectos producidos sobre el paisaje actual, en forma representativa de los fenómenos inducidos por las fuerzas de deformación y fracturamiento presente sobre el área.
- Se recomienda tener en cuenta que la información aportada por el Mapa Geológico conjuntamente con la información morfodinámica aportada por el Mapa Geomorfológico, el Mapa de Pendientes y el control de información geotécnica, son fundamentales para definir las áreas de susceptibilidad a deslizamiento a escala 1:25.000.

3.2.10 Geología para ingeniería

El estudio se desarrolló en tres (3) etapas con objetivos diferentes:

- La primera etapa: se centró en conocer las características regionales y locales del área de la cuenca con base en la información existente de geología y geomorfología, y definición de las zonas de alta y media susceptibilidad geotécnica a procesos de remoción en masa.
- La segunda, correspondió al reconocimiento de campo e investigación del subsuelo, realizados por profesionales de la Unión Temporal POMCA Río Turbo-Currulao, en el mes de junio de 2017.
- La tercera etapa, se procesó la información recopilada en campo, y se procedió a la caracterización de las unidades geológicas en superficie – UGS.

3.2.10.1 Revisión de la información secundaria

Como información de referencia para el desarrollo de este estudio se empleó:

- Los resultados y hallazgos de las temáticas de hidrología, geología y geomorfología realizadas para el área de la cuenca.
- Documento Exploración del Subsuelo y Toma de Muestras para la Caracterización Geotécnica de la Cuenca Turbo-Currulao, previa aprobación de la Interventoría Consorcio POMCAS 2014 mediante oficio GR17-3831 del 16 de junio de 2017.
- Informes y documentos de otras entidades, tales como IGAC, SGC e IDEAM, para los análisis y caracterización de las diferentes unidades existentes en la cuenca.

3.2.10.1.1 Información geológica y geomorfológica regional

La caracterización geológica y geomorfológica regional del área fue desarrollada inicialmente por la Unión Temporal POMCA Río Turbo-Currulao en el documento correspondiente a las etapas de Aprestamiento y Diagnóstico del estudio en ejecución.



3.2.10.1.2 Reconocimiento de campo

Entre el 20 y el 30 de junio de 2017 el personal de la Unión Temporal POMCA Río Turbo-Currulao efectuó la inspección de campo en la zona de influencia de la cuenca, para las diferentes unidades geológicas existentes en la zona con el fin de establecer las condiciones reales de orden geológico, geomorfológico, geotécnico e hidráulico, de tal manera que las caracterizaciones de las unidades correspondan a las apreciaciones allí realizadas.

Como objetivo principal de la visita se estableció el reconocimiento detallado del área de la cuenca, lo que sirvió para definir precisar aspectos de orden geológico y geomorfológico; así mismo se corroboraron los sitios para exploración del subsuelo (plan aprobado previo a la salida en campo) y ensayos de campo a fin de obtener los parámetros para evaluar las condiciones geotécnicas de la cuenca e identificar unidades con características homogéneas que permitan prever el comportamiento del terreno, de acuerdo con las UGS previamente definidas.

Para las labores de campo se contó con un equipo de trabajo para los apiques manuales y/o trincheras conformado por un geotecnista, un geólogo, un técnico laboratorista, dos apiqueros y un conductor con el respectivo vehículo y el permanente acompañamiento de líderes de las respectivas comunidades visitadas.

3.2.10.1.3 Exploración del subsuelo

Para la caracterización litológica y geomecánica de los materiales que conforman el área de la cuenca, y considerando criterios de inestabilidad como son los procesos morfodinámicos, la inclinación de laderas, el grado de fracturamiento de las rocas, las unidades geológicas superficiales UGS y debido a que la inestabilidad es inversamente proporcional al grado de competencia litológica, se realizaron 48 apiques donde se obtuvieron 90 muestras superficiales de suelo y/o roca (alteradas e inalteradas) ver Figura 95 y Figura 96, para la caracterización de unidades superficiales que presentan susceptibilidad alta y/o media a deslizamientos. Ver [Anexo 44](#).

En cada sitio propuesto se realizó toma de muestras de suelo y/o roca, pruebas con el penetrómetro de bolsillo y/o el martillo Smith el que aplicaba, ver Figura 99 y Figura 100. Se realizaron únicamente apiques manuales y/o trincheras, para toma de muestras de suelo y/o roca, con el objeto de determinar parámetros geotécnicos de las unidades geológicas superficiales, de acuerdo con el protocolo de la gestión del riesgo para definir el conjunto de materiales superficiales (rocas y suelos (depósitos)) junto con sus rasgos estructurales y caracterizar su comportamiento geomecánico mediante estimaciones de propiedades índices o a través de correlaciones de parámetros comparativos, la toma de muestras y los respectivos análisis de laboratorio.

Los sitios se seleccionaron teniendo en cuenta los siguientes criterios:

Caracterizar geotécnicamente lo mejor posible las UGS. Puntos identificados en campo en recorridos anteriores por profesionales de geología. Posibilidad de acceso carretable a zonas de exploración. Identificación de procesos geomorfodinámicos y a la Susceptibilidad del terreno a procesos de remoción en masa, cuyo factor es la inestabilidad.



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

Durante las actividades de exploración del subsuelo se diligenciaron el Formatos 3 y el Formato 4 del Protocolo (ver [Anexo 41](#)) donde se describieron los materiales encontrados consignando en cada caso: espesor, tipo de material, tamaño de grano, distribución granulométrica, color, plasticidad y contenido de humedad. Así mismo se registró en cada uno de los puntos de exploración el nivel freático. La compilación de los registros en resúmenes gráficos facilita la comprensión del modelo geológico – geotécnico y permite agrupar en niveles los diferentes materiales encontrados, por lo que los registros de campo obtenidos durante la exploración se procesaron en forma gráfica.



Figura 95. EG-09A sobre suelos residuales de arcillas muy saturadas de hasta 4m de espesor. Toma de muestra inalterada en tubo PVC de 3" (1063411E - 1375820N)
Fuente: Elaboración propia.



Figura 96. EG-20 Margen izquierda quebrada afluente de la quebrada Los Indios. Toma de muestra inalterada en tubo PVC de 3" de lodolita meteorizada (1044209E - 1392712N).
Fuente: Elaboración propia.



Figura 97. EG-03 Vía Nacional Apartadó - Turbo. Sector plano estable, fácil de socavar en cuerpos de agua (1047538E - 1379080N).
Fuente: Elaboración propia.



Figura 98. Empaque y rotulado para embalaje de la muestra inalterada en caja (1047538E - 1379080N).
Fuente: Elaboración propia.



Figura 99. EG-09B sobre la margen derecha del río Currulao, sobre roca. Prueba con martillo Schmidt en lodolita meteorizada (1063309E – 1375915N).
Fuente: Elaboración propia.



Figura 100. EG-33 Talud superior vía, socavación Caimán Viejo. Prueba con penetrómetro en arcillas con resistencia residual (1039189E – 1415538N).
Fuente: Elaboración propia.

Se realizaron cuarenta y ocho (48) exploraciones manuales en sitios previamente seleccionado en toda el área de la cuenta, a profundidades variables, en cada sitio se extrajo una o varias muestras (alteradas e inalteradas), para un total de 90 muestras, que fueron analizadas sus diferentes propiedades en laboratorio.

A continuación, se presenta un resumen de las unidades de geología, las cuales se mencionan con frecuencia en este documento:

- **Ngam:** Unidad Arenas Monas: Conglomerados arenosos que varían a arenas conglomeráticas en la base y parte media hacia el techo arenitas y limolitas, es común encontrar estratificación cruzada y contactos erosivos.
- **Ngps4:** Principalmente lodolítica (75%) intercalados con arenitas en la parte inferior del conjunto. La lodolitas presentan un aspecto abigarrado y se encuentra usualmente mineral de yeso y jarosita en fracturas y planos de estratificación.
- **Ngps3:** Arenitas y lodolitas en proporciones parecidas, las arenitas son de grano fino, bien cementadas y en capas medianas tabulares, las lodolitas son grises oscuras y se presentan en capas delgadas intercaladas con las arenitas.
- **Ngps2:** Principalmente lodolitas abigarradas de aspecto macizo, en capas de hasta 30 m de espesor con abundante materia carbonosa, intercaladas con capas de areniscas con cemento calcáreo, de grano fino a muy fino
- **Ngps1:** Areniscas cuarzosas de color pardo, de grano fino a muy fino; localmente cemento calcáreo. En la composición, se presenta chert negro, restos de plantas e intraclastos de lodolitas; y a la base ocurren esporádicos lentejones de carbón.
- **Ngpi3:** Conjunto superior: 70 % arenitas conglomeráticas con cemento calcáreo (conchas) en capas tabulares y 30% de lodolitas arenosas con estratificación media y presencia de bioturbación.



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

- **Ngpi2:** Conjunto medio: 70% de lodolitas y lodolitas arenosas ocasionalmente con nódulos de siderita en paquetes de hasta 15 m y 30% de arenitas en capas delgadas y tabulares con presencia de materia orgánica.
- **Ngpi1:** Conjunto inferior: 70% arenitas líticas calcáreas (bien cementadas) de grano medio con lentes conglomeraticos, ocasionalmente presenta materia orgánica como tallos, hojas y raíces oxidadas.

En la Tabla 42 se listan las coordenadas, cotas, la unidad geológica, cantidad de muestras, municipio y vereda de la exploración llevada a cabo en el área estudiada y su distribución en planta se muestra en la Figura 101.

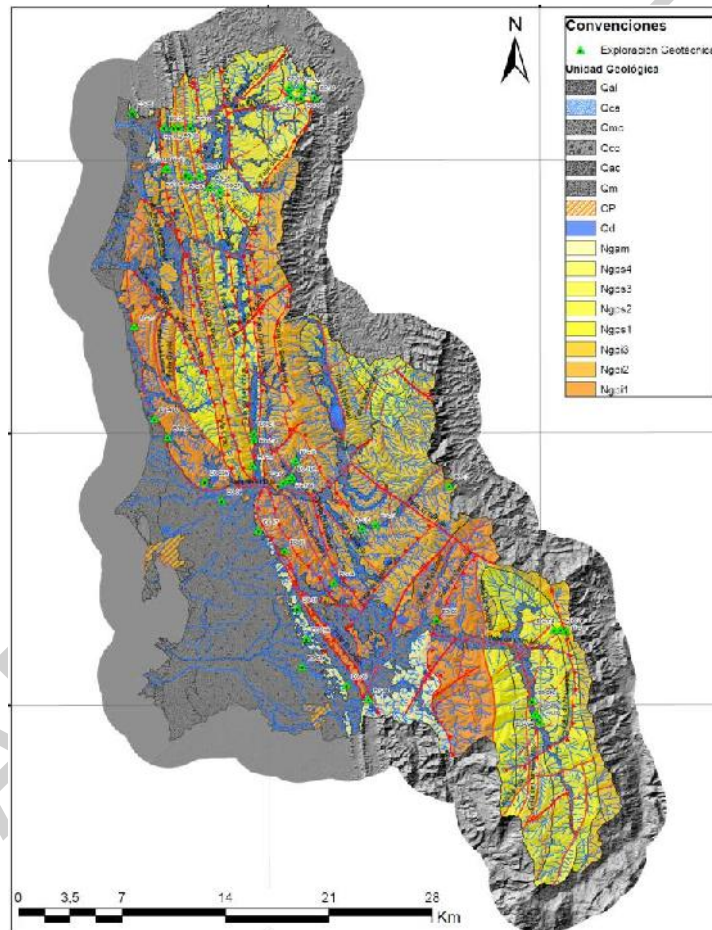


Figura 101. Espacialización de los puntos de Exploración Geotécnica – EG.
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 42 se listan las coordenadas de cada sitio de exploración geotecnia - EG, identificándose los puntos en el orden con los recorridos realizados.



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

Tabla 42: Sitios Exploración Geotécnica – EG

FECHA DE EJECUCION	ORDEN DE EJECUCION	SITIO - CÓDIGO	COORDENADAS MAGNA SIRGAS ORIGEN OESTE (Tomadas con GPS navegador)			UNIDAD GEOLÓGICA	CANTIDAD DE MUESTRA	MUNICIPIO	VEREDA
			Este (m)	Norte (m)	Altitud (m)				
21/06/2017	1	EG-09	1063627	1375363	271	Unidad Pavo Superior 3	3	Apartadó	Playa Larga
	2	EG-09A	1063411	1375820	224	Unidad Pavo Superior 3	1	Apartadó	Playa Larga
	3	EG-09B	1063309	1375915	208	Unidad Pavo Superior 3	1	Apartadó	Playa Larga
	4	EG-09C	1063082	1376738	199	Unidad Pavo Superior 3	1	Apartadó	Playa Larga
22/06/2017	5	EG-06	1056637	1382231	120	Unidad Pavo Inferior 1	2	Turbo	Bocas de Tío López
	6	EG-05	1050534	1377825	53	Unidad Arenas Monas	2	Turbo	Hacienda de Currulao
	7	EG-03	1047538	1379080	30	Depósitos cuaternarios aluviales	1	Turbo	Coldesa
23/06/2017	8	EG-12	1057486	1391312	353	Unidad Pavo Inferior 2	3	Turbo	Caracolí
	9	EG-13	1052509	1388682	92	Unidad Pavo Inferior 2	3	Turbo	Caracolí
	10	EG-15	1051604	1388444	77	Depósitos cuaternarios aluviales	1	Turbo	Caracolí
	11	EG-14	1049702	1384776	76	Unidad Pavo Inferior 1	2	Turbo	La Trampa
24/06/2017	12	EG-11	1047228	1383023	47	Unidad Arenas Monas	2	Turbo	La Trampa
	13	EG-08	1065380	1381480	539	Unidad Pavo Inferior 3	2	Turbo	La Carbonera
	14	EG-07	1065016	1381614	455	Unidad Pavo Superior 2	2	Turbo	La Carbonera
	15	EG-07A	1064568	1381563	417	Unidad Pavo Superior 2	2	Turbo	La Carbonera
	16	EG-04	1052033	1376910	80	Unidad Arenas Monas	1	Turbo	La Arenera
	17	EG-18	1047097	1393041	111	Unidad Pavo Inferior 2	3	Turbo	La Playona
25/06/2017	18	EG-18A	1046868	1391895	60	Unidad Pavo Inferior 2	2	Turbo	La Playona
	19	EG-19A	1046710	1391731	40	Unidad Pavo Inferior 2	1	Turbo	La Playona
	20	EG-19	1046268	1391527	54	Unidad Pavo Inferior 1	2	Turbo	La Playona
	21	EG-16	1046349	1386924	54	Unidad Pavo Inferior 1	2	Turbo	La Esperanza
26/06/2017	22	EG-17	1044576	1388273	13	Unidad Arenas Monas	1	Turbo	La Piscina
	23	EG-21	1044294	1394934	40	Unidad Pavo Superior 2	4	Turbo	Manuel Cuello



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

FECHA DE EJECUCION	ORDEN DE EJECUCION	SITIO - CÓDIGO	COORDENADAS MAGNA SIRGAS ORIGEN OESTE (Tomadas con GPS navegador)			UNIDAD GEOLÓGICA	CANTIDAD DE MUESTRA	MUNICIPIO	VEREDA
			Este (m)	Norte (m)	Altitud (m)				
27/06/2017	24	EG-21A	1044293	1394457	44	Unidad Pavo Superior 2	1	Turbo	Manuel Cuello
	25	EG-20	1044209	1392712	64	Unidad Pavo Superior 2	2	Turbo	Manuel Cuello
	26	EG-40	1038460	1394629	23	Unidad Pavo Inferior 1	1	Turbo	Cope
	27	EG-39	1042105	1390318	23	Depósitos cuaternarios aluviales	2	Turbo	El Porvenir
	28	EG-27	1042016	1411246	46	Unidad Pavo Superior 2	3	Necoclí	Aguas Claras
	29	EG-28	1041317	1411531	77	Unidad Pavo Superior 2	2	Necoclí	Aguas Claras
	30	EG-29	1040603	1412331	114	Unidad Pavo Superior 1	1	Necoclí	Aguas Claras
	31	EG-30	1039917	1412200	166	Unidad Pavo Inferior 3	1	Necoclí	Aguas Claras
	32	EG-30A	1039701	1412366	201	Unidad Pavo Inferior 3	1	Necoclí	Aguas Claras
	33	EG-31	1038305	1412797	74	Unidad Pavo Inferior 2	1	Necoclí	El Totumo
	34	EG-31A	1038427	1412766	86	Unidad Pavo Inferior 2	1	Necoclí	El Totumo
	35	EG-20A	1040964	1391613	106	Unidad Pavo Inferior 1	1	Turbo	Piedrecitas
	36	EG-32	1039993	1415574	56	Unidad Pavo Superior 1	2	Necoclí	La Caña
	37	EG-33	1039189	1415538	33	Unidad Pavo Inferior 3	3	Necoclí	La Caña
	28/06/2017	38	EG-33A	1038862	1415538	35	Unidad Pavo Inferior 3	1	Necoclí
39		EG-34	1038222	1415565	35	Unidad Pavo Inferior 2	2	Necoclí	La Caña
40		EG-35	1036066	1416557	39	Unidad Arenas Monas	2	Necoclí	Casablanca
41		EG-23	1036202	1402091	24	Unidad Pavo Inferior 1	1	Turbo	Tie
42		EG-40A	1037556	1395863	40	Unidad Pavo Inferior 1	1	Turbo	Tie
29/06/2017	43	EG-36A	1046803	1417665	67	Unidad Pavo Superior 4	2	Necoclí	Barro Arriba
	44	EG-36B	1046656	1418286	114	Unidad Pavo Superior 4	2	Necoclí	Bellavista
	45	EG-36	1047487	1418215	156	Unidad Pavo Superior 4	2	Necoclí	Bellavista
	46	EG-38A	1047470	1417562	78	Unidad Pavo Superior 4	2	Necoclí	Barro Arriba
	47	EG-38	1048405	1417612	184	Unidad Pavo Superior 3	1	Necoclí	Barro Arriba



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

FECHA DE EJECUCION	ORDEN DE EJECUC	SITIO - CÓDIGO	COORDENADAS MAGNA SIRGAS ORIGEN OESTE (Tomadas con GPS navegador)			UNIDAD GEOLÓGICA	CANTIDAD DE MUESTRA	MUNICIPIO	VEREDA
			Este (m)	Norte (m)	Altitud (m)				
30/06/2017	48	EG-01A	1047830	1380967	40	Unidad Arenas Monas	5	Turbo	Puerto Cesar
15/09/2016	49	AS10	1037514	1395869		Unidad Pavo Inferior 1	5	Turbo	Tie
22/09/2016	50	AS11	1041522	1389325		Depósitos cuaternarios aluviales	4	Turbo	El Porvenir
29/08/2016	51	AS27	1036879	1414696		Depósitos cuaternarios aluviales	4	Turbo	Nueva Pampa
05/09/2016	52	AS29	1036043	1410219		Depósitos cuaternarios aluviales	5	Turbo	La Ceibita
05/09/2016	53	AS30	1035341	1407802		Depósitos cuaternarios aluviales	4	Turbo	Tie
22/09/2016	54	AS31	1038137	1394208		Depósitos cuaternarios marino	5	Turbo	Veracruz
22/09/2016	55	AS32	1044221	1389428		Unidad Pavo Inferior 1	5	Turbo	La Piscina
22/09/2016	56	AS33	1039951	1388896		Depósitos cuaternarios aluviales	6	Turbo	El Porvenir
08/07/2016	57	UN501	1039583	1377842		Depósitos cuaternarios marino	4	Turbo	Puerto Cesar
08/07/2016	58	UN4					5		
08/07/2016	59	A4	1064436	1374031		Unidad Pavo Superior 2	2	Apartadó	Playa Larga
09/07/2016	60	A6	1064635	1374062		Unidad Pavo Superior 2	3	Apartadó	Playa Larga
09/07/2016	61	A150					3		

Fuente: Elaboración propia

3.2.10.1.3.1 Cantidad de exploración geotécnica por unidad geológica

En la Tabla 43, se presenta un resumen de la exploración geotécnica realizada por cada unidad geológica existente en la cuenca.



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

Tabla 43. Resumen de Exploración Geotécnica EG por Unidad Geológica.

UNIDAD	SITIOS EG - POR UNIDAD GEOLÓGICA										TOTAL
Arenas Monas	EG-05	EG-11	EG-04	EG-17	EG-35	EG-01A					6
Pavo Superior 4	EG-36A	EG-36B	EG-36	EG-38A							4
Pavo Superior 3	EG-09	EG-09A	EG-09B	EG-09C	EG-38						5
Pavo Superior 2	EG-07	EG-07A	EG-21	EG-21A	EG-20	EG-27	EG-28	A4	A6		9
Pavo Superior 1	EG-29	EG-32									2
Pavo Inferior 3	EG-08	EG-30	EG-30A	EG-33	EG-33A						5
Pavo Inferior 2	EG-12	EG-13	EG-18	EG-18A	EG-19A	EG-31	EG-31A	EG-34			8
Pavo Inferior 1	EG-06	EG-14	EG-19	EG-16	EG-40	EG-20A	EG-23	EG-40A	AS10	AS32	10
Depósitos aluviales	EG-03	EG-15	EG-39	AS11	AS27	AS29	AS30	AS33			8
Depósito marino	EG-39	AS31	UN501								3

Fuente: Elaboración propia



3.2.10.1.3.2 Labores de oficina

3.2.10.1.3.2.1 Ensayos de laboratorio

Con el fin de caracterizar los materiales y determinar sus propiedades físicas y mecánicas, durante la exploración del subsuelo se tomaron muestras representativas de cada tipo de material, los cuales se transportaron a un laboratorio de suelos para realizar ensayos de humedad, granulometría, límites de Atterberg, índice de plasticidad, peso específico, consolidación, resistencia (cortes y compresión inconfiada), deformación (consolidación y control de expansión rápida), cohesión, fricción, peso unitario, ver Figura 102 y Figura 103.



Figura 102. Equipos para ensayos de expansión y consolidación (Labsuelos Santamaría SAS Bogotá).
Fuente: Elaboración propia.



Figura 103. Equipo para ensayos de corte directo (Labsuelos Santamaría SAS Bogotá).
Fuente: Elaboración propia.

3.2.10.2 Modelo geológico y geotécnico

Con base en la información geológica, geomorfológica y geotécnica se definió el modelo espacial, a partir del cual se sectorizó la cuenca. Particularmente se consideraron criterios litológicos, espesores y comportamiento general de los materiales en términos de resistencia y estabilidad.

A partir de los resultados de la exploración del subsuelo, de los ensayos de laboratorio, de la caracterización geomecánica de los materiales, del modelo geológico establecido, se definió la caracterización de las diferentes unidades geológicas de superficie.

3.2.10.3 Ensayos de laboratorio

En la Tabla 44 se presenta cuadro resumen de los ensayos de laboratorio realizados a las muestras tomadas en la exploración geotécnica. Ver soportes de ensayos de laboratorio en el [Anexo 45](#).

Tabla 44. Ensayos de laboratorio

ENSAYOS DE LABORATORIO	UNIDAD	CANTIDAD
Determinación del contenido de humedad natural	UND	89
Límites de consistencia	UND	63



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

ENSAYOS DE LABORATORIO	UNIDAD	CANTIDAD
Granulometría	UND	25
Lavado Pasa Tamiz 200	UND	40
Peso Unitario	UND	62
Resistencia a la compresión inconfiada en suelo	UND	28
Carga Puntual	UND	5
Corte Directo – CU (Tres puntos – Tiempo de falla 3 horas)	UND	25
Consolidación lenta	UND	4
Expansión libre	UND	9
Compactación	UND	4
Gravedad Específica	UND	17
Expansión Controlada en Consolidómetro	UND	15
Resistencia con Penetrómetro	UND	37
Resistencia con martillo SCHIMDT	UND	19

Fuente: Elaboración propia.

Ensayos de laboratorio realizados para suelos edáficos. En los trabajos de campo realizados para la toma de muestras de suelos agrologicos se realizaron ensayos de clasificación de Unidades de Capacidad de uso del Suelo, para un total de 55 muestras de suelos (adicional a los análisis propios para suelos edafológicos) correspondientes a muestras de 13 apiques. La Tabla 45 presenta un resumen de los ensayos de laboratorio suelos realizados para suelos edáficos.

Tabla 45. Ensayos de Laboratorio Realizados para suelos Edáficos.

ENSAYOS DE LABORATORIO SUELOS EDÁFICOS	UNIDAD	CANTIDAD
Límites de consistencia	UND	17
Granulometría	UND	55
Gravedad Específica	UND	38
Porosidad Total	UND	36

Fuente: Elaboración propia.

De las muestras recuperadas durante la fase de exploración se seleccionaron algunas representativas de cada una de las unidades identificadas y se sometieron a las pruebas de laboratorio. El programa de ensayos se dirigió a la caracterización física de las unidades de suelo y a la estimación de la resistencia.

Para la determinación de las propiedades índice de los suelos y el ajuste de las descripciones realizadas en campo, se realizaron los siguientes ensayos de clasificación: humedad natural, límites líquido y plástico, lavado sobre el tamiz N°. 200, granulometrías, peso unitario y gravedad específica.

Los parámetros de resistencia de los materiales del subsuelo se establecen a partir de ensayos de compresión inconfiada, carga puntual, corte directo en condición sumergida, practicados a muestras inalteradas y representativas de cada unidad. De otra parte, los parámetros de deformación para las unidades se establecieron a partir de ensayos de consolidación.

En el [Anexo 45](#) se presentan los resultados de los ensayos de laboratorio efectuados sobre las muestras representativas, así mismo se incluye el resumen de estos resultados en la Tabla 46 en la cual se sintetizan los valores obtenidos para las unidades



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO - CURRULAO

identificadas en el área de interés, de acuerdo con su caracterización, resistencia de los materiales y propiedades geomecánicas. En estas tablas se puede comparar los diferentes rangos de valores de propiedades geomecánicas de cada una de unidades identificadas y analizadas.

Los mínimos requeridos para la toma de muestras para los análisis de laboratorio de clasificación son: humedad, granulometría, límites de Atterberg, índice de plasticidad, peso específico, consolidación, resistencia (cortes y compresión inconfiada), deformación (consolidación y control de expansión rápida), cohesión, fricción, peso unitario.



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

Tabla 46. Resumen de resultados de laboratorio por unidades geológicas

TIPO DE ENSAYO	MATERIALES					MATERIALES					Aluviales	Marinos								
	Ngam	Ngps4	Ngps3	Ngps2	Ngps1	Ngpi3	Ngpi2	Ngpi1												
Contenido de humedad (%)	5,9	34,0	43,1	8,3	27,9	12,6	40,6	16,9	28,6	8,1	32,1	36,7	10,1	32,8	22	35,1				
Limite liquido (%)	NL	59,9	62,9	21	59,2	20,4	78,1	60,2		32,6	43,3	36,9	62,6	89,5	36,7	95,37	46,6	71,45		
Limite Plástico (%)	NP	22	12,8	19,6	15,9	17,5	15,3	29	22,1	13,8	18,9	12,6	21	5,6	8	5	65,18	22,5	33,49	
Índice de Plasticidad (%)	NP	9	37,5	43,3	5,3	41,7	2,6	52,3	38,1	22,4	24,3	23,3	43	7,9	9	4	46,21	24,1	96	
Índice de Liquidez (%)	-	68,17	11,5	34,27	-6,5	24,9	-112	66,3	17	-8,1	61,4	1,9	7	-78	157	1	9	56,1	93,7	88,2
Grava (%)	0	9,6	0	1,9	0	6,5	0	0,2	0	0,2	2,1	0	5,5	0	0	0	0	0	0	
Arena (%)	1,7	80,5	27,3	71,1	0,9	56,3	0	1,1	99,46	13,2	94,6	1,1	4	5,5	9	1,8	74,49	0,72	84	
Finos (%)	5	3	27	8	96,3	99,1	37,2	99,9	60	4	6	6	7	1	5	1	99,1	6	28	
Clasificación USCS	SC-CL-CH	CL-CH-SC	CH - CL	CH - CL	CH	CL - SC	CH - CL	CH	CL - SC	CH - CL	SC	CL-CH-MH-SC	CH-CL-MH	CL - SC						
Peso Unitario Húmedo (Ton/m³)	1,8	2,0	1,8	1,9	1,84	2,33	1,76	2,04	1,73	1,9	2,1	1,6	2,2	1,8	2,2	1,74	1,96			
Peso Unitario Seco (Ton/m³)	1,5	1,8	1,2	1,5	1,48	2,11	1,24	1,66	1,34	1,6	1,9	1,3	1,9	1,3	2,0	1,29	1,61			
Resistencia compresión inconfina da (Kpa)	28	926	17	177	56	70	11	86	42	87	117	16	117	58	139	26	96			



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

TIPO DE ENSAYO	MATERIALES					MATERIALES					Aluviales	Marinos						
	Ngam	Ngps4	Ngps3	Ngps2	Ngps1	Ngpi3	Ngpi2	Ngpi1										
Resistencia drenada - Cu- (Kpa)	14	463	8,5	88,5	28	35	5,5	43	21	43,5	58,5	8	58,5	29	69,5	13	48	-
Ángulo de Resistencia al Corte fi (°)	19,1	39,25	29,28		19,29	31,8	10,41	33,69	31,62	30,33	33,57	16,86	33,26	13,05	29,3	26,12	30,27	-
Resistencia al corte drenada - C- (Kpa)	29	235	58		33	49	19	39,8	66	51	85	19	56	31	40	27	49	-
índice de compresión - Cc	-	-	-	0,21	-	-	0,2	-	-	-	-	0,21	0,28	-	-	-	-	-
índice de recompresión - Cr	-	-	-	0,1	-	-	0,1	-	-	-	-	0,04	0,16	-	-	-	-	-
índice secundario de compresión - Cs	-	-	-	0,03	-	-	0,04	-	-	-	-	0,04	0,06	-	-	-	-	-
Expansión libre - Presión expansión (Kpa) %	-	287	92	283	285	304	-	107	288	406	-	211	-	-	-	-	-	
Expansión	-	21,18	12,32	15,76	16,65	18,82	-	6,47	15,31	18,68	-	10,35	-	-	-	-	-	
Expansibilidad	-	Muy Crítica	Muy Crítica	Muy Crítica	Muy Crítica	Muy Crítica	-	Marginal	Muy Crítica	Muy Crítica	-	Crítica	-	-	-	-	-	
Expansión controlada	305	334	238	326	131	322	204	136	184	405	160	160	240	-	-	-	-	



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

TIPO DE ENSAYO	MATERIALES					MATERIALES								
	Ngam	Ngps4	Ngps3	Ngps2		Ngps1	Ngpi3		Ngpi2	Ngpi1		Aluviales		Marinos
presión exp (Kpa)														
Expansibilidad	Muy Crítica	Muy Crítica	Muy Crítica	Mar gin	Muy Crít	Crítica	Marginal	Muy Crítica	Marginal	Crítica	Muy Crít			
Gravedad específica														
- (gr/cm3)	2,6 - 2,7 3 - 5	-	2,62	2,63 - 2,74		2,75	2,6 - 2,7 4 - 1	2,6 - 2,6 3 - 8	2,3 - 2,7 6 - 3	1,56 - 2,81	2,31 - 2,8			
Carga Puntual kPa	76	-	-	-	-	-	134 - 415	-	18 - 82	-	-	-	-	-
Densidad Seca máxima Ton/m3	1,8 - 1,9 2 - 9	-	-	-	-	-	-	1,85	1,7	-	-	-	-	-
Humedad óptima (%)	11,8 - 13	-	-	-	-	-	-	15,3	17,3	-	-	-	-	-
Porosidad Total (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	49,06 - 67,37	40,81 - 54,09	48,5 - 58,13			
Resistencia Penetrometro (Kpa)	50 - 350	20 - 350	60 - 410	10 - 500	80 - 170	70 - 420	10 - 450	20 - 400	10 - 370					
Promedio (Kpa)	149	163	157	138	125	214	151	91	90					
Resistencia compresión Schimdt (Mpa)	10	10	14 - 17,4	10	10 - 18	10 - 26	10 - 16	10 - 23						
Promedio Mpa	10	10	15,6	10	14	16,7	11,8	13,25						
	MUY BLANDO	MUY BLANDO	BLANDO	MUY BLANDO	BLANDO	BLANDO	MUY BLANDO	BLANDO	MUY BLANDO	MUY BLANDO	MUY BLANDO			

Fuente: Elaboración propia.



3.2.10.4 Análisis de ensayos de laboratorio

3.2.10.4.1 Carta de plasticidad

Clasificación de suelos de partículas finas en el laboratorio del sistema unificado de clasificación de suelos – SUCS de Arthur Casagrande, donde se relaciona el límite líquido con el índice plástico.

La Figura 104 es tomada como información de referencia del libro de Ingeniería Geológica de (González Vallejo, 2002), donde muestra que la cantidad de agua adsorbida por los minerales de la arcilla dependen de la capacidad de cambio catiónico y de la superficie específica. Las plasticidades bajas corresponden a las caolinitas y las más altas a las esmectitas, siendo las montmorillonitas sódicas las más elevadas dentro del este grupo.

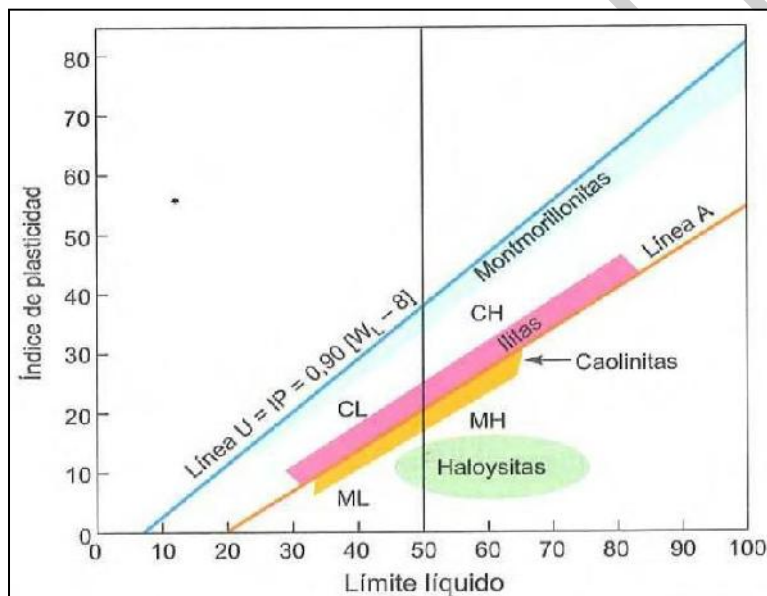


Figura 104. Influencia de la Composición Mineralógica en la Plasticidad – Day 1999
Fuente: (González Vallejo, 2002)

En él se presentan las propiedades de las unidades geológicas, donde se muestran las cartas de plasticidad realizadas para cada unidad geológica de acuerdo con los ensayos de laboratorio de muestras tomadas en las zonas con susceptibilidad media y alta de la cuenca. Se observa homogeneidad de los materiales predominantemente arcillosos de clasificación CL y CH, y la mayoría de las muestras se clasifican de media a alta plasticidad.

De acuerdo con la composición mineralógica en la carta de plasticidad de la Figura 104 las arcillas de la cuenca están compuestas principalmente por minerales de montmorillonitas, iltas y algo de caolinitas en su respectiva proporción (por su proximidad con la línea U de la Figura 104).

3.2.10.4.2 Índice de liquidez



Indica en suelos plásticos la historia de esfuerzos a que ha estado sometido el suelo. El índice de liquidez muestra, de acuerdo con los resultados de laboratorio y la Tabla 47, que en general el 55% de las muestras ensayadas de suelos se encuentran en estado de normalmente consolidado a ligeramente sobre consolidado y el 45% de las muestras ensayadas de suelos se encuentran en estado mediana a fuertemente sobre consolidado.

Tabla 47. Índice de Liquidez y comportamiento de suelos

Valor IL %	CARACTERÍSTICAS	COMPORTAMIENTO ESPERADO
IL<0	Suelos mediana a fuertemente sobreconsolidados	Suelos duros con resistencias inconfiadas mayores de 100 kPa
0<IL<100	Suelos ligeramente sobreconsolidado a normalmente consolidado	Suelos de resistencia inconfiada media variando entre 30kPa y 100kPa
IL>100	Suelo normalmente consolidado o en estado de líquido viscoso	Suelos de baja resistencia (<30kPa), sensibles al remoldeo.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.10.4.3 Índice de Consistencia Relativa – CR

Este índice es útil en el estudio del comportamiento en campo de suelos de grano fino saturados.

Si $CR < 0$, o sea, $w_n > LL$ el amasado del suelo lo transforma en un lodo viscoso.

CR cercano a 0 indica que el suelo tiene resistencia a la compresión inconfiada entre 0,25 - 1,00 kg/cm².

CR cercano a 1 indica que el suelo tiene resistencia a la compresión inconfiada entre 1,00 - 5,00 kg/cm².

La resistencia al esfuerzo cortante del suelo crece en la medida en que $0 < CR < 1$.

0,00 < CR < 0,25 - Suelo muy blando

0,25 < CR < 0,50 - Suelo blando

0,50 < CR < 0,75 - Suelo de consistencia media

0,75 < CR < 1,00 - Suelo de consistencia rígida

El índice de consistencia relativa de los resultados obtenidos de en laboratorio, muestra que los suelo presentan diferente consistencia desde consistencia muy blanda a consistencia rígida, ver Tabla 46.

3.2.10.4.4 Humedad de Equilibrio

Se ha definido como aquella humedad que corresponde a la avidéz natural del suelo por el agua; si la humedad natural es inferior, el suelo buscará satisfacerla, proceso en el cual tiene lugar la expansión.

En general se observa que la humedad natural es menor que la de equilibrio en las muestras obtenidas, por lo tanto, el suelo se expandirá para buscar la cantidad de agua y alcanzar la humedad de equilibrio especialmente en temporadas de lluvias, aumentando los procesos de remoción de masas.

3.2.10.4.5 Peso Específico



El peso específico (Gs) mide la densidad de la fase sólida de un suelo en relación a la densidad del agua. Debido a que la mayoría de arenas están compuestas por cuarzo o minerales del grupo de los feldespatos y a que las arcillas están compuestas por caolinita o illita, el peso específico de los suelos varía en un rango estrecho de 2.7 ± 0.1 (Kramer, 1996). Existen excepciones debidas a la presencia de algunos minerales livianos y a altos contenidos de materia orgánica. La Tabla 48 presenta los valores típicos de peso específico para algunos suelos.

Tabla 48. Peso específico. Valores típicos para suelos (Bowles, JE. (1997).

TIPO DE SUELO	Gs[-]
Gravas	2.65 - 2.68
Arenas	2.65 - 2.68
Limos inorgánicos	2.62 - 2.68
Arcillas inorgánicas	2.68 - 2.75
Arcillas orgánicas	2.58 - 2.65
Turbas y suelos orgánicos	2.30 - 2.50

Fuente: (BOWLES, 1996).

De acuerdo con los resultados obtenidos de las muestras ensayadas se presenta la mayor dispersión de valores de gravedad específica en materiales especialmente de los depósitos aluviales y marinos respectivamente, debido a que se encuentran conformados por diversidad de materiales presentes en la cuenca. En la Tabla 46 se muestran los rangos de valores obtenidos por unidad analizada.

3.2.10.4.6 Peso Unitario Total (Bulk), Peso Unitario Seco, Peso Unitario Saturado

Los diferentes cálculos del peso unitario relacionan el peso de la fase sólida y la fase líquida respecto al volumen que ocupan. Su determinación es importante para el cálculo de esfuerzos verticales y horizontales. La Tabla 49 presenta los intervalos de variación típicos para el peso unitario de los suelos.

Tabla 49. Peso unitario. Valores típicos para suelos

Arena uniforme suelta	14.0	18.5
Arena uniforme densa	17.2	20.5
Arena mixta suelta	15.6	19.5
Arena mixta densa	18.2	21.2
Arcillas y limos inorgánicos	11.0	18.0
Arcillas y limos blandos ligeramente orgánicos	9.1	15.5
Arcillas y limos blandos altamente orgánicos	6.7	14.4

Fuente: (LAMBE & TW & Whitman, 1969).

3.2.10.4.7 Parámetros de consolidación

Los parámetros de consolidación: coeficiente de compresión virgen (CC), coeficiente de recompensación (Cr), coeficiente de compresión secundaria (Cs) y coeficiente de consolidación (CV), deberán obtenerse principalmente de ensayos de consolidación rápida o lenta, de acuerdo con las características descritas en la Tabla 46.

3.2.10.4.8 Esfuerzo de preconsolidación y grado de sobreconsolidación



El grado de sobreconsolidación es una medida de la historia de esfuerzos del suelo y de las condiciones de intemperismo o meteorización que ha soportado. El grado de sobreconsolidación se mide mediante la Relación de Sobre-Consolidación (RSC), definida como el cociente entre el esfuerzo máximo vertical soportado por el suelo en su historia geológica (esfuerzo de preconsolidación σ'_p) y el esfuerzo vertical actual soportado por el suelo (σ'_o) (ver ecuación a continuación). La Tabla 50 presenta una clasificación de suelos según la RSC.

El esfuerzo de preconsolidación debe estimarse directamente de la curva de consolidación en el plano $\log(\sigma'_o)$ vs e , mediante el procedimiento gráfico descrito en la Figura 105.

Ecuación 11. Relación de Sobre-Consolidación.

$$RSC = \frac{\sigma'_p}{\sigma'_o}$$

Tabla 50. Clasificación de acuerdo al grado de Sobreconsolidación

CLASIFICACIÓN	RSC
Normalmente Consolidado	1.0
Normalmente consolidado a ligeramente sobreconsolidado	1.1 – 1.5
Sobreconsolidado	1.5 – 10.0
Fuertemente sobreconsolidado	> 10.0

Fuente: (Karlsson & Hansbo, 1981).

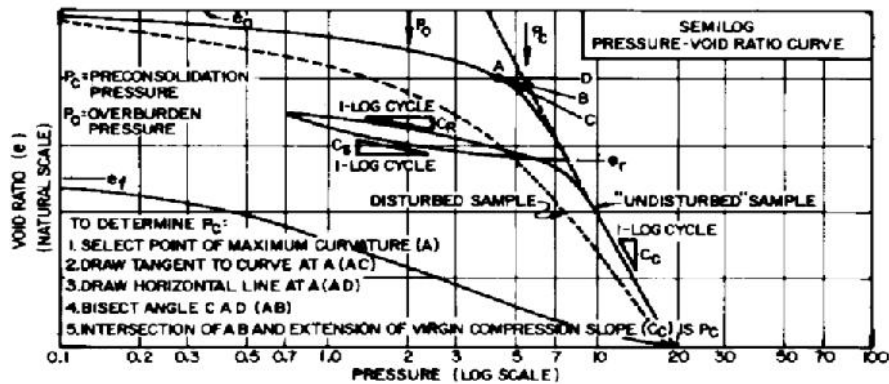


Figura 105. Estimación de esfuerzo de preconsolidación.

Fuente: (Department of Defense, United States of America, 2005)

En términos generales de acuerdo con los resultados obtenidos en el laboratorio para las muestras ensayadas en consolidación lenta tenemos suelos de normalmente consolidados a sobreconsolidados.

3.2.10.4.9 Expansividad

La expansividad se relaciona con el contenido arcilloso por lo tanto se emplean parámetros de caracterización de arcillas para evaluar y graduar la posible expansividad de un suelo.

Se define un suelo expansivo como aquel que sufre un incremento de volumen importante ante la presencia o el aumento de humedad. Generalmente los suelos que exhiben este comportamiento son aquellos que contienen minerales arcillosos de tipo



montmorillonita. En el laboratorio el potencial de expansión se puede determinar mediante el ensayo ASTM D4829 o mediante el aparato de Lambe que permite la estimación de las presiones producidas por la expansión (ver clasificación de la Tabla 51 de tomada de (LAMBE & TW & Whitman, 1969). En caso de no contar con ensayos de laboratorio de expansividad, se pueden usar los valores de límites mencionados por los diferentes autores o las gráficas presentadas en el Gráfico 1.

Tabla 51. Criterios para determinación de potencial expansivo de suelos.

ASTM D 4829-08	Expansión Index, EI	Potencial Expansión
	0-20	Very Low
	21-50	Low
	51-90	Medium
	91-130	High
	>130	Very High

"EI" se define como 1000 veces la diferencia entre la altura inicial y final de la muestra de suelo dividida entre la altura inicial, según el procedimiento del estándar ASTM D 4829-08

NSR-10	Potencial de expansión	Expansión (%) medida en consolidómetro brajo presión vertical de 0,07 kgf/cm ²	Límite líquido LL, en (%)	Límite de contracción en (%)	Índice de plasticidad, IP, en (%)	Porcentaje de partículas menores de una micra (μ)	Expansión libre EL en (%), medida en probeta
	Muy alto	>30	>63	<10	>32	>37	>100
	Alto	20-30	50-63	6-12	23-45	18-37	>100
	Medio	10-20	39-50	8-18	12-34	12-27	50-100
	Bajo	<10	<39	>13	<20	>17	>50

Fuente: Elaboración propia.

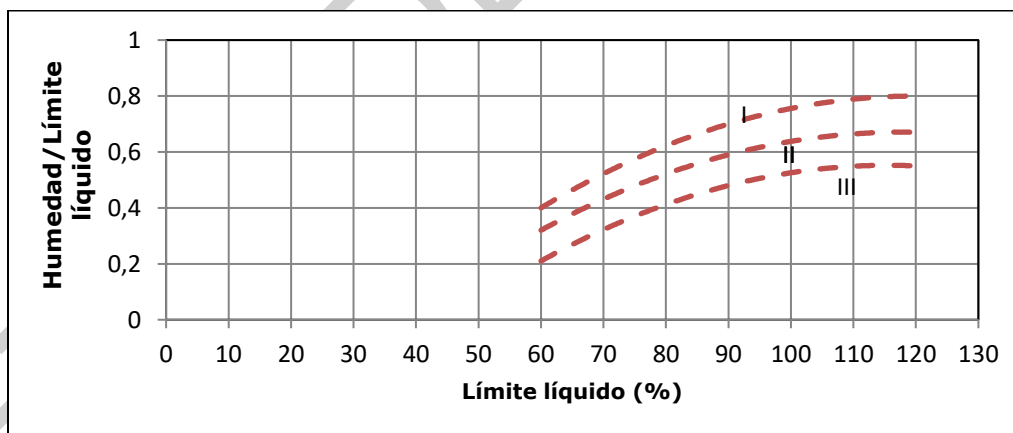


Gráfico 1. Criterios gráficos para determinación de potencial expansivo de suelos. Fuente: (Gon021).

La Tabla 52 indica cuatro grados de expansividad, en la que aparecen los intervalos de valores que definen estos cuatro grados en lo referente a contenido de finos y límite líquido. Además, se utilizan otros ensayos de laboratorio:

El ensayo de Lambe proporciona la presión que ejerce el suelo (remoldeado) al humedecerse en el interior de un molde y reacciona contra un pistón calibrado. El ensayo



de presión de hinchamiento es la máxima presión que desarrolla una muestra de suelo inalterado (dentro de un molde edométrico) cuando al humedecerse, se impide su hinchamiento.

El ensayo de hinchamiento libre, o máxima variación de espesor de una muestra inalterada en un molde edométrico cuando se humedece y se permite la expansión.

Tabla 52. Grado de Expansividad y Valores Medios de Parámetros Geotécnicos.

GRADO	EXPANSIVIDAD	FINOS (%)	LÍMITE LÍQUIDO	ÍNDICE LAMBE (KPA)	PRESIÓN DE HINCHAMIENTO KPA	HINCHAMIENTO LIBRE (%)
I	Baja	< 30	<35	<80	<25	<1
II	Baja a media	30-60	35-50	80-150	25-125	1-4
III	Media a alta	60-95	50-65	150-230	125-300	4-10
IV	Muy alta	>95	>65	>230	>300	>10

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 52 es tomada del libro de Ingeniería Geológica de Luis I. González de Vallejo 2002, la cual clasifica las arcillas analizadas en la cuenca, con un grado entre II y IV de expansividad media a muy alta.

En el Gráfico 2, se presenta los resultados obtenidos de peligrosidad de acuerdo con los resultados de laboratorio realizados a muestras de la exploración geotécnica. Donde se muestran resultados de expansividad desde Baja a muy Alta, correspondiendo los mayores valores especialmente a muestras analizadas de las unidades Pavo Superior 2, Pavo Inferior 2 e Inferior 1 y Pavo Superior 4, respectivamente (Ver Tabla 46 y Tabla 53).

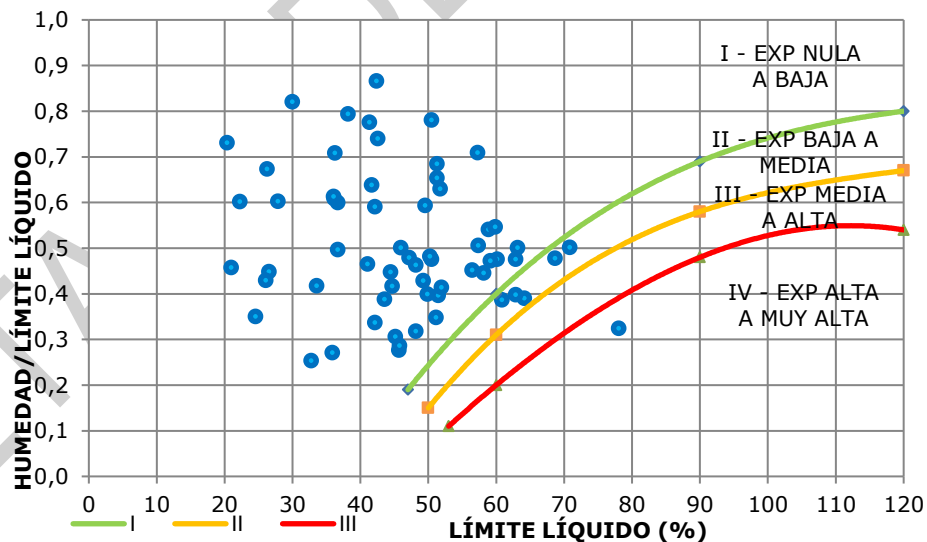


Gráfico 2. Criterio de peligrosidad a partir de la expansividad.
Fuente: Elaboración propia.

Basados en la relación entre el límite líquido y el cociente entre la humedad y el límite líquido, incluyendo datos de presión de hinchamiento e hinchamiento libre probable



planteado por Oteo en 1986 se elaboró el Gráfico 3 con los resultados de laboratorio realizados para el presente estudio. En la Tabla 53 se presenta el resumen del cálculo de expansividad.

Tabla 53. Resumen de cálculo de expansividad.

SITIO	MUESTRA	CLASIF SUCS	Wn	LL	Wn/LL	UNIDAD GEOLÓGICA
EG-09	1	CH	24,0	50,5	0,48	Unidad Pavo Superior 3
	2	CL	14,2	42,2	0,34	Unidad Pavo Superior 3
EG-09A	1	CL	19,9	44,5	0,45	Unidad Pavo Superior 3
EG-06	1	CH	29,0	57,4	0,51	Unidad Pavo Inferior 1
	2	CL	13,8	45,2	0,31	Unidad Pavo Inferior 1
	2	SC	17,7	26,3	0,67	Unidad Arenas Monas
EG-03	1	CL	22,0	36,7	0,60	Depósitos cuaternarios aluviales
EG-12	1	CH	31,8	58,9	0,54	Unidad Pavo Inferior 2
	2	CH	23,5	60,9	0,39	Unidad Pavo Inferior 2
EG-13	1	CL	22,6	47,2	0,48	Unidad Pavo Inferior 2
	2	CL	36,7	42,4	0,87	Unidad Pavo Inferior 2
EG-15	1	CL	31,5	42,6	0,74	Depósitos cuaternarios aluviales
EG-14	1	CL	26,6	41,7	0,64	Unidad Pavo Inferior 1
	2	CL	14,0	33,6	0,42	Unidad Pavo Inferior 1
	2	CL	24,9	42,2	0,59	Unidad Arenas Monas
EG-08	1	SC	16,9	43,6	0,39	Unidad Pavo Inferior 3
	2	CL	19,1	41,1	0,46	Unidad Pavo Inferior 3
	2	CL	29,4	49,6	0,59	Unidad Pavo Superior 2
EG-07A	1	CL	15,3	48,2	0,32	Unidad Pavo Superior 2
	2	CL	30,3	38,2	0,79	Unidad Pavo Superior 2
EG-04	1	CH	32,7	59,9	0,55	Unidad Arenas Monas
EG-18	1	CL	25,7	36,3	0,71	Unidad Pavo Inferior 2
	2	CH	17,8	51,2	0,35	Unidad Pavo Inferior 2
	2	CL	21,1	49,3	0,43	Unidad Pavo Inferior 2
EG-19	1	CH	25,5	56,5	0,45	Unidad Pavo Inferior 1
	2	SC	11,9	26,6	0,45	Unidad Pavo Inferior 1
	2	SC	16,8	27,9	0,60	Unidad Pavo Inferior 1
EG-17	1	CL	18,6	44,7	0,42	Unidad Arenas Monas
EG-21	1	CH	31,6	63,2	0,50	Unidad Pavo Superior 2
	2	CH	39,4	50,5	0,78	Unidad Pavo Superior 2
	3	CH	40,6	57,3	0,71	Unidad Pavo Superior 2
	4	SM	14,9	20,4	0,73	Unidad Pavo Superior 2
EG-21A	1	CH	24,2	50,3	0,48	Unidad Pavo Superior 2
EG-20	1	CL	22,3	48,2	0,46	Unidad Pavo Superior 2
	2	CL	23,0	46	0,50	Unidad Pavo Superior 2
EG-40	1	CH	32,6	51,8	0,63	Unidad Pavo Inferior 1
EG-39	1	CH	33,5	51,3	0,65	Depósitos cuaternarios aluviales
	2	CH	35,1	51,3	0,68	Depósitos cuaternarios aluviales
EG-27	1	CL	12,6	45,7	0,28	Unidad Pavo Superior 2
	2	CH	25,0	64,2	0,39	Unidad Pavo Superior 2
	3	CH	25,3	78,1	0,32	Unidad Pavo Superior 2
	2	CH	35,5	70,9	0,50	Unidad Pavo Superior 2



SITIO	MUESTRA	CLASIF SUCS	Wn	LL	Wn/LL	UNIDAD GEOLÓGICA
EG-29	1	CH	28,6	60,2	0,48	Unidad Pavo Superior 1
EG-31	1	CL	19,9	49,9	0,40	Unidad Pavo Inferior 2
EG-31A	1	CH	20,4	51,5	0,40	Unidad Pavo Inferior 2
EG-20A	1	CL-ML	13,1	45,8	0,29	Unidad Pavo Inferior 1
EG-33	1	CL	22,0	36,2	0,61	Unidad Pavo Inferior 3
	3	CL	32,1	41,4	0,78	Unidad Pavo Inferior 3
EG-34	1	CH	29,9	62,9	0,48	Unidad Pavo Inferior 2
	2	CH	25,9	58,2	0,45	Unidad Pavo Inferior 2
	2	SC	13,4	22,3	0,60	Unidad Arenas Monas
EG-23	1	CH	32,8	68,7	0,48	Unidad Pavo Inferior 1
EG-36A	1	CL	8,3	32,8	0,25	Unidad Pavo Superior 4
	2	CL	22,1	36,1	0,61	Unidad Pavo Superior 4
EG-36B	1	CL	8,6	24,6	0,35	Unidad Pavo Superior 4
	2	SC	11,2	26,1	0,43	Unidad Pavo Superior 4
EG-36	1	CH	21,5	52	0,41	Unidad Pavo Superior 4
	2	SM-SC	9,6	21	0,46	Unidad Pavo Superior 4
	2	CH	25,0	62,9	0,40	Unidad Pavo Superior 4
EG-38	1	CH	27,9	59,2	0,47	Unidad Pavo Superior 3
	3	CL	18,2	36,7	0,50	Unidad Arenas Monas
	4	CL	24,6	30	0,82	Unidad Arenas Monas
	5	CL	9,7	35,9	0,27	Unidad Arenas Monas

Fuente: Elaboración propia.

Con base en los criterios de expansividad de Oteo 1986 (para 4 grados de expansibilidad) y mostrados en la se tiene muestras que presentan expansividad alta a muy alta, muestras que presentan expansividad baja a media y muestras que presentan expansividad nula a baja.

La expansividad alta a muy alta se presenta en los siguientes sectores: EG-12-2 Vía Alto de Mulatos - El Tres, Margen derecha río Guadualito, EG-23-1 Vía La Caña - El Totumo, Margen derecha río Caimán Viejo, EG-27-2, EG-27-3 y EG-28-2 Vía Aguas Claras - El Totumo y la muestra EG-38A-2 Vía Pueblo Nuevo - Necoclí, Veredas Barro Arriba - Bellavista.

3.2.10.4.10 Expansión libre y controlada

En la Tabla 54 se presenta el resumen de los resultados obtenidos de los ensayos de expansión controlada con su respectiva calificación de expansividad y en la Tabla 55 se presenta el resumen de los resultados obtenidos de los ensayos de expansión libre con su respectiva calificación de expansividad. En el Gráfico 3 se presenta los resultados de la expansión libre y controlada en función del límite líquido.

Tabla 54. Resumen de resultados de expansión controlada

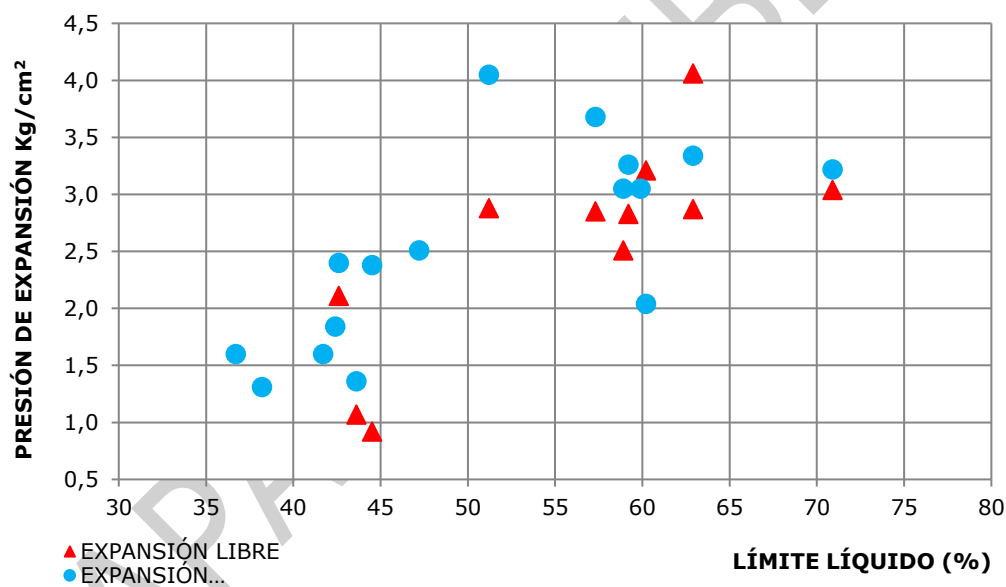
SITIO	MUESTRA	UNIDAD GEOLÓGICA	CLASIF SUCS	LÍMITE	FINOS	P. HUMEDO	UNIT PRESIÓN EXPANSIÓN	DE EXPANSIVIDAD
				LÍQ				
				%	%	Ton/M3	Kg/cm2	
EG-09A	1	Unidad Pavo Superior 3	CL	44,5	96,7	2,01	2,38	Muy Crítica
EG-03	1	Depósitos aluviales	CL	36,7	75,5	1,79	1,6	Crítica
EG-12	1	Unidad Pavo Inferior 2	CH	58,9	95,5	1,8	3,05	Muy Crítica



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

SITIO	MUEST	UNIDAD GEOLÓGICA	CLASIF SUCS	LÍMITE LÍQ	FINOS	P. HUMEDO	UNIT PRESIÓN DE EXPANSIÓN	DE EXPANSIVIDAD
EG-13	1	Unidad Pavo Inferior 2	CL	47,2	79,9	1,9	2,51	Muy Crítica
EG-13	2	Unidad Pavo Inferior 2	CL	42,4	80,9	1,81	1,84	Crítica
EG-15	1	Depósitos aluviales	CL	42,6	94,6	1,9	2,4	Muy Crítica
EG-14	1	Unidad Pavo Inferior 1	CL	41,7	60,9	1,77	1,6	Marginal
EG-08	1	Unidad Pavo Inferior 3	SC	43,6	46,6	1,91	1,36	Marginal
EG-07A	2	Unidad Pavo Superior 2	CL	38,2	83,9	1,91	1,31	Marginal
EG-04	1	Unidad Arenas Monas	CH	59,9	98,3	1,74	3,05	Muy Crítica
EG-18	2	Unidad Pavo Inferior 2	CH	51,2	99,7	1,85	4,05	Muy Crítica
EG-21	3	Unidad Pavo Superior 2	CH	57,3	97,1	1,78	3,68	Muy Crítica
EG-28	2	Unidad Pavo Superior 2	CH	70,9	94,3	1,74	3,22	Muy Crítica
EG-29	1	Unidad Pavo Superior 1	CH	60,2	99,4	1,75	2,04	Crítica
EG-38A	2	Unidad Pavo Superior 4	CH	62,9	96,8	1,79	3,34	Muy Crítica
EG-38	1	Unidad Pavo Superior 3	CH	59,2	96,3	1,97	3,26	Muy Crítica

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 55. Resumen de resultados de expansión libre.

SITIO	MUEST	UNIDAD GEOLÓGICA	CLASIF SUCS	LÍMITE LÍQ	FINOS	EXPANSIÓN	PRESIÓN DE EXPANSIÓN	EXPANSIVIDAD
				%	%	%	Kg/cm2	
EG-07A	2	Unidad Pavo Superior 2	CL	38,2	83,9	11,21	1,4	Marginal
EG-09A	1	Unidad Pavo Superior 3	CL	44,5	96,7	12,32	0,92	Marginal
EG-12	1	Unidad Pavo Inferior 2	CH	58,9	95,5	13,66	2,51	Muy Crítica
EG-15	1	Depósitos aluviales	CL	42,6	94,6	10,35	2,11	Crítica



EG-08	1	Unidad Pavo Inferior 3	SC	43,6	46,6	6,49	1,07	Marginal
EG-18	2	Unidad Pavo Inferior 2	CH	51,2	99,7	15,31	2,88	Muy Crítica
EG-21	3	Unidad Pavo Superior 2	CH	57,3	97,1	16,65	2,85	Muy Crítica
EG-28	2	Unidad Pavo Superior 2	CH	70,9	94,3	18,82	3,04	Muy Crítica
EG-29	1	Unidad Pavo Superior 1	CH	60,2	99,4	16,09	3,21	Muy Crítica
EG-34	1	Unidad Pavo Inferior 2	CH	62,9	96,6	18,68	4,06	Muy Crítica
EG-38A	2	Unidad Pavo Superior 4	CH	62,9	96,8	21,18	2,87	Muy Crítica
EG-38	1	Unidad Pavo Superior 3	CH	59,2	96,3	15,76	2,83	Muy Crítica

Fuente: Elaboración propia.

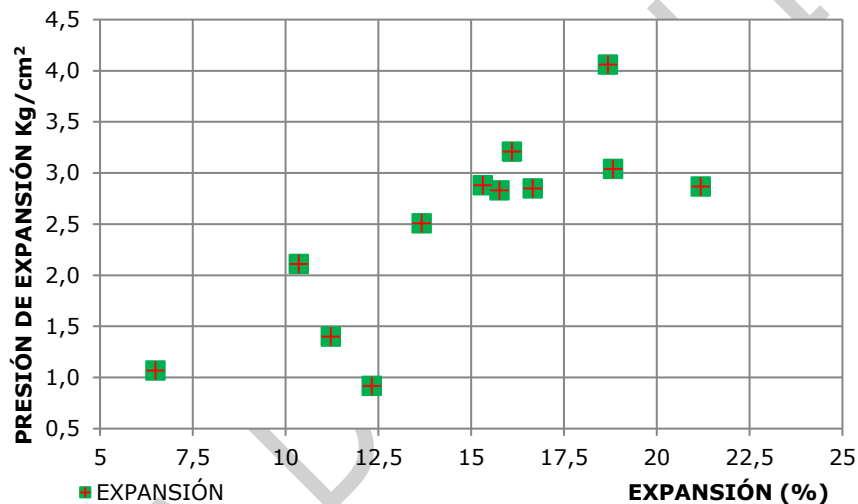


Gráfico 4. Porcentaje de expansión libre y presión de expansión.
Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 54 y Tabla 55, como en el Gráfico 3 y Gráfico 4, muestran los resultados de los ensayos de expansión libre y controlada realizados a las muestras obtenidas en la exploración geotécnica del proyecto. En las unidades Pavo Inferior 2, Pavo Superior 2, Pavo Superior 1, Pavo Superior 3, Pavo Superior 4, depósitos aluviales y Arenas Monas respectivamente se presentan expansividad muy crítica.

3.2.10.4.11 Compresión inconfínada

Resistencia a la compresión inconfínada, es la carga por unidad de área a la cual una probeta de suelo, cilíndrica o prismática, falla en el ensayo de compresión simple. El resultado de esta prueba puede ser utilizado para diseño de cimentaciones infraestructura como edificios, puentes, presas, túneles, terraplenes, como también en análisis de estabilidad de taludes, túneles y empujes sobre estructuras de contención.

El ensayo de compresión inconfínada es un método rápido y de amplio uso para determinar el parámetro de resistencia no drenado – cu del suelo saturado arcilloso.



La resistencia a la compresión inconfiada se emplea también para calificar la consistencia del suelo como muy blanda, blanda, mediana, firme, muy firme y dura de acuerdo con el valor obtenido en la Tabla 56.

Tabla 56. Consistencia del suelo en función de la compresión inconfiada.

CONSISTENCIA DEL SUELO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN INCONFINADA	
	Kg/cm ²	kPa
Muy blanda	< 0.25	< 25
Blanda	0.25-0.50	25 - 50
Mediana	0.50-1.00	50 - 100
Firme	1.00-2.00	100 - 200
Muy firme	2.00-4.00	200 - 400
Dura	>4.00	> 400

Fuente: (Peck & Terzaghi, 1955).

En la Tabla 57 se presenta el resumen de resultados de ensayos de compresión simple realizados a muestras inalteradas tomadas en la etapa de exploración geotécnica en el área de la cuenca.

Tabla 57. Resumen de ensayo de compresión simple

SITIO	MUEST	UNIDAD GEOLOGICA	PESO U. HÚMEDO g/cm ³	PESO U. SECO	Qu Kg/cm ²	Cu	Uscs	DESCRIPCIÓN
EG-09	1	Unidad Pavo Superior 3	1,95	1,54	0,62	0,31	CH	Arcilla con rastros de arena café clara
EG-09A	1	Unidad Pavo Superior 3	1,96	1,63	0,56	0,28	CL	Arcilla con rastros de arena gris oscura
EG-05	1	Unidad Arenas Monas	1,92	1,54	0,28	0,14	CL	Arcilla arenosa con rastros de grava fina subangular café clara
EG-03	1	Depósitos cuaternarios aluviales	1,96	1,61	0,96	0,48	CL	Arcilla algo arenosa café clara
EG-12	1	Unidad Pavo Inferior 2	1,93	1,46	0,35	0,18	CH	Arcilla con rastros de arena gris oscura con café claro
EG-13	1	Unidad Pavo Inferior 2	1,87	1,53	0,35	0,18	CL	Arcilla algo arenosa con rastros de grava fina subangular gris oscura con vetas de óxido
EG-15	1	Depósitos cuaternarios aluviales	1,89	1,44	0,37	0,19	CL	Arcilla con rastros de arena gris oscura con vetas de óxido
EG-14	1	Unidad Pavo Inferior 1	1,97	1,52	0,58	0,29	CL	Arcilla arenosa café oscura
EG-08	1	Unidad Pavo Inferior 3	1,94	1,66	0,87	0,44	SC	Arena arcillosa gris clara con óxido
EG-07	1	Unidad Pavo Superior 2	1,9	1,48	0,3	0,15	CL	Arcilla con rastros de arena café clara



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

SITIO	MUEST	UNIDAD GEOLÓGICA	PESO U.	PESO U.	Qu	Cu	Uscs	DESCRIPCIÓN
			HÚMEDO	SECO				
			g/cm ³		Kg/cm ²			
EG-07A	2	Unidad Pavo Superior 2	2,04	1,57	0,11	0,06	CL	Arcilla algo arenosa café clara
EG-04	1	Unidad Arenas Monas	1,89 1,88	1,42 1,40	0,71	0,36	CH	Arcilla con rastros de arena café clara
EG-18	2	Unidad Pavo Inferior 2	2,06 2,14	1,75 1,82	0,45	0,23	CH	Arcilla gris oscura con vetas de óxido
EG-18A	1	Unidad Pavo Inferior 2	2	1,6	1,17	0,59	CL	Arcilla café clara con gris claro
EG-19	1	Unidad Pavo Inferior 1	1,83	1,46	1,39	0,7	CH	Arcilla algo arenosa gris clara con óxido
EG-21A	1	Unidad Pavo Superior 2	1,95	1,57	0,83	0,42	CH	Arcilla algo arenosa café clara
EG-20	1	Unidad Pavo Superior 2	1,89	1,54	0,43	0,22	CL	Arcilla con rastros de arena café clara con vetas de óxido
EG-20	2	Unidad Pavo Superior 2	2,04	1,66	0,59	0,3	CL	Arcilla gris oscura con vetas de óxido
EG-39	2	Depósitos cuaternarios aluviales	1,74	1,29	0,26	0,13	CH	Arcilla con rastros de arena gris oscura con vetas de óxido
EG-28	2	Unidad Pavo Superior 2	1,92	1,42	0,86	0,43	CH	Arcilla con rastros de arena café clara
EG-29	1	Unidad Pavo Superior 1	1,73	1,34	0,42	0,21	CH	Arcilla café clara
EG-31A	1	Unidad Pavo Inferior 2	1,86	1,54	0,42	0,21	CH	Arcilla café clara
EG-33	1	Unidad Pavo Inferior 3	1,98	1,62	1,17	0,59	CL	Arcilla arenosa café clara
EG-34	1	Unidad Pavo Inferior 2	1,69	1,3	0,16	0,08	CH	Arcilla con rastros de arena café clara
EG-35	1	Unidad Arenas Monas	2,04	1,62	0,77	0,39	CL	Arcilla con rastros de arena café clara
EG-38A	1	Unidad Pavo Superior 4	1,8	1,26	0,17	0,09	CL	Arcilla con rastros de arena café clara
EG-38A	2	Unidad Pavo Superior 4	1,97 2	1,58 1,6	1,77	0,89	CH	Arcilla con rastros de arena gris oscura con vetas de óxido
EG-38	1	Unidad Pavo Superior 3	1,94 1,99	1,52 1,56	0,7	0,35	CH	Arcilla con rastros de arena café clara
EG-01A	5	Unidad Arenas Monas	2,14 2,25	1,95 2,05	9,26	4,63	Nga m	Arcilla arenosa gris clara con vetas de óxido

Fuente: Elaboración propia.

Nota: el resultado mostrado de la muestra 5 del EG-01A corresponde a resultados de muestra de roca de la unidad Arenas Monas.



De acuerdo con la Tabla 57 y la Tabla 58, se puede concluir que el 90% de las muestras ensayadas presentan consistencia entre muy blanda y blanda y solo el 10% presenta una consistencia mediana. Los suelos residuales de menor consistencia son provenientes de las unidades geológicas, Pavo Inferior 2, Pavo Superior 2, Pavo Superior 1, depósitos aluviales, Arenas Monas, Pavo Inferior 3, Pavo Superior 3 y Pavo Superior 4 en su respectivo orden.

3.2.10.4.12 Carga puntual

El ensayo de carga puntual se utiliza para determinar la resistencia a la compresión simple de fragmentos irregulares de roca, testigos cilíndricos de sondajes o bloques, a partir del índice de resistencia a la carga puntual (I_s). El procedimiento consiste en romper una muestra entre dos puntas cónicas metálicas accionadas por una prensa.

El comportamiento mecánico de las rocas está definido por su resistencia y su deformabilidad. La resistencia es el esfuerzo que soporta una roca para determinadas deformaciones. Cuando la resistencia se mide en probetas de roca sin confinar se denomina resistencia a compresión simple, y su valor se emplea para la clasificación geotécnica de las rocas.

La resistencia es función de las fuerzas cohesivas y friccionales del material (además de otros valores extrínsecos al material rocoso). La cohesión, c , es la fuerza de unión entre las partículas minerales que forman la roca. El ángulo de fricción interna, ϕ , es el ángulo de rozamiento entre dos planos de la misma roca, para la mayoría de las rocas este ángulo varía entre 25° y 45° .

La resistencia de la roca no es un valor único, ya que además de los valores c y ϕ , depende de otras condiciones, como la magnitud de los esfuerzos confinantes, la presencia de agua en los poros o la velocidad de aplicación de la carga de rotura. También, incluso en rocas aparentemente isótropas y homogéneas, los valores de c y ϕ pueden variar según el grado de cementación o variaciones en la composición mineralógica.

En la Tabla 58 se presenta el resumen de resultados de ensayos de carga puntual realizados a muestras inalteradas tomadas en la etapa de exploración geotécnica en el área de la cuenca. La unidad Pavo Inferior 3 presenta los mayores valores de resistencia de la roca a carga puntual.

Tabla 58. Resumen de ensayo de carga Puntual.

SITIO	MUESTRA	UNIDAD GEOLÓGICA	Carga Puntual - I_s		NOMENCL	DESCRIPCIÓN
				Kg/cm ²		
EG-32	2	Unidad Inferior 1	Pavo	0,18	Ngpi1	Arena algo arcillo limosa gris café oscura
EG-33	2	Unidad Inferior 3	Pavo	1,34	Ngpi3	Roca
EG-33A	1	Unidad Inferior 3	Pavo	4,15	Ngpi3	Roca
EG-40A	1	Unidad Inferior 1	Pavo	0,82	Ngpi1	Roca



Fuente: Elaboración propia.

3.2.10.4.13 Compactación

La compactación es el proceso realizado generalmente por medios mecánicos, por el cual se produce una densificación del suelo, disminuyendo su relación de vacíos. El objetivo de la compactación es el mejoramiento de las propiedades geotécnicas del suelo, de tal manera que presente un comportamiento mecánico adecuado.

Se califica la compacidad por la comparación cuantitativa de las densidades secas o pesos unitarios secos, γ_d , que el suelo va adquiriendo gradualmente, al variar la humedad, la energía o el método de compactación.

La humedad óptima es la que corresponde con el máximo de la curva de densidad. La rama seca es la que corresponde al suelo bajo de humedad, donde la fricción y cohesión dificultan su densificación. La rama húmeda, es asintótica a la línea de saturación, que se desplaza hacia la derecha de la humedad óptima de compactación, dado que la energía de compactación de un suelo muy húmedo absorbe el agua y no el esqueleto mineral.

En la Tabla 59 se presenta el resumen de resultados de ensayos compactación (Proctor Modificado) realizados a muestras tomadas en la etapa de exploración geotécnica en el área de la cuenca.

Tabla 59. Resumen de ensayo de compactación

UNIDAD	SITIO - MUESTRA	HUMEDAD ÓPTIMA %	DENSIDAD Ton/m ³	SECA	MÁXIMA
Ngam	EG-01 ^a - 4	11,8	1,99		
Ngam	EG-17 - 1	13	1,82		
Ngpi2	EG-31 - 1	15,3	1,85		
Ngpi1	EG-20 ^a - 1	17,3	1,7		

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 59 se muestra una comparación entre los diferentes resultados del ensayo de compactación y las respectivas unidades geológicas. En la unidad Arenas Monas se obtiene una mayor densidad con una menor humedad y en Pavo inferior 1 se obtiene la menor densidad y mayor humedad optima de compactación.

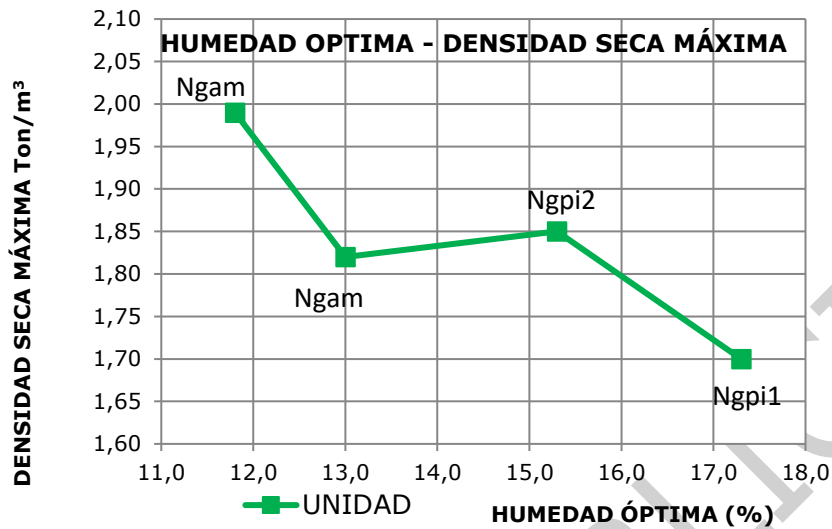


Gráfico 5. Porcentaje de expansión libre y presión de expansión.
 Fuente: Elaboración propia.

3.2.10.4.14 Ensayo de corte directo

Propiedad de un terreno que le permite resistir el desplazamiento entre las partículas del mismo al ser sometido a una fuerza externa. También llamada resistencia al cizallamiento.

Ensayo para la determinación de la resistencia al corte de una muestra de suelo, sometida previamente a un proceso de consolidación, cuando se le aplica un esfuerzo de cizalladura o corte directo mientras se permite un drenaje completo de ella. El ensayo se lleva a cabo deformando una muestra a velocidad controlada, cerca de un plano de cizalladura determinado por la configuración del aparato de cizalladura. Generalmente se ensayan tres o más especímenes, cada uno bajo una carga normal diferente para determinar su efecto sobre la resistencia al corte y al desplazamiento y las propiedades de resistencia a partir de las envolventes de resistencia de Mohr.

Los resultados de los ensayos de corte directo de las muestras se analizaron de acuerdo al tipo de materiales (arcillas y arenas) y al tipo de ensayo de laboratorio realizado (consolidado no drenado – CU).

En la Tabla 60 se presenta el resumen de resultados de ensayos corte directo – cu, realizados a muestras inalteradas tomadas en la etapa de exploración geotécnica en el área de la cuenca.

Tabla 60: Resumen ensayos de Corte Directo.

SITIO MUESTRA	UNIDAD	PESO UNIT. PESO UNIT.		CORTE DIRECTO		USCS	DESCRIPCIÓN
		HÚMEDO	SECO	FI	C kg/cm2		
EG-05-1	Ngam	1,92	1,54	27,83	0,293	CL	Arcilla arenosa con rastros de grava fina subangular café clara



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

SITIO MUESTRA	UNIDAD	PESO HÚMEDO	UNIT. SECO	UNIT. CORTE DIRECTO	USCS	DESCRIPCIÓN
EG-04-1		1,89 1,88	1,42 1,40	19,01 0,4038	CH	Arcilla con rastros de arena café clara
EG-01A-3		1,89	1,52	28,08 0,4628	CL	Arcilla algo arenosa gris oscura
EG-01A-5		2,14 2,25	1,95 2,05	39,26 2,3489	CL	Arcilla arenosa gris clara con vetas de óxido
EG-29-1	Ngps1	1,73	1,34	31,62 0,6605	CH	Arcilla café clara
EG-07A-2	Ngps2	2,04	1,57	10,41 0,3982	CL	Arcilla algo arenosa café clara
EG-20-2		2,04	1,66	33,69 0,1872	CL	Arcilla gris oscura con vetas de óxido
EG-21-1		1,87	1,43	20,51 0,3041	CH	Arcilla con rastros de arena café clara
EG-21-3		1,76	1,24	21,72 0,3234	SM	Arena limosa con rastros de grava fina angular gris oscura con vetas de óxido
EG-28-2		1,92	1,42	28,27 0,3205	CH	Arcilla con rastros de arena café clara
EG-09-1	Ngps3	1,84	1,48	31,77 0,3825	CH	Arcilla con rastros de arena café clara
EG-09A-1		1,96	1,63	29,38 0,4938	CL	Arcilla con rastros de arena gris oscura
EG-38-1		1,94 1,99	1,52 1,56	19,29 0,3297	CH	Arcilla con rastros de arena café clara
EG-38A-1	Ngps4	1,97 2	1,58 1,6	29,28 0,5779	CH	Arcilla con rastros de arena gris oscura con vetas de óxido
EG-14-1	Ngpi1	1,97	1,52	29,34 0,3055	CL	Arcilla arenosa café oscura
EG-40-1		1,82	1,35	13,05 0,3993	CH	Arcilla algo arenosa gris clara con óxido
EG-12-1	Ngpi2	1,93	1,46	22,74 0,356	CH	Arcilla con rastros de arena gris oscura con café claro
EG-13-1		1,87	1,53	33,26 0,3031	CL	Arcilla algo arenosa con rastros de grava fina subangular gris oscura con vetas de óxido
EG-13-2		1,89	1,46	24,97 0,1871	CL	Arcilla algo arenosa gris oscura
EG-18-2		2,06 2,14	1,75 1,82	21,32 0,5632	CH	Arcilla gris oscura con vetas de óxido
EG-34-1		1,69	1,3	16,86 0,3387	CH	Arcilla con rastros de arena café clara
EG-08-1	Ngpi3	1,94	1,66	33,57 0,8541	SC	Arena arcillosa gris clara con óxido
EG-33-1		1,98	1,62	30,33 0,5082	CL	Arcilla arenosa café clara



SITIO MUESTRA	UNIDAD	PESO HÚMEDO	UNIT. PESO SECO	UNIT. CORTE DIRECTO	USCS	DESCRIPCIÓN
EG-03-1	Qal	1,96	1,61	30,27 0,4867	CL	Arcilla algo arenosa café clara
EG-15-1		1,89	1,44	26,12 0,2698	CL	Arcilla con rastros de arena gris oscura con vetas de óxido

Fuente: Elaboración propia.

En el numeral 3.2.10.5 se presenta el análisis de los resultados de corte directo por cada unidad geológica.

3.2.10.4.15 Penetrómetro de bolsillo

El penetrómetro de bolsillo es un instrumento liviano para clasificación de suelos cohesivos en términos de consistencia, determinando el esfuerzo de compresión confinada aproximado y evaluando el esfuerzo de corte usando el principio de penetración.

Las lecturas obtenidas con el penetrómetro no reemplazan los resultados obtenidos en el laboratorio debido al hecho que una pequeña área de penetración probada daría resultados dispersos.

En la numeral 3.2.10.5 se presentan los resúmenes de resultados de pruebas de campo realizadas con el penetrómetro de bolsillo, realizados en materiales arcillosos inalterados en la etapa de exploración geotécnica en el área de la cuenca, por cada unidad geológica y en el [Anexo 43](#) se presentan los formatos 3 del protocolo donde se consignó la información en campo.

3.2.10.4.16 Martillo Schmidt

Con el martillo se estimó en campo o en laboratorio la resistencia a compresión simple de la roca ensayada a partir de la medida del rebote proporcionada por el mismo. Valores típicos de resistencia tomada con el martillo se muestran en la Tabla 61.

Tabla 61. Clasificación de resistencia según ISRM.

DESCRIPCIÓN	RESISTENCIA A COMPRESIÓN – Mpa
Extremadamente Blanda	< 1
Muy Blanda	1 – 5
Blanda	5 – 25
Moderadamente Blanda	25 – 50
Dura	50 – 100
Muy Dura	100 – 250
Extremadamente Dura	> 250

Fuente: (GEOENGINEERING SERVICES & CONSULTING, 2017).

En el numeral 3.2.10.5 se presentan los resúmenes de resultados de pruebas de campo realizadas con el martillo Schmidt, realizados a macizos rocosos inalterados en la etapa de exploración geotécnica en el área de la cuenca, por cada unidad geológica y en el [Anexo 43](#) se presentan los formatos 4 del protocolo donde se consignó la información en campo.

En términos generales y de acuerdo con la Tabla 61 todos los resultados de las pruebas realizadas en las diferentes unidades geológicas de la cuenca se pueden describir como



rocas blandas, debido a que presentan resistencia a compresión con el martillo menores a 25 Mpa.

3.2.10.5 Propiedades geotécnicas unidades geológicas

Los análisis se presentan por unidades geológicas y se acompañan de gráficas y tablas por cada tipo de propiedad en cada unidad.

3.2.10.5.1 Unidad Arenas Monas - Ngam

Propiedades índices

En el Gráfico 6 se presenta la variación de las propiedades índices con la profundidad. En general se observa que el contenido de finos se mueve en un rango amplio, lo cual es atribuible a que en el área se encontraron desde arcillas de plasticidad media a alta hasta arenas arcillosas. También se observa que el límite plástico se mueve en un rango más estrecho que el límite líquido.

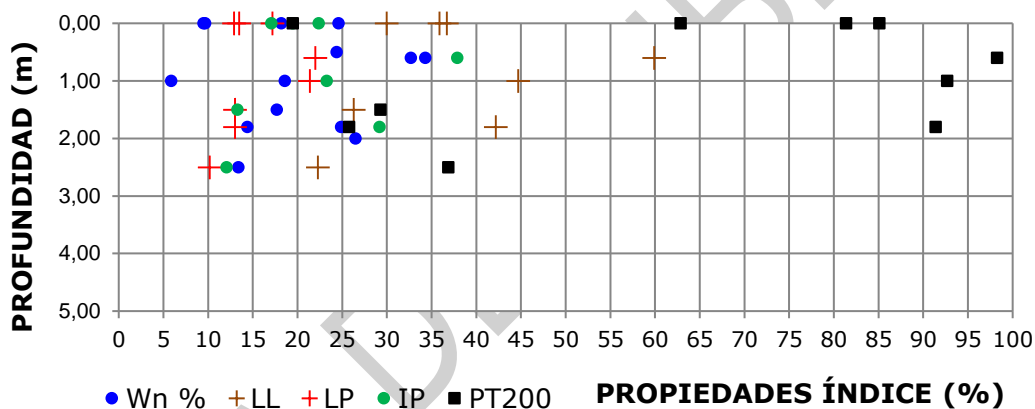


Gráfico 6. Variación de las propiedades índice con la profundidad, Ngam.
Fuente: Elaboración propia.

Carta de plasticidad

En el Gráfico 7 se muestra la carta de plasticidad de acuerdo con los ensayos de laboratorios realizados. Como se observa los materiales arcillosos clasifican como CL y CH presentan plasticidad media a alta. Así mismo, se observa un alineamiento paralelo a la línea A, lo cual indica que estos materiales tienen el mismo origen geológico.

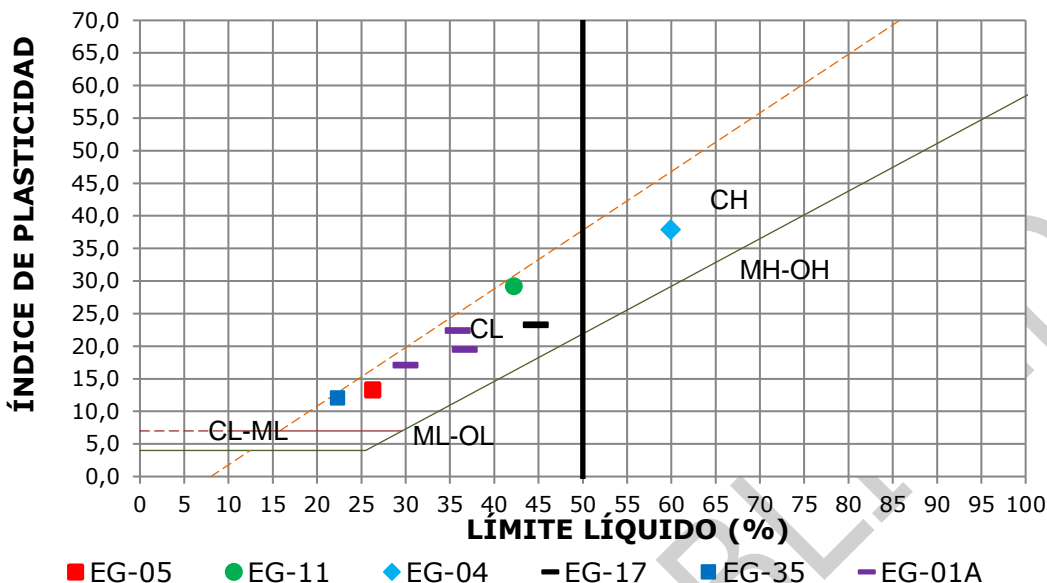


Gráfico 7. Plasticidad, Ngam.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 62. Dato estadístico – Ngam.

DATO ESTADÍSTICO	Wn %	LL %	PL %	IP	%PT200
Máximo valor	34,30	59,90	22,00	37,90	98,30
Mínimo valor	5,90	22,30	10,20	12,10	19,50
Promedio - media aritmética	19,63	37,25	15,40	21,85	62,33
Desviación estándar de una muestra	8,64	11,90	4,33	8,54	31,36

Fuente: Elaboración propia.

Corte Directo

En el Gráfico 8 se muestra la humedad contra el esfuerzo cortante de 4 muestras ensayadas de esta unidad, donde se observa que tres de las cuatro muestras tienen un comportamiento similar. La muestra que presenta mayor esfuerzo cortante y menor humedad corresponde a la que tiene menor contenido de finos, y es quizás la más representativa de la unidad (EG-01A-5). En términos generales en todas las muestras se observa que a mayor humedad menor esfuerzo cortante.

Tabla 63. Resumen ensayos Corte Directo – Ngam.

UNIDAD	SITIO - MUESTRA	ESFUERZO NORMAL kg/cm ²	ESFUERZO CORTANTE kg/cm ²	HUMEDAD %
Ngam	EG-05-1	0,25	0,39	27,74
		0,50	0,60	26,67
		1,00	0,81	25,60
	EG-04-1	0,25	0,47	35,74
		0,5	0,61	34,06
		1,00	0,74	32,95



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

UNIDAD	SITIO - MUESTRA	ESFUERZO NORMAL kg/cm ²	ESFUERZO CORTANTE kg/cm ²	HUMEDAD %
	EG-01A-3	0,25	0,59	25,56
		0,50	0,73	25,24
		1,00	1,00	22,82
	EG-01A-5	0,25	2,56	16,66
		0,5	2,75	15,54
		1,00	3,17	15,18

Fuente: Elaboración propia.

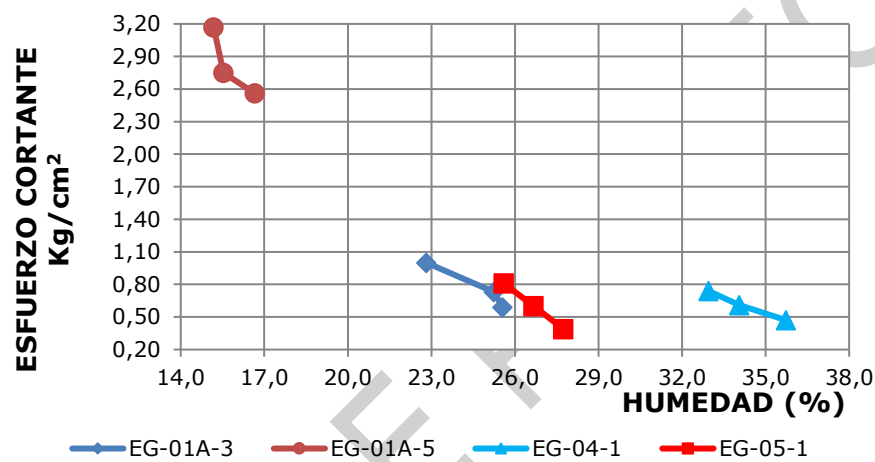


Gráfico 8. Humedad y esfuerzo cortante, Ngam.

Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico 9 se muestra el esfuerzo normal contra el esfuerzo cortante de 4 muestras ensayadas de esta unidad, donde se observa que tres de las cuatro muestras tienen un comportamiento similar. La muestra que presenta menor pendiente (ángulo de fricción) corresponde a la que tiene mayor contenido de finos (EG-04-1), y es quizás la menos representativa de la unidad.

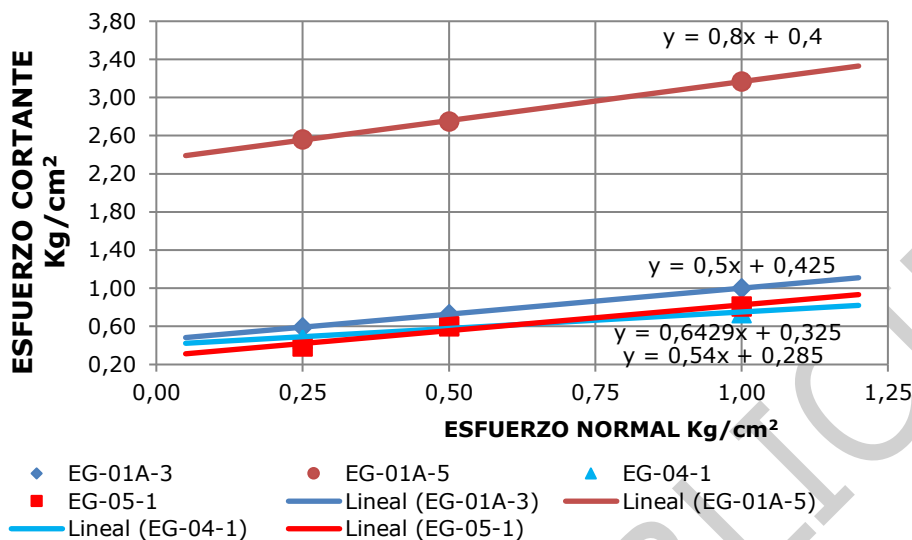


Gráfico 9. Esfuerzo normal y esfuerzo cortante, Ngam.
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 64 se presenta el resumen de resultados de pruebas de campo realizadas con el penetrómetro de bolsillo, realizados a muestras inalteradas en la etapa de exploración geotécnica en el área de la cuenca sobre la unidad Arenas Monas. Se realizaron pruebas en 5 sitios de suelos residuales de esta unidad obteniendo consistencia blanda a muy firme.

Penetrómetro De Bolsillo

Tabla 64. Resumen pruebas con penetrómetro de bolsillo – Ngam

SITIO	MUESTRA	RESISTENCIA PENETROMETRO Kg/cm ²				CONSISTENCIA
		LABORATORIO	P1	P2	P3	
EG-05	1		0,6	0,6	0,7	1
EG-11	1		2,5	1,6	2,6	3
EG-04	1	1,5	0,7	0,8	1	2
EG-17	1		0,5	0,6	1,1	2
EG-35	1		2,5	3	3,5	2

Fuente: Elaboración propia.

Máximo valor 3.50 Kg/cm².

Mínimo valor 0.50 Kg/cm².

Promedio - media aritmética 1.49 Kg/cm².

Desviación estándar de una muestra 1.00.

En la Tabla 65 se presenta el resumen de resultados de pruebas de campo realizadas con el martillo Schmidt, realizados a macizos rocosos inalterados en la etapa de exploración geotécnica en el área de la cuenca sobre la unidad Arenas Monas, clasificándose por resistencia como rocas blandas.

Martillo Schmidt



Tabla 65. Resumen pruebas con martillo Schmidt – Ngam.

SITIO	MUESTRA	RESISTENCIA SCHIMDT Mpa			
		P1	P2	Dureza	Estructura
EG-01A	1	10	10	3	2

Fuente: Elaboración propia.

3.2.10.5.2 Unidad Pavo superior 4 – Ngps4

Propiedades índices

En el Gráfico 10 se presenta la variación de las propiedades índices con la profundidad. En general se observa que el contenido de finos se mueve en un rango amplio, lo cual es atribuible a que en el área se encontraron desde arcillas de plasticidad media a alta arenas arcillosas. También se observa que el límite plástico se mueve en un rango más estrecho que el límite líquido, la humedad se disminuye en profundidad.

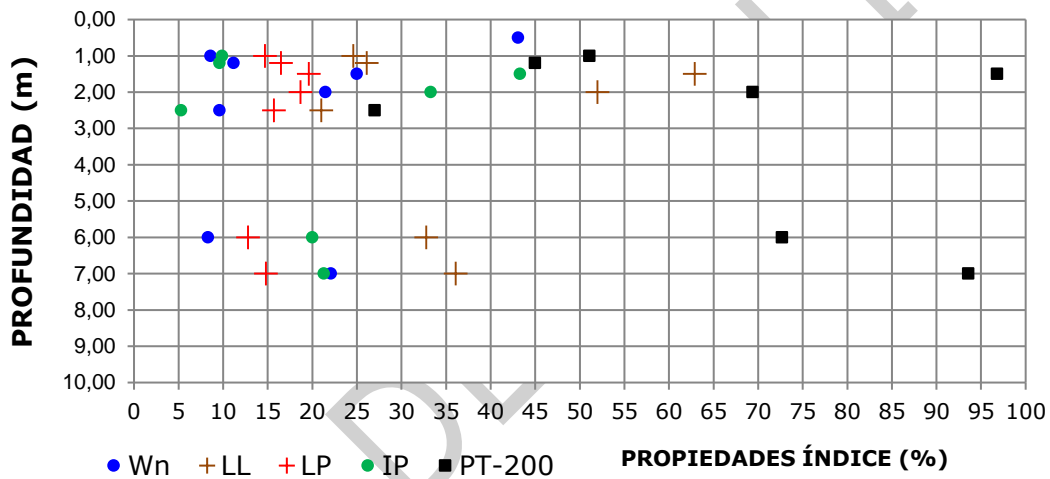


Gráfico 10. Variación de las propiedades índice con la profundidad, Ngps4.
 Fuente: Elaboración propia.

Carta de plasticidad

En el Gráfico 11 se muestra la carta de plasticidad de acuerdo con los ensayos de laboratorios realizados. Como se observa los materiales arcillosos clasifican como CL y CH presentan plasticidad media a baja. Así mismo, se observa un alineamiento paralelo a la línea A, lo cual indica que estos materiales tienen el mismo origen geológico.

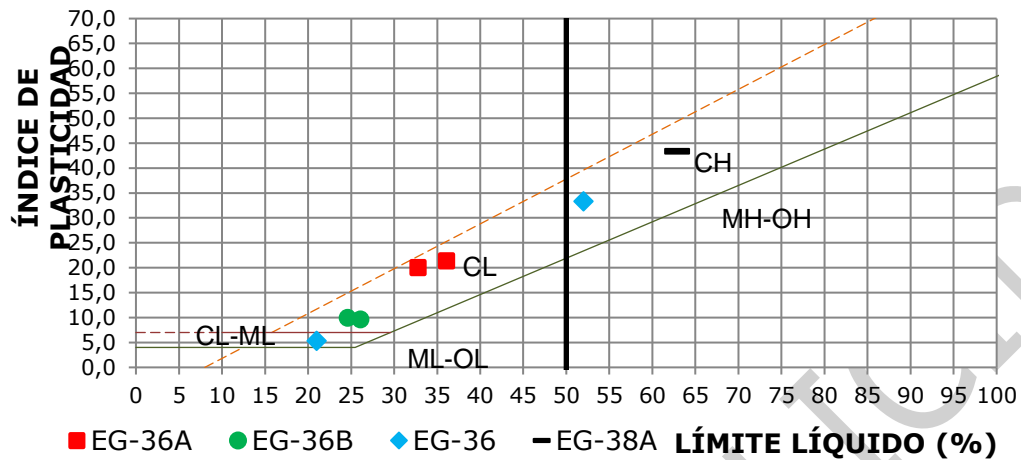


Gráfico 11. Plasticidad, Ngps4.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 66. Dato estadístico – Ngps4.

DATO ESTADÍSTICO	Wn %	LL %	PL %	IP	%PT200
Máximo valor	43,10	62,90	19,60	43,30	96,80
Mínimo valor	8,30	21,00	12,80	5,30	27,00
Promedio - media aritmética	18,68	36,50	16,11	20,39	65,09
Desviación estándar de una muestra	11,97	15,50	2,38	13,82	25,64

Fuente: Elaboración propia.

Corte Directo

En el Gráfico 12 se muestra la humedad contra el esfuerzo cortante donde se observa que a mayor humedad menor esfuerzo cortante, en una muestra de Arcilla con rastros de arena café clara, correspondiente a un deslizamiento en el talud derecho de la quebrada El Barro.

Tabla 67. Resumen ensayos Corte Directo – Ngps4.

UNIDAD	SITIO - MUESTRA	ESFUERZO NORMAL kg/cm ²	ESFUERZO CORTANTE kg/cm ²	HUMEDAD %
Ngps4	EG-38A-1	0,25	0,68	29,93
		0,50	0,91	28,80
		1,00	1,12	28,44

Fuente: Elaboración propia.

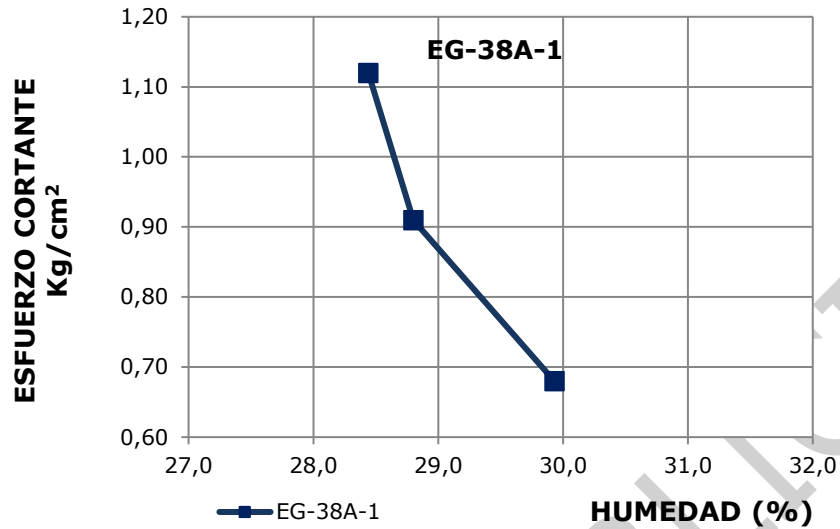


Gráfico 12. Humedad y esfuerzo cortante, Ngps4.
Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico 13 se muestra el esfuerzo normal contra el esfuerzo cortante de una muestra de Arcilla con rastros de arena café clara ensayada de esta unidad, correspondiente a un deslizamiento en el talud derecho de la quebrada El Barro.

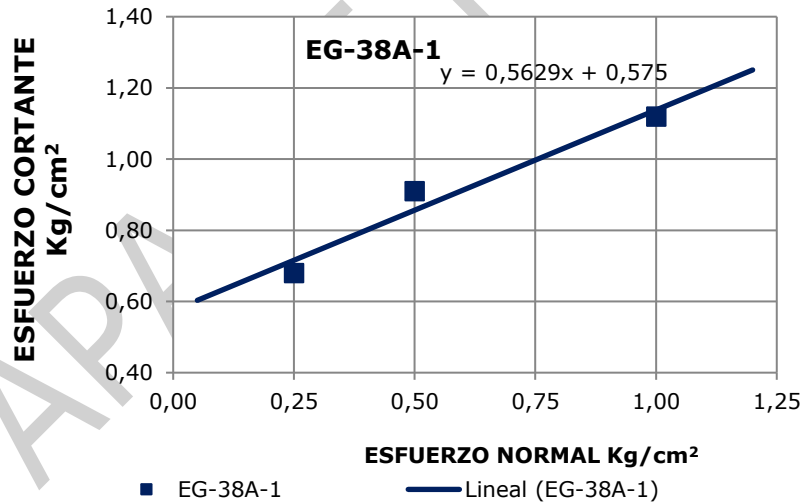


Gráfico 13. Esfuerzo normal y esfuerzo cortante, Ngps4.
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 68 se presenta el resumen de resultados de pruebas de campo realizadas con el penetrómetro de bolsillo, realizados a muestras inalteradas en la etapa de exploración geotécnica en el área de la cuenca sobre la unidad Ngps4. Se realizaron pruebas en 5 sitios de suelos residuales de esta unidad obteniendo consistencia muy blanda a muy firme.



Penetrómetro De Bolsillo

Tabla 68. Resumen pruebas con penetrómetro de bolsillo – Ngps4.

SITIO	MUESTRA	RESISTENCIA PENETRÓMETRO Kg/cm ²				
		Laboratorio	P1	P2	P3	Consistencia
EG-36A	1		2	3,5		2
EG-36A	2		1	0,8		1
EG-36	1		1	1,8	1,6	2
EG-38A	1	0,2				
EG-38A	2	2,75				

Fuente: Elaboración propia.

Máximo valor 3.50 Kg/cm².

Mínimo valor 0.20 Kg/cm².

Promedio - media aritmética 1.65 Kg/cm².

Desviación estándar de una muestra 1.03.

En la Tabla 69 se presenta el resumen de resultados de pruebas de campo realizadas con el martillo Schmidt, realizados a macizos rocosos inalterados en la etapa de exploración geotécnica en el área de la cuenca sobre la unidad Ngps4, clasificándose por resistencia como rocas blandas.

Martillo Schmidt

Tabla 69. Resumen pruebas con martillo Schmidt – Ngps4.

SITIO	MUESTRA	RESISTENCIA SCHIMDT Mpa				
		P1	P2	Dureza	Estructura	
EG-36		2	10	10	4	1
EG-38A		2	10	10	6	1

Fuente: Elaboración propia.

3.2.10.5.3 Unidad Pavo superior 3 – Ngps3

Propiedades índices

En la Tabla 68 se presenta la variación de las propiedades índices con la profundidad. En general se observa alto contenido de finos, correspondientes a arcillas de plasticidad alta a media. También se observa que el límite plástico se mueve en un rango más estrecho que el límite líquido, la humedad se disminuye en profundidad.

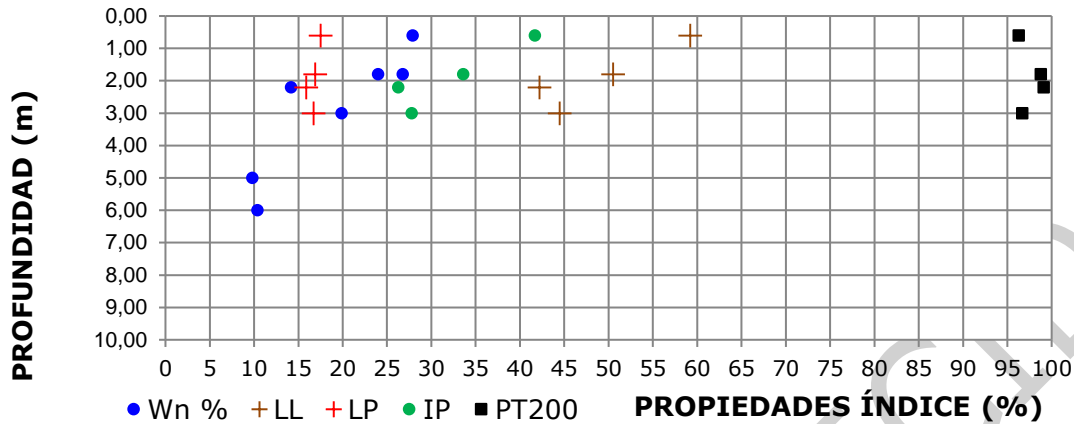


Gráfico 14. Variación de las propiedades índice con la profundidad, Ngps3.
Fuente: Elaboración propia.

Carta de plasticidad

En el Gráfico 15 se muestra la carta de plasticidad de acuerdo con los ensayos de laboratorios realizados. Como se observa los materiales arcillosos clasifican como CH y CL presentan plasticidad alta a media. Así mismo, se observa un alineamiento paralelo a la línea A, lo cual indica que estos materiales tienen el mismo origen geológico.

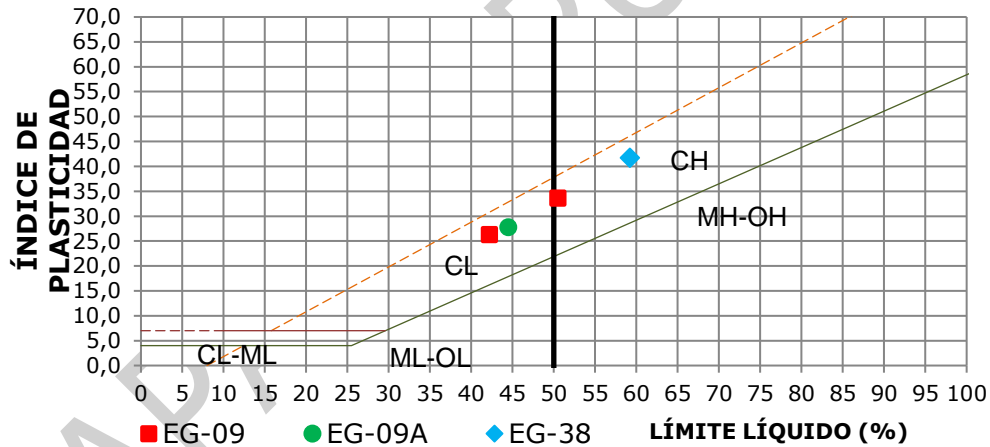


Gráfico 15. Plasticidad, Ngps3.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 70. Dato estadístico – Ngps3

DATO ESTADÍSTICO	Wn %	LL %	PL %	IP	%PT200
Máximo valor	27,90	59,20	17,50	41,70	99,10
Mínimo valor	9,80	42,20	15,90	26,30	96,30
Promedio - media aritmética	19,00	49,10	16,75	32,35	97,73
Desviación estándar de una muestra	7,61	7,59	0,66	6,98	1,43

Fuente: Elaboración propia.

Corte directo

En el Gráfico 16 se muestra la humedad contra el esfuerzo cortante de 3 muestras ensayadas de esta unidad, donde se observa algo de dispersión (humedad de 22% a



28% y esfuerzo cortante de 0.40 a 1.10 Kg/cm²) en los resultados a pesar de que las tres corresponden a arcillas con rastros de arena. En términos generales en todas las muestras se observa que a mayor humedad menor esfuerzo cortante.

Tabla 71. Resumen ensayos Corte Directo – Ngps3.

UNIDAD	SITIO - MUESTRA	ESFUERZO NORMAL Kg/cm ²	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm ²	HUMEDAD %
Ngps3	EG-09-1	0,25	0,52	25,84
		0,50	0,72	24,58
		1,00	0,99	23,59
	EG-09A-1	0,25	0,62	23,23
		0,50	0,80	22,76
		1,00	1,05	22,49
	EG-38-1	0,25	0,42	27,26
		0,50	0,49	27,03
		1,00	0,68	26,21

Fuente: Elaboración propia.

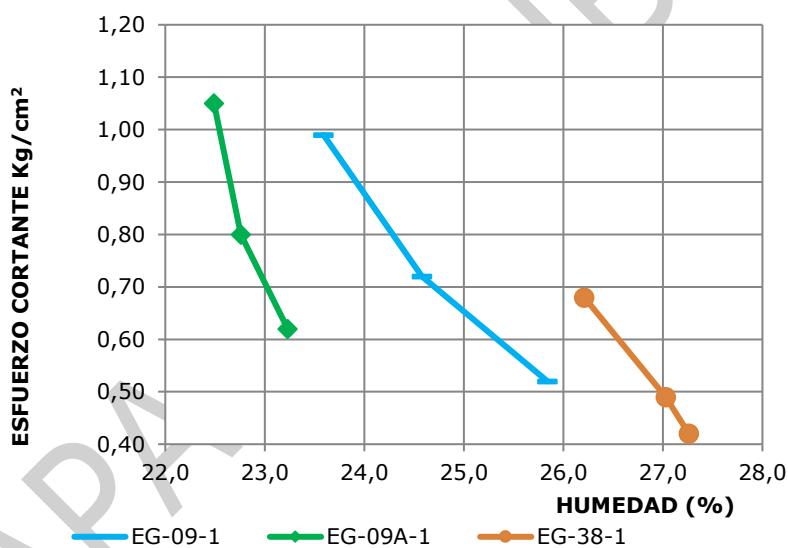


Gráfico 16. Humedad y esfuerzo cortante, Ngps3.

Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico 17 se muestra el esfuerzo normal contra el esfuerzo cortante de 3 muestras ensayadas de esta unidad, donde se observa que una de las tres muestras tiene un comportamiento diferente. La muestra que presenta menor pendiente (ángulo de fricción) corresponde a la muestra EG-38-1.

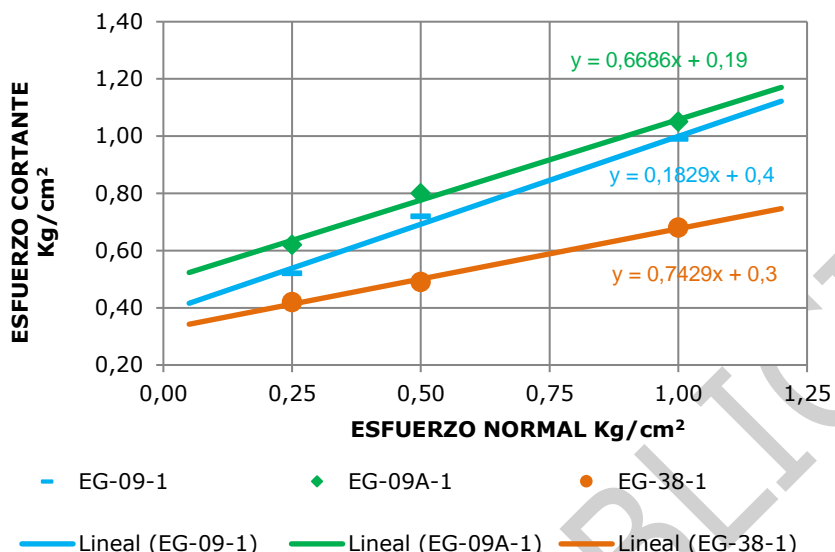


Gráfico 17. Esfuerzo normal y esfuerzo cortante, Ngps3.
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 72 se presenta el resumen de resultados de pruebas de campo realizadas con el penetrómetro de bolsillo, realizados a muestras inalteradas en la etapa de exploración geotécnica en el área de la cuenca sobre la unidad Ngps3. Se realizaron pruebas en 3 sitios de suelos residuales de esta unidad obteniendo consistencia mediana a dura.

Penetrómetro de bolsillo

Tabla 72. Resumen pruebas con penetrómetro de bolsillo – Ngps3.

SITIO	MUESTRA	RESISTENCIA PENETRÓMETRO Kg/cm ²				
		Laboratorio	P1	P2	P3	Consistencia
EG-09	1	1,25	1,6	1,1	1	1
EG-09	1	0,9				
EG-09	2		3,7	4,1	2	3
EG-09A	1		0,6	1,2	1,5	2
EG-09A	2		2,5	2	1,8	2
EG-38	1	0,75	0,6	1,1	0,6	2

Fuente: Elaboración propia.

Máximo valor 4.10 Kg/cm².

Mínimo valor 0.60 Kg/cm².

Promedio - media aritmética 1.57 Kg/cm².

Desviación estándar de una muestra 1.01.

En la Tabla 73 se presenta el resumen de resultados de pruebas de campo realizadas con el martillo Schmidt, realizados a macizos rocosos inalterados en la etapa de



exploración geotécnica en el área de la cuenca sobre la unidad Ngps3, clasificándose por resistencia como rocas blandas.

Martillo Schmidt

Tabla 73. Resumen pruebas con martillo Schmidt – Ngps3

SITIO	MUESTRA	RESISTENCIA SCHIMDT Mpa				
		P1	P2	Dureza	Estructura	
EG-09B		2	14	16	4	1
EG-09C		2	17,4	14,9	6	1

Fuente: Elaboración propia.

Máximo valor 17.40 Mpa.

Mínimo valor 14.00 Mpa.

Promedio - media aritmética 15.58 Mpa.

Desviación estándar de una muestra 1.47.

3.2.10.5.4 Unidad Pavo superior 2 – Ngps2

Propiedades índices

En el Gráfico 18 se presenta la variación de las propiedades índices con la profundidad. En general se observa alto contenido de finos, lo cual es atribuible a que en el área se encontraron arcillas de plasticidad alta a media. También se observa que el límite plástico se mueve en un rango más estrecho que el límite líquido, la humedad se disminuye en profundidad.

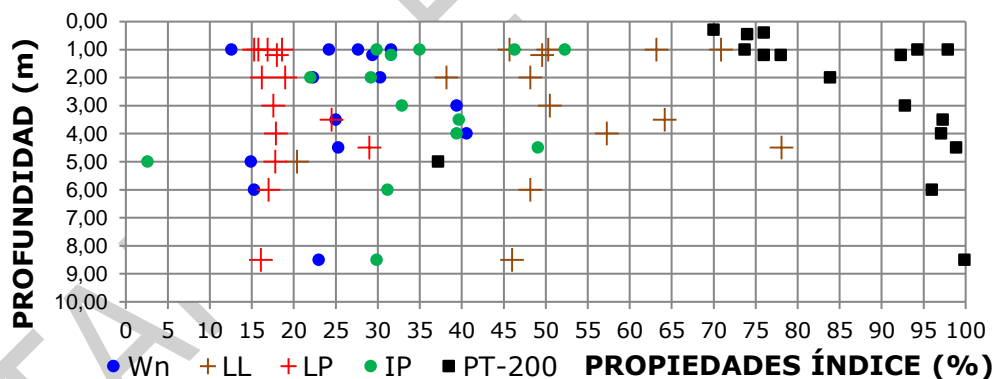


Gráfico 18. Variación de las propiedades índice con la profundidad, Ngps2.

Fuente: Elaboración propia.

Carta de plasticidad

En el Gráfico 19 se muestra la carta de plasticidad de acuerdo con los ensayos de laboratorios realizados. Como se observa los materiales arcillosos clasifican como CH y CL presentan plasticidad alta a media. Así mismo, se observa un alineamiento paralelo a la línea A, lo cual indica que estos materiales tienen el mismo origen geológico.

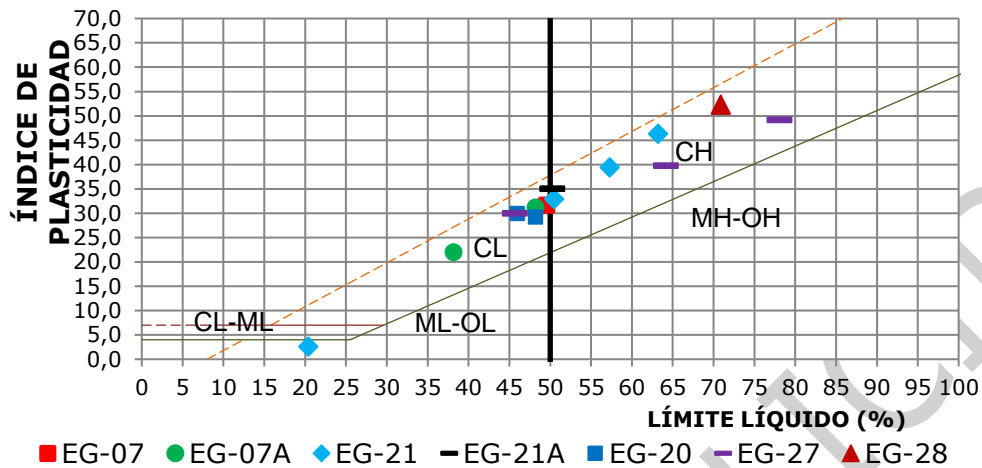


Gráfico 19. Plasticidad, Ngps2.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 74: Dato estadístico – Ngps2

DATO ESTADÍSTICO	Wn %	LL %	PL %	IP	%PT200
Máximo valor	40,60	78,10	29,00	52,30	99,90
Mínimo valor	12,60	20,40	15,30	2,60	37,20
Promedio - media aritmética	26,74	52,20	18,55	33,65	84,43
Desviación estándar de una muestra	8,19	14,26	3,74	12,33	16,14

Fuente: Elaboración propia.

Corte directo

En el Gráfico 20 se muestra la humedad contra el esfuerzo cortante de 5 muestras ensayadas de esta unidad, donde se observa dispersión en humedad (25% a 46%) y en esfuerzo cortante (0.4 a 0.9 Kg/cm²). En términos generales en todas las muestras se observa que a mayor humedad menor esfuerzo cortante.

Tabla 75. Resumen ensayos Corte Directo – Ngps2.

UNIDAD	SITIO - MUESTRA	ESFUERZO NORMAL Kg/Cm ²	ESFUERZO CORTANTE Kg/Cm ²	HUMEDAD %
Ngps2	EG-07A-2	0,25	0,44	26,95
		0,50	0,50	26,57
		1,00	0,58	26,08
	EG-20-2	0,25	0,38	30,77
		0,50	0,49	29,87
		1,00	0,87	24,92
	EG-21-1	0,25	0,38	31,71
		0,50	0,51	31,24
		1,00	0,67	30,52
	EG-21-3	0,25	0,41	45,21
		0,50	0,55	40,15
		1,00	0,71	39,28



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

UNIDAD	SITIO - MUESTRA	ESFUERZO NORMAL Kg/Cm2	ESFUERZO CORTANTE Kg/Cm2	HUMEDAD %
		0,25	0,45	36,39
	EG-28-2	0,50	0,59	34,90
		1,00	0,86	33,50

Fuente: Elaboración propia.

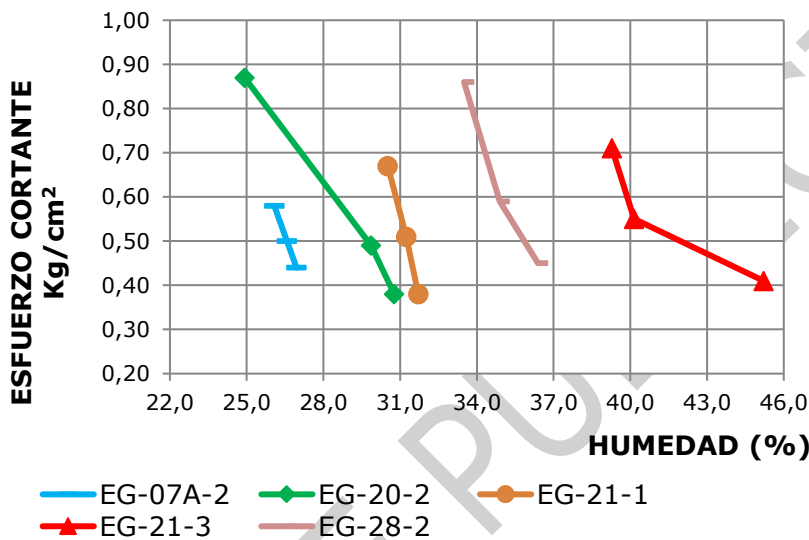


Gráfico 20. Humedad y esfuerzo cortante, Ngps2.

Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico 21 se muestra el esfuerzo normal contra el esfuerzo cortante de 5 muestras ensayadas de esta unidad, donde se observa dispersión en la pendiente de la recta (ángulo de fricción variando entre 10° y 34°).

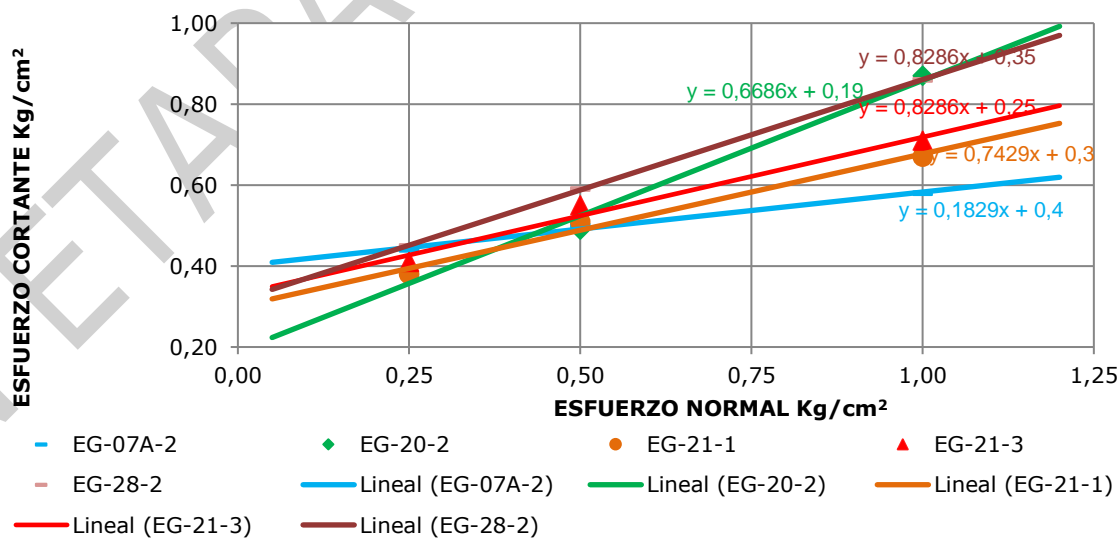


Gráfico 21. Esfuerzo normal y esfuerzo cortante, Ngps2.



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 76 se presenta el resumen de resultados de pruebas de campo realizadas con el penetrómetro de bolsillo, realizados a muestras inalteradas en la etapa de exploración geotécnica en el área de la cuenca sobre la unidad Ngps2. Se realizaron pruebas en 6 sitios de suelos residuales de esta unidad obteniendo consistencia desde muy blanda a dura.

Penetrómetro de bolsillo

Tabla 76. Resumen pruebas con penetrómetro de bolsillo – Ngps2

SITIO	MUESTRA	RESISTENCIA PENETRÓMETRO Kg/cm ²					Consistencia	
		Laboratorio	P1	P2	P3			
EG-07	1	0,25	0,5	0,5	0,7		2	
EG-07	2	0,2						
EG-07A	1		0,7	0,8	1		2	
EG-07A	2	0,1						
EG-21	1	0,2						
EG-21	2		0,6	1,1	1,5		2	
EG-21	3	0,5						
EG-20	1		0,25	0,5	0,25		2	
EG-27	2		2	4,1	3,2		2	
EG-27	3		5	5	5		3	
EG-28	1	1,8						
EG-28	2	0,75	0,75	0,5	0,75		1	

Fuente: Elaboración propia.
Máximo valor 5.00 Kg/cm².
Mínimo valor 0.10 Kg/cm².
Promedio - media aritmética 1.38 Kg/cm².
Desviación estándar de una muestra 1.56.

En la Tabla 77 se presenta el resumen de resultados de pruebas de campo realizadas con el martillo Schmidt, realizados a macizos rocosos inalterados en la etapa de exploración geotécnica en el área de la cuenca sobre la unidad Ngps2, clasificándose por resistencia como rocas blandas.

Martillo Schmidt

Tabla 77. Resumen pruebas con martillo Schmidt – Ngps2

SITIO	MUESTRA	RESISTENCIA SCHIMDT				Estructura	
		Mpa		Dureza			
		P1	P2				
EG-07	2	10	10	3		2	
EG-21	5	10	10	3		1	

Fuente: Elaboración propia.

3.2.10.5.5 Unidad Pavo superior 1 – Ngps1



Propiedades índices

En el Gráfico 22 se presenta la variación de las propiedades índices con la profundidad. En general se observa que el contenido de finos se mueve en un rango amplio, lo cual es atribuible a que en el área se encontraron arcillas de plasticidad alta y algo de arenas arcillosas.

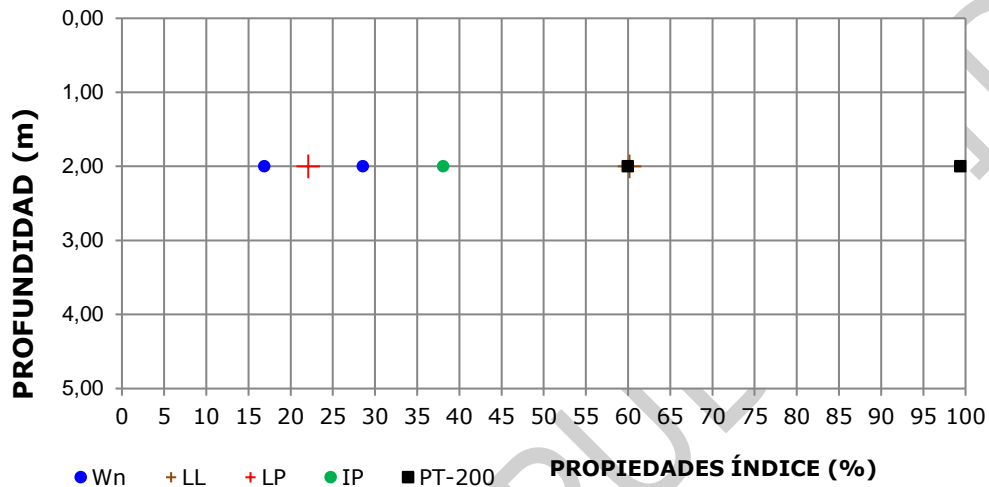


Gráfico 22. Variación de las propiedades índice con la profundidad, Ngps1.
Fuente: Elaboración propia.

Carta de plasticidad

En el Gráfico 23 se muestra la carta de plasticidad de acuerdo con los ensayos de laboratorios realizados. Como se observa los materiales arcillosos clasifican como CH presentan plasticidad predominantemente alta. Así mismo, se observa un alineamiento paralelo a la línea A, lo cual indica que estos materiales tienen el mismo origen geológico.

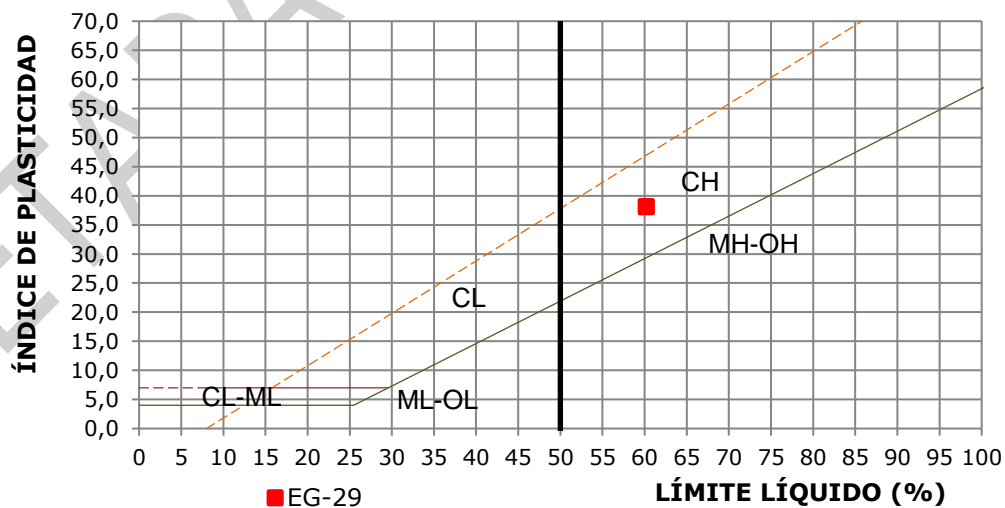


Gráfico 23. Plasticidad, Ngps1.
Fuente: Elaboración propia.



Tabla 78. Dato estadístico – Ngps1.

DATO ESTADÍSTICO	Wn %	LL %	PL %	IP	%PT200
Máximo valor	28,60	60,20	22,10	38,10	99,40
Mínimo valor	16,90	60,20	22,10	38,10	60,00
Promedio - media aritmética	22,75	60,20	22,10	38,10	79,70
Desviación estándar de una muestra	8,27				27,86

Fuente: Elaboración propia.

Corte directo

En el Gráfico 24 se muestra la humedad contra el esfuerzo cortante de 1 muestra ensayada de esta unidad, donde se observa alguna dispersión de la humedad y del esfuerzo cortante. En términos generales en la muestra se observa que a mayor humedad menor esfuerzo cortante.

Tabla 79. Resumen ensayos Corte Directo – Ngps1.

UNIDAD	SITIO - MUESTRA	ESFUERZO NORMAL Kg/cm ²	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm ²	HUMEDAD %
Ngps1	EG-29-1	0,25	0,83	32,29
		0,50	0,94	31,65
		1,00	1,29	30,48

Fuente: Elaboración propia.

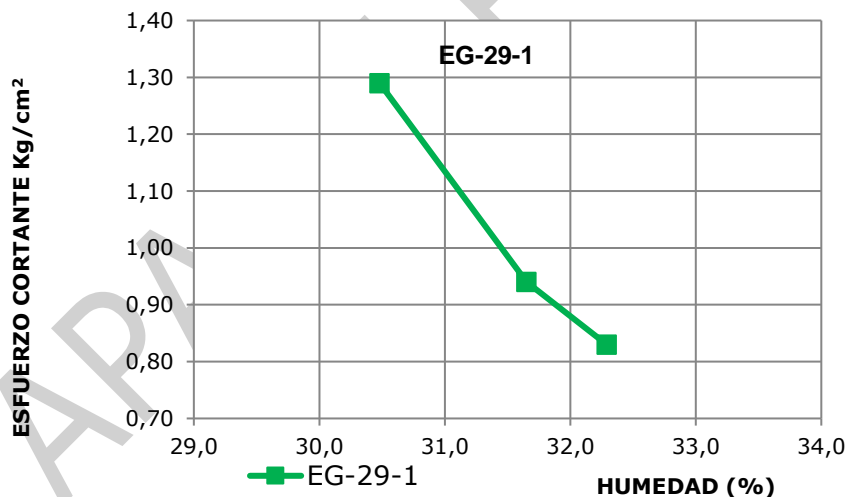


Gráfico 24. Humedad y esfuerzo cortante, Ngps1.

Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico 25 se muestra el esfuerzo normal contra el esfuerzo cortante de 1 muestra ensayada de esta unidad, donde se observa un ángulo de fricción de 31.62° y cohesión de 66 Kpa.

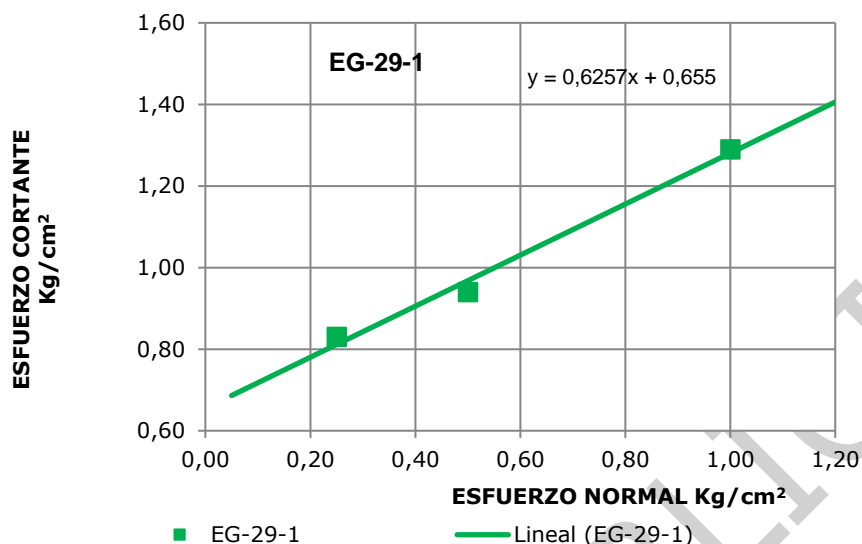


Gráfico 25. Esfuerzo normal y esfuerzo cortante, Ngps1.
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 80 se presenta el resumen de resultados de pruebas de campo realizadas con el penetrómetro de bolsillo, realizados a muestras inalteradas en la etapa de exploración geotécnica en el área de la cuenca sobre la unidad Ngps1. Se realizó una prueba en suelos residuales de esta unidad obteniendo consistencia de mediana a firme.

Penetrómetro de bolsillo

Tabla 80. Resumen pruebas con penetrómetro de bolsillo – Ngps1

SITIO	MUESTRA	RESISTENCIA PENETRÓMETRO Kg/cm ²				
		Laboratorio	P1	P2	P3	Consistencia
EG-29	1	1,7	0,8	1,2	1,3	3

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 81 se presenta el resumen de resultados de pruebas de campo realizadas con el martillo Schmidt, realizados a macizos rocosos inalterados en la etapa de exploración geotécnica en el área de la cuenca sobre la unidad Ngps1, clasificándose por resistencia como rocas blandas.

Martillo Schmidt

Tabla 81. Resumen pruebas con martillo Schmidt – Ngps1.

SITIO	MUESTRA	RESISTENCIA SCHIMDT Mpa			
		P1	P2	Dureza	Estructura
EG-32	1	10	18	5	1

Fuente: Elaboración propia.

Máximo valor 10.00 Mpa.

Mínimo valor 18.00 Mpa.

Promedio - media aritmética 14.00 Mpa.



Desviación estándar de una muestra 5.66.

3.2.10.5.6 Unidad Pavo inferior 3 – Ngpi3

Propiedades índices

En el Gráfico 26 se presenta la variación de las propiedades índices con la profundidad. En general se observa que el contenido de finos se mueve en un rango amplio, lo cual es atribuible a que en el área se encontraron desde arcillas de plasticidad media hasta arenas arcillosas. También se observa que el límite plástico se mueve en un rango más estrecho que el límite líquido, la humedad se disminuye en profundidad.

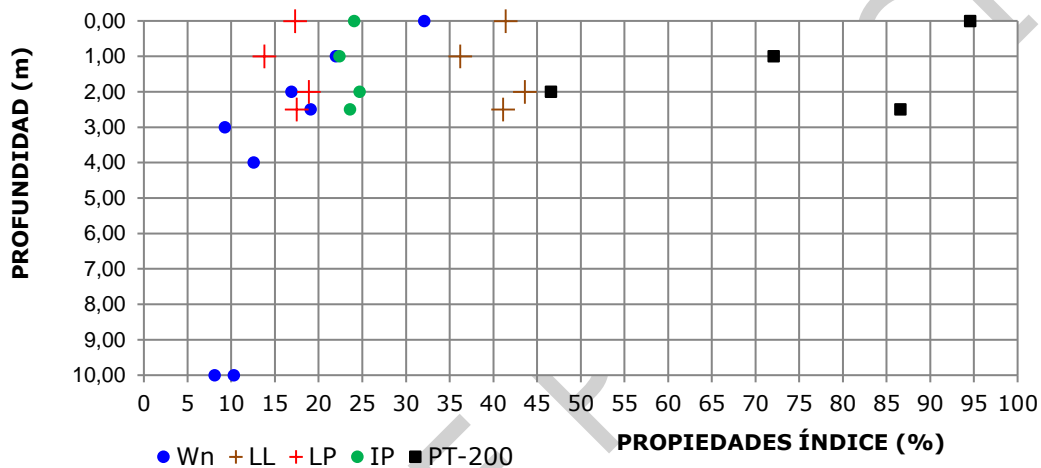


Gráfico 26. Variación de las propiedades índice con la profundidad, Ngpi3.
Fuente: Elaboración propia.

Carta de plasticidad

En el Gráfico 27 se muestra la carta de plasticidad de acuerdo con los ensayos de laboratorios realizados. Como se observa los materiales arcillosos clasifican como CL presentan plasticidad predominantemente media. Así mismo, se observa un alineamiento paralelo a la línea A, lo cual indica que estos materiales tienen el mismo origen geológico.

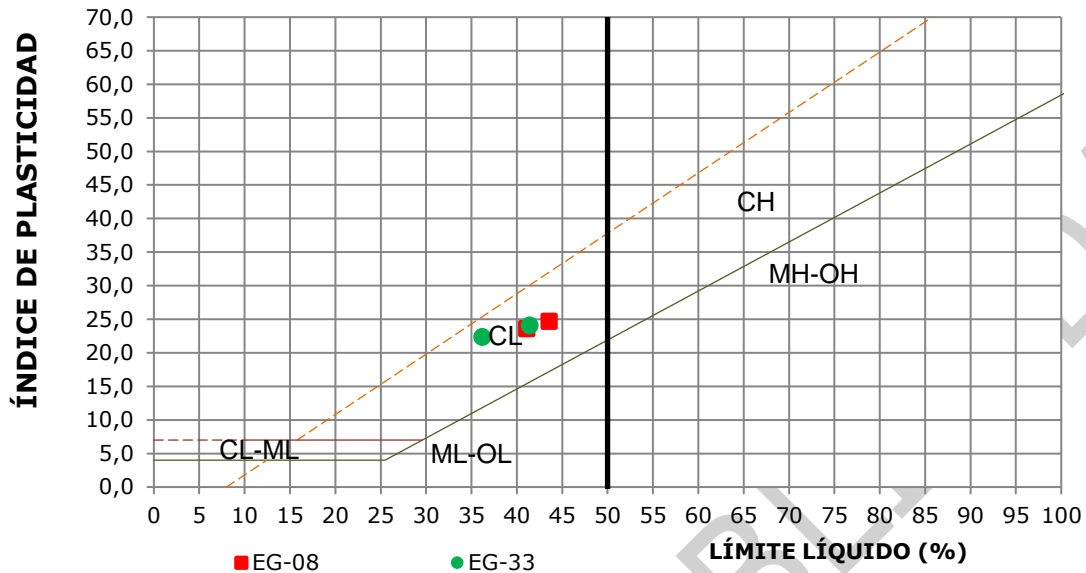


Gráfico 27. Plasticidad, Ngpi3.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 82. Dato estadístico – Ngpi3.

DATO ESTADÍSTICO	Wn %	LL %	PL %	IP	%PT200
Máximo valor	32,10	43,60	18,90	24,70	94,60
Mínimo valor	8,10	36,20	13,80	22,40	46,60
Promedio - media aritmética	16,30	40,58	16,88	23,70	74,98
Desviación estándar de una muestra	8,07	3,12	2,17	0,98	21,08

Fuente: Elaboración propia.

Corte directo

En el Gráfico 28 se muestra la humedad contra el esfuerzo cortante de 2 muestras ensayadas de esta unidad, donde se observa dispersión en los resultados. La muestra que presenta mayor esfuerzo cortante corresponde a la que tiene menor contenido de finos. En términos generales en todas las muestras se observa que a mayor humedad menor esfuerzo cortante.

Tabla 83. Resumen ensayos Corte Directo – Ngpi3.

UNIDAD	SITIO - MUESTRA	ESFUERZO NORMAL Kg/cm ²	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm ²	HUMEDAD %
Ngpi3	EG-08-1	0,25	1,00	28,50
		0,50	1,22	26,60
	EG-33-1	1,00	1,51	24,03
		0,25	0,64	25,83
		0,50	0,81	23,76
		1,00	1,09	22,79

Fuente: Elaboración propia.

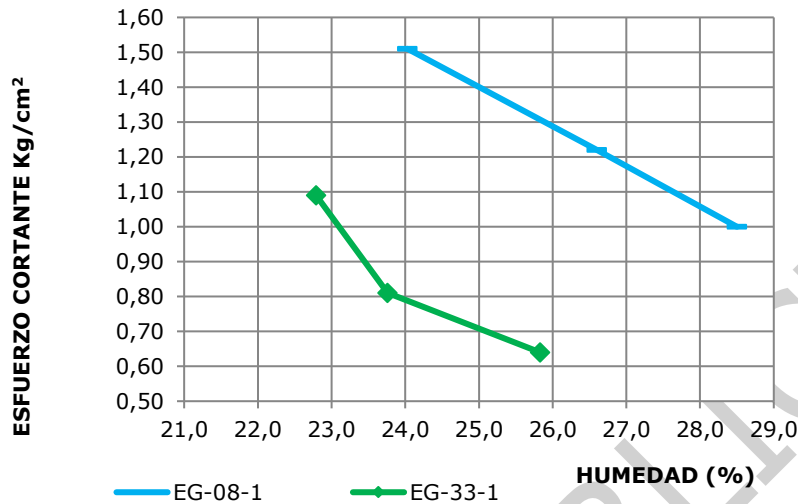


Gráfico 28. Humedad y esfuerzo cortante, Ngpi3.
Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico 29 se muestra el esfuerzo normal contra el esfuerzo cortante de 2 muestras ensayadas de esta unidad, donde se observa uniformidad en la pendiente (similar ángulo de fricción).

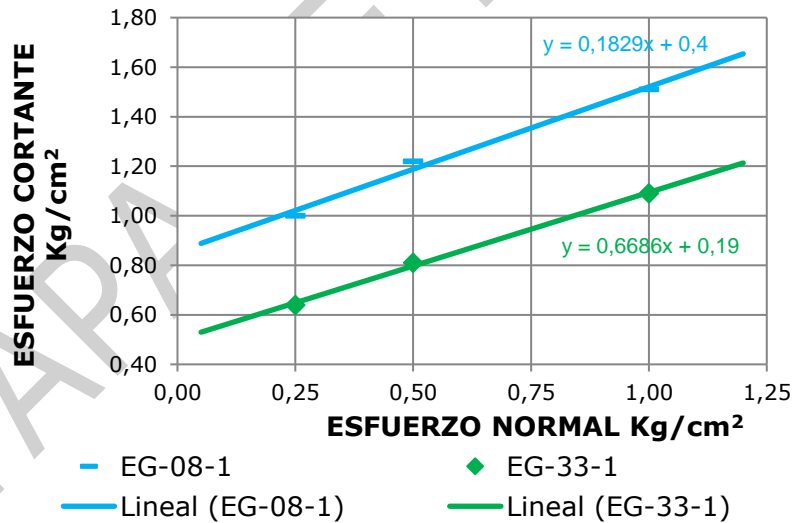


Gráfico 29. Esfuerzo normal y esfuerzo cortante, Ngpi3.
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 84 se presenta el resumen de resultados de pruebas de campo realizadas con el penetrómetro de bolsillo, realizados a muestras inalteradas en la etapa de exploración geotécnica en el área de la cuenca sobre la unidad Ngpi3. Se realizaron pruebas en 2 sitios de suelos residuales de esta unidad obteniendo consistencia mediana a dura.



Penetrómetro de bolsillo

Tabla 84: Resumen pruebas con penetrómetro de bolsillo – Ngpi3.

SITIO	MUESTRA	RESISTENCIA PENETRÓMETRO Kg/cm ²				
		Laboratorio	P1	P2	P3	Consistencia
EG-08	1		3,6	4,2	3	2
EG-33	1	2	0,7	0,8	0,7	2

Fuente: Elaboración propia.

Máximo valor 4.20 Kg/cm².

Mínimo valor 0.70 Kg/cm².

Promedio - media aritmética 2.14 Kg/cm².

Desviación estándar de una muestra 1.48.

En la Tabla 85 se presenta el resumen de resultados de pruebas de campo realizadas con el martillo Schmidt, realizados a macizos rocosos inalterados en la etapa de exploración geotécnica en el área de la cuenca sobre la unidad Ngpi3, clasificándose por resistencia como rocas blandas.

Martillo Schmidt

Tabla 85. Resumen pruebas con martillo Schmidt – Ngpi3

SITIO	MUESTRA	RESISTENCIA SCHIMDT Mpa			
		P1	P2	Dureza	Estructura
EG-30	1	10	16	3	1
EG-30A	1	10	15	3	1
EG-33A	1	23	26	2	1

Fuente: Elaboración propia.

Máximo valor 26.00 Mpa.

Mínimo valor 10.00 Mpa.

Promedio - media aritmética 16.67 Mpa.

Desviación estándar de una muestra 6.62.

3.2.10.5.7 Unidad Pavo Inferior 2 – Ngpi2

Propiedades índices

En el Gráfico 30 se presenta la variación de las propiedades índices con la profundidad. En general se observa un alto contenido de finos, lo cual es atribuible a que en el área se encontraron arcillas de plasticidad alta a media. También se observa que el límite plástico se mueve en un rango más estrecho que el límite líquido, la humedad se disminuye en profundidad.

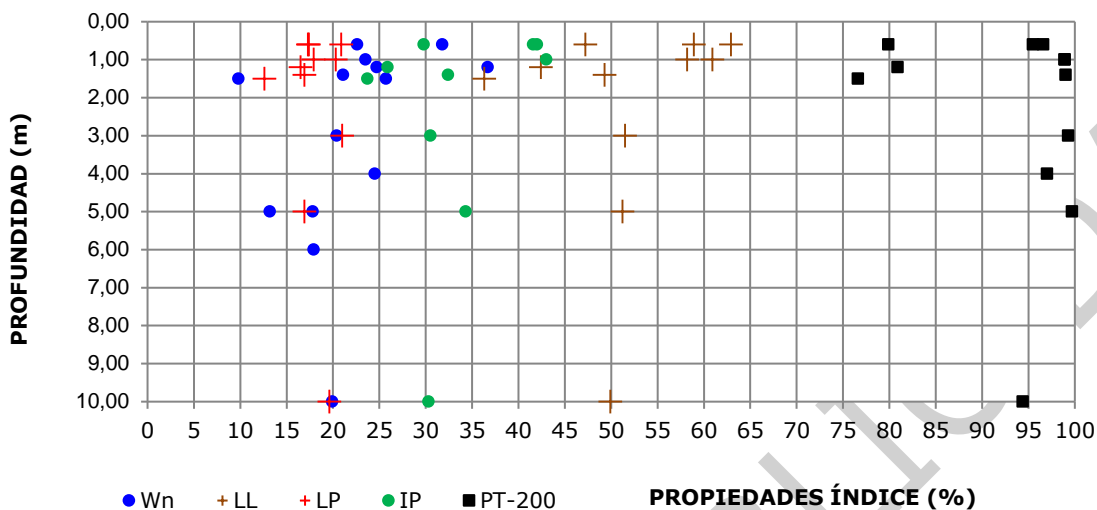


Gráfico 30. Variación de las propiedades índice con la profundidad, Ngpi2.
 Fuente: Elaboración propia.

Carta de plasticidad

En el Gráfico 31 se muestra la carta de plasticidad de acuerdo con los ensayos de laboratorios realizados. Como se observa los materiales arcillosos clasifican como CH y CL presentan plasticidad alta a media. Así mismo, se observa un alineamiento paralelo a la línea A, lo cual indica que estos materiales tienen el mismo origen geológico.

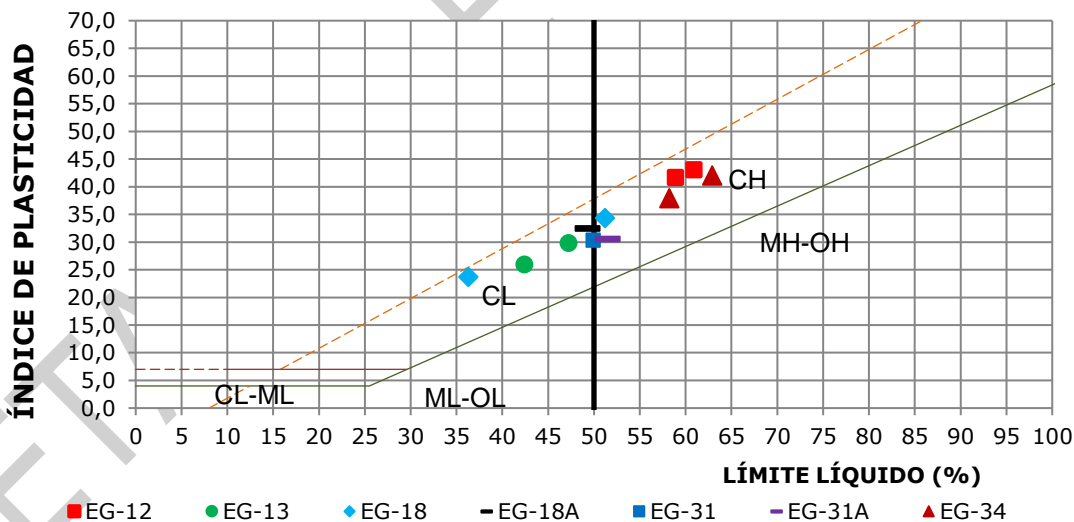


Gráfico 31. Plasticidad, Ngpi2.
 Fuente: Elaboración propia.

Tabla 86. Dato estadístico – Ngpi2

DATO ESTADÍSTICO	Wn %	LL %	PL %	IP	%PT200
Máximo valor	36,70	62,90	21,00	43,00	99,70
Mínimo valor	9,80	36,30	12,60	23,70	76,60
Promedio - media aritmética	22,84	51,70	17,94	33,76	93,06



Desviación estándar de una muestra 6,72 8,11 2,45 6,60 8,60

Fuente: Elaboración propia.

Corte directo

En el Gráfico 32 se muestra la humedad contra el esfuerzo cortante de 5 muestras ensayadas de esta unidad, donde se observa dispersión en los resultados (humedad entre 20% y 36% y esfuerzo cortante entre 0.3 kg/cm² y 1.0 kg/cm²). En términos generales en todas las muestras se observa que a mayor humedad menor esfuerzo cortante.

Tabla 87. Resumen ensayos Corte Directo – Ngpi2

UNIDAD	SITIO - MUESTRA	ESFUERZO NORMAL kg/cm ²	ESFUERZO CORTANTE kg/cm ²	HUMEDAD %
Ngpi2	EG-12-1	0,25	0,45	27,69
		0,50	0,58	26,86
		1,00	0,77	25,78
	EG-13-1	0,25	0,47	26,06
		0,50	0,63	26,12
		1,0	0,97	25,32
	EG-13-2	0,25	0,28	31,54
		0,50	0,45	29,68
		1,00	0,64	28,99
	EG-18-2	0,25	0,66	24,30
		0,50	0,76	23,89
		1,00	0,95	21,29
	EG-34-1	0,25	0,41	35,04
		0,50	0,49	32,42
		1,00	0,64	31,50

Fuente: Elaboración propia.

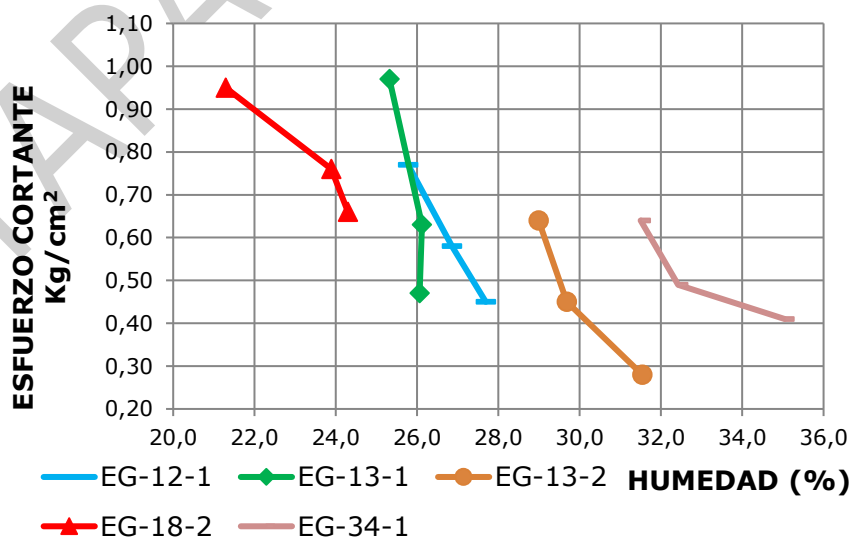


Gráfico 32. Humedad y esfuerzo cortante, Ngpi2.



Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico 33 se muestra el esfuerzo normal contra el esfuerzo cortante de 5 muestras ensayadas de esta unidad, donde se observa que tres de las cinco muestras tienen un comportamiento similar (EG-12-1, EG-13-2 y EG-18-2).

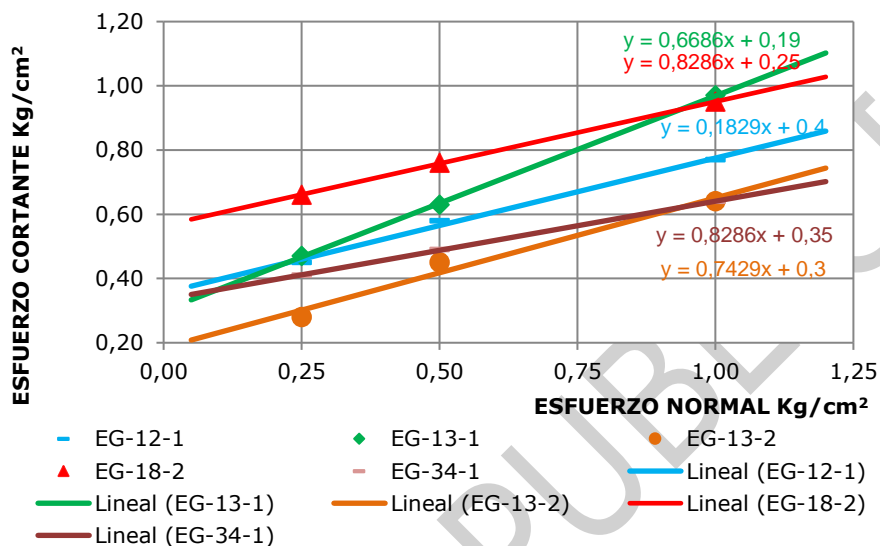


Gráfico 33. Esfuerzo normal y esfuerzo cortante, Ngpi2.
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 86 se presenta el resumen de resultados de pruebas de campo realizadas con el penetrómetro de bolsillo, realizados a muestras inalteradas en la etapa de exploración geotécnica en el área de la cuenca sobre la unidad Ngpi2. Se realizaron pruebas en 6 sitios de suelos residuales de esta unidad obteniendo consistencia muy blanda a dura.

Penetrómetro de bolsillo

Tabla 88. Resumen pruebas con penetrómetro de bolsillo – Ngpi2.

SITIO	Muestra	RESISTENCIA PENETRÓMETRO Kg/cm ²					CONSISTENCIA
		LABORATORIO	P1	P2	P3		
EG-12	1		1,2	1,6	0,9	1,4	2
EG-13	1		3	0,7	1,2	1,1	2
EG-13	2		0,1				
EG-18	1		0,25				
EG-18	2			4,5	4,3	2,3	2
EG-18A	1			1,5	1,8	1	2
EG-31A				1,4	2	1,7	2
EG-34			0,7	0,8	0,8	0,8	2
EG-34			1,2				

Fuente: Elaboración propia.

Máximo valor 4.50 Kg/cm².
Mínimo valor 0.10 Kg/cm².



Promedio - media aritmética 1.51 Kg/cm².
 Desviación estándar de una muestra 1.09.

En la Tabla 89 se presenta el resumen de resultados de pruebas de campo realizadas con el martillo Schmidt, realizados a macizos rocosos inalterados en la etapa de exploración geotécnica en el área de la cuenca sobre la unidad Ngpi2, clasificándose por resistencia como rocas blandas.

Martillo Schmidt

Tabla 89. Resumen pruebas con martillo Schmidt – Ngpi2

SITIO	MUESTRA	RESISTENCIA SCHIMDT Mpa				
		P1	P2	DUREZA	ESTRUCTURA	
EG-12		3	14	16	5	1
EG-13		3	10	14	5	2
EG-19A		1	10	10	7	1
EG-31		1	10	10	3	1

Fuente: Elaboración propia

Máximo valor 16.00 Mpa.
 Mínimo valor 10.00 Mpa.
 Promedio - media aritmética 11.75 Mpa.
 Desviación estándar de una muestra 2.49.

3.2.10.5.8 Unidad Pavo inferior 1 – Ngpi1

Propiedades índices

En el Gráfico 34 se presenta la variación de las propiedades índices con la profundidad. En general se observa que el contenido de finos se mueve en un rango amplio, lo cual es atribuible a que en el área se encontraron desde arcillas y limos de plasticidad alta a media y arenas arcillosas. También se observa que el límite plástico se mueve en un rango más estrecho que el límite líquido, la humedad se disminuye en profundidad.

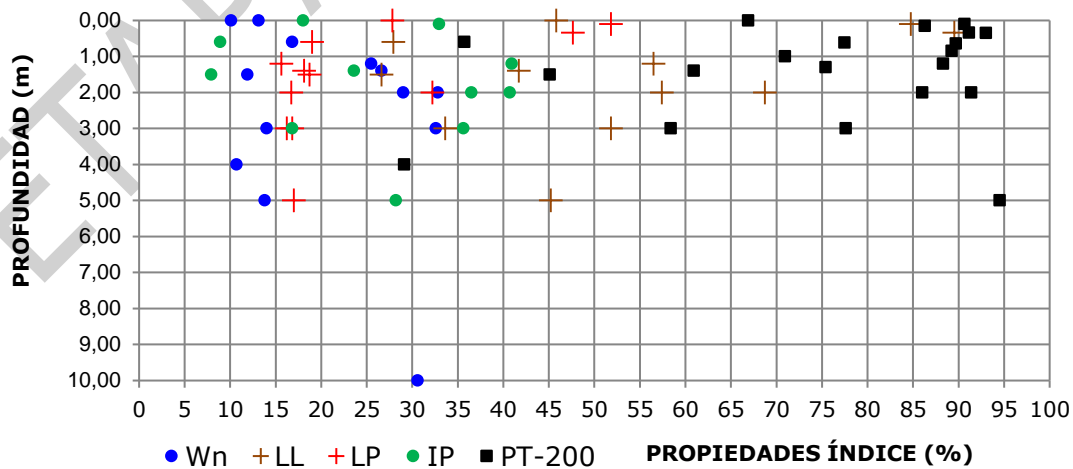


Gráfico 34. Variación de las propiedades índice con la profundidad, Ngpi1.



Fuente: Elaboración propia.

Carta de plasticidad

En el Gráfico 35 se muestra la carta de plasticidad de acuerdo con los ensayos de laboratorios realizados. Como se observa los materiales arcillosos clasifican como CL, CH y MH presentan plasticidad media a alta. Así mismo, se observa un alineamiento paralelo a la línea A, lo cual indica que estos materiales tienen el mismo origen geológico.

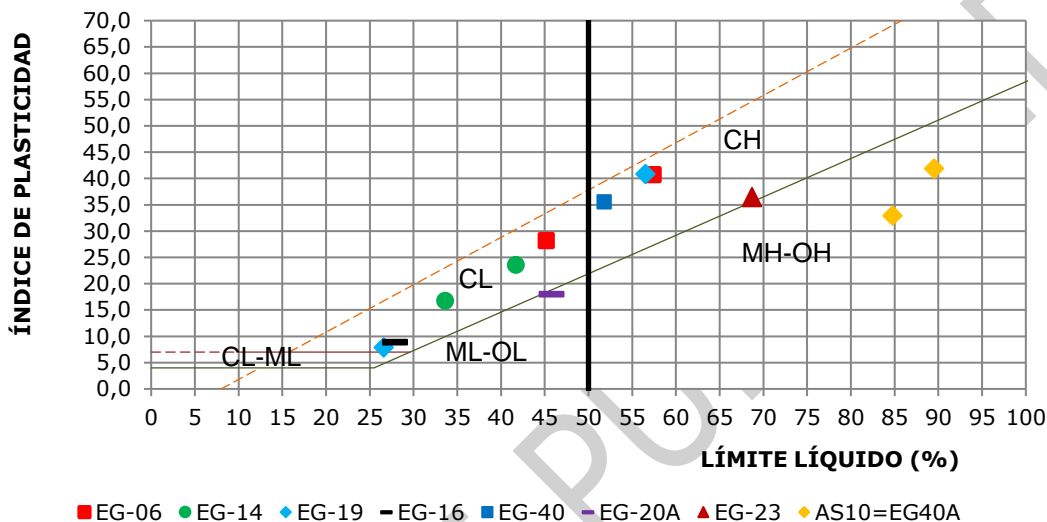


Gráfico 35. Plasticidad, Ngpi1.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 90. Dato estadístico – Ngpi1

DATO ESTADÍSTICO	Wn %	LL %	PL %	IP	%PT200
Máximo valor	32,80	89,52	51,80	41,90	94,50
Mínimo valor	10,10	26,60	15,60	7,90	29,10
Promedio - media aritmética	21,22	52,46	24,79	27,66	74,43
Desviación estándar de una muestra	8,96	20,36	12,71	12,39	19,39

Fuente: Elaboración propia.

Corte directo

En el Gráfico 36 se muestra la humedad contra el esfuerzo cortante de 2 muestras ensayadas de esta unidad, donde se observa dispersión en los resultados. La muestra que presenta mayor esfuerzo cortante y menor humedad corresponde a la que tiene menor contenido de finos, y es quizás la más representativa de la unidad (EG-14-1). En términos generales en todas las muestras se observa que a mayor humedad menor esfuerzo cortante.

Tabla 91. Resumen ensayos Corte Directo – Ngpi1

UNIDAD	SITIO - MUESTRA	ESFUERZO NORMAL kg/cm ²	ESFUERZO CORTANTE kg/cm ²	HUMEDAD %
Ngpi1	EG-14-1	0,25	0,42	28,39
		0,50	0,62	27,05



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

UNIDAD	SITIO - MUESTRA	ESFUERZO NORMAL kg/cm ²	ESFUERZO CORTANTE kg/cm ²	HUMEDAD %
			1,00	26,40
		0,25	0,44	35,03
	EG-40-1	0,50	0,55	34,86
		1,00	0,62	33,59

Fuente: Elaboración propia.

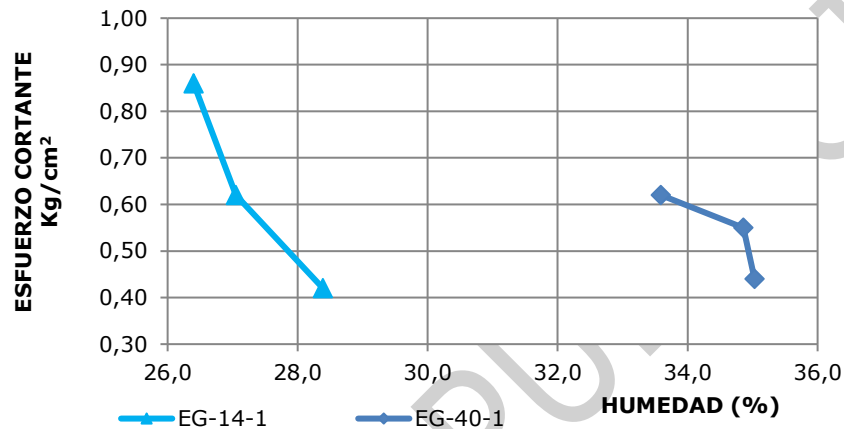


Gráfico 36. Humedad y esfuerzo cortante, Ngpi1.
 Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico 37 se muestra el esfuerzo normal contra el esfuerzo cortante de 2 muestras ensayadas de esta unidad, donde se observa dispersión en los resultados. La muestra que presenta menor pendiente (ángulo de fricción) corresponde a la que tiene mayor contenido de finos (EG-40-1), y es quizás la menos representativa de la unidad.

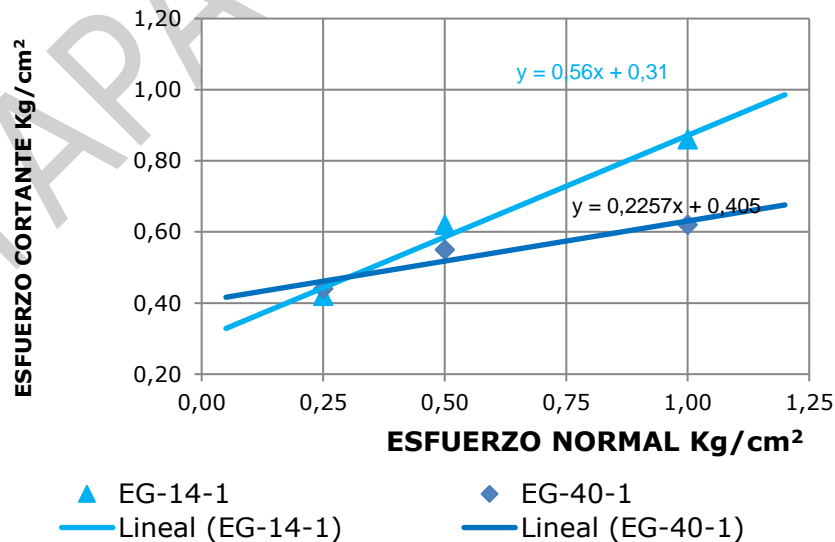


Gráfico 37. Esfuerzo normal y esfuerzo cortante, Ngpi1.
 Fuente: Elaboración propia.



En la Tabla 92 se presenta el resumen de resultados de pruebas de campo realizadas con el penetrómetro de bolsillo, realizados a muestras inalteradas en la etapa de exploración geotécnica en el área de la cuenca sobre la unidad Ngpi1. Se realizaron pruebas en 5 sitios de suelos residuales de esta unidad obteniendo consistencia muy blanda a muy firme.

Penetrómetro de bolsillo

Tabla 92. Resumen pruebas con penetrómetro de bolsillo – Ngpi1.

SITIO	MUESTRA	RESISTENCIA PENETRÓMETRO Kg/cm ²				
		Laboratorio	P1	P2	P3	Consistencia
EG-06	1		0,4	0,5	0,6	1
EG-14	1		0,3	0,3	0,3	2
EG-14	1	0,5				
EG-19	1		4	1,5	2,5	2
EG-40	1	1,2	0,2	0,3	0,2	2

Fuente: Elaboración propia.

Máximo valor 4.00 Kg/cm².

Mínimo valor 0.20 Kg/cm².

Promedio - media aritmética 0.91 Kg/cm².

Desviación estándar de una muestra 1.10.

En la Tabla 92 se presenta el resumen de resultados de pruebas de campo realizadas con el martillo Schmidt, realizados a macizos rocosos inalterados en la etapa de exploración geotécnica en el área de la cuenca sobre la unidad Ngpi1, clasificándose por resistencia como rocas blandas.

Martillo Schmidt

Tabla 93. Resumen pruebas con martillo Schmidt – Ngpi1.

SITIO	MUESTRA	RESISTENCIA SCHIMDT Mpa			
		P1	P2	Dureza	Estructura
EG-19	2	10	10	3	1
EG-16	2	17	23	3	1
EG-23	1	10	10	5	2
EG-40A	1	10	16	4	2

Fuente: Elaboración propia.

Máximo valor 23.00 Mpa.

Mínimo valor 10.00 Mpa.

Promedio - media aritmética 13.25 Mpa.

Desviación estándar de una muestra 4.92.

3.2.10.5.9 Depósitos cuaternarios marinos – Qm



Propiedades índices

En el Gráfico 38 se presenta la variación de las propiedades índices con la profundidad. En general se observa que el contenido de finos se mueve en un rango amplio, lo cual es atribuible a que en el área se encontraron desde arcillas de plasticidad alta a media y arenas arcillosas. También se observa que el límite plástico se mueve en un rango más estrecho que el límite líquido.

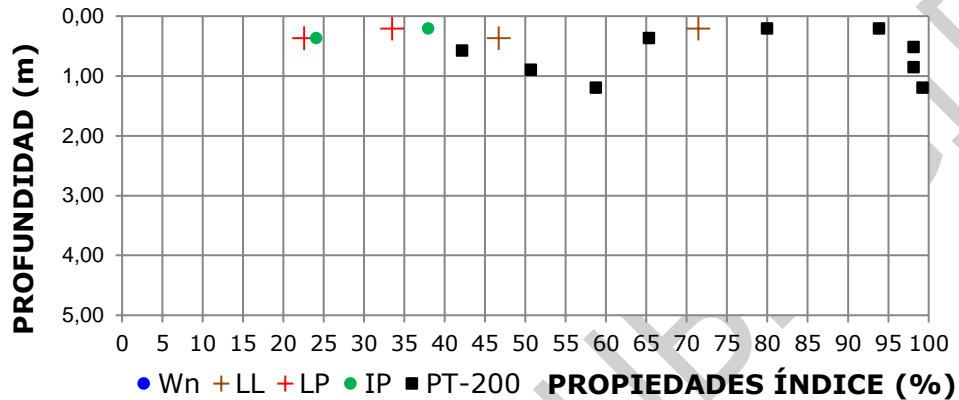


Gráfico 38. Variación de las propiedades índice con la profundidad, Qm.
Fuente: Elaboración propia.

Carta de plasticidad

En el Gráfico 39 muestra la carta de plasticidad de acuerdo con los ensayos de laboratorios realizados. Como se observa los materiales arcillosos clasifican como CH y CL presentan plasticidad alta a media. Así mismo, se observa un alineamiento paralelo a la línea A, lo cual indica que estos materiales tienen el mismo origen geológico.

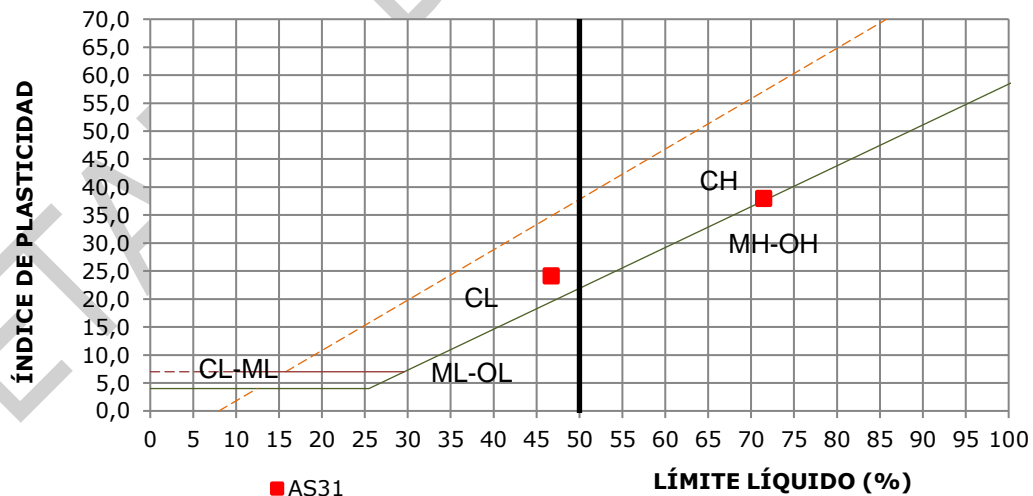


Gráfico 39. Plasticidad, Qm.
Fuente: Elaboración propia.



Tabla 94. Dato estadístico – Qm.

DATO ESTADÍSTICO	Wn %	LL %	PL %	IP	%PT200
Máximo valor		71,45	33,49	37,96	99,28
Mínimo valor		46,69	22,59	24,10	42,16
Promedio - media aritmética		59,07	28,04	31,03	76,26
Desviación estándar de una muestra		17,51	7,71	9,80	22,51

Fuente: Elaboración propia.

3.2.10.5.10 Depósitos cuaternarios aluviales – Qal

Propiedades índices por unidades

En el Gráfico 40 se presenta la variación de las propiedades índices con la profundidad. En general se observa que el contenido de finos se mueve en un rango amplio, lo cual es atribuible a que en el área se encontraron desde arcillas de plasticidad alta media y arenas arcillosas. También se observa que el límite plástico se mueve en un rango más estrecho que el límite líquido.

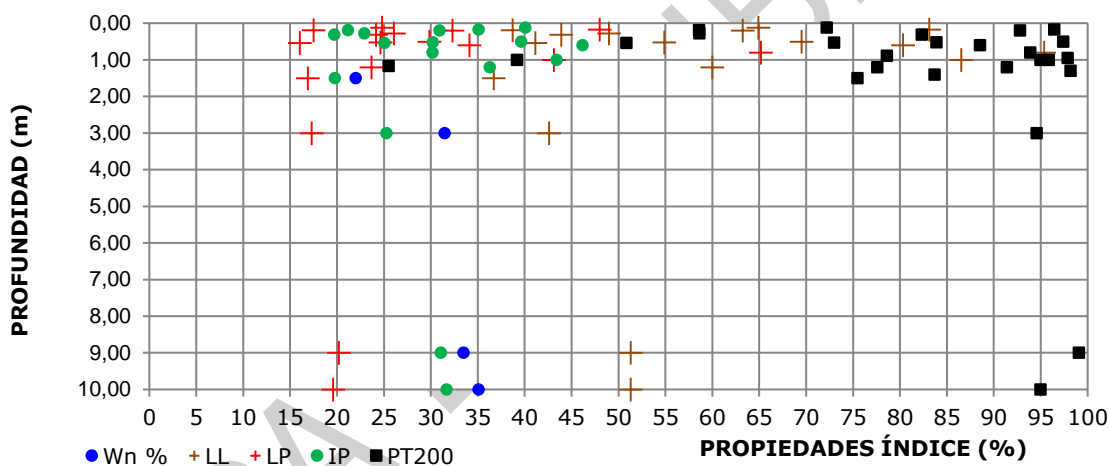


Gráfico 40. Variación de las propiedades índice con la profundidad, Qal.
 Fuente: Elaboración propia.

Carta de plasticidad

En el Gráfico 41 se muestra la carta de plasticidad de acuerdo con los ensayos de laboratorios realizados. Como se observa los materiales arcillosos clasifican como CH, CL y MH presentan plasticidad alta a media. Así mismo, se observa dispersión de los resultados respecto al alineamiento de la línea A, lo cual indica que estos materiales tienen diferente origen geológico.

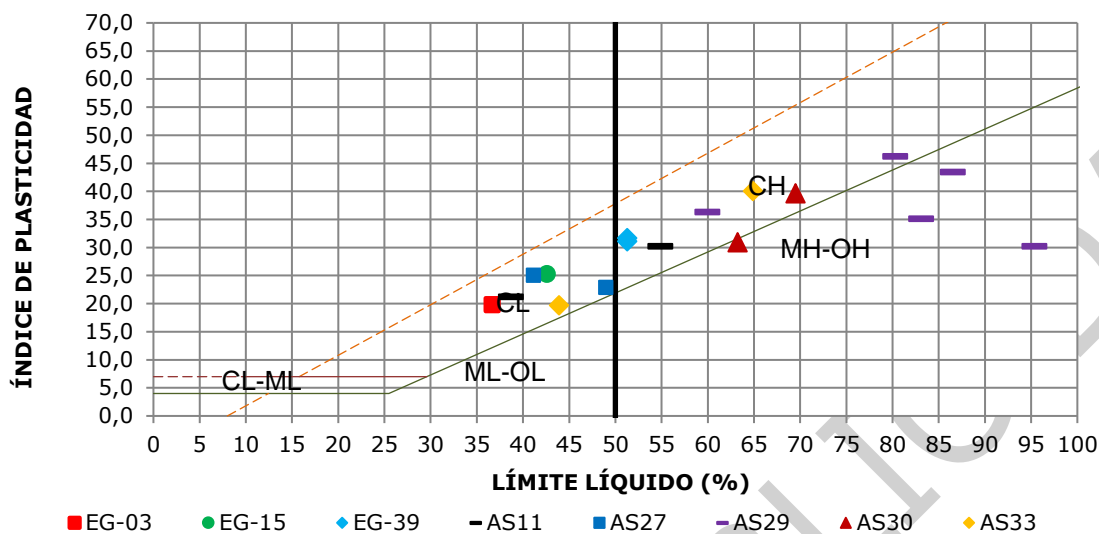


Gráfico 41. Plasticidad, Qal.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 95. Dato estadístico – Qal.

DATO ESTADÍSTICO	Wn %	LL %	PL %	IP	%PT200
Máximo valor	35,10	95,37	65,18	46,21	99,10
Mínimo valor	22,00	36,70	16,05	19,74	25,51
Promedio - media aritmética	30,53	59,56	28,44	31,12	80,62
Desviación estándar de una muestra	5,87	18,09	13,10	8,18	19,62

Fuente: Elaboración propia.

Corte directo

En el Gráfico 42 se muestra la humedad contra el esfuerzo cortante de 2 muestras ensayadas de esta unidad, donde se observa dispersión en los resultados. La muestra que presenta mayor esfuerzo cortante y menor humedad corresponde a la que tiene menor contenido de finos, y es quizás la más representativa de la unidad (EG-03-1). En términos generales en todas las muestras se observa que a mayor humedad menor esfuerzo cortante.

Tabla 96. Resumen ensayos Corte Directo – Qal

UNIDAD	SITIO - MUESTRA	ESFUERZO NORMAL kg/cm ²	ESFUERZO CORTANTE kg/cm ²	HUMEDAD %
Qal	EG-03-1	0,25	0,62	22,23
		0,50	0,80	22,14
		1,00	1,06	20,96
	EG-15-1	0,25	0,41	30,59
		0,50	0,49	30,41
		1,00	0,77	29,99

Fuente: Elaboración propia.

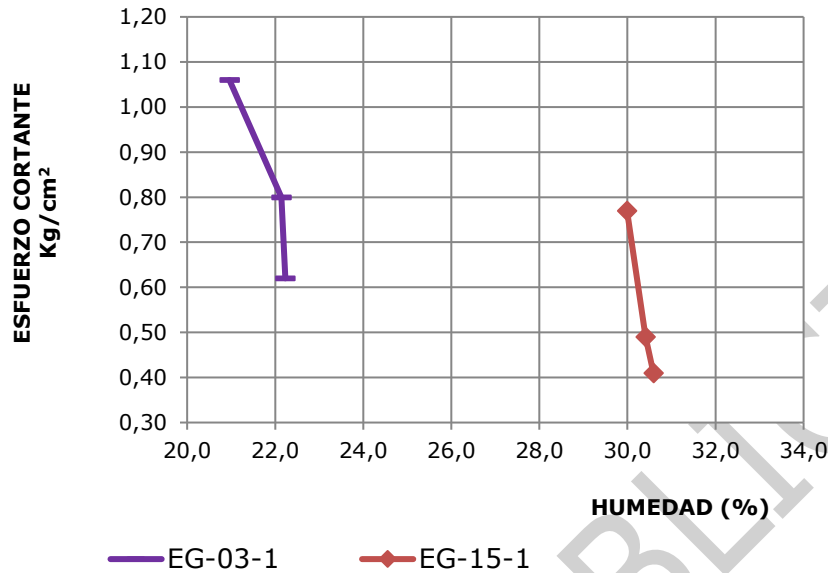


Gráfico 42. Humedad y esfuerzo cortante, Qal.
 Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico 43 se muestra el esfuerzo normal contra el esfuerzo cortante de 2 muestras ensayadas de esta unidad, donde se observa dispersión en los resultados.

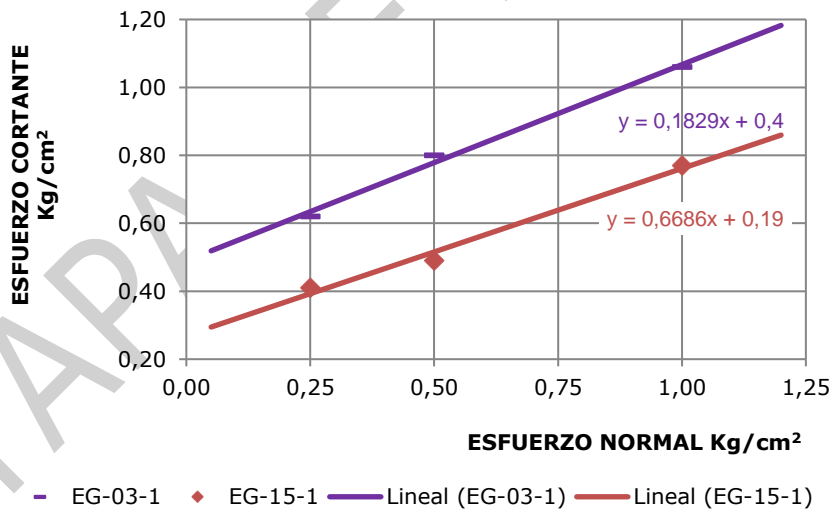


Gráfico 43. Esfuerzo normal y esfuerzo cortante, Qal.
 Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 97 se presenta el resumen de resultados de pruebas de campo realizadas con el penetrómetro de bolsillo, realizados a muestras inalteradas en la etapa de exploración geotécnica en el área de la cuenca sobre la unidad Qal. Se realizaron pruebas en 3 sitios de suelos residuales de esta unidad obteniendo consistencia muy blanda a muy firme.



Penetrómetro de bolsillo

Tabla 97. Resumen pruebas con penetrómetro de bolsillo – Qal

SITIO	MUESTRA	RESISTENCIA PENETRÓMETRO Kg/cm ²				
		Laboratorio	P1	P2	P3	Consistencia
EG-03	1	1,5				
EG-03	2		2,6	2,7	1,5	2
EG-15	1	0,5	0,4	1,5	0,6	3
EG-39	1		0,5	0,4	0,4	2
EG-39	2	0,5	0,1	0,1	0,25	2

Fuente: Elaboración propia.

Máximo valor 2.70 Kg/cm².

Mínimo valor 0.10 Kg/cm².

Promedio - media aritmética 0.90 Kg/cm².

Desviación estándar de una muestra 0.85.

3.2.10.6 Análisis y caracterización Unidades Geológicas Superficiales – UGS

De acuerdo con lo indicado en el protocolo la caracterización geotécnica de los materiales se realizó para las unidades geológicas superficiales con susceptibilidad alta a media a presentar procesos de inestabilidad.

3.2.10.6.1 Análisis de resultados

Entre el 20 y el 30 de junio de 2017, se efectuó la inspección de campo en la zona de influencia de la cuenca, para las diferentes unidades geológicas existentes con el fin de establecer la caracterización de orden geológico, geomorfológico y geotécnico. Como parte de dicha caracterización de los materiales de la cuenca, se realizaron pruebas en suelos cohesivos con el penetrómetro de bolsillo para su clasificación en términos de consistencia, determinando el esfuerzo de compresión confinada aproximado y evaluando el esfuerzo de corte usando el principio de penetración; y en rocas se realizaron pruebas con el martillo Schmidt estimando la resistencia a compresión simple a partir de la medida del rebote proporcionada por el mismo, esta información se consignó respectivamente en los formatos 3 y 4. Ver [Anexo 43](#) adicionalmente se tomó un registro fotográfico de cada uno de los puntos visitados, ver [Anexo 44](#). Se realizaron 48 apiques donde se obtuvieron 90 muestras superficiales de suelo y/o roca (alteradas e inalteradas), en los sectores que presentan susceptibilidad alta y/o media a deslizamientos, en la Tabla 42, se muestra los sitios de exploración geotécnica, fecha de ejecución y orden de la exploración, coordenadas planas (Magna Sirgas origen Oeste), unidad geológica, cantidades de muestras, municipio y vereda. Los sitios de exploración fueron objeto de aprobación por parte de la interventoría mediante un programa de exploración geotécnica descrito en el documento "Exploración del Subsuelo y Toma de Muestras para la Caracterización Geotécnica de la Cuenca Turbo – Currulao", previa aprobación de la Interventoría Consorcio POMCA 2014 mediante oficio GR17-3831 del 16 de junio de 2017.

En la Tabla 43, se presenta un resumen de la exploración geotécnica realizada por cada unidad geológica, donde se realizó exploración geotécnica en seis sitios en la unidad



geológica Arenas Monas, cuatro sitios en Pavo Superior 4, cinco sitios en Pavo Superior 3, nueve sitios en Pavo Superior 2, dos sitios en Pavo Superior 1, cinco sitios en Pavo Inferior 3, ocho sitios en Pavo Inferior 2, diez sitios en Pavo Inferior 1, ocho sitios en depósitos aluviales (con procesos de erosión), tres sitios en depósitos marinos (con procesos de erosión), donde se obtuvieron bastantes muestras para una buena caracterización geotécnica de cada una de las unidades geológicas presentes en la cuenca.

En la Tabla 46 se sintetizan los valores obtenidos para las unidades identificadas en el área de interés (incluyendo ensayos de laboratorio realizados para suelos edáficos), de acuerdo con su caracterización, resistencia y propiedades geomecánicas. En estas tablas se puede comparar los diferentes rangos de valores de propiedades geomecánicas de cada una de unidades identificadas y analizadas.

En el numeral 3.2.10.5 se muestran para cada unidad los resultados, tabulación de manera gráfica de acuerdo con sus propiedades y datos estadístico como valores máximos, mínimos, promedios y desviación estándar.

Según con los resultados de laboratorio realizados tenemos lo siguiente:

De acuerdo con la composición mineralógica en la carta de plasticidad, las arcillas de la cuenca están compuestas principalmente por minerales de montmorillonitas, ilitas y algo de caolinitas en su respectiva proporción.

El índice de liquidez muestra que el 55% de las muestras ensayadas de suelos se encuentran en estado de normalmente consolidado a ligeramente sobreconsolidado y el 45% de las muestras ensayadas de suelos se encuentran en estado mediana a fuertemente sobreconsolidados.

El índice de consistencia relativa de los resultados obtenidos de en laboratorio, muestra que los suelo presentan diferente consistencia desde consistencia muy blanda a consistencia rígida, ver Tabla 46.

En general se observa que la humedad natural es menor que la humedad de equilibrio en las muestras obtenidas, por lo tanto, el suelo se expandirá para buscar la cantidad de agua y alcanzar la humedad de equilibrio especialmente en temporadas de lluvias, aumentando los procesos de remoción de masas.

En términos generales de acuerdo con los resultados obtenidos en el laboratorio para las muestras ensayadas en consolidación lenta tenemos suelos de normalmente consolidados a sobreconsolidados.

Se presenta los resultados obtenidos de peligrosidad de acuerdo con los resultados de la expansividad obtenida de los ensayos de laboratorio realizados a muestras de la exploración geotécnica. Donde se muestran resultados de expansividad desde Baja a muy Alta, correspondiendo los mayores valores especialmente a muestras analizadas de las unidades Pavo Superior 2, Pavo Inferior 2 e Inferior 1 y Pavo Superior 4, respectivamente (ver Tabla 46)



La expansividad alta a muy alta se presenta en los siguientes sectores: EG-12-2 Vía Alto de Mulatos - El Tres, Margen derecha río Guadualito, EG-23-1 Vía La Caña - El Totumo, Margen derecha río Caimán Viejo, EG-27-2, EG-27-3 y EG-28-2 Vía Aguas Claras - El Totumo y la muestra EG-38A-2 Vía Pueblo Nuevo – Necoclí, Veredas Barro Arriba – Bellavista.

La Tabla 54 y Tabla 55 muestra los resultados de los ensayos de expansión libre y expansión controlada realizados a las muestras obtenidas en la exploración geotécnica del proyecto. En las unidades Pavo Inferior 2, Pavo Superior 2, Pavo Superior 1, Pavo Superior 3, Pavo Superior 4, depósitos aluviales y Arenas Monas respectivamente se presentan expansividad muy crítica.

De acuerdo con la Tabla 57 y la Tabla 58 , se puede concluir que el 90% de las muestras ensayadas presentan consistencia entre muy blanda y blanda y solo el 10% presenta una consistencia mediana. Los suelos residuales de menor consistencia son provenientes de las unidades geológicas, Pavo Inferior 2, Pavo Superior 2, Pavo Superior 1, depósitos aluviales, Arenas Monas, Pavo Inferior 3, Pavo Superior 3 y Pavo Superior 4 en su respectivo orden.

La unidad Pavo Inferior 3 presenta los mayores valores de resistencia de la roca a carga puntual.

Se muestra una comparación entre los diferentes resultados del ensayo de compactación y las respectivas unidades geológicas. En la unidad Arenas Monas se obtiene una mayor densidad con una menor humedad y en Pavo inferior 1 se obtiene la menor densidad y mayor humedad optima de compactación.

A continuación, se describen las UGS identificadas y la caracterización geotécnica únicamente para las unidades con susceptibilidad alta y media.

3.2.10.6.2 Rblap – Roca blanda

Confirmada por intercalación de lodolitas y areniscas de la formación Pavo. Intercalaciones de lodolitas y areniscas. Las lodolitas son grises a oscuras y se presentan en capas delgadas, las areniscas son color pardo cuarzosas, o líticas, de grano medio a fino, localmente con cemento calcáreo y en capas delgadas a medianas tabulares.

En la Tabla 98, se presenta el resumen de los parámetros geotécnicos definidos para la unidad geológica superficial descrita como Rblap en la cuenca, de acuerdo con los diferentes ensayos de laboratorio realizados.

Tabla 98. Resumen parámetros geotécnicos de UGS Rblap.

TIPO DE ENSAYO	Rblap
Contenido de humedad (%)	8,1
Limite liquido (%)	33
Limite Plástico (%)	14
Índice de Plasticidad (%)	19



TIPO DE ENSAYO	Rblap
Grava (%)	0
Arena (%)	13
Finos (%)	87
Clasificación USCS	CL - SC
Peso Unitario Húmedo (Ton/m ³)	2,17
Peso Unitario Seco (Ton/m ³)	1,99
Resistencia compresión inconfinaada (Kpa)	117
Resistencia corte no drenada -Cu- (Kpa)	58,5
Ángulo de Resistencia al Corte ϕ (°)	35
Resistencia al corte drenado -C- (Kpa)	85
Gravedad específica - (gr/cm ³)	2,71
Carga Puntual kPa	415
Resistencia compresión Schimdt (Mpa)	10 - 26

Fuente: Elaboración propia.

3.2.10.6.3 Rmbacam – Roca muy blanda

Conformada por areniscas conglomeraticas de la formación Arenas Monas. Conglomerados arenosos que varían a arenas conglomeráticas en la base y parte media hacia el techo areniscas y limolitas, es común encontrar estratificación cruzada y contactos erosivos.

En la Tabla 99 se presenta el resumen de los parámetros geotécnicos definidos para la unidad geológica superficial descrita como Rmbacam en la cuenca, de acuerdo con los diferentes ensayos de laboratorio realizados.

Tabla 99. Resumen parámetros geotécnicos de UGS Rmbacam.

TIPO DE ENSAYO	Rmbacan
Contenido de humedad (%)	5,90
Limite liquido (%)	No Líquido
Limite Plástico (%)	No Plástico
Grava (%)	9,5
Arena (%)	80,5
Finos (%)	10
Clasificación USCS	SC
Peso Unitario Húmedo (Ton/m ³)	2,08
Peso Unitario Seco (Ton/m ³)	1,83
Resistencia compresión inconfinaada (Kpa)	926
Resistencia corte no drenada -Cu- (Kpa)	463
Ángulo de Resistencia al Corte ϕ (°)	39,25
Resistencia al corte drenado -C- (Kpa)	235
Gravedad específica - (gr/cm ³)	2,75
Carga Puntual kPa	76
Resistencia compresión Schimdt (Mpa)	10

Fuente: Elaboración propia.

3.2.10.6.4 Srsalam – Suelo residual de rocas sedimentarias



Conformada por areniscas conglomeráticas de la formación Arenas Monas. Conglomerados arenosos que varían a arenas conglomeráticas en la base y parte media hacia el techo areniscas y limolitas, es común encontrar estratificación cruzada y contactos erosivos. Suelos areno arcillosos y arcillo arenosos de baja plasticidad color marrón y gris, con espesores de hasta 3m.

En la Tabla 98, se presenta el resumen de los parámetros geotécnicos definidos para la unidad geológica superficial descrita como Srsalam en la cuenca, de acuerdo con los diferentes ensayos de laboratorio realizados.

Tabla 100. Resumen parámetros geotécnicos de UGS Srsalam.

TIPO DE ENSAYO	Srsalam	
Contenido de humedad (%)	5,90	- 34,30
Limite liquido (%)	NL	- 59,9
Limite Plástico (%)	NP	- 22
Índice de Plasticidad (%)	NP	- 37,9
Índice de Liquidez (%)	-17	- 68,4
Grava (%)	0	- 9,6
Arena (%)	1,7	- 80,5
Finos (%)	19,5	- 98,3
Clasificación USCS	SC-CL-CH	
Peso Unitario Húmedo (Ton/m ³)	1,89	- 2,08
Peso Unitario Seco (Ton/m ³)	1,52	- 1,83
Resistencia compresión inconfiada (Kpa)	28	- 926
Resistencia corte no drenada -Cu- (Kpa)	14	- 463
Ángulo de Resistencia al Corte ϕ (°)	19,1	- 39,25
Resistencia al corte drenado -C- (Kpa)	29	- 235
Expansión controlada - presión expansión (Kpa)	305	
Expansibilidad	Muy Crítica	
Gravedad específica - (gr/cm ³)	2,63	- 2,75
Carga Puntual kPa	76	
Densidad Seca máxima Ton/m ³	1,82	- 1,99
Humedad óptima (%)	11,8	- 13
Resistencia Penetrometro (Kpa)	50	- 350
Promedio (Kpa)	149	

Fuente: Elaboración propia.

3.2.10.6.5 Srslaps4 – Suelo residual de rocas sedimentarias

Conformado por lodolitas y areniscas de la formación Pavo Superior 4. Intercalaciones de lodolitas arenosas y areniscas. La lodolita color gris oscuro y en capas tabulares de 10 a 20cm de espesor y las areniscas de color gris claro de grano fino a muy fino y en capas delgadas. Suelos areno arcillosos y arcillo arenosos de baja plasticidad color gris y marrón, con espesores de hasta 4m.



En la Tabla 101 , se presenta el resumen de los parámetros geotécnicos definidos para la unidad geológica superficial descrita como Srslaps4 en la cuenca, de acuerdo con los diferentes ensayos de laboratorio realizados.

Tabla 101. Resumen parámetros geotécnicos de UGS Srslaps4.

TIPO DE ENSAYO	Srslaps4	
Contenido de humedad (%)	8,3	- 43,1
Limite liquido (%)	21	- 62,9
Limite Plástico (%)	12,8	- 19,6
Índice de Plasticidad (%)	5,3	- 43,3
Índice de Liquidez (%)	115	- 34,27
Grava (%)	0	- 1,9
Arena (%)	27,3	- 71,1
Finos (%)	27	- 96,8
Clasificación USCS	CL-CH-SC	
Peso Unitario Húmedo (Ton/m ³)	1,8	- 1,97
Peso Unitario Seco (Ton/m ³)	1,26	- 1,58
Resistencia compresión inconfiada (Kpa)	17	- 177
Resistencia corte no drenada -Cu- (Kpa)	8,5	- 88,5
Ángulo de Resistencia al Corte ϕ (°)	29,28	
Resistencia al corte drenado -C- (Kpa)	58	
Expansión libre - Presión expansión (Kpa)	287	
% Expansión	21,18	
Expansibilidad	Muy Crítica	
Expansión controlada - presión expansión (Kpa)	334	
Expansibilidad	Muy Crítica	
Resistencia Penetrometro (Kpa)	20	- 350
Promedio (Kpa)	163	

Fuente: Elaboración propia.

3.2.10.6.6 Srsalps3 – Suelo residual de rocas sedimentarias

Conformada por areniscas y lodolitas de la formación Pavo Superior 3. Areniscas y lodolitas en proporciones parecidas, las areniscas son de grano fino, bien cementadas y en capas medianas tabulares, las lodolitas son grises a oscuras y se presentan en capas delgadas intercaladas con las arenitas. Suelos arcillosos de media a alta plasticidad, color gris y marrón, espesores de hasta 4m.

En la Tabla 102, se presenta el resumen de los parámetros geotécnicos definidos para la unidad geológica superficial descrita como Srsalps3 en la cuenca, de acuerdo con los diferentes ensayos de laboratorio realizados.

Tabla 102. Resumen parámetros geotécnicos de UGS Srsalps3.

TIPO DE ENSAYO	Srsalps3	
Contenido de humedad (%)	9,8	- 27,9
Limite liquido (%)	42,2	- 59,2
Limite Plástico (%)	15,9	- 17,5
Índice de Plasticidad (%)	26,3	- 41,7



TIPO DE ENSAYO	Srsalps3		
Índice de Liquidez (%)	-6,5	-	24,9
Grava (%)		0	
Arena (%)		0,9	
Finos (%)	96,3	-	99,1
Clasificación USCS	CH	-	CL
Peso Unitario Húmedo (Ton/m ³)	1,84	-	2,33
Peso Unitario Seco (Ton/m ³)	1,48	-	2,11
Resistencia compresión inconfiada (Kpa)	56	-	70
Resistencia corte no drenada -Cu- (Kpa)	28	-	35
Ángulo de Resistencia al Corte ϕ (°)	19,29	-	31,8
Resistencia al corte drenado -C- (Kpa)	33	-	49
índice de compresión - Cc		0,21	
índice de recompresión - Cr		0,1	
índice secundario de compresión - Cs		0,03	
Expansión libre - Presión expansión (Kpa)	92	-	283
% Expansión	12,32	-	15,76
Expansibilidad	Marginal	-	Muy Crítica
Expansión controlada - presión expansión (Kpa)	238	-	326
Expansibilidad		Muy Crítica	
Gravedad específica - (gr/cm ³)		2,62	
Resistencia Penetrometro (Kpa)	60	-	410
Promedio (Kpa)		157	

Fuente: Elaboración propia.

3.2.10.6.7 Srsalps2 – Suelo residual de rocas sedimentarias

Conformada por lodolitas de la formación Pavo Superior 2. Principalmente lodolitas abigarradas de aspecto macizo, en capas de hasta 30 m de espesor con abundante materia carbonosa, intercaladas con capas de areniscas con cemento calcáreo, de grano fino a muy fino. Suelos arcillo limoso plástico de color marrón y gris oscuro, con espesores de hasta 15m.

En la Tabla 103, se presenta el resumen de los parámetros geotécnicos definidos para la unidad geológica superficial descrita como Srsalps2 en la cuenca, de acuerdo con los diferentes ensayos de laboratorio realizados.

Tabla 103: Resumen parámetros geotécnicos de UGS Srsalps2.

TIPO DE ENSAYO	Srsalps2		
Contenido de humedad (%)	12,6	-	40,6
Límite líquido (%)	20,4	-	78,1
Límite Plástico (%)	15,3	-	29
Índice de Plasticidad (%)	2,6	-	52,3
Índice de Liquidez (%)	-112	-	66,3
Grava (%)	0	-	6,5
Arena (%)	1,1	-	56,3
Finos (%)	37,2	-	99,9



TIPO DE ENSAYO	SrsIps2	
Clasificación USCS	CH	- CL
Peso Unitario Húmedo (Ton/m ³)	1,76	- 2,04
Peso Unitario Seco (Ton/m ³)	1,24	- 1,66
Resistencia compresión inconfiada (Kpa)	11	- 86
Resistencia corte no drenada -Cu- (Kpa)	5,5	- 43
Ángulo de Resistencia al Corte ϕ (°)	10,41	- 33,69
Resistencia al corte drenado -C- (Kpa)	19	- 39,8
índice de compresión - Cc	0,2	
índice de recompresión - Cr	0,1	
índice secundario de compresión - Cs	0,04	
Expansión libre - Presión expansión (Kpa)	285	- 304
% Expansión	16,65	- 18,82
Expansibilidad	Muy Crítica	
Expansión controlada - presión expansión (Kpa)	131	- 322
Expansibilidad	Marginal	- Muy Crítica
Gravedad específica - (gr/cm ³)	2,63	- 2,74
Resistencia Penetrometro (Kpa)	10	- 500
Promedio (Kpa)	138	

Fuente: Elaboración propia.

3.2.10.6.8 Srsaps1 – Suelo residual de rocas sedimentarias

Conformada por areniscas de la formación Pavo Superior 1. Areniscas cuarzosas de color pardo, de grano fino a muy fino; localmente cemento calcáreo. En la composición, se presenta chert negro, restos de plantas e intraclastos de lodolitas; y a la base ocurren esporádicos lentejones de carbón. Suelos arcillosos plástico de color marrón, con espesores de hasta 3m.

En la Tabla 104, se presenta el resumen de los parámetros geotécnicos definidos para la unidad geológica superficial descrita como Srsaps1 en la cuenca, de acuerdo con los diferentes ensayos de laboratorio realizados.

Tabla 104. Resumen parámetros geotécnicos de UGS Srsaps1.

TIPO DE ENSAYO	Srsaps1	
Contenido de humedad (%)	16,9	- 28,6
Limite líquido (%)	60,2	
Limite Plástico (%)	22,1	
Índice de Plasticidad (%)	38,1	
Índice de Líquidez (%)	17	
Grava (%)	0	
Arena (%)	0	
Finos (%)	60	- 99,4
Clasificación USCS	CH	
Peso Unitario Húmedo (Ton/m ³)	1,73	
Peso Unitario Seco (Ton/m ³)	1,34	
Resistencia compresión inconfiada (Kpa)	42	
Resistencia corte no drenada -Cu- (Kpa)	21	



TIPO DE ENSAYO	Srsaps1
Ángulo de Resistencia al Corte ϕ (°)	31,62
Resistencia al corte drenado -C- (Kpa)	66
Expansión controlada - presión expansión (Kpa)	204
Expansibilidad	Crítica
Gravedad específica - (gr/cm ³)	2,75
Resistencia Penetrometro (Kpa)	80 - 170
Promedio (Kpa)	125

Fuente: Elaboración propia.

3.2.10.6.9 Srsalpi3 – Suelo residual de rocas sedimentarias

Conformada por areniscas y lodolitas de la formación Pavo Inferior 3. Conjunto superior: 70 % areniscas conglomeráticas con cemento calcáreo (conchas) en capas tabulares y 30% de lodolitas arenosas con estratificación media y presencia de bioturbación. Suelos areno arcillosos de color marrón y gris, con espesores de hasta 5m.

En la Tabla 105, se presenta el resumen de los parámetros geotécnicos definidos para la unidad geológica superficial descrita como Srsalpi3 en la cuenca, de acuerdo con los diferentes ensayos de laboratorio realizados.

Tabla 105. Resumen parámetros geotécnicos de UGS Srsalpi3.

TIPO DE ENSAYO	Srsalpi3	
Contenido de humedad (%)	8,1	- 32,1
Límite líquido (%)	32,6	- 43,6
Límite Plástico (%)	13,8	- 18,9
Índice de Plasticidad (%)	22,4	- 24,7
Índice de Liquidez (%)	-8,1	- 61,4
Grava (%)	0,2	
Arena (%)	13,2	
Finos (%)	46,6	- 94,6
Clasificación USCS	CL	- SC
Peso Unitario Húmedo (Ton/m ³)	1,94	- 2,17
Peso Unitario Seco (Ton/m ³)	1,62	- 1,99
Resistencia compresión inconfiada (Kpa)	87	- 117
Resistencia corte no drenada -Cu- (Kpa)	43,5	- 58,5
Ángulo de Resistencia al Corte ϕ (°)	30,33	- 33,57
Resistencia al corte drenado -C- (Kpa)	51	- 85
Expansión libre - Presión expansión (Kpa)	107	
% Expansión	6,47	
Expansibilidad	Marginal	
Expansión controlada - presión expansión (Kpa)	136	
Expansibilidad	Marginal	
Gravedad específica - (gr/cm ³)	2,64	- 2,71
Carga Puntual kPa	134	- 415
Resistencia Penetrometro (Kpa)	70	- 420
Promedio (Kpa)	214	

Fuente: Elaboración propia.



3.2.10.6.10 Srs1pi2 – Suelo residual de rocas sedimentarias

Conformada por lodolitas arenosas de la formación Pavo Inferior 2. 70% de lodolitas y lodolitas arenosas ocasionalmente con nodulos de siderita en paquetes de hasta 15 m y 30% de areniscas en capas delgadas y tabulares con presencia de materia orgánica. Suelos arcillosos plásticos de color marrón y gris oscuro, con espesores de hasta 25m.

En la Tabla 106, se presenta el resumen de los parámetros geotécnicos definidos para la unidad geológica superficial descrita como Srs1pi2 en la cuenca, de acuerdo con los diferentes ensayos de laboratorio realizados.

Tabla 106. Resumen parámetros geotécnicos de UGS Srs1pi2.

TIPO DE ENSAYO	Srs1pi2		
Contenido de humedad (%)	9,8	-	36,7
Limite liquido (%)	36,3	-	62,9
Limite Plástico (%)	12,6	-	21
Índice de Plasticidad (%)	23,3	-	43
Índice de Liquidez (%)	-1,97	-	78
Grava (%)	0	-	2,1
Arena (%)	1,1	-	23,4
Finos (%)	76,6	-	99,7
Clasificación USCS	CH	-	CL
Peso Unitario Húmedo (Ton/m ³)	1,69	-	2,24
Peso Unitario Seco (Ton/m ³)	1,3	-	1,98
Resistencia compresión inconfiada (Kpa)	16	-	117
Resistencia corte no drenada -Cu- (Kpa)	8	-	58,5
Ángulo de Resistencia al Corte ϕ (°)	16,86	-	33,26
Resistencia al corte drenado -C- (Kpa)	19	-	56
índice de compresión - Cc	0,21	-	0,28
índice de recompresión - Cr	0,04	-	0,16
índice secundario de compresión - Cs	0,04	-	0,06
Expansión libre - Presión expansión (Kpa)	288	-	406
% Expansión	15,31	-	18,68
Expansibilidad		Muy Crítica	
Expansión controlada - presión expansión (Kpa)	184	-	405
Expansibilidad		Muy Crítica	
Gravedad específica - (gr/cm ³)	2,63	-	2,68
Densidad Seca máxima Ton/m ³		1,85	
Humedad óptima (%)		15,3	
Resistencia Penetrometro (Kpa)	10	-	450
Promedio (Kpa)		151	

Fuente: Elaboración propia.

3.2.10.6.11 Srsapi1 – Suelo residual de rocas sedimentarias

Conformada por areniscas de la formación Pavo Inferior 1. 70% areniscas líticas calcáreas (cementadas) de grano medio con lentes conglomeraticos, ocasionalmente



presenta materia orgánica como tallos, hojas y raíces oxidadas. Suelos arcillosos plásticos y arenas arcillosas de color marrón y amarillo, con espesores de hasta 6m.

En la Tabla 107 se presenta el resumen de los parámetros geotécnicos definidos para la unidad geológica superficial descrita como Srsapi1 en la cuenca, de acuerdo con los diferentes ensayos de laboratorio realizados.

Tabla 107. Resumen parámetros geotécnicos de UGS Srsapi1.

TIPO DE ENSAYO	Srsapi1	
Contenido de humedad (%)	10,1	32,8
Limite liquido (%)	26,6	89,5
Limite Plástico (%)	15,6	51,8
Índice de Plasticidad (%)	7,9	41,9
Índice de Liquidez (%)	-157	46,1
Grava (%)	0	5,5
Arena (%)	5,5	54,9
Finos (%)	29,1	94,5
Clasificación USCS	CL-CH-MH-SC	
Peso Unitario Húmedo (Ton/m ³)	1,82	2,29
Peso Unitario Seco (Ton/m ³)	1,35	2,08
Resistencia compresión inconfiada (Kpa)	58	139
Resistencia corte no drenada -Cu- (Kpa)	29	69,5
Ángulo de Resistencia al Corte ϕ (°)	13,05	29,3
Resistencia al corte drenado -C- (Kpa)	31	40
Expansión controlada - presión expansión (Kpa)	160	
Expansibilidad	Marginal	
Gravedad específica - (gr/cm ³)	2,36	2,73
Carga Puntual kPa	18	82
Densidad Seca máxima Ton/m ³	1,7	
Humedad óptima (%)	17,3	
Porosidad Total (%)	49,06	67,37
Resistencia Penetrometro (Kpa)	20	400
Promedio (Kpa)	91	

Fuente: Elaboración propia.

3.2.10.6.12 Stalar – Suelo Transportado

Conformado por suelos aluviales con gravas y arenas Depósitos cuaternarios no consolidados de gravas y arenas en lechos de cauces principales. En la Tabla 108, se presenta el resumen de los parámetros geotécnicos definidos para la unidad geológica superficial descrita como Stalar en la cuenca, de acuerdo con los diferentes ensayos de laboratorio realizados.

Tabla 108. Resumen parámetros geotécnicos de UGS Stalar.

TIPO DE ENSAYO	Stalar	
Contenido de humedad (%)	22	35,1
Limite liquido (%)	36,7	95,37
Limite Plástico (%)	16,05	65,18
Índice de Plasticidad (%)	19,74	46,21
Índice de Liquidez (%)	-215,9	56,1



TIPO DE ENSAYO	Stalar	
Grava (%)		0
Arena (%)	1,8	74,49
Finos (%)	25,51	99,1
Clasificación USCS		CH-CL-MH
Peso Unitario Húmedo (Ton/m ³)	1,74	1,96
Peso Unitario Seco (Ton/m ³)	1,29	1,61
Resistencia compresión inconfiada (Kpa)	26	96
Resistencia corte no drenada -Cu- (Kpa)	13	48
Ángulo de Resistencia al Corte ϕ (°)	26,12	30,27
Resistencia al corte drenado -C- (Kpa)	27	49
Expansión libre - Presión expansión (Kpa)		211
% Expansión		10,35
Expansibilidad		Crítica
Expansión controlada - presión expansión (Kpa)	160	240
Expansibilidad	Crítica	Muy Crítica
Gravedad específica - (gr/cm ³)	1,56	2,81
Porosidad Total (%)	40,81	54,09
Resistencia Penetrometro (Kpa)	10	370
Promedio (Kpa)		90

Fuente: Elaboración propia.

3.2.10.6.13 Stfabga – Suelo Transportado, fluvial de abanico

Depósitos cuaternarios no consolidados, Predominancia de clastos de areniscas de 10 a 30 cm de diámetro entre esféricos y discoidales sin imbricación evidente y meteorización moderada, y matriz compuesta por arena gruesa de color pardo rojizo, en general con estructura grano decreciente. Espesores entre 1m y 3m.

3.2.10.6.14 Stftza – Suelo Transportado, fluvial de terraza

Depósitos cuaternarios no consolidados; conformados por arenas finas y arcillas arenosas color pardo amarillento y grisáceo, espesor de 2m por nivel.

3.2.10.6.15 Stflia - Suelo Transportado, de llanura aluvial de inundación

Depósitos cuaternarios no consolidados; se caracterizan por ser un área plana, baja e inundable, muy húmeda por los drenajes, compuesta por arena y arcilla forman planicies bordeando los cauces aluviales mayores asertivos, limitado por escarpes de terraza.

3.2.10.6.16 Stcpa – Suelo Transportado costero de playa

Compuestos por arenas de grano fino a muy fino y material bioclástico más grueso tipo grava, depositados por la dinámica reciente y actual del mar.

En la Tabla 109, se presenta el resumen de los parámetros geotécnicos definidos para la unidad geológica superficial descrita como Stcpa en la cuenca, de acuerdo con los diferentes ensayos de laboratorio realizados.



Tabla 109: Resumen parámetros geotécnicos de UGS Stcpa.

TIPO DE ENSAYO	Stcpa		
Limite liquido (%)	46,69	-	71,45
Limite Plástico (%)	22,59	-	33,49
Índice de Plasticidad (%)	24,1	-	37,96
Índice de Liquidez (%)	-93,7	-	-88,2
Grava (%)		0	
Arena (%)	0,72	-	57,84
Finos (%)	42,16	-	99,28
Clasificación USCS	CL	-	SC
Gravedad específica - (gr/cm3)	2,31	-	2,89
Porosidad Total (%)	48,5	-	58,13

Fuente: Elaboración propia.

3.2.10.6.17 Stcba – Suelo Transportado costero de barras

Constituido por arenas o gravas bioclásticas debido a la acción combinada del oleaje y las corrientes marinas litorales poco profundas.

3.2.10.6.18 Stcdal – Suelo Transportado costero de deltas

Compuesto por depósitos de arenas, limos y material bioclásticos desarrollados en la parte interna de las bocanas, en la desembocadura de los ríos y parcialmente colonizados por el manglar.

3.2.10.6.19 Stctza – Suelo Transportado costero de terrazas marinas

Compuestos por arenas de grano fino y material bioclástico más grueso tipo grava, son superficies planas subhorizontales de origen marino levantadas por encima del nivel del mar actual.

3.2.10.6.20 Stcpial – Suelo Transportado costero de planicies

Compuesta por lodos y arenas y abundante materia orgánica propicia para el crecimiento de vegetación halófila. Áreas planas con pantano de manglar y zonas intermareales.

3.2.10.6.21 Stvflv – Suelo Transportado flujos de lodos volcánicos

Compuesto por lodos volcánicos.

3.2.10.6.22 Staru – Suelo Transportado, antrópico para la conformación de sectores urbanos

Materiales antrópicos heterogéneos asociados a los cascos urbanos de los municipios dentro de la cuenca.

3.2.10.6.23 Strci – Suelo Translocado, coluvial indiferenciado



Depósito matriz soportados con clastos de areniscas angulares y prismáticos, matriz de color gris oscuro de arcilla arenosa media y limos, con distribución caótica.

En la Tabla 110, se presenta la descripción resumida de las unidades geológicas superficiales identificadas en la cuenca y su calificación de acuerdo con su resistencia.

3.2.10.6.24 Resumen de UGS

Tabla 110: Resumen descripción de UGS.

SÍMBOLO	NOMBRE	LITOLOGÍA	PUNTAJE
Rblap	Roca blanda, intercalación de lodolitas y areniscas de la formación Pavo.	Intercalaciones de lodolitas y areniscas. Las lodolitas son grises a oscuras y se presentan en capas delgadas, las areniscas son color pardo cuarzosas, o líticas, de grano medio a fino, localmente con cemento calcáreo y en capas delgadas a medianas tabulares.	4
Rmbacam	Roca Muy blanda, de areniscas conglomeraticas de la formación Arenas Monas.	Conglomerados arenosos que varían a arenas conglomeráticas en la base y parte media hacia el techo areniscas y limolitas, es común encontrar estratificación cruzada y contactos erosivos.	5
Srsalam	Suelo residual de rocas sedimentarias, de areniscas conglomeraticas de la formación Arenas Monas.	Conglomerados arenosos que varían a arenas conglomeráticas en la base y parte media hacia el techo areniscas y limolitas, es comun encontrar estratificación cruzada y contactos erosivos. Suelos areno arcillosos y arcillo arenosos de baja plasticidad color marrón y gris, con espesores de hasta 3m.	6
Srslaps4	Suelo residual de rocas sedimentarias, de lodolitas y areniscas de la formación Pavo Superior 4.	Intercalaciones de lodolitas arenosas y areniscas. La lodolita color gris oscuro y en capas tabulares de 10 a 20cm de espesor y las areniscas de color gris claro de grano fino a muy fino y en capas delgadas. Suelos areno arcillosos y arcillo arenosos de baja plasticidad color gris y marrón, con espesores de hasta 4m.	6
Srsalps3	Suelo residual de rocas sedimentarias, de areniscas y lodolitas de la formación Pavo Superior 3.	Areniscas y lodolitas en proporciones parecidas, las areniscas son de grano fino, bien cementadas y en capas medianas tabulares, las lodolitas son grises a oscuras y se presentan en capas delgadas intercaladas con las arenitas. Suelos arcillosos de media a alta plasticidad, color gris y marrón, espesores de hasta 4m.	6
Srslps2	Suelo residual de rocas sedimentarias, de lodolitas de la formación Pavo Superior 2.	Principalmente lodolitas abigarradas de aspecto macizo, en capas de hasta 30 m de espesor con abundante materia carbonosa, intercaladas con capas de areniscas con cemento calcáreo, de grano fino a muy fino. Suelos arcillo limoso plástico de color marrón y gris oscuro, con espesores de hasta 15m.	6
Srsaps1	Suelo residual de rocas sedimentarias, de areniscas de la formación Pavo Superior 1.	Areniscas cuarzosas de color pardo, de grano fino a muy fino; localmente cemento calcáreo. En la composición, se presenta chert negro, restos de plantas e intraclastos de lodolitas; y a la base ocurren esporádicos lentejones de carbón. Suelos arcillosos plástico de color marrón, con espesores de hasta 3m.	6



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

SÍMBOLO	NOMBRE	LITOLÓGÍA	PUNTAJE
Srsalpi3	Suelo residual de rocas sedimentarias, de areniscas y lodolitas de la formación Pavo Inferior 3.	Conjunto superior: 70 % areniscas conglomeráticas con cemento calcáreo (conchas) en capas tabulares y 30% de lodolitas arenosas con estratificación media y presencia de bioturbación. Suelos areno arcillosos de color marrón y gris, con espesores de hasta 5m.	6
Srslpi2	Suelo residual de rocas sedimentarias, de lodolitas arenosas de la formación Pavo Inferior 2.	70% de lodolitas y lodolitas arenosas ocasionalmente con nodulos de siderita en paquetes de hasta 15 m y 30% de areniscas en capas delgadas y tabulares con presencia de materia orgánica. Suelos arcillosos plásticos de color marrón y gris oscuro, con espesores de hasta 25m.	6
Srsapi1	Suelo residual de rocas sedimentarias, de arenitas de la formación Pavo Inferior 1.	70% areniscas líticas calcáreas (cementadas) de grano medio con lentes conglomeraticos, ocasionalmente presenta materia orgánica como tallos, hojas y raíces oxidadas. Suelos arcillosos plásticos y arenas arcillosas de color marron y amarillo, con espesores de hasta 6m.	6
Stalar	Suelo Transportado, aluvial con gravas y arenas	Depósitos cuaternarios no consolidados de gravas y arenas en lechos de cauces principales	7
Stfabga	Suelo Transportado, fluvial de abanico	Depósitos cuaternarios no consolidados, Predominancia de clastos de areniscas de 10 a 30 cm de diámetro entre esféricos y discoidales sin imbricación evidente y meteorización moderada, y matriz compuesta por arena gruesa de color pardo rojizo, en general con estructura granodecreciente. Espesores entre 1m y 3m.	7
Stftza	Suelo Transportado, fluvial de terraza	Depósitos cuaternarios no consolidados; conformados por arenas finas y arcillas arenosas color pardo amarillento y grisáceo, espesor de 2m por nivel	7
Stflia	Suelo Transportado, de llanura aluvial de inundación	Depósitos cuaternarios no consolidados; se caracterizan por ser un área plana, baja e inundable, muy húmeda por los drenajes, compuesta por arena y arcilla forman planicies bordeando los cauces aluviales mayores asertivos, limitado por escarpes de terraza.	7
Stcpa	Suelo Transportado costero de playa	Compuestos por arenas de grano fino a muy fino y material bioclástico más grueso tipo grava, depositados por la dinámica reciente y actual del mar.	7
Stcba	Suelo Transportado costero de barras	Constituido por arenas o gravas bioclásticas debido a la acción combinada del oleaje y las corrientes marinas litorales poco profundas.	7
Stcdal	Suelo Transportado costero de deltas	Compuesto por depósitos de arenas, limos y material bioclásticos desarrollados en la parte interna de las bocanas, en la desembocadura de los ríos y parcialmente colonizados por el manglar.	7
Stctza	Suelo Transportado costero de terrazas marinas	Compuestos por arenas de grano fino y material bioclástico más grueso tipo grava, son superficies planas subhorizontales de origen marino levantadas por encima del nivel del mar actual.	7
Stcpial	Suelo Transportado costero de planicies	Compuesta por lodos y arenas y abundante materia orgánica propicia para el crecimiento de vegetación halófila. Áreas planas con pantano de manglar y zonas intermareales.	7
Stvflv	Suelo Transportado flujos de lodos volcánicos	Compuesto por lodos volcánicos.	7
Staru	Suelo Transportado, antrópico para la conformación de sectores urbanos	Materiales antrópicos heterogéneos asociados a los cascos urbanos de los municipios dentro de la cuenca.	7



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

SÍMBOLO	NOMBRE	LITOLOGÍA	PUNTAJE
Strci	Suelo Translocado, coluvial indiferenciado	Depósito matriz soportados con clastos de areniscas angulares y prismáticos, matriz de color gris oscuro de arcilla arenosa media y limos, con distribución caótica.	8

Fuente: elaboración propia



3.2.10.6.25 Mapa de UGS

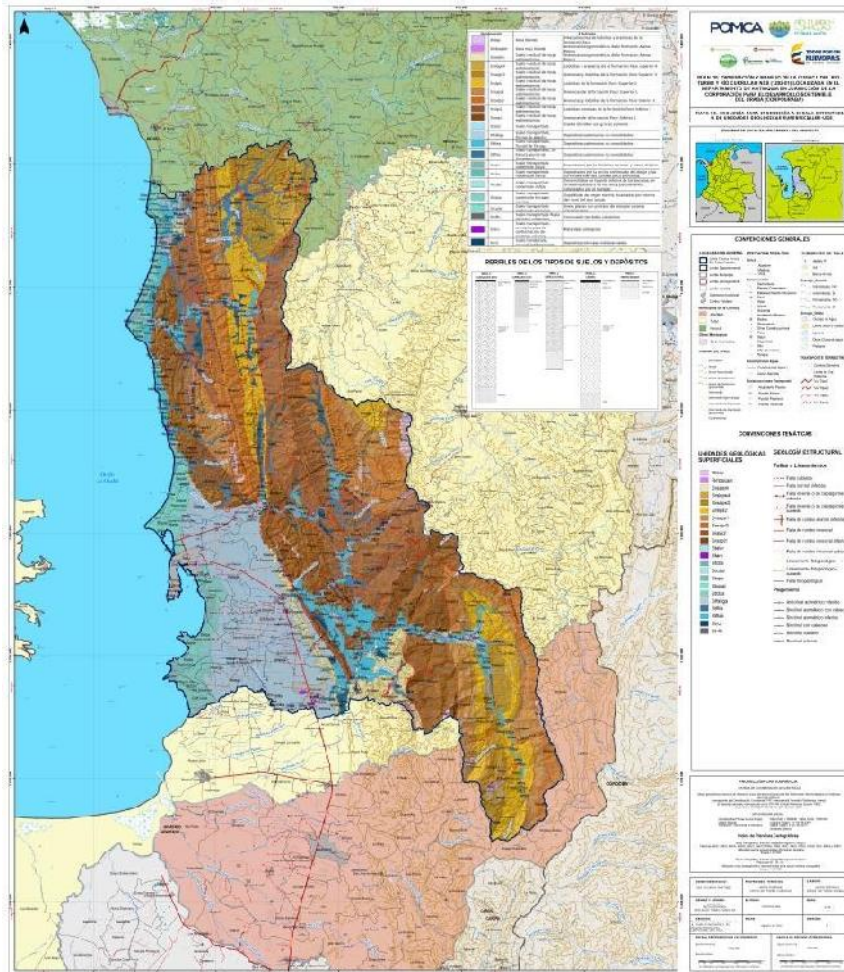


Figura 106. Salida cartográfica UGS.
Fuente: Elaboración propia.

3.2.10.7 Conclusiones y recomendaciones de la geología para ingeniería

- La cuenca Río Turbo y Currulao está compuesta por rocas sedimentarias correspondientes a formaciones Pavo y Arenas Monas con una edad del Neógeno y están cubiertas en los valles por depósitos cuaternarios.
- De acuerdo con la geología, la geomorfología, la topografía, las pruebas de campo, los ensayos de laboratorio y los respectivos análisis en la cuenca se identificaron dos unidades geológicas superficiales de roca, ocho unidades de suelos residuales y doce unidades de suelos transportados
- Las unidades geológicas de roca están conformadas por una Roca blanda, compuesta por intercalaciones de lodolitas y areniscas de la formación Pavo y una roca muy blanda, compuesta por areniscas conglomeráticas de la formación Arenas Monas.



- Las unidades de suelos residuales están conformadas por las respectivas unidades de geología, como son areniscas conglomeráticas de la formación Arenas Monas, lodolitas, areniscas en diferentes proporciones e intercalaciones y dureza de la formación Pavo Superior (subdividida en cuatro unidades) y la formación Pavo Inferior (subdividida en tres unidades).
- Las unidades de suelos transportados están conformadas por aluvial con gravas y arenas, fluvial de abanico, fluvial de terraza, llanura aluvial de inundación, costero de playa, costero de barra, costero de deltas, costero de terrazas marinas, costero de planicies, flujos de lodos volcánicos, antrópico para la conformación de sectores urbanos y suelos Translocados coluvial indiferenciado.
- La composición mineralógica las arcillas de la cuenca están compuestas principalmente por minerales de montmorillonitas, ilitas y algo de caolinitas en su respectiva proporción.
- Los suelos se encuentran en estado de ligeramente sobreconsolidado a fuertemente sobreconsolidados. Y en consolidación lenta tenemos suelos de normalmente consolidados a sobreconsolidados.
- La consistencia relativa de los suelos presenta variación importante desde consistencia muy blanda (correspondiente al 90% de las muestras ensayadas) a consistencia rígida. Los suelos residuales de menor consistencia son provenientes de las unidades geológicas, Pavo Inferior 2, Pavo Superior 2, Pavo Superior 1, depósitos aluviales, Arenas Monas, Pavo Inferior 3, Pavo Superior 3 y Pavo Superior 4 en su respectivo orden.
- Los suelos son susceptibles a presentar procesos de remoción de masas especialmente en temporadas de lluvias, debido a que la humedad natural es menor que la humedad de equilibrio, por lo tanto, el suelo se expandirá para buscar la cantidad de agua y alcanzar la humedad de equilibrio.
- La expansividad de los suelos es desde Baja a muy Alta, correspondiendo los mayores valores a las unidades Pavo Superior 2, Pavo Inferior 2 e Inferior 1 y Pavo Superior 4, respectivamente. La expansividad alta a muy alta se presenta en el sector Alto de Mulatos - El Tres, Margen derecha río Guadualito, vía La Caña - El Totumo, Margen derecha río Caimán Viejo, vía Aguas Claras - El Totumo y sector de la vía Pueblo Nuevo - Necoclí, especialmente en la Veredas Barro Arriba y Bellavista. Correspondiente a las unidades Pavo Inferior 2, Pavo Superior 2, Pavo Superior 1, Pavo Superior 3, Pavo Superior 4, depósitos aluviales y Arenas Monas respectivamente se presentan expansividad muy crítica.
- La unidad Pavo Inferior 3 presenta los mayores valores de resistencia de la roca a carga puntual.



3.2.11 Recursos económicos

El aprovechamiento de los recursos minerales en la Cuenca Río Turbo-Currulao está orientado hacia los minerales energéticos (Ngp) y materiales de construcción (Ngam), lo demuestra las solicitudes y títulos mineros registrados hasta el momento dentro del área de la cuenca (Tabla 111).

Los recursos carboníferos conocidos se encuentran dentro de la Serranía de Abibe-Las Palomas, en cercanías de Nuevo Antioquia (quebrada la Ahuyamita), en Currulao (quebrada Tío López, aproximadamente) y en la cuenca del río Guadualito (quebrada el Barro). Algunos de estos depósitos de carbón han sido esporádicamente explotados, como en el caso del prospecto La Ahuyamita, localizado en el corregimiento de Nueva Antioquia, el cual fue explotado por la empresa Carbones de Urabá. En 1978 la compañía colombiana de tejidos, COLTEJER hizo un estudio en la zona licitada por la Compañía Carbones de Urabá.

Tabla 111. Recursos minerales presentes en la Cuenca Río Turbo-Currulao.

ÉPOCA	TIPO DE MATERIAL
Reciente- Pleistoceno	Depósitos de gravas y arenas propias para recebo y materiales de construcción.
Plioceno	Gravas y arenas locales, materiales de construcción y recebo.
Mioceno	Unidad Arenas Monas con buen potencial para materiales de construcción.
Oligoceno	Lutitas de formaciones Floresanto - Pajuil con algunas posibilidades en la fabricación de ladrillos y materia prima para cerámica.

Fuente: (GEOTEC, 2003).

Los cuerpos de conglomerados encontrados en las carreteras Currulao-Nueva Antioquia y el Tres-San Pedro de la Formación Arenas Monas (Ngam), son los que se explotan actualmente. Los conglomerados, arcillas y arenas de las formaciones Pavo y Arenas Monas son explotados como fuentes de materiales de construcción. Actualmente estos niveles son explotados con maquinaria pesada (Figura 107 y Figura 108).



Figura 107. Cantera Piedrecita (Aca), ubicada al norte de la Quebrada El Tié, costado derecho de la vía a Necoclí, Estación SMAR_077, PI-79IIA, coordenadas 1.403.162,335N, 705.629,457E.
Fuente: Elaboración propia.

Arenas y agregados pétreos, ubicados en la margen derecha de la quebrada Piedrecitas, en la cantera Tierrera son explotados actualmente. (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).



Figura 108. Explotación de materiales para construcción en la cantera Tierrera, Margen derecha quebrada Piedrecitas.
Fuente: Elaboración propia.

3.2.11.1 Licencias Mineras

Para el municipio de la Cuenca Río Turbo-Currulao, se tienen registrado 16 títulos mineros vigentes (Tabla 112 y [Anexo. Títulos mineros](#)), los cuales cubren un área de 58311.72 hectáreas, lo cual representa el 0.06% del área de la cuenca y en trámite de legalización,



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

se encuentran 94 solicitudes de las cuales 70 son de la Ley 1382 y 24 son de Ley 685. Los Títulos vigentes para la exploración de carbón están ubicados en el sector oriental (Serranía de Abibe-Las Palomas). En la siguiente tabla se consignan las licencias vigentes dentro de la cuenca Figura 109.

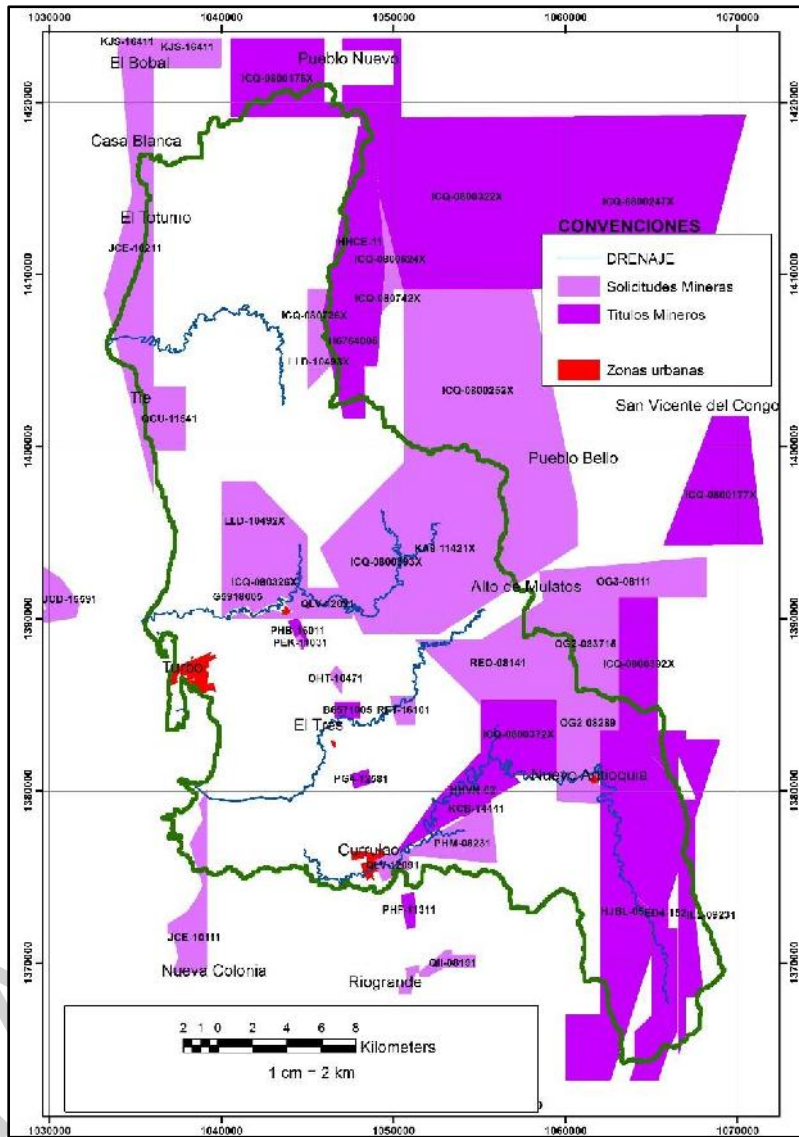


Figura 109. Títulos y solicitudes mineras presentes en la cuenca.
Fuente: ANM 2017.

Tabla 112. Títulos mineros vigentes es la Cuenca Río Turbo-Currulao.

EXP	RMN	FECHA INSC	ESTADO EXP	MODALIDAD	MINERALES	TITULARES	MUNICIPIOS	FECHA TERM	Area_Ha
HHVN-02	HHVN-02	18/12/2007	TITULO VIGENTE- EN EJECUCION	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	GRAVA\ ARENA	(42880217) OLGA LUCIA MARTINEZ RESTREPO	TURBO- ANTIOQUIA TURBO\ APARTADO\ CAREPA- ANTIOQUIA	17/12/2037	1327.18
HJBL-05	HJBL-05	29/01/2009	TITULO VIGENTE- EN EJECUCION	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	TERMICO	(8901002510) CEMENTOS ARGOS S.A	TURBO- ANTIOQUIA TURBO\ APARTADO\ CAREPA- ANTIOQUIA	28/01/2039	7453.26



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

EXP	RMN	FECHA INSC	ESTADO EXP	MODALIDAD	MINERALES	TITULARES	MUNICIPIOS	FECHA TERM	Area_Ha
H6763005	HHCE-11	07/02/2007	TITULO VIGENTE-EN EJECUCION	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	CARBON	(9000107361) CONTINENTAL DE CARBONES S.A.S.	TURBO\NECOCLIA-ANTIOQUIA	06/02/2037	1965.12
ED4-152	ED4-152	05/06/2007	TITULO VIGENTE-EN EJECUCION	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	CARBON	(9002222874) CARBONES DEL GOLF S.A (7777705184) COOPERATIVA DE TRABAJO ASOCIADO	TURBO\ APARTADO\ CAREPA-ANTIOQUIA	04/06/2037	4979.46
L5382005	HCIO-14	12/06/2002	TITULO VIGENTE-EN EJECUCION	LICENCIA DE EXPLORACION	MATERIALES DE CONSTRUCCION	(8901072616) JUAN MANUEL RUISECO V. Y CIA. S.C.A	APARTADO-ANTIOQUIA	11/06/2003	85.35
ICQ-0800392X	ICQ-0800392X	25/06/2010	TITULO VIGENTE-EN EJECUCION	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	CARBON	(8901072616) JUAN MANUEL RUISECO V. Y CIA. S.C.A	TURBO-ANTIOQUIA	24/06/2040	1744.65
ICQ-0800372X	ICQ-0800372X	05/04/2011	TITULO VIGENTE-EN EJECUCION	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	CARBON	(8901072616) JUAN MANUEL RUISECO V. Y CIA. S.C.A	TURBO-ANTIOQUIA	04/04/2041	1733.38
ICQ-0800393X	ICQ-0800393X	04/04/2011	TITULO VIGENTE-EN EJECUCION	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	CARBON\ DEMAS CONCESIBLES	(8901072616) JUAN MANUEL RUISECO V. Y CIA. S.C.A	TURBO-ANTIOQUIA	03/04/2041	1972.04
H6764005	H6764005	20/08/2010	TITULO VIGENTE-EN EJECUCION	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	CARBON TERMICO	(9000107361) CONTINENTAL DE CARBONES S.A.S.	TURBO\NECOCLIA-ANTIOQUIA	19/08/2040	1987.02
ILL-09231	ILL-09231	15/11/2011	TITULO VIGENTE-EN EJECUCION	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	CARBON TERMICO	(8901002510) CEMENTOS ARGOS S.A (7317265) GERSSON ALEXANDER MEJIA GONZALEZ\ (7312056) EDUIN DONALDO GIL DELGADILLO	TURBO\ APARTADO-ANTIOQUIA	14/11/2041	1432.06
ICQ-0800176X	ICQ-0800176X	04/11/2011	TITULO VIGENTE-EN EJECUCION	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	CARBON TERMICO	(9001338398) MINERALES DE URABA S.A. (98625820) ANDRES FELIPE CASTAÑO CASTAÑEDA	TURBO\NECOCLIA-ANTIOQUIA	03/11/2041	8859.20
ICQ-0800322X	ICQ-0800322X	23/11/2010	TITULO VIGENTE-EN EJECUCION	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	CARBON DEMAS_CONCESIBLES\ MINERALES DE HIERRO	(71698123) DIEGO ALBERTO RESTREPO PELAEZ	TURBO\ UNGUIA-CHOCO	22/11/2040	9848.20
LI9-10311	LI9-10311	07/12/2012	TITULO VIGENTE-EN EJECUCION	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	MATERIALES DE CONSTRUCCION\ ARCILLAS\ ARENA	(19478484) JAIRO ERNESTO TONCON MENDIVELSO	TURBO-ANTIOQUIA	06/12/2042	1860.96
B6571005	B6571005	27/12/2010	TITULO VIGENTE-EN EJECUCION	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	CARBON TERMICO	(8909001207) SUMINISTROS DE COLOMBIA S.A.S.	TURBO-ANTIOQUIA	26/12/2040	150.29
ICQ-0800177X	ICQ-0800177X	09/03/2012	TITULO VIGENTE-EN EJECUCION	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	CARBON TERMICO ARENAS Y GRAVAS NATURALES Y SILICEAS\ ARCILLA COMUN (CERAMICAS, FERRUGINOSAS, MISCELANEAS)\ ARCILLAS ESPECIALES	(9001338398) MINERALES DE URABA S.A.	TURBO\NECOCLIA-ANTIOQUIA	08/03/2042	2962.50
KCB-14441	KCB-14441	31/07/2014	TITULO VIGENTE-EN EJECUCION	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	CARBON	(9001338398) MINERALES DE URABA S.A.	TURBO-ANTIOQUIA	30/07/2044	27.03
ICQ-0800247X	ICQ-0800247X	29/10/2013	TITULO VIGENTE-EN EJECUCION	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	CARBON	(9001338398) MINERALES DE URABA S.A.	TURBO\NECOCLIA-ANTIOQUIA	28/10/2043	9924.01

Fuente: ANM 2017.



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

Tabla 113. Solicitudes mineras

EXP	FECHA RAD	ESTADO_EXP	AREA_DEFIN	MODALIDAD	MINERALES	TITULARES	MUNICIPIOS	Shape_Area
LLD-10493X	13/12/2010	SOLICITUD VIGENTE-EN CURSO	(2542817,27)	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	MINERALES DE METALES PRECIOSOS Y SUS CONCENTRADOS	(9003397808) EMPORIO MINERO SAS	TURBO-ANTIOQUIA	2547811.15
JCD-15591	13/03/2008	SOLICITUD VIGENTE-EN CURSO	(19305930,406)	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	MINERALES DE TITANIO Y SUS CONCENTRADOS (RUTILO Y SIMILARES)	(70660660) ELKIN DE JESUS FLOREZ UPEGUI		19349598.68
JCE-09592X	14/03/2008	SOLICITUD VIGENTE-EN CURSO	(418733,58703) (156363,80151) (135000,06148)	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	ARENAS Y GRAVAS NATURALES Y SILICEAS\ MINERALES DE METALES PRECIOSOS Y SUS CONCENTRADOS \ MINERALES DE TITANIO Y SUS CONCENTRADOS Y ACUARIO Y SIMILARES)	(8110206780) S.O.M	TURBO-ANTIOQUIA	711854.78
JJO-16101	24/10/2008	SOLICITUD VIGENTE-EN CURSO	(1200000,468)	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	ARENAS Y GRAVAS NATURALES Y SILICEAS\ CARBON TERMICO	(1017150044) ANA MAR=TORO TRUJILLO	APARTADO-ANTIOQUIA	1202208.60
ICQ-080726X	26/03/2007	SOLICITUD VIGENTE-EN CURSO	(3088303,121)	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	ARENAS Y GRAVAS NATURALES Y SILICEAS\ CARBON TERMICO	(9000994558) MINERGETICO S S.A.	TURBO-ANTIOQUIA\ APARTADO-ANTIOQUIA	3094364.54
ICQ-0800252X	26/03/2007	SOLICITUD VIGENTE-EN CURSO	(96350174,321)	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	ARENAS Y GRAVAS NATURALES Y SILICEAS\ CARBON TERMICO	(9001338398) MINERALES DE URABA S.A.	TURBO-ANTIOQUIA	96525061.18
RFO-09381	24/06/2016	SOLICITUD VIGENTE-EN CURSO	(2257300) (72,83041) (42761537,232)	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	MATERIALES DE CONSTRUCCION\ GRAVILLA (MIG)	(70114787) OSCAR ALBERTO ALVAREZ FRANCO\ (79591510) JORGE ANTONIO CRUZ HERNANDEZ\ (37317925) MERCEDES ASCANIO SANCHEZ\ (71728196) JUAN CARLOS ORTIZ GARCES	TURBO-ANTIOQUIA\ APARTADO-ANTIOQUIA	2261557.86
JCE-10211	14/03/2008	SOLICITUD VIGENTE-EN CURSO	(230,90212) (352,18849) (5,1569)	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	MATERIALES DE CONSTRUCCION\ MINERALES DE HIERRO	(8110206780) ACUARIO S.O.M	TURBO-ANTIOQUIA\ APARTADO-ANTIOQUIA	42852128.17
JCE-10034X	14/03/2008	SOLICITUD VIGENTE-EN CURSO	(26571864,234)	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	ARENAS Y GRAVAS NATURALES Y SILICEAS\ MINERALES DE METALES PRECIOSOS Y SUS CONCENTRADOS \ MINERALES DE	(8110206780) ACUARIO S.O.M	TURBO-ANTIOQUIA	26636435.44



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

EXP	FECHA RAD	ESTADO_EXP	AREA_DEFIN	MODALIDAD	MINERALES	TITULARES	MUNICIPIOS	Shape_Area
					TITANIO Y SUS CONCENTRADOS (RUTILO Y SIMILARES)			
MAJ-10331	19/01/2011	SOLICITUD VIGENTE-EN CURSO	(4732807,783) (88208691,239)	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	DEMÁS_CONCESI BLES\ MINERALES DE PLATA Y SUS CONCENTRADOS \ MINERALES DE ORO Y PLATINO, Y SUS CONCENTRADOS	(8002491571) GRUPO DE BULLET S.A.S. (9007246531)	TURBO- ANTIOQUIA\ UNGUIA-CHOCO	92942082.36
QLV-12091	31/12/2015	SOLICITUD VIGENTE-EN CURSO	(2383686,783) (4204084,322)	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	ARENAS Y GRAVAS SILICEAS\ MATERIALES DE CONSTRUCCIEN SAS ARENAS Y GRAVAS NATURALES Y SILICEAS\ MINERALES DE METALES PRECIOSOS Y SUS CONCENTRADOS \ MINERALES DE TITANIO Y SUS CONCENTRADOS	(8110206780) DE COLOMBIA SAS INDUSTRIALES DE COLOMBIA SAS	TURBO- ANTIOQUIA	6600524.79
JCE-09591	14/03/2008	SOLICITUD VIGENTE-EN CURSO	(25595077,82) (649023,38599) (51788,31352) (12582,23344) (11374,63855) (9116,38981) (56,44276) (26,0314)	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	MATERIALES DE CONSTRUCCIEN\ DEMÁS_CONCESI BLES\ MINERALES DE ORO Y PLATINO, Y SUS CONCENTRADOS ARENAS Y GRAVAS NATURALES Y SILICEAS\ CARBON TERMICO	(8110206780) RUTILO Y ACUARIO S.O.M. (8110102628) SOCIEDAD ORDINARIA DE MINAS HERRAN S.O.M.	TURBO- ANTIOQUIA	24889172.40
LC4-10164X	04/03/2010	SOLICITUD VIGENTE-EN CURSO	(11322847,7194 6)	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	MATERIALES DE CONSTRUCCIEN\ DEMÁS_CONCESI BLES\ MINERALES DE ORO Y PLATINO, Y SUS CONCENTRADOS ARENAS Y GRAVAS NATURALES Y SILICEAS\ CARBON TERMICO	(8110102628) SOCIEDAD ORDINARIA DE MINAS HERRAN S.O.M. (9000994558) MINERGETICO S S.A. (70124058) JORGE IVAN PASTOR ALVAREZ	UNGUIA-CHOCO	11353547.30
ICQ-080742X	26/03/2007	SOLICITUD VIGENTE-EN CURSO	(598493,48823)	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	MATERIALES DE CONSTRUCCIEN\ DEMÁS_CONCESI BLES\ MINERALES DE ORO Y PLATINO, Y SUS CONCENTRADOS ARENAS Y GRAVAS NATURALES Y SILICEAS\ CARBON TERMICO	(9000994558) MINERGETICO S S.A. (70124058) JORGE IVAN PASTOR ALVAREZ	TURBO- ANTIOQUIA	599629.47
OG2-08132	02/07/2013	SOLICITUD VIGENTE-EN CURSO	(2106991,169) (11728,12227) (5031069,522)	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	MATERIALES DE CONSTRUCCIEN\ DEMÁS_CONCESI BLES\ MINERALES DE ORO Y PLATINO, Y SUS CONCENTRADOS ARENAS Y GRAVAS NATURALES Y SILICEAS\ CARBON TERMICO	(9005370942) CARB URABA SAS	TURBO- ANTIOQUIA	19947465.43
OG3-08111	03/07/2013	SOLICITUD VIGENTE-EN CURSO	(19914185,52)	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	MATERIALES DE CONSTRUCCIEN\ DEMÁS_CONCESI BLES\ MINERALES DE ORO Y PLATINO, Y SUS CONCENTRADOS ARENAS Y GRAVAS NATURALES Y SILICEAS\ CARBON TERMICO	(9005370942) CARB URABA SAS	TURBO- ANTIOQUIA	19947465.43
ICQ-0800624X	26/03/2007	SOLICITUD VIGENTE-EN CURSO	(2741478,751)	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	MATERIALES DE CONSTRUCCIEN\ DEMÁS_CONCESI BLES\ MINERALES DE ORO Y PLATINO, Y SUS CONCENTRADOS ARENAS Y GRAVAS NATURALES Y SILICEAS\ CARBON TERMICO	(9001338398) MINERALES DE URABA S.A. (9005370942) CARB URABA SAS	TURBO- ANTIOQUIA\ NECOCLI- ANTIOQUIA	2746758.30
OG2-08289	02/07/2013	SOLICITUD VIGENTE-EN CURSO	(19563842,361)	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	MATERIALES DE CONSTRUCCIEN\ DEMÁS_CONCESI BLES\ MINERALES DE ORO Y PLATINO, Y SUS CONCENTRADOS ARENAS Y GRAVAS NATURALES Y SILICEAS\ CARBON TERMICO	(9005370942) CARB URABA SAS	TURBO- ANTIOQUIA	19597349.61
OG2-083715	02/07/2013	SOLICITUD VIGENTE-EN CURSO	(19785699,74)	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	MATERIALES DE CONSTRUCCIEN\ DEMÁS_CONCESI BLES\ MINERALES DE ORO Y PLATINO, Y SUS CONCENTRADOS ARENAS Y GRAVAS NATURALES Y SILICEAS\ CARBON TERMICO	(9005370942) CARB URABA SAS	TURBO- ANTIOQUIA	19819525.34



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

EXP	FECHA RAD	ESTADO_EXP	AREA_DEFIN	MODALIDAD	MINERALES	TITULARES	MUNICIPIOS	Shape_Area
JL9-16501	09/12/2008	SOLICITUD VIGENTE-EN CURSO	(19870685,28)	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	DEMINERALES DE HIERRO MINERALES DE METALES	(51994515) CLAUDIA DEL ROCIO MEDINA LUNA (9005049152) NACIONAL DE MINERALES Y METALES SAS (42972733) FANNY STELA TRUJILLO ROJAS\ (8110465651)	UNGUIA-CHOCO	19917325.52
QH5-08031	05/08/2015	SOLICITUD VIGENTE-EN CURSO	(19720311,02)	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	DEPRECIOSOS Y SUS CONCENTRADOS ARENAS Y GRAVAS NATURALES Y SILICEAS\	(9001338398) MINERALES DE URABA S.A. (8292482) JAIME AVALOS JARAMILLO	UNGUIA-CHOCO	19773490.98
QEQ-09221	26/05/2015	SOLICITUD VIGENTE-EN CURSO	(998963,45) (7,19844) (77,88053) (57,38192) (56302139,198)	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	DEMATERIALES DE CONSTRUCCIEN	(9001338398) AGREGADOS LTDA	APARTADO-ANTIOQUIA	1000826.42
KA9-11421X	09/01/2009	SOLICITUD VIGENTE-EN CURSO	(56302139,198)	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	DECARBON TERMICO	(9001338398) MINERALES DE URABA S.A. (8292482)	TURBO-ANTIOQUIA	98743616.08
OHT-10471	29/08/2013	SOLICITUD VIGENTE-EN CURSO	(730037,85411)	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	DEMATERIALES DE CONSTRUCCIEN ARENAS Y GRAVAS NATURALES Y SILICEAS\ MINERALES DE METALES PRECIOSOS Y SUS CONCENTRADOS \ MINERALES DE TITANIO Y SUS CONCENTRADOS	(8110206780) JAIME AVALOS JARAMILLO	TURBO-ANTIOQUIA	731461.51
JCE-10033X	14/03/2008	SOLICITUD VIGENTE-EN CURSO	(994713,45563)	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	DE(RUTILO Y SIMILARES)	(8110206780) ACUARIO S.O.M (70038715) LUIS MARIO TAMAYO ROLDAN\ (8424646) RICARDO ANTONIO TREJOS SALAZAR\ (3206969661) JOSE NELSON JARAMILLO QUINTERO	TURBO-ANTIOQUIA	997182.00
PEK-11031	20/05/2014	SOLICITUD VIGENTE-EN CURSO	(252816,53865)	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	DEMATERIALES DE CONSTRUCCIEN	(79646809) WILSON JAVIER VIRVIESCO GONZALEZ\ (26294770) MARIA JARAMILLO QUINTERO	TURBO-ANTIOQUIA	253318.26
OJ4-08311	04/10/2013	SOLICITUD VIGENTE-EN CURSO	(75737,84439) (5107476,1297) (90710,6559)	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	DEMINERALES DE ORO Y SUS CONCENTRADOS ARENAS Y GRAVAS NATURALES Y SILICEAS\ MINERALES DE METALES PRECIOSOS Y SUS CONCENTRADOS \ MINERALES DE TITANIO Y SUS CONCENTRADOS	(8110206780) AGRACIADA MACHADO RENTERIA	UNGUIA-CHOCO	3803477.51
JCE-10031	14/03/2008	SOLICITUD VIGENTE-EN CURSO	(6698505,6552)	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	DEPRECIOSOS Y SUS CONCENTRADOS \ MINERALES DE TITANIO Y SUS CONCENTRADOS	(8110206780) ACUARIO S.O.M	TURBO-ANTIOQUIA	6714475.12



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

EXP	FECHA RAD	ESTADO_EXP	AREA_DEFIN	MODALIDAD	MINERALES (RUTILO Y SIMILARES)	TITULARES	MUNICIPIOS	Shape_Area
KJS-16411	28/10/2009	SOLICITUD VIGENTE-EN CURSO	(45119395,019) (31119007,627)	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	CARBÉN MINERAL TRITURADO O MOLIDO\ MINERALES DE TITANIO Y SUS CONCENTRADOS (RUTILO Y SIMILARES) ARENAS Y GRAVAS NATURALES Y SILICEAS\ CARBÓN TERMICO	(8110275594) ALIANZA MINERA S.A.S.	NECOCLI-ANTIOQUIA	76398276.89
ICQ-080326X	26/03/2007	SOLICITUD VIGENTE-EN CURSO	(18319264,43)	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	CARBÓN TERMICO	(9000994558) MINERGETICO S.S.A. (1040748500)	TURBO-ANTIOQUIA	18337176.02
QCU-11541	30/03/2015	SOLICITUD VIGENTE-EN CURSO	(7096676,735)	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DEMAS_CONCESIONES\ MINERALES DE ORO Y PLATINO, Y SUS CONCENTRADOS	PAULINA ZAPATA RUIZ (8110110449) ARENOSA SOM (1040748500)	TURBO-ANTIOQUIA	7111635.48
JG1-08072	01/07/2008	SOLICITUD VIGENTE-EN CURSO	(33341071,369) (47832178,01)	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	ARENAS Y GRAVAS NATURALES Y SILICEAS\ MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DE METALES PRECIOSOS Y SUS CONCENTRADOS	PAULINA ZAPATA RUIZ\ (1152184886) LUIZA FERNANDA ZAPATA RUIZ (9005049152)	TURBO-ANTIOQUIA\ UNGUIA-CHOCO	81383308.67
PHM-08231	22/08/2014	SOLICITUD VIGENTE-EN CURSO	(10039799,986)	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DE METALES PRECIOSOS Y SUS CONCENTRADOS	FERNANDA ZAPATA RUIZ (9005049152) NACIONAL DE MINERALES Y METALES SAS	TURBO-ANTIOQUIA	10058115.34
QH5-08081	05/08/2015	SOLICITUD VIGENTE-EN CURSO	(15032002,913)	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	ARENAS Y GRAVAS NATURALES Y SILICEAS\ ARCILLA COMUN (CERAMICAS, FERRUGINOSAS, MISCELANEAS)	(70550106) JOHN JAIRO LOPERA RAMIREZ (1039454011) CRISTHIAN MUNOZ BENITEZ\ (71618234) FREDY LEON GUTIERREZ RIVERA\ (43519617)	UNGUIA-CHOCO	15072210.76
RFT-16101	29/06/2016	SOLICITUD VIGENTE-EN CURSO	(2087409,0283)	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	CARBÓN TERMICO	DIANA MARIA CORREA PEREZ (9003397808)	TURBO-ANTIOQUIA	2091346.03
REO-08141	24/05/2016	SOLICITUD VIGENTE-EN CURSO	(26797867,775)	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	CARBÓN TERMICO	DIANA MARIA CORREA PEREZ (9003397808)	TURBO-ANTIOQUIA	26845852.97
LLD-10492X	13/12/2010	SOLICITUD VIGENTE-EN CURSO	(15185034,414)	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	MATERIALES DE METALES PRECIOSOS Y SUS CONCENTRADOS	EMPORIO MINERO SAS	TURBO-ANTIOQUIA	15215794.06



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

EXP	FECHA RAD	ESTADO_EXP	AREA_DEFIN	MODALIDAD	MINERALES	TITULARES	MUNICIPIOS	Shape_Area
QII-08191	18/09/2015	SOLICITUD VIGENTE-EN CURSO	(2562500,0612)	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	GRAVAS NATURALES\ MATERIALES DE CONSTRUCCIÉN\ GRAVILLA (MIG) MINERALES DE TITANIO Y SUS CONCENTRADOS	(71937958) CESAR AUGUSTO ATEHORTUA CASTAÑO	TURBO-ANTIOQUIA\ APARTADO-ANTIOQUIA	2567224.24
JCE-10111	14/03/2008	SOLICITUD VIGENTE-EN CURSO	(10927976,782)	CONTRATO DE CONCESION (L 685)	(RUTILO Y SIMILARES)	(8110206780) ACUARIO S.O.M	TURBO-ANTIOQUIA	10951556.46

Fuente: ANM 2017.



4. BIBLIOGRAFÍA

(s.f.).

(s.f.).

(s.f.).

GEOENGINEERING SERVICES & CONSULTING. (2017). Clasificación de resistencia según ISRM.

Gobernación de Antioquia . (2015). (Sistema de Información Ambiental Departamental SIAD) . *Área aproximada de estudio en óvalo rojo.*

Municipio de Necoclí. (2000). PLAN BÁSICO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL MUNICIPAL. *DOCUMENTO TÉCNICO DE SOPORTE.*

Resguardo Caimán Nuevo. (2015). *Fortacimiento del Gobierno Propio y la Administración del Pueblo Gunadule.*

Acero, H. (1991). Colonización: institucionalización y presencia estatal. Colombia.

Acero, P., & Garzón, F. (1987). Los peces marinos hallados durante la expedición Urabá II al Caribe Chocoano (Colombia). Santa Marta, Colombia.

Adamek, S., Frohlich, C., & Pennington, W. (1988). Seismicity of the Caribbean-Nazca boundary: Constraints on microplate tectonics of the Panama region.

Agencia Nacional de Hidrocarburos -ANH-. (2009). *Colombian Sedimentary Basins. Nomenclature, Boundaries and Petroleum Geology, a new Proposal.* Bogotá.

Aguas de Urabá. (2009). PLAN DE SANEAMIENTO Y MANEJO DE VERTIMIENTOS MUNICIPIO DE TURBO. 27. Turbo.

AGUAS DE URABÁ. (2009). *PLAN DE SANEAMIENTO Y MANEJO DE VERTIMIENTOS, MUNICIPIO DE TURBO.* Turbo.

Aguas de Urabá. (2015). PROGRAMA DE USO EFICIENTE Y AHORRO DEL AGUA MUNICIPIO DE TURBO. 38. Turbo.

Aguas regionales EPM. (2017). *Entrega de información del área de influencia cuenca Turbo Currulao.*

Aguas Regionales EPM. (2017). Oficio entrega de información del área de influencia de la cuenca Turbo-Currulao. 6. Apartadó.

Alcaldía de Turbo. (2012). *Sitio oficial de Turbo en Antioquia.* Obtenido de http://www.turbo-antioquia.gov.co/informacion_general.shtml

Alcaldía de Turbo. (2013). ACTA DE INFORME DE GESTION 2012-2015. 96. Turbo.

Alcaldía de Turbo. (7 de mayo de 2015). Casco Urbano del Municipio de Turbo.

Alcaldía de Turbo. (noviembre de 2015). Panorámica del área urbana del corregimiento de Currulao, Turbo.

Alcaldía de Turbo. (2017). *Sitio oficial de Turbo en Antioquia.* Obtenido de <http://www.turbo-antioquia.gov.co/index.shtml?apc=I-xx-1-&x=2630453>

Alcaldía municipal Apartadó. (2016). Plan de desarrollo municipal de Apartadó "obras para la paz". Apartadó.

Alcaldía municipal de Apartadó. (2016). Plan de Desarrollo Territorial 2016- 2019. 158. Apartadó.

Alcaldía municipal de Apartadó. (2016). Plan de desarrollo territorial 2016-2019 . Apartadó.

Alcaldía Municipal de Necoclí. (2016). PLAN DE DESARROLLO MUNICIPAL 2016-2019 "POR UN BUEN GOBIERNO". 232. Necoclí.

Alcaldía Municipal de Turbo. (2000). Plan de Ordenamiento Territorial Turbo Antioquia. Turbo - Antioquia - Colombia.

Alcaldía municipal de Turbo. (2016). Plan de Desarrollo "Turbo educado y en paz" 2016 - 2019. Turbo.



- Alcaldía Municipal de Turbo. (2016). Plan de Desarrollo 2016-2019. Turbo educado y en paz. Turbo.
- Alcaldía municipal Necoclí. (2016). Plan de desarrollo del municipio de Necoclí "Por un buen gobierno" 2016 - 2019. Necoclí.
- Alcaldía municipal Turbo. (2016). Plan de Desarrollo "Turbo educado y en paz" 2016 - 2019. Turbo.
- Alcaraz López, G. M., Arias Valencia, M. M., & Gálvez Abadía, A. C. (2011). "Para calentar brazo" maternidad e infancia en el pueblo embera 1985-1986. Antioquia, Colombia. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Aldana López, N. (28 de 02 de 2017). Acueducto Nuevo Antioquia. (L. Rodríguez Martínez, Entrevistador)
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. En *Estudio FAO Riego y Drenaje* (pág. 323). Roma.
- Álvarez Uribe, M. C., Mancilla López, L. P., & Cortés Torres, J. E. (2007). Caracterización socioeconómica y seguridad alimentaria de los hogares productores de alimentos para el autoconsumo, Antioquia-Colombia. *Agroalimentaria*, 12(25), 109-122.
- Álvarez, L., Gálvez, A., & Salazar, J. (2016). Etnobotánica del Darién Caribe colombiano: los frutos del bosque.
- Amaya, R. G. (2007). *Estudio combinado de fuentes de agua superficial y subterránea para el suministro de agua potable para el municipio de Turbo, Antioquia*. Tesis Maestría en Ingeniería – Recursos Hidráulicos, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Amortegui, B., Taborda, A., & Blanco, J. (2013). Edge effect on a *Neritina virginea* (Neritimorpha, Neritidae) population in a black mangrove stand (Magnoliopsida, Avicenniaceae: *Avicennia germinans*) in the southern Caribbean. *Pan-American Journals of Aquat.*
- Amortegui, V., Taborda, A., & Blanco, J. (2013). Edge effect on a *Neritina virginea* (Neritimorpha, Neritidae) population in a black mangrove stand (Magnoliopsida, Avicenniaceae: *Avicennia germinans*) in the southern Caribbean. *Pan-American Journals of Aquat.*
- Aramburo Siebert, C. I. (2009). La tensa interacción entre las territorialidades y el conflicto armado, Urabá 1960-2004. *Controversia*(192), 81-119.
- Arboleda, L. M., & Franco, F. (julio-diciembre de 2012). Significado de la alimentación y del complemento alimentario MANA en un grupo de hogares de Turbo, Colombia. (E. d. Dietética, Ed.) *Perspectivas en nutrición humana*, 14(2), 171-183.
- Arcila, M. (2016). Fotografía.
- Arcila, M. (2016). Fotografía.
- Arguello, R. (2016). Fotografía.
- Arguello, R. (2016). Fotografía.
- Arias Chaverra, J. d. (2013). *Informe de plantaciones en turbo entre el 2010 y 2013*.
- Arias Valencia, M. M. (julio-agosto de 2011). Comportamiento reproductivo en las etnias de Antioquia-Colombia. *Salud Pública Mex*, 43(4), 43-269.
- Arias, A. (2008). Consolidación de la Cadena Forestal en la Región del Urabá Antioqueño. Apartadó.
- ARIAS, L. (2016). Esquema de los ambientes marino, litoral-costero y Continental, y su similitud con las unidades geomorfológicas en la Cuenca del río Turbo-Currulao.
- Arroyabe, A., Amortegui, T., Taborda, & Blanco. (2014). Efecto sobre la población del Cangrejo Azul *Cardiosma juanhumii* (Decapoda; Gecarcinidae) en el manglar de la bahía EL Uno, Golfo del Urabá (Colombia): una aproximación a su captura arte.



- Asamblea Departamental de Antioquia. (2016). *Ordenanza Nro 10 22 de abril de 2016*. Medellín.
- AUGURA, CENIBANANO. (s.f.). *Los desechos generados por la agroindustria bananera colombiana*.
- Auteco Colombia. (20 de marzo de 2015). *LUDOTECAS MÓVILES PARA LA PRIMERA INFANCIA EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA*. Obtenido de <http://www.auteco.com.co/content/indeportes-auteco-y-fan-lanzan-ludotecas-moviles-para-la-primera-infancia-en-el-departamento>
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA. (2016). *CERTIFICACIÓN N° 0767 del 28 de Julio de 2016*.
- Baeza. (1994). evaluación y zonificación de la susceptibilidad a los movimientos en masa.
- BANCO MUNDIAL. (2007). Protección de la Calidad del Agua Subterránea guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales. En R. H.-a.-P.-C.-R.-P. Foster, *Guía Técnica parte B Propuestas Metodológicas para la Protección del Agua Subterránea*. Washington, D.C.
- Barnston A, L. R. (1987). Classification, Seasonality and Persistence of Low-Frequency Atmospheric Circulation Patterns.
- Barrera, V. N. (febrero de 2015). ¿ Quiénes somos los Cordobeses? Montería.
- BERMÚDEZ, J. (2016). Modelo esquemático de los procesos de erosión y sedimentación, similares a los ocurridos en la cuenca baja de los ríos Turbo-Currulao.
- Biblioteca Pública FYFFES. (29 de octubre de 2013). *Reseña Histórica*. Obtenido de <http://bibliotecapublicanuevacolonia.blogspot.com.co/search/label/Nueva%20Columbia>
- Blanco, J. F., Ortiz, L. F., & Urrego, L. (2015). Reservorios de biomasa aérea y de carbono en los manglares del golfo de Urabá (Caribe colombiano). *ACTUALIDADES BIOLÓGICAS*, 131-141.
- Blanco, J. F., Taborda, M. A., Amortegui, T., Arroyabe, R. A., Sandoval, A., Estrada, E. A., . . . Narváez, A. (2013). Deforestación y sedimentación en los manglares del Golfo de Urabá. Síntesis de los impactos sobre la fauna macrobéntica e íctica en el delta del río Turbo. *Gestión y Ambiente*, 19-36.
- Blanco, J., & Castaño, M. (Diciembre de 2012). *Efecto de la conversión del manglar a potrero sobre la densidad y tallas de dos gasterópodos en el delta del río Turbo (golfo de Urabá, Caribe colombiano)*.
- Blanco, J., & Castaño, M. (2012). Efecto de la conversión del manglar a potrero sobre la densidad y tallas de dos gasterópodos en el delta del río Turbo (golfo de Urabá, Caribe colombiano).
- BOWLES, J. (1996). Foundation Analysis and Design. *McGraw-Hil*. 5th Edition.
- Bravo, A. M. (marzo de 2017). De río en río: Vistazo a los territorios negros.
- Bravo, J. M. (29 de Octubre de 2016). Ferrocarril de Antioquia a Urabá 2. *El Mundo*.
- Brueckner, J. K. (2011). *Lectures on urban economics*. Cambridge: MIT Press.
- Cabrera. (2005). Distribución Geográfica del Mundo .
- Caicedo, F. (2008). Asimilación de Precipitación Estimada por Imágenes de Satélite en Modelos Hidrológicos Aglutinados y Distribuidos, Caso de Estudio Afluencias al Embalse de Betania (Huila, Colombia).
- Calderón, E., & García, N. (2002). Libro Rojo de Plantas Fanerógamas de Colombia. *Chrysobalanaceae, Dichapetalaceae y Lecythydaceae. La serie Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia*.
- Callejas, P. (1997). Piperáceas de la Real Expedición Botánica del Nuevo Reino de Granada. Madrid.



- Camacho, A., & Pérez, S. (2014). Elementos para la construcción de la Visión Urabá, biodiversidad y servicios ecosistémicos como base para el desarrollo, la sostenibilidad y el bienestar. Informe final de consultoría .
- Camacho, A., & Pérez, S. (2014). Elementos para la construcción de la Visión Urabá, biodiversidad y servicios ecosistémicos como base para el desarrollo, la sostenibilidad y el bienestar. Bogotá.
- Camacho, J., Ortiz, R., Walschburger, T., & Hurtado, A. (1992). Biogeográficas de Colombia.
- Cámara de Comercio de Urabá . (2013). *Informe socioeconómico*.
- Cámara de Comercio de Urabá. (2017). *Informe Socioeconómico 2016*. Cámara de Comercio de Urabá, Apartadó. Recuperado el 2 de Junio de 2017, de <http://ccuraba.org.co/site/wp-content/uploads/2017/03/INFORME-SOCIOECONOMICO-2016.pdf>
- Cárdenas, D., & Salinas, N. (2005). Libro rojo de plantas de Colombia. *Especies maderables amenazadas* .
- Carvajal, J., Mendivelso, D., Pinzón, L., Castiblanco, C., & Prada, M. (2010). *Investigación del "volcanismo de lodos" en la región entre Cartagena y Galerazamba*. Bogotá.
- CARVAJAL; SGC. (2012). Esquema de jerarquización geomorfológica.
- Castro, C. (2005). Fotografía.
- Catastro Minero Colombiano. (2012). *Títulos y Solicitudes Urabá, CMC Junio 29 2012*.
- Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia - CTA . (2013). *CIDEA*.
- Chow. (1994). *Handbook of Applied Hydrology*. New York .
- Chow, V. T. (1994). *Handbook of Applied Hydrology*. (McGraw-Hill, Ed.) New York.
- Chudnoff, M. (1984). *tropical Timbers of the World* Agricultur., Madison, Win: United States Department of Agriculture, Forest .
- Colexcon. (1985). *Informe interno. Geología Sinu- San Jacinto*. Bogotá.
- Concejo Municipal de Turbo. (2012). Acuerdo No. 014 "Por medio del cual se crea el Sistema Local de Áreas Protegidas del municipio de Turbo y definen los mecanismos para su funcionamiento". 13. Turbo.
- Congreso de Colombia. (1993). Ley 99 de 1993. Colombia.
- Congreso de Colombia. (1993). Ley 99 de 1993.
- Congreso de la República. (2011). LEY 1450 DE 2011 Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014.
- Contraloría. (2017). *Informe de Auditoría CORPOURABA Vigencia 2016*.
- Contreras, J., & García, M. (2005). *Alimentación y cultura. Perspectivas antropológicas*. Barcelona, España: Ariel.
- Corena, M. (2008). *SISTEMAS DE TRATAMIENTOS PARA LIXIVIADOS GENERADOS EN* . Sincelejo.
- CORPOURABA. (2009). *Plan de acción para la conservación y uso sostenible de especies de fauna silvestre amenazadas y de interés cinegético: Venado de cola blanca (Odocoileus virginianus), el Mono araña negro (Ateles geoffroyi), el Tití piel roja (Saguinus)* .
- CORPOURABA. (2009). *Plan de acción para la conservación y uso sostenible de especies de fauna silvestre amenazadas y de interés cinegético: Venado de cola blanca (Odocoileus virginianus), el Mono araña negro (Ateles geoffroyi), el Tití piel roja (Saguinus)* . .
- CORPOURABA. (1999). *Documento técnico para el Plan Básico de ordenamiento territorial municipal. Necocli Antioquia*.



- CORPOURABÁ. (2003). Caracterización y Zonificación de los manglares del golfo de Urabá, Departamento de Antioquia. Apartadó.
- CORPOURABA. (2005). Componente Fauna en la "Consolidación de la Cadena Forestal del Urabá.
- CORPOURABA. (2005). Plan de Acción para las Zonas de Conservación y Recuperación de los Manglares del Golfo de Urabá y mar Caribe Antioqueño.
- CORPOURABA. (2005). Plan de Acción para las Zonas de Conservación y Recuperación de los Manglares del Golfo de Urabá y Mar Caribe antioqueño.
- CORPOURABA. (2005). Plan de manejo integral de los manglares del golfo de Urabá y mar Caribe Antioqueño. 132. Apartadó.
- Corpourabá. (2005). *Proyecto ordenamiento de Cuencas. Fase I Diagnóstico de la cuenca del rio Apartadó .*
- CORPOURABA. (2007). *Establecimiento de los objetivos de calidad. requerimientos de los planes de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV) a las entidades prestadoras del servicio de alcantarillado de la jurisdicción de Corpourabá.* Apartadó.
- CORPOURABA. (2007). Política para el Manejo Integrado de la Zona Costera en el Departamento de Antioquia, Jurisdicción de Corpouraba.
- CORPOURABA. (2008). Plan de acción para la conservación y uso sostenible de algunas especies de fauna de interés.
- CORPOURABA. (2008). Plan de Manejo y Conservación de Cocodrilidos. Humedales del Urabá Antioqueño. *Documento Institucional CORPOURABA. Informe técnico.*
- CORPOURABA. (2008). Plan de Ordenamiento Forestal de CORPOURABA.
- CORPOURABA. (2008). Plan de ordenamiento forestal de la región del Urabá Antioqueño. 265. Apartadó.
- CORPOURABA. (2009). *Plan de Ordenamiento y Manejo de la cuenca del Río Turbo.*
- CORPOURABA. (2009). PLAN DE ORDENAMIENTO Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO TURBO. 380. Apartadó.
- CORPOURABA. (2009). Resolución N° 100-03-20-01-1320 Por la cual se aprueba el Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca (POMCH) del Río Turbo. 3. Apartadó.
- CORPOURABA. (2009). RESOLUCIÓN N° 100-03-20-01-1421-2009 Por la cual se reglamenta las corrientes de la cuenca del Río Turbo.
- CORPOURABA. (2009). RESOLUCIÓN N° 100-03-20-01-1488-2009 Por la cual se reglamenta las corrientes de la cuenca del Río Apartadó.
- CORPOURABA. (2010). R-PG-06: INFORME DE GESTIÓN 2009. 79. Apartadó.
- CORPOURABA. (Diciembre de 2011). Caracterización y zonificación de las poblaciones de Cardisoma guanhumi, en la línea costera del municipio de Turbo, e identificación de los pobladores que utilizan el recurso y los lugares de mayor extracción. *Documento Institucional CORPOURABA.*
- CORPOURABA. (2011). *Revisión y ajuste del Plan de Ordenamiento Territorial municipio de Turbo. Documento de seguimiento, evaluación y memoria justificada.*
- CORPOURABA. (2011). R-PG-06: INFORME DE GESTIÓN Versión 03 AÑO 2010. 124. Apartadó.
- CORPOURABA. (2012). *PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL REGIONAL Versión 02 2012-2024.* Apartadó.
- CORPOURABA. (2012). R-PG-06: INFORME DE GESTIÓN Versión 03 AÑO 2011. 82. Apartadó.
- CORPOURABA. (2013). Plan de Acción Sistema Local de Áreas Protegidas del municipio de Turbo. 14. Apartadó.



- CORPOURABA. (2013). R-PG-06: INFORME DE GESTIÓN AÑO 2012 Versión 03. 74. Apartadó.
- CORPOURABA. (2014). R-PG-06: INFORME DE GESTIÓN AÑO 2013. Versión 03. 115. Apartadó.
- CORPOURABA. (2015). *Inventario de pozos profundos en el área de la jurisdicción*. Apartadó, Antioquia.
- CORPOURABA. (2016). *Coendou prehensilis* (Puerco espin) y *Procyon cancrivorus* (Mapache) .
- CORPOURABA. (2016). *Inventario de puntos de agua*. Apartadó, Antioquia.
- CORPOURABA. (2016). Resolución "Por la cual se aprueba el Programa de Uso Eficiente y Ahorro del Agua y se adoptan otras determinaciones". 4. Apartadó.
- CORPOURABA. (2016). R-PG-06: INFORME DE GESTIÓN AÑO 2015 Versión 03. 112. Apartadó.
- CORPOURABA. (2017). Base de datos conseciones y vertimientos .
- CORPOURABA. (2017). Bocatomas de acueductos en la cuenca del río Turbo y Currulao.
- CORPOURABA. (2017). *Caracterización Regional de la jurisdicción de CORPOURABA*. Obtenido de http://corpouraba.gov.co/corporacion/quienes_somos/sedes-regionales/subregiones/
- CORPOURABA. (2017). material divulgativo para educación en fauna silvestre . *Ficha técnica para la identificación de cetáceos del golfo de Urabá*.
- CORPOURABA. (2017). *Política de Calidad, Misión, Visión y Objetivos de Calidad*. Obtenido de http://corpouraba.gov.co/corporacion/quienes_somos/politica-mision-vision-objetivos/
- CORPOURABA. (2017). *R-PG-06: INFORME DE GESTIÓN Versión 06 Año 2016*. Apartadó.
- CORPOURABA. (2017). *Sedes Territoriales*. Obtenido de http://corpouraba.gov.co/corporacion/quienes_somos/sedes-regionales/sedes-regionales-2/
- CORPOURABA. (2017). Seguimiento de proyectos de inversión de CORPOURABA.
- CORPOURABA, CODECHOCÓ. (2013). Plan de Ordenación y Manejo Integrado de la Unidad Ambiental Costera Darién. 393. (J. G. Vásquez, Ed.) Apartadó.
- CORPOURABA, FONADE. (2002). Zonificación y ordenamiento de los manglares del golfo de Urabá, Departamento de Antioquia. 365. Apartadó.
- CORPOURABA, UNAL, UdeA, ESAP, Municipio de Apartadó. (s.f.). *POT Municipio de Apartadó*. Obtenido de Diagnóstico Integrado Municipal : [http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/pot- Apartad%C3%B3-antioquia-2000-libro%202-diagn%C3%B3stico%20integrado- parte%202-\(55p%C3%A1g%20-%20147%20kb\).pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/pot- Apartad%C3%B3-antioquia-2000-libro%202-diagn%C3%B3stico%20integrado- parte%202-(55p%C3%A1g%20-%20147%20kb).pdf)
- CORPOURABA, Universidad de Antioquia. (2016). Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá. 216.
- CORPOURABA; UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. (2009). Estudio de uso combinado de fuentes de agua superficial y subterránea para el suministro de agua potable para el municipio de Turbo, Antioquia.
- CORPOURABA; Universidad de Antioquia. (2014). *Actualización del modelo hidrogeológico conceptual del sistema acuífero del Urabá antioqueño*. Medellín.
- CORPOURABA; Universidad de Antioquia. (2016). *Plan de manejo ambiental de acuíferos. Golfo de Urabá*. Apartadó.
- Correa C, J. D., & Palacio B, J. (2008). Ictiofauna de las áreas de manglar en las bahías Turbo y el Uno, Golfo de Urabá Caribe Colombiano. *Gestión y Ambiente*.



- Correa, C. J., & Palacio, B. (3 de Diciembre de 2008). Ictiofauna de las áreas de manglar en las bahías Turbo y el Uno, Golfo de Urabá (Caribe Colombiano). *Gestión y Ambiente*.
- Corredor, H. B. (1996). *Uraba: La verdad de cada cual*. Bogotá: Castillo Editorial Ltda.
- Corte Constitucional de Colombia. (1991). Constitución Política de Colombia.
- Cortés. (21 de agosto de 2014). Urabá Plátanos y Mar. Urabá.
- Cossio, U. F. (1995). *Evaluación del agua subterránea en la región del Urabá, departamento de Antioquia*. INGEOMINAS, Bogotá D. C.
- Custodio, E. & Llamas, M. (2001). *Hidrología Subterránea*. (Omega, Ed.) Barcelona, España.
- Custodio, E., Llamas, M., & Sauquillo, A. (Mar. de 2000). Retos de la hidrología subterránea. *Ingeniería del Agua*, 7.
- DANE. (1954). *Muestra Nacional Agropecuaria*. Bogotá: DANE.
- DANE. (1970). *Censo Nacional Agropecuario*. Bogotá: DANE.
- DANE. (2005). Boletín censo general 2005 Perfil Apartadó, Turbo y Necoclí.
- DANE. (2005). *Índice de Pobreza Multidimensional Municipal*. Obtenido de Censo Nacional.
- DANE. (2005). Resultados Censo General 2005.
- DANE. (2017). *Gran Encuesta Integrada de Hogares (GEIH)*. Obtenido de Estadísticas por Tema: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/mercado-laboral/empleo-y-desempleo/geih-historicos>
- DANE. (s.f.). *Proyecciones de población 1985 - 2020*.
- De Porta, J. (2003). La formación del Istmo de Panamá, su Incidencia en Colombia.
- Dearman W.R., F. P. (1974). *Engineering geological mapping for civil engineering practice in the United Kingdom*. London.
- Delgadillo, & Paez. (2008). *Aspectos hidrológicos, subcuencas susceptibles a crecidas*.
- Department of Defense, United States of America. (2005). U.S. Army Corps of Engineering (USACE). Naval Facilities Engineering Command (NAVFAC). *Air Force Civil Engineering Support Agency (AFCESA)*.
- DESINVENTAR. (2009). Desastres relacionados con el agua entre los años 1987 - 2007.
- Diaz, R. (2 de 10 de 2006). *Visión Chamánica*. Obtenido de http://www.visionchamanica.com/Medicinas_alternativas/medicina_kuna_tule.htm
- DIMELCO S.A. (2017). Fotografía dpanorámica de la subestación "El Tres".
- Dirección de Consulta Previa. (2016). *Certificación 1284 de 20 de octubre de 2016 Sobre la presencia o no de comunidades étnicas en las zonas de proyectos, obras o actividades a realizarse*". Bogotá D.C.
- Dirección seccional de salud. (2016). Causas de mortalidad a nivel municipal. Antioquia.
- Diusabá, V. (2004). Atrato, la vida en un río. Víctor Diusabá.
- Domínguez C., E. A. (2010). *Cálculo de parámetros morfométricos*.
- Domínguez, E., Dawson, C. W., & Ramírez, A. &. (julio de 2011). The search for orthogonal hydrological modelling metrics: a case study of 20 monitoring stations in Colombia. *Journal of Hydroinformatics*. <http://doi.org/10.2166/hydro.2010.116>.
- Dorthe Jøker & Salazar, R. (2000). Hieronyma alchorneoides Allemão.
- DSIC. (2010). Manual de Diligenciamiento de la Ficha Predial y la Ficha Resumen.
- Duque, A., & Callejas, R. (2009). *Expedición Antioquia: Informe final proyecto: Diversidad, dinamica y productividad de los bosques de Antioquia*. Medellín.
- Duque-Caro, H. (1980). Geotectónica y Evolución de la Región Noroccidental Colombiana. *Bol. Geo.*, 23(3).



- Duque-Caro, H. (1980). *Geotectónica y Evolución de la Región Noroccidental Colombiana*. Bogotá D.C.: INGEOMINAS.
- Dwyer M; Missouri Botanical Garden. (2015). *Lecythis turyana Pittier*. Obtenido de Tropicos.org: <http://tropicos.org/Name/17900012>
- Ebdon, R., & Veryard, R. (1961). Fluctuations in equatorial stratospheric winds.
- Echeverry. (1984). Flora apícola Colombiana.
- Economopoulos, A. (1993). *Assesment of sources of air, water, and land pollution*. . Geneva: World Health Organization.
- ECOPETROL. (1982). *Interpretación sísmica regional del área de Urabá. Informe geofísico N° 543*. Bogotá.
- Ecoviajes Darien. (2016). Fotografía.
- Eide. (1992). Food Security and the right to food in international law and development. 1-45.
- El Colombiano. (26 de agosto de 2013). Obtenido de <http://www.elcolombiano.com/blogs/capsulas/san-jose-de-apartado-se-suma-a-las-escuelas-real-madrid-%E2%80%A6segunda-rural-que-se-abre-en-colombia/78989>
- El Colombiano. (04 de enero de 2015). El de Turbo, Plan Integral para recuperar el Wafe. *El Colombiano*.
- El Tiempo. (13 de junio de 2016). Denuncian desplazamiento de campesinos en Turbo.
- Enfield, D. B., Mestas-Nuñez, A., & Trimble, P. (2001). The Atlantic Multidecadal Oscillation and its relation to rainfall and river flows in the continental U.S. *Geophysical Research Letters*.
- Enfield, D., Mestas-Nuñez, A., Mayer, D., & Cid-Serrano, L. (1999). How ubiquitous is the dipole relationship in tropical Atlantic sea surface temperatures. *Geophysical research Letters*, 7841-7848.
- Environmental Systems Research Institute (ESRI). (2011). ArcGis Desktop. Redlands, CA.
- EPM. (2010). Antioquia Iluminada, programa de electrificación rural. *EPM*, 170. Medellín.
- EPM. (2017). *Oficinas Urabá*. Obtenido de <http://www.epm.com.co/site/Home/Centrodecontacto/Canalesdeatención/OficinasUrabá.aspx>
- Espinal, L. (2011). Zonas de vida del departamento de Antioquia.
- Espinal, L. (2011). Zonas de vida del departamento de Antioquia. *Flora de Antioquia: Catálogo de plantas vasculares. Vol 1. Introducción. Programa Expedición Antioquia- 2103. Series Biodiversidad y Recursos*.
- Espinoza, I. D. (2012). Diagnóstico Cultural Necoclí. Obtenido de <https://idespinosa.wordpress.com/2012/10/28/diagnostico-cultural-necocli/>
- Esquivel, J. (2014). *PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA PARA AGUAS SUBTERRÁNEAS VEREDAS FLORESTA Y BELLA VISTA MUNICIPIO DE CÚCUTA, NORTE DE SANTANDER*.
- Estupiñan, A., & Jiménez, E. (2010). Uso de las plantas por grupos campesinos en la franja tropical del Parque Nacional Natural Paramillo .
- FAO. (1985). Revista Internacional de Silvicultura e Industrias Forestales Unasyliya. IX Congreso forestal mundial México. México.
- FAO. (2005). Sistema de clasificación de la cobertura de la tierra . Roma .
- FAO. (2006). *Las repercusiones del ganado en el medio ambiente*.
- FAO, FIDA y PMA. (2015). *El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo 2015. Cumplimiento de los objetivos internacionales para 2015 en relación con el*



- hambre*. Roma: FAO. Recuperado el 2 de marzo de 2017, de <http://www.fao.org/docrep/fao>
- Farr Tom, G., Rosen, P. A., & Caro, E. (2007). The Shuttle Radar Topography Mission. *Reviews of Geophysics*, 33.
- Fernández, M., & Ávila, A. (2011). Caracterización de la comunidad de aves asociada al ecosistema de man-glar en la bahía El Uno, municipio de Turbo, Caribe colombiano. Trabajo de grado para optar al título de Ecólogo de Zonas Costeras.
- Figueroa, A. (2016). Fotografía.
- FONDO ADAPTACIÓN. (Mayo de 2014). Alcances Técnicos para la formulación del POMCA Turbo-Currulao.
- Fondo Adaptación. (2014). *Anexo Alcances Técnicos*.
- Fondo de Adaptación. (2014). *Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas*.
- FOSTER, S. K. (2002 - 2005). *Amenazas Naturales a la Calidad del Agua Subterránea. Evitar problemas y formular estrategias de mitigación*. Serie de Notas Informativas Nota 14. Programa asociado de la GWP BANCO MUNDIAL. Gestión Sustentable del Agua Subterránea Conceptos y Herramientas.
- Friedemann, N. S. (2000). *Biblioteca virtual Luis Angel Arango*. Obtenido de <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/geografia/geofraf1/huellas.htm>
- Fundación Natura. (2013). Proceso de capacitación para la certificación voluntaria de empresas forestalesl .
- Fundación ProAves. (Octubre de 2015). Aves de Colombia.
- FUNDAUNIBAN. (2014). *Uniban Fundación*. Obtenido de Proyecto Educación Ambiental / PRAES: http://fundauniban.org.co/index.php?option=com_content&view=article&id=193:participacion-ciud-accion-comun-fase-iii-16&catid=2&Itemid=101
- Fundauniban. (2016). *Reforestación en Puerto Voy - Fase III*. Obtenido de http://www.fundauniban.org.co/index.php?option=com_content&view=article&id=261:reforestacion-en-puerto-voy-fase-iii&catid=2:principal&Itemid=101
- Futuraseo. (2016). *Reseña Histórica FUTURASEO*. Obtenido de <http://www.futuraseo.com/index.php/conocenos>
- Futuraseo. (2016). *Servicios Futuraseo S.A. E.S.P.* Obtenido de <https://www.futuraseo.com/index.php/servicios/>
- Futuraseo. (2016). *Sistema de Recolección Turbo*. Obtenido de <http://futuraseo.com/index.php/municipios/turbo>
- Futuraseo. (2017). Respuesta a solicitud de información. 2.
- Galeano, G., & Bernal, R. (2005). Libro Rojo de Plantas de Colombia: Palmas , Frailejones y Zamias Bogotá, Colombia.
- Gálvez, A., Rosique, J., Restrepo, M. T., & Manjarrés, L. M. (2007). *Hábitos alimentarios y estado nutricional de la población Embera de Frontino (Antioquia)*. Grupo de Investigación Medio Ambiente y Sociedad (MASO), Departamento de Antropología, Universidad de Antioquia. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Galvis, E. C. (4 de marzo de 2017). Conocimiento del Corregimiento El Dos. Vereda Aguas Claras. (P. R. Turbo-Currulao, Entrevistador)
- Garay Tinoco, J., Rámirez, G., Betancourt P, J., Marín S, B., Cadavid, B., Panizzo, . . . Franco, A. (2003). *Manual de Técnicas Analíticas para la Determinación de Parámetros Fisicoquímicos y Contaminantes marinos: Aguas Sedimentos y Organismos*. Santa Marta: Invenmar.



- Garay, J., & Velez, A. (2004). *Programa nacional de investigación, evaluación, prevención, reducción y control de fuentes terrestres y marinas de contaminación al mar (PNICM)*. Santa Marta.
- García Valencia, C. (2007). Atlas del golfo de Urabá: una mirada al Caribe de Antioquia y Chocó. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras –Invemar– y Gobernación de Antioquia .
- García, H. (1975). Flora medicinal de Colombia Bogotá.
- García, J. &. (1972). Relación entre la magnitud de excesos hídricos y la producción de Cacao (*Theobroma Cacao*) en Turrialba-Costa Rica. 22(1), 57-66.
- García, J., & Montoya, J. (1972). Relación entre la magnitud de excesos hídricos y la producción de Cacao (*Theobroma Cacao*) en Turrialba-Costa Rica. *Agronomía Tropical*, 57-66.
- García, J., & Palacio, J. (diciembre de 2008). Macroinvertebrados asociados a las raíces sumergidas del Mangle Rojo (*Rhizophora Mangle*) en las bahías Turbo y El Uno, Golfo de Urabá (Caribe Colombiano).
- García, M., Peters-Lidard, C. D., & Goodrich, D. C. (2008). Spatial interpolation of precipitation in a dense gauge network for monsoon storm events in the southwestern United States. *Water Resources Research*. doi:10.1029/2006WR005788
- García-Valencia, C. (2007). Atlas del golfo de Urabá: una mirada al Caribe de Antioquia y Chocó. *Instituto de Investigaciones Marinas Y Costeras –Invemar– Y Gobernación de Antioquia*.
- Garzón Varón, F. (2012). Modelamiento estructural de la zona límite entre la microplaca de Panamá y el bloque norandino a partir de la interpretación de imágenes de rada, cartografía geológica, anomalías de campos potenciales y líneas sísmicas. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia - sede Bogotá.
- Garzón Varón, F. (2012). *MODELAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA ZONA LÍMITE ENTRE LA MICROPLACA DE PANAMÁ Y EL BLOQUE NORANDINO A PARTIR DE LA INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES DE RADAR, CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA, ANOMALÍAS DE CAMPOS POTENCIALES Y LÍNEAS SÍSMICAS*. Universidad Nacional de Colombia .
- GEOTEC. (1997). *Cartografía geológica de la región del Sinú, Noroeste de Colombia (Planchas 50, 51, 59, 60, 61, 69, 70, 71, 79, 80)*. INGEOMINAS (Vol. 01). Bogotá.
- GEOTEC. (1997). *Cartografía geológica de la región del Sinú, Noroeste de Colombia. (Planchas 50,51,59,60,61,69,70,71,79,80)*. Bogotá D.C.
- GEOTEC. (2003). *GEOLOGÍA DE LOS CINTURONES SINÚ-SAN JACINTO: 50 PUERTO ESCONDIDO, 51 LORICA, 59 MULATOS, 60 CANALETE,61 MONTERÍA, 69 NECOCLÍ, 70 SAN PEDRO DE URABÁ,71 PLANETA RICA, 79 TURBO, 80 TIERRALTA*. Bogotá D.C.
- Gerencia de Seguridad Alimentaria y Nutricional de Antioquia; Plan de Mejoramiento Alimentario y Nutricional de Antioquia -MANA-; Universidad Pontificia Bolivariana. (2011). *Plan de Mejoramiento Alimentario y Nutricional de Antioquia. Estado Nutricional de la población indígena menor de 10 años, departamento de Antioquia*. Medellín: Centro de Investigación para el Desarrollo y la Innovación, Programa de Seguridad Alimentaria y Nutricional con Responsabilidad Social -SERES-, Unidad de Asesorías y Consultorías en Seguridad Social en Salud.
- Gobernación de Antioquia . (2016). *Plan de desarrollo "Antioquia piensa en grande" 2016 - 2019*.
- Gobernación de Antioquia. (2010). Sistema Urbano Regional de Antioquia. Medellín, Antioquia, Colombia. Recuperado el 10 de Junio de 2017, de



- <http://www.planesmojana.com/documentos/estudios/33.Sistema%20urbano%20regional%20de%20antioquia.pdf>
- Gobernación de Antioquia. (2012). Distribución porcentual de las consultas por desnutrición en menores de 5 años, según subregión y área Antioquia 2012.
- Gobernación de Antioquia. (2013). *Análisis de la situación salud. Seguridad Alimentaria y Nutricional*. Medellín: Gobernación de Antioquia. Obtenido de <https://www.dssa.gov.co/minisitio-dssa/index.php/diagnostico-de-la-situacion-salud>
- Gobernación de Antioquia. (2014). Instituto de Cultura y Patrimonio de Antioquia publica. *Anuario Estadístico 2014*. Antioquia.
- Gobernación de Antioquia. (2014). Anuario Estadístico de Antioquia 2014. Obtenido de <http://antioquia.gov.co/images/pdf/anuario2014/anuario-estadistico-de-antioquia-2014.html>
- Gobernación de Antioquia. (2014). Anuario estadístico del sector agropecuario de Antioquia. Medellín, Antioquia, Colombia. Recuperado el 6 de Junio de 2017, de http://antioquia.gov.co/images/pdf/Anuario_2013.pdf
- Gobernación de Antioquia. (30 de mayo de 2015). *Anuario Estadístico 2014*. Recuperado el 30 de marzo de 2017, de Festividades en algunos municipios de Antioquia, por subregión 2014: <http://antioquia.gov.co/planeacion/ANUARIO%202014/es-CO/capitulos/turismo/atractivos/cp-16-2-3.html?re=R09&zn=Z23&nomR=Uraba&nomZ=Uraba%20Centro&sw=0>
- Gobernación de Antioquia. (2015). Anuario Estadístico de Antioquia 2014. Obtenido de <http://antioquia.gov.co/images/pdf/anuario2014/anuario-estadistico-de-antioquia-2014.html>
- Gobernación de Antioquia. (2016). Anuario Estadístico de Antioquia 2015. Medellín, Antioquia, Colombia. Recuperado el 2017, de <http://www.antioquia.gov.co/planeacion/ANUARIO%202015/index.html>
- Gobernación de Antioquia. (2016). PLAN DE DESARROLLO "ANTIOQUIA PIENSA EN GRANDE" 2016-2019. 534.
- Gobernación de Antioquia. (2016). *Situación alimentaria y nutricional de la subregión de Urabá*. Medellín: Gobernación de Antioquia.
- Gobernación de Antioquia. (2016). *Urabá*. Obtenido de Gobernación de Antioquia: <http://antioquia.gov.co/index.php/antioquia/regiones/uraba>
- Gobernación de Antioquia. (2017). *Respuesta a solicitud de información referente a la cuenca Río Turbo-Currulao*. Secretaría de Minas, Medellín.
- Gobernación de Antioquia. (2017). *Secretaría de Medio Ambiente*. Obtenido de <http://antioquia.gov.co/index.php/secretaria-de-medio-ambiente>
- Gobernación de Antioquia. (1 de marzo de 2017). Sistema de salud en el área de influencia de la cuenca Río Turbo - Currulao.
- Gobernación de Antioquia, Departamento Administrativo de Planeación. (2014). *Anuario Estadístico de Antioquia, 2013*. Medellín: Gobernación de Antioquia.
- Gobernación de Antioquia, Gerencia Indígena. (2011). *Censo poblacional indígena de Antioquia*. Medellín: Gobernación de Antioquia.
- Gobernación de Antioquia, Secretaría de Agricultura. (2014). *Anuario agrícola de Antioquia, 2013*. Medellín: Gobernación de Antioquia.
- Gómez, N., Montes, N., Sepulveda, J., Gaona, T., Osorio, J., Diederix H, M., & Velásquez, M. (2007). Atlas Geológico de Colombia. Escala 1:5000.000. Bogotá: INGEOMINAS.
- Gómez Rave, J. (2009). *Geología, geofísica, hidrogeoquímica e isótopos como herramientas para definir un modelo conceptual hidrogeológico, caso de*



- aplicación: Acuífero costero del municipio de Turbo.* Tesis de Maestría en Ingeniería de Recursos Hidráulicos, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Gómez Rave, J. (2009). *GEOLOGÍA, GEOFÍSICA, HIDROGEOQUÍMICA E ISÓTOPOS, COMO HERRAMIENTAS PARA DEFINIR UN MODELO CONCEPTUAL HIDROGEOLÓGICO, CASO DE APLICACIÓN: ACUÍFERO COSTERO DEL MUNICIPIO DE TURBO.*
- González Vallejo, L. (2002). Ingeniería Geológica. *Influencia de la Composición Mineralógica en la Plasticidad.*
- González, M. (2011). Estado del conocimiento de la biodiversidad en Colombia y sus amenazas. Consideraciones para fortalecer la interacción ciencia-política. Revista academia colombiana ciencias exactas físicas y naturales. Bogotá.
- Google Earth. (2016). Fotografía.
- Google Maps. (30 de marzo de 2017). *Escenarios Deportivos de Turbo.* Obtenido de <https://www.google.es/maps/place/Unidad+Deportiva+De+Turbo-Antioquia-Colombia/@8.0927918,-76.7215912,920m/data=!3m2!1e3!4b1!4m5!3m4!1s0x8e5065f702bccd39:0xd8d55186ec705507!8m2!3d8.0927865!4d-76.7194025>
- Gordillo de Anda, G. (2004). Seguridad alimentaria y agricultura familiar. *Revista CEPAL*(83), 71-84.
- GRASS Development Team. (2012). Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software. USA: Open Source Geospatial Foundation.
- Green, A. (2011). Significados de Vida: Espejo de Nuestra Memoria en Defensa de la Madre Tierra. Medellín.
- Guevara, M. (1998). Estado del conocimiento de la biodiversidad en Colombia y sus amenazas. . *Consideraciones para fortalecer la interacción ambiente-política.*
- Haan, C. T. (Charles Thomas), 1941. (2002). Statistical methods in hydrology. Ames, Iowa : Iowa State Press, 2002.
- Haan, C., & Thomas, C. (2002). Statistical methods in hydrology. Ames, Iowa : Iowa State Press.
- Hansen, P., Christiansen, K., & Hummelose, B. (2000). Cleaner production assessment in meat processing. *UNEP DTIE, DEPA, Denmark*, 1-101.
- Hernández, C. J., Ortiz, R., Walschburger, T., & Hurtado, A. (1992). Unidades Biogeográficas de Colombia” En: Halffter, G. (Compilador). 1992. La diversidad biológica de Iberoamérica I. Acta zoológica Mexicana. Volumen especial. CYTED-D Programa Iberoame.
- Hernández, O. (2009). CARTOGRAFIA GEOLOGICA Y MODELAMIENTO ESTRUCTURAL DE LAS CUENCAS DE URABÁ Y SINÚ-SAN JACINTO A PARTIR DE LA INTERPRETACION DE IMÁGENES DE SENSORES REMOTOS Y MONITOREO SISMICO. INFORME FINAL. 142. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia, Agencia Nacional de Hidrocarburos.
- Hey, R. N. (1977). A new class of psuedofaults and their bearing on plate tectonics: a propagating rift model.
- Higuita Murillo, J. C. (2008). Seguridad Alimentaria y nutricional en las comunidades Embera de Nusidó y Atausí del municipio de Frontino. *Monografía de grado* . Medellín: Universidad de Antioquia.
- Higuita, A., & Domicó, J. (2016). *RITUAL GEMENÉ. Fundamentos para su comprensión, difusión y*. Chigorodó, Antioquia: Cabildo Mayor indígena de Chigorodó.
- Hirata, R. & Rebouças, A. (1999). La protección de los recursos hídricos subterráneos: una visión integrada, basada en perímetros de protección de pozos y vulnerabilidad de acuíferos. *Boletín Geológico Minero*, 110(4), 423-236.



- Holdridge, L. (2000). Ecología basada en zonas de vida.
- Horton, R. (1945). Erosional development of streams and their drainage basin: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of Geological Society of America*, 56, 275-370.
- Hoyos, G., Urrego, G., & Lema, T. (September de 2013). Respuesta de la regeneración natural en manglares del Golfo de Urabá (Colombia) a la variabilidad ambiental y climática intra-anual.
- Hydrologic Engineering Center (HEC). (2013). HEC-GeoHMS. 193. (U. A. Engineers, Ed.) Davis, CA.
- ICANH. (2010). LINEAMIENTOS CONSTITUCIONALES Y LEGALES PARA LA PROTECCIÓN DEL PATRIMONIO ARQUEOLÓGICO COLOMBIANO.
- ICBF. (2010). *Encuesta Nacional de la Situación Nutricional de Colombia - ENSIN*. Bogotá: ICBF.
- Idárraga, & Callejas. (2011). Análisis florístico de la vegetación del departamento de Antioquia. *Flora de Antioquia: Catálogo de plantas vasculares. Vol 2. Listado de las plantas vasculares*.
- IDEAM. (2005). Atlas Climatológico de Colombia, Parte II.
- IDEAM. (2006). *Atlas de Vientos y Energía Eólica de Colombia*. Bogotá D.C.
- IDEAM. (2007). *Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas*. Bogotá.
- IDEAM. (2010). *Estudio Nacional del Agua 2010*. (I. d. Ambientales, Ed.) Bogotá D.C, Colombia.
- IDEAM. (2010). *Estudio Nacional del Agua 2010*. Bogotá D.C.
- IDEAM. (2010). Estudio Nacional del Agua 2010.
- IDEAM. (2010). Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000 .
- IDEAM. (2013). *Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia*.
- IDEAM. (2014). *Estudio Nacional del Agua - ENA -* . Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- IDEAM. (2015). *Estudio Nacional del Agua 2014*. Bogotá, D.C.
- IDEAM. (2015). Estudio Nacional del Agua 2014.
- IDEAM, IGAC, CORMAGDALENA. (2008). Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000. Bogotá, D.C.
- IGAC & INGEOMINAS. (2006). *Investigación integral del Andén Pacífico Colombiano*. Bogotá D.C. Bogotá.
- IGAC. (1992). Mosaico de las Imágenes de radar INTERA.
- IGAC. (1995). Manual de Reconocimiento Predial. Bogotá.
- IGAC. (1995). Rango de Tipología según la vivienda.
- IGAC. (2007a). Estudio Semidetallado de Suelos de las áreas potencialmente agrícolas. Urabá, Antioquia.
- IGAC. (2007b). *Estudio General de suelos y zonificación de tierras Departamento de Antioquia. Subdirección Agrológica*. Bogotá.
- IGAC. (2012). Atlas de la distribución de la propiedad rural en Colombia. Bogotá D. C., Antioquia, Colombia. Recuperado el 30 de Mayo de 2017, de http://www.igac.gov.co/wps/wcm/connect/8beae7804dc8d75abb1efb36b39898f6/1_notas_sobre_la_evolucion_historica_con_cubierta_1.pdf?MOD=AJPERES
- IGAC. (2012). *Conflictos de uso del territorio Colombiano*. Bogotá: IGAC.



- IGAC. (2014). *Anexo A. Diagnóstico*. Obtenido de Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación de Cuencas Hidrográficas.
- IGAC. (2014). Metodología para la clasificación de las tierras por su capacidad de uso. *Documento Interno*. Bogotá, Colombia.
- IGAC. (2016). Fotografía Aérea de un pequeño Abanico de origen fluviotorrencial.
- IGAC. (25 de mayo de 2017). Actualización del mapa de suelos del Quindío, la escala pasa de 1: 10.000 a 1: 25.000.
- INDEPORTES Antioquia. (17 de Noviembre de 2012). Plan de Desarrollo Deportivo. *URABÁ: Potencia Deportiva de América* . Apartadó, Antioquia, Urabá. Obtenido de "Urabá Potencia Deportiva de América".
- INDEPORTES Antioquia. (19 de noviembre de 2013). *Escuelas Sociales del Deporte*. Obtenido de http://www.indeportesantioquia.gov.co/web/c/1385/Lanzamiento_de_Escuelas_Sociales_del_Deporte_en_Apartad%C3%B3
- INDEPORTES Antioquia. (noviembre de 2015). *Informe de Gestión*. Obtenido de http://www.indeportesantioquia.gov.co/imagenes/originalpdf/9900IIPARTEPRES_ENTACININDEPORTES-INFORMEDEGESTIN.pdf
- INDEPORTES Antioquia. (16 de septiembre de 2016). *Subregionales de Urabá*. Obtenido de http://www.indeportesantioquia.gov.co/web/c/3427/Listos_los_representantes_de_la_subregi%C3%B3n_para_la_Final_Departamental_en_Frontino_del_25_al_30_de_octubre
- INDER de Antioquia. (3 de mayo de 2013). *LOS CIFD DE URABÁ*. Obtenido de http://indeportesantioquia.gov.co/web/c/181/En_radio_los_CIFD_de_Urab%C3%A1
- INDERPORTES. (13 de abril de 2013). Obtenido de http://www.indeportesantioquia.gov.co/web/c/204/CIFD_de_Urab%C3%A1
- INGEOMINAS - GEOTEC. (1997). Cartografía geológica de la región del Sinú (Noroeste de Colombia), planchas 50, 51, 59, 60, 61, 69, 70, 71, 79 y 80. . Bogotá: INGEOMINAS.
- INGEOMINAS - GEOTEC LTDA. (2003). *Geología de los cinturones Sinú-San Jacinto: 50 Puerto Escondido, 51 Lórica, 59 Mulatos, 60 Canalete, 61 Montería, 69 Necoclí, 70 San Pedro de Urabá, 71 Planeta Rica, 79 Turbo, 80 Tierralta*. MEMORIA EXPLICATIVA, INGEOMINAS, Bogotá D.C.
- INGEOMINAS. (1999). *Geología del Departamento de Antioquia*. Bogotá D.C.
- INGEOMINAS, A. (2009). *Mapa Preliminar de Gradientes Geotérmicos de Colombia*. INGEOMINAS, BOGOTA.
- INGEOMINAS-IGAC. (2005). *Geología de la plancha 79-Turbo, Escala 1:100000*. INGEOMINAS-IGAC, Bogotá D. C.
- Instituto Colombiano de Antropología e Historia. (14 de septiembre de 2012). Sitios Arqueológicos Registrados. *Sitios arqueológicos registrados en el Golfo de Urabá*. Bogotá, Colombia.
- Instituto Colombiano de Bienestar Familiar. (8 de marzo de 2017). Obtenido de http://gsa.icbf.gov.co/search?requiredfields=&q=san+jos%C3%A9+de+apartad%C3%B3&btnG.x=0&btnG.y=0&btnG=Buscar&site=Sitio_Web&client=ICBF_FrontEnd_EX&output=xml_no_dtd&proxystylesheet=ICBF_FrontEnd_EX&proxyreload=1&sort=date%3AD%3A%3Ad1&entqrm=0&oe=UTF-8&
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. IGAC. (2007). *Manual de campo para levantamiento de suelos y tierras*. Subdirección de Agrología. Documento Interno. Bogotá.



- INVEMAR; GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA; CORPOURABA; CODECHOCÓ. (2008). Formulación de los lineamientos y estrategias de manejo integrado de la Unidad Ambiental Costera del Darién. Serie de Documentos Generales INVEMAR No. 22.
- Jaramillo Ceballos, L. F. (2007). Elementos para el análisis de la población rural en la zona centro de Urabá. El caso de las comunidades Puerto Girón y Zungo arriba en Apartadó y Casanova en Turbo. *Tesis, Magíster en Desarrollo Rural*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Jiménez Reyes, R., & Rodríguez Cruz, E. (2013). Geofísica aplicada a la búsqueda de agua subterránea en depositos aluviales. caso de estudio arenas algaba. En *Geociencias, Memorias de la V Convención cubana de ciencias de la tierra Geociencias*.
- Jones, P., Briffa, K., Barnett, T., & Tett, S. (1998). High-resolution palaeoclimatic records for the last millennium: interpretation, integration and comparison with General Circulation Model control-run temperatures. *The Holocene*, 455-471.
- Jordan, T. (1975). The present day motions of the Caribbean plate.
- Juzgado Primero Civil del Circuito de Buga. (27 de marzo de 1992). Derecho a la Recreación. *Sentencia No. T-466/92*. Buga, Valle del Cauca, Colombia.
- Karlsson, R., & Hansbo, S. (1981). Soil Classification and Identification. Stockholm: Swedish Geotechnical Society.
- Kellogg, J., & Vega, V. (1995). Tectonic development of Panamá, Costa Rica, and the Colombian Andes: constraints from global positioning system geodetic studies and gravity. In Mann P. (Ed). *Geologic and Tectonic Development of the Caribbean plate Boundary in Southern Central America*.
- Konikow, L. & Kendy, E. (2005.). Groundwater depletion: A global problem. *Hydrogeol J*, 13:, 317-320.
- Kovacs, J., & Zhang, C. &. (2008). Mapping the condition of mangroves of the mexican pacific using C-band ENVISAT ASAR and Landsat optical data. *Ciencias Marinas*.
- Kramer, S. (1996). *Geotechnical Engineering Earthquake*. New Jersey.
- Lacerda, L. (1993). Mangrove ecosystems of latin America and the caribbean: A summary.
- LAMBE, & TW & Whitman, R. (1969). *Soil Mechanics*. Massachusetts Institute of Technology. New York.
- Lerner R, D., A.S., & Simmers, I. (1990). *Groundwater recharge. A guide to understanding the natural recharge*. (E. R. GmbH, Ed.) Hannover.
- Lima, N. (2005). *Image 2000 and CLC 2000. Products amd Methods*. Italia.
- Londoño, C. H. (2001). *CUENCAS HIDROGRÁFICAS: BASES CONCEPTUALES – CARACTERIZACIÓN PLANIFICACIÓN ADMINISTRACIÓN*. (U. d. Tolima, Ed.) Ibagué, Colombia.
- Lopera, G., & Vélez. (2010). Estructura Poblacional del Cangrejo Azul Cardisoma guanhumi LATREILLE, 1828, e Identificación de Amenazas en la Zona Costera del Municipio de Turbo, Golfo de Urabá (Caribe Colombiano). *Tesis de grado para optar al título*.
- López, J. (2004). *Aplicación de una función de tiempo de viaje para la evaluación de la vulnerabilidad de un acuífero libre*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- López, L. D. (8 de marzo de 2017). Infraestructura recreativa en el Corregimiento Currulao. (P. R. Turbo-Currulao, Entrevistador)
- Lopez, N. (2009). *Caracterización biológica de siete áreas de reserva natural en jurisdicción de la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá - CORPOURABA-, subregión centro, municipios de Turbo, Apartadó, Chigorodó y subregión Caribe*.



- López, R. (2006). Manual de identificación de especies no maderables del corregimiento de Tarapacá, Colombia.
- López, R., & Montero, G. (2005). Manual de identificación de especies forestales en bosques naturales con manejo certificable por comunidades Bogotá, Colombia.
- López-Camacho, & Montero-G, I. (2005). Manual de identificación de especies forestales en bosques naturales con manejo certificable por comunidades. Bogotá.
- Lorenzana, P. (1999). Seguridad alimentaria, tecnología y nutrición. *Revista Agroalimentaria*, 15, 86-112.
- Machado, A., & Pinzón, N. (2003). *Indicadores para el seguimiento de la seguridad alimentaria en Colombia 1970-2000*. Bogotá: Red de desarrollo rural y seguridad alimentaria (RESA).
- Madrazo Miranda, M. (julio-diciembre de 2005). Algunas consideraciones en torno al significado de la tradición. *Contribuciones desde Coatepec*(9), 115-135.
- MADS. (2014). Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas. *Anexo A. Diagnóstico*.
- MADS. (2011). Plan Nacional para la Prevención, el Control y Manejo de las especies introducidas, trasplantadas e invasoras.
- MADS. (2013). *Guía Técnica para la formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de cuencas hidrográficas*. Bogotá.
- MADS. (2014). Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCAS). *Anexo B: Gestión del Riesgo*.
- MADS. (2015). *Guía Técnica para la Formulación de los planes de Ordenación y Manejo e Cuencas Hidrográficas POMCAS. Anexo A. Diagnóstico*. Bogotá.
- Mahecha. (2004). osque seco tropical, bosque húmedo tropical, bosque húmedo premontano y bosque muy húmedo premontano.
- Mantua, N., Hare, S., Zhang, Y., Wallace, J., & Francis, R. (1997). A Pacific Interdecadal Climate Oscillation with Impacts on Salmon Production. *American Meteorological Society*.
- Martínez Costa, C., & Pedron Giner, C. (s.f). Valoración del estado nutricional.
- Martinez Martinez, Y. (2015). La tenencia de la tierra, la política ambiental y el desarrollo sostenible: estudio de caso municipios de Ramiquí y Sachica. *Tesis de maestría*. Manizales: Universidad de Manizales.
- Medicina Legal. (2012). *Violencia contra niños, niñas y adolescentes: Datos para comprender su posición*. Bogota.
- Medina, A. (2006). *LA RECIRCULACIÓN DE LOS LIXIVIADOS Y SUS EFECTOS EN LA COMPACTACIÓN DE RELLENOS SANITARIOS*. México.
- MEDUAPA. (2 de febrero de 2017). Obtenido de http://meduapa.mex.tl/21818_Malla-Curricular.html
- Mejía Mesa, G. A., & Gómez López, J. S. (20 de Octubre de 1999). Los Desechos Generados por la Industria Bananera Colombiana. Recuperado el 13 de Junio de 2017, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/acodal/xxix.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (1984). *DECRETO 1594*.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2010). *Decreto 3930*. Bogotá.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2 de Agosto de 2012). Decreto número 1640 de 2012. *Legislación*. Bogotá.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). *Guía preliminar Metodológica para la Formulación de los Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos*. Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.



- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2013). Anexo A. Diagnóstico. En M. d. Sostenible, *Guía Técnica para la formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas* (pág. 100). Bogotá.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2013). *Guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas*. Bogotá.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2013). *Guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas. Anexo A Diagnóstico*. Bogotá: MinAmbiente.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (21 de Mayo de 2013). Resolución N° 509 . *Legislación*. Bogotá.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (23 de mayo de 2013). Territorios Artificializados. *Resolución No. 0530*.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). Decreto 2041 de 2014, por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales. 51. Bogotá.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Guía Metodológica para la Formulación de los Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos*. Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas. Bogotá D.C.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). Guía técnica para la formulación de planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas POMCAS.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Guía técnica para la formulación de planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas POMCAS*. Bogotá D.C.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Guía Técnica para la Formulación de POMCAS*. Bogotá D.C.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Guía Técnica para la Formulación de POMCAS - Anexo A. Diagnóstico*. Bogotá D.C.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Guía Técnica para la Formulación de POMCAS. Anexo A. Diagnóstico*. Bogotá D.C.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). *Resolución 0631*. Bogotá.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *26 de enero, día mundial de la educación ambiental*.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Ministerio*. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/ministerio/>
- Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. (2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Bogotá: Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. 124.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2011). *Calidad en la vivienda de interés social. Guía de Asistencia Técnica para Vivienda de Interés Social, No. 1*. Bogotá.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2012). Decreto 1640 de 2012. 28.



- Ministerio de Educación. (2003). *Atlas de las culturas afrocolombianas*. Obtenido de <http://www.colombiaaprende.edu.co/html/etnias/1604/article-83214.html>
- Ministerio de Educación. (4 de agosto de 2016). *LA MARATÓN DE LA LECTURA SE TOMÓ LA I. E. ALTO DE MULATOS*. Obtenido de <http://www.mineducacion.gov.co/1759/w3-article-357915.html>
- Ministerio de Educación Nacional. (2013). *Sistema Nacional de Indicadores para los niveles preescolar, primaria, básica y media en Colombia*. Bogotá.
- Ministerio de Minas y Energía. (Diciembre de 2013). Explotación de materiales de construcción - Canteras y material de arrastre. Obtenido de <https://www.minminas.gov.co/documents/10180/169095/EXPLORACION+DE+MATERIALES.pdf/fc129902-1523-4764-9a05-755e3bb7896e>
- Ministerio de Salud. (2015). población especial que se afilia mediante listados censales.
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2015). Oferta Institucional para Adultos Mayores.
- Ministerio del Interior. (2012). Plan de Salvaguarda Étnica del Pueblo Gunadule.
- Ministerio del Interior. (junio de 2013). Plan de Salvaguarda del Pueblo Embera.
- Ministerio de Ambiente, V. y. (2004). *Decreto número 2060*. Bogotá.
- Mintransporte. (2016). *Ministerio de Transporte*. Obtenido de <https://www.mintransporte.gov.co/loader.php?IServicio=FAQ&IFuncion=viewPreguntas&id=68#a487>
- Mitchell, J. (1995). Anacardiaceae.
- MOBOT. (2012). *Bosque húmedo pre montano*.
- Molano Bravo, A. (13 de Octubre de 2012). El caso San Pedro. *El Espectador*. Recuperado el Junio de 2017, de <http://www.elespectador.com/noticias/nacional/el-caso-san-pedro-articulo-381029>
- Montoya Torres, J. (28 de 02 de 2017). Acueducto El Totumo. (L. Rodríguez Martínez, Entrevistador)
- Montoya, A., J.G, O., & Agudelo, H. (2013). Los Peces del Departamento de Antioquia (Colombia). 95-109.
- Mora, H. (1995). Central and South America GPS Geodesy: Relative Plate Motions Determined from 1991 and 1994 Measurements in Colombia, Costa Rica; Ecuador, Panama and Venezuela.
- Moreno Mena, J. M., Candanoza Córdoba, J. C., & Olarte Gordón, F. (Junio de 2009). Buenas prácticas agrícolas en el cultivo de plátano de exportación en la región de Urabá. (Comunicaciones AUGURA). Medellín, Antioquia, Colombia: Impresos S. A. Obtenido de <http://cep.unep.org/repicar/proyectos-demostrativos/colombia-1/publicaciones-colombia/cartilla-platano-definitiva.pdf>
- Moreno, B. L. (20 de febrero de 2017). Conocimiento del Corregimiento Alto de Mulatos. (U. P. Turbo-Currulao, Entrevistador)
- Mozo. (1972). Algunas especies aptas para la reforestación en Colombia Bogotá.
- Municipio de Turbo. (2005). *Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos -PGIRS-*. Turbo: Consorcio Entorno Sano Ingeniería y Desarrollo.
- Municipio de Apartadó. (2000). PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL, MUNICIPIO DE APARTADO. *Diagnóstico Biótico*.
- Municipio de Apartadó. (2007). Plan de ordenamiento territorial del municipio de Apartadó. Apartadó, Antioquia, Colombia.
- Municipio de Apartadó. (2011). Plan de ordenamiento territorial Municipio de Apartadó. Apartadó.
- Municipio de Apartadó. (2016). Plan de Desarrollo Territorial de Apartadó 2016-2019. Apartadó, Antioquia, Colombia. Recuperado el 30 de Mayo de 2017, de



- <http://www.apartado-antioquia.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionControl/PLAN%20DE%20DE%20SARROLLO%20TERRITORIAL%20-%20documento%20final%20-.pdf>
- Municipio de Turbo. (Julio de 2000). Plan de ordenamiento territorial.
- Municipio de Turbo. (2000). POT Municipio de Turbo. *Componente Biótico*.
- Municipio de Turbo. (2012). Plan de ordenamiento territorial Municipio de Turbo. Turbo.
- Municipio de Turbo. (2013). Resguardo Embera Dokerazavi. *Reglamento Interno Resguardo Embera Dokerazavi*. Turbo, Antioquia.
- Muñoz Mora, J., & Zapata Quijano, O. (2011). *Estructura de la propiedad rde la tierra rural en Antioquia, 2006-2011*. Medellín: Universidad EAFIT, Gobernación de Antioquia.
- Murillo, K., Moreno, M. H., & Córdoba, J. (2009). Comidas y postres típicos de Urabá. Turbo, Antioquia.
- Naranjo, L. G. (1997). A note on the birds of the Colombia Pacific mangroves. 246. (UNESCO, Ed.) París.
- Nash, D. L., & Moreno, N. (1981). *Cordia alliodora*.
- Navarro J. F. & Muñoz, J. (2000). Manual de huellas de algunos mamíferos de Colombia.
- Navia, J. (11 de enero de 1993). Tres Tristes Tenias. *EL TIEMPO*.
- NOAA. (2009). *Climate Variability*. Obtenido de Luann Dahlman.
- NOAA. (2017). *Climate Indices: Monthly Atmospheric and Ocean Time Series*. Obtenido de <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>
- OIA, Asociación de Cabildos Indígenas de Antioquia, Ministerio de Salud y Protección Social, Secretaría Seccional de Salud y Protección Social de Antioquia. (2012). *Identificación de acciones a desarrollar en materia de salud y protección social desde el enfoque diferencial étnico para los pueblos indígenas Emebera, Gunadule y Senú del departamento de Antioquia*. Informe del Contrato 2012SS160844, Medellín.
- OMS. (2006). *Preventing disease through healthy environments : towards an estimate of the environmental burden of disease*.
- OMS. (Septiembre de 2014). *El embarazo en la adolescencia*. Obtenido de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs364/es/>
- Óptima de Urabá. (2015). *Óptima de Urabá*. Obtenido de <http://optimadeuraba.com/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura –FAO. (2014). *El Estado de los Bosques del Mundo. Potenciar los Beneficios Socioeconómicos de los Bosques*. Roma.
- Organización Indígena de Antioquia (OIA). (2004). *Diagnóstico y Zonificación Forestal de las Comunidades Indígenas de los Resguardos de Caimán Nuevo, Polines, Yaberaradó y Jaikerasavi, en la Unidad de Ordenación Forestal Caimán Nuevo, Serranía de Abibe, Río Sucio, en la Región del Urabá Antioqueño*.
- Orjuela, L. C., & López, O. M. (2013). *Hoja metodológica del indicador Índice de alteración potencial de la calidad del agua (Versión 1,00)*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM.
- Osorio Bernal, E. E. (27 de 02 de 2017). Acueducto El Dos ASOACUEDOS E.S.P. (L. Rodríguez Martínez, Entrevistador)
- Ospina, M., & Ochoa, D. (1998). La palma africana en Colombia: apuntes y memorias.
- Ospitia, G., Londoño, E., & Suárez, B. (2004). *Geología de los cinturones del Sinú, San Jacinto y borde occidental del valle inferior del Magdalena Caribe colombiano*. MEMORIAS, INGEOMINAS, Bogotá D. C.
- Pabón C, J. D. (2011). El Cambio Climático en el Territorio de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca.



- Pantoja, F. Z. (1998). En F. Z. Pantoja, *Colombia, país de regiones: Región Noroccidental. Región Caribe*. Santafe de Bogota: Colciencias.
- Paredes Zúñiga, V. (2010). Susceptibilidad a la contaminación salina del acuífero costero del eje bananero de Urabá (golfo de Urabá) con técnicas hidrogeoquímicas e isotópicas. Universidad de Costa Rica.
- Peck, & Terzaghi. (1955). INV E-152-07. *Consistencia del suelo en función de la comprensión inconfiada*.
- Peña, P., Esquivel, J., Pérez, L., & Ávila, L. (1985). *Prospección hidrogeológica en el noreste de Urabá*. INGEOMINAS, Bogotá D. C.
- Pérez, E. (1996). *Plantas Útiles de Colombia*. Bogotá, Colombia.
- Perez, G. (Abril de 2007). El Caribe antioqueño: entre los retos de la geografía y el espíritu paisa. *Documentos de trabajo sobre Economía Regional*(88), 1-48.
- Pisis Televisión. (31 de diciembre de 2015). Rendición de Cuentas 2012-2015. Turbo, Antioquia, Colombia.
- Pizano, C., & García, H. (2014). El Bosque seco Tropical en Colombia. *Las plantas de los bosques secos de Colombia*. Bogotá.
- (s.f.). *Plan de Desarrollo 2016-2019. Turbo educado y en Paz*.
- PMA. (2007). *Movimientos en Masa en la Región Andina, Una Guía para evaluación de amenazas*. 432 pp.
- PNUD. (2011). *Colombia rural. Razones para la esperanza. Informe Nacional de Desarrollo Humano*. Bogotá: INDH, PNUD.
- PNUD. (2012). *Informe Nacional sobre Desarrollo Humano*. PNUD.
- Ponce, V. M. (1989). *Engineering Hydrology: Principles and Practices*.
- Portafolio. (2 de Marzo de 2016). *Portafolio.co*. Recuperado el 8 de Junio de 2017, de La agroindustria bananera creció un 14% en sus exportaciones: <http://www.portafolio.co/economia/gobierno/agroindustria-bananera-crecio-14-exportaciones-491793>
- Poveda, G. (2004). La hidroclimatología de Colombia: Una síntesis desde la escala interdecadal hasta la escala diurna. *rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 201-222.
- Preciado, N. (2016). Fotografía.
- Preciado, N. (2016). Fotografía.
- Presidencia de la República de Colombia. (2011). *DECRETO 3572 DE 2011*. Bogotá D.C.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2014). Perfil Productivo Municipio de Apartadó: Insumo para el diseño de estrategias de Inclusión sociolaboral de la población víctima del conflicto. Bogotá D.C., Cundinamarca, Colombia. Recuperado el 28 de Mayo de 2017, de <http://app3.mintrabajo.gov.co/perfiles-productivos/public/documentos.xhtml>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2014). Perfil Productivo Municipio de Necoclí: Insumo para el diseño de estrategias de Inclusión sociolaboral de la población víctima del conflicto. Bogotá D. C., Cundinamarca, Colombia. Recuperado el 28 de Mayo de 2017, de <http://app3.mintrabajo.gov.co/perfiles-productivos/public/documentos.xhtml>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2014). Perfil Productivo Municipio de Turbo: Insumo para el diseño de estrategias de Inclusión sociolaboral de la población víctima del conflicto. Bogotá D. C., Cundinamarca, Colombia. Recuperado el 28 de Mayo de 2017, de <http://app3.mintrabajo.gov.co/perfiles-productivos/public/documentos.xhtml>
- Ralph, C. (1995). Monitoring bird populations by point counts. U.S. Department of Agriculture.



- Ramírez Gómez, H. (1993). Situación en salud del niño colombiano y latinoamericano. 3-12.
- Ramírez, G. &. (1998). Mangrove vegetation assessment in the Santiago river mouth, Mexico by means of supervised classification using Landsat TM .
- Rangel, O. (1982). Colombia Diversidad Biotica II Tipos de vegetación en Colombia.
- Reyes T., A., Barroso, F., & Carvajal E., Y. (2010). *Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas*. Cali, Colombia: Editorial Universidad del Valle.
- Reyes, H. (2004). *Tecnoestratigrafía y evolución geológica del Valle Inferior del Magdalena*. Boletín de Geología Vol. 26, No. 42.
- Reyes, M. d. (30 de Septiembre de 2015). Veinte años de una guerra sin límites en Urabá. *Noticia*. Recuperado el 2017, de <http://www.verdadabierta.com/desde-regiones/5996-veinte-anos-de-una-guerra-sin-limites-en-uraba>
- Rial, A. (2013). Plantas acuáticas: aspectos sobre su distribución geográfica, condición de maleza y usos. *Biota Colombiana*.
- Rivero Bertel, A. (28 de 02 de 2017). Acueducto El Tres. (L. Rodríguez Martínez, Entrevistador)
- Rodríguez, C. (2010). Características y reservas de las provincia de Urabá.
- Rodríguez, N. (2016). *Fortalecimiento de las prácticas de uso cotidiano y conservación del agua de las comunidades El Esfuerzo, y Pescador 1 y 2, del municipio de Turbo, Antioquia*. Turbo: Universidade Antioquia.
- Rojas, D. (2009). Etnografía del Resguardo Caimán Nuevo. Bogotá.
- Román, C., & Acero, A. (diciembre de 1992). NOTAS SOBRE LAS COMUNIDADES DE PECES DEL NORTE DE ANTIOQUIA (COLOMBIA). Santa Marta.
- Rosique, J., Gálvez, A., Restrepo, M. T., Manjarrés, L. M., & Valencia, E. (2012). Food and nutrition in embera indigenous people. (D. L. Naidoo, Ed.) *An ethnography of global landscapes and corridors*. Obtenido de <http://www.intechopen.com/books/anethnography-of-global-landscapes-and-corridors/food-and-nutrition-in-embera-indigenous-people>
- Rosique, J., Restrepo, M. T., Majarrés, L. M., Gálvez, A., & Santa, J. (2010). Estado nutricional y hábitos alimentarios en indígenas Embera de Colombia. *Rev. ChilNutr*(37), 271-280.
- Samper, F. J. (1997). *Evaluación de la recarga a partir de modelos numéricos de flujo en acuíferos*. En: *La evaluación de la recarga a los acuíferos en la planificación hidrológica*. Madrid.
- Sánchez-Valencia, C. (1998). *Descripción y Zonificación del manglar del Golfo de Urabá. Municipio de Necoclí*. Necoclí.
- Schwing, F. B., & Gaxiola-castro, G. (2002). The state of California current, 2001–2002: will the California current system keep its cool, or is El Niño coming?
- Secretaría de Educación y Cultura de Turbo. (2017). *I.E NORMAL SUPERIOR DE URABÁ APORTANDO AL MEDIO AMBIENTE*. Obtenido de <http://www.semturbo.gov.co/index.php/noticias/472-i-e-normal-superior-de-uraba-aportando-al-medio-ambiente>
- Secretaría de Salud, Seccional de Salud y Protección Social de Antioquia; Universidad de Antioquia. (2012). *Propuesta para la implementación del modelo de Atención Primaria en salud renovada para Antioquia con las comunidades indígenas del municipio de Dabeiba 2012-2015*. Informe del convenio interadministrativo 2012SS160744, Medellín.
- Señal Colombia . (2 de marzo de 2016). *Dieciseis 9 films*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=AwxqNset1wk>



- Señal Colombia. (14 de abril de 2016). *Dieciseis 9 films*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=hkPFhqXFeD0&t=46s>
- Señal Colombia. (12 de 04 de 2016). *Dieciseis 9 films*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=4dqwXgABpFI&t=482s>
- Señal Colombia. (24 de 02 de 2016). *Dieciseis 9 films*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=C8YLRCDS1Aw&t=1139s>
- Señal Colombia. (22 de 02 de 2016). *Dieciseis 9 films*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=j0vHUGndeoo>
- Sepúlveda Herrera , D. M., & Guerra Morales, J. (2014). El papel de las redes de actores en las políticas públicas de seguridad alimentaria y nutricional en la región del Urabá antioqueño, 2013. *Estudios Políticos*(45), 159-182.
- Serna, D. R. (2006). Consideraciones sobre las identidades entre la gente chilapa y negra del Bajo Atrato .
- Servicio Geológico Colombiano. (2014). *Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por Movimientos en Masa, Colección Guías y Manuales. 179 pp.* Bogotá.
- Servicio Geológico Colombiano. (2015). *Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa.* Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.
- SIATAC . (diciembre de 2009). *Tejido Urbano Continuo.* Bogotá.
- SIATAC. (julio de 2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra.*
- SIB. (2015). *Informe de biodiversidad en Cifras.* Obtenido de <https://www.sibcolombia.net/biodiversidad-en-cifras/>
- SISBEN . (diciembre de 2015). *Sistema de Identificación de Beneficiarios de Programas Sociales.*
- SISPRO. (2014). *Indicadores de atención materno-infantil.*
- SISPRO. (2017). *Causas de morbilidad en los municipios de Apartadó, Turbo y Necoclí.*
- Smith, C., & Sardeshmukh, P. (2000). The Effect of ENSO on the Intraseasonal Variance of Surface Temperature in Winter. *International J. of Climatology*, 1543-1557.
- Sosa, & Fleming. (1994). *Mamíferos terrestres y voladores de Colombia.*
- Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Bulletin of Geological Society of America*, 63, 1117-1142.
- Suárez, A. M., & Alzate, E. (2014). *Guía Ilustrada Anfibios y reptiles Cañón del río Porce, Antioquia.* EPM E.S.P. Universidad de Antioquia, Herbario Universidad de Antioquia. Medellín: EPM E.S.P.
- Suman. (1994). *Extensión del Manglar en países latinoamericanos .*
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2014). *EVALUACIÓN INTEGRAL DE PRESTADORES EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN ESP.* 25.
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2015). *EVALUACIÓN INTEGRAL DE PRESTADORES AGUAS DE URABÁ S.A E.S.P.* 83.
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2015). *EVALUACIÓN INTEGRAL DE PRESTADORES FUTURASEO S.A. E.S.P.* 16.
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2015). *EVALUACIÓN INTEGRAL DE PRESTADORES OPTIMA DE URABÁ S.A. E.S.P.* 38.
- Superintendencia Financiera de Colombia. (31 de Marzo de 2017). *Cobertura Geográfica.* Obtenido de <https://www.superfinanciera.gov.co/Superfinanciera-CoberturaGeografica/generic/geographicalCoverage.seam>
- temporales, S. d. (2017). *Molas. Capas de sabiduría . La vida y pensamiento de la comunidad guna de Colombia y Panamá.* Museo del oro Banco de la República,



- Bogotá. Obtenido de <http://www.banrep cultural.org/museo-del-oro/exposiciones-temporales/molas>
- Thornthwaite, C. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38, 55-94.
- TNC. (2002). The Gulf Coast prairies and marshes ecoregional Conservaton Plan. *The Nature Conservancy*.
- Torreglosa, A. (8 de marzo de 2017). Información de la Infraestructura deportiva y de recreación en El Totumo Necoclí. (P. R. Turbo-Currulao, Entrevistador)
- Torres, M. (2005). *ABC de los Proyectos Educativos Escolares - PRAE*. (M. d. Nacional, Ed.) Obtenido de <http://www.colombiaprende.edu.co/html/mediateca/1607/article-81637.html>
- Toth, J. (1963). A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage bains. *Journal of Geophysical Research* 68, 16, 4795-4811.
- Tovilla. (2001). Estado actual del bosque de mangle en laguna de Mecocacán Tabasco. Implicaciones.
- Trenberth, K. (1984). Some Effects of Finite Sample Size and Persistence on Meteorological Statistics, Part I: Autocorrelations.
- Trenberth, K. E., Caron, J. M., Stepaniak, D. P., & Worley, S. (2000). The evolution of ENSO and global atmospheric temperatures.
- Trenkamp, R., Kellogg, J., Freymueller, J., & Mora, H. (2002). Wide plate margin deformation, southern Central America and northwestern South America, CASA GPS observations.
- UARIV - Unidad de Atención y Reparación Integral a las Víctimas, RNI - Red Nacional de Información. (2017). *Registro Único de Víctimas - RUV*.
- UICN. (2012). CATEGORÍAS Y CRITERIOS DE LA LISTA ROJA DE LA UICN. *La Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN*.
- UNESCO. (2003). *Convención para la salvaguardia del patrimonio cultural inmaterial*. París, Francia: UNESCO.
- UNFPA; Universidad Externado de Colombia. (2009). *Guía para análisis demográfico Local. Herramientas para incluir el enfoque poblacional en los procesos de planeación del desarrollo integral*. Bogotá.
- Unidad de Víctimas. (s.f). Caracterización Antioquia-Turbo. *informe*. Obtenido de <http://rni.unidadvictimas.gov.co/sites/default/files/Documentos/ANTIOQUIA%200-TURBO.pdf>
- Unión Temporal Plan Estratégico de las Macrocuencas Magdalena Cauca y Caribe. (2015). PLAN ESTRATÉGICO MACROCUECA CARIBE. INFORME LINEAMIENTOS Y DIRECTRICES DE PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA. 673.
- Universidad de Antioquia. (1982). *Segunda campaña de investigaciones arqueológicas y prehistóricas en la región del Golfo de Urabá*. Medellín.: Universidad de Antioquia.
- Universidad de Antioquia. (2016). Oferta de Aguas Subterráneas para el sistema Acuífero del Golfo de Urabá.
- Universidad de Antioquia. (s.f). *Nuestras bibliotecas*. Recuperado el 30 de marzo de 2017, de <http://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/sistema-bibliotecas/institucional/nuestras-bibliotecas>
- Universidad Nacional de Colombia. (2012). Obtenido de <http://www.biovirtual.unal.edu.co/ICN/?controlador=QuickSearch&accion=searchByScientific&keyword=Trophis%20caucana>
- Universidad Nacional de Colombia; Agencia Nacional de Hidrocarburos. (2009). *Cartografía geológica y modelamiento estructural de las cuencas de Urabá y Sinú*



- San Jacinto a partir de la interpretación de imágenes de sensores remotos y monitoreos sísmico. Bogotá D. C.
- Valencia, & García. (2007). Atlas del golfo de Urabá: una mirada al Caribe de Antioquia y Chocó.
- Vargas Gamez, E. (1992). *Análisis y clasificación del uso y coberturas de la tierra con interpretación de imágenes*. Bogotá.
- Vargas, M. (2011). *Evaluación del peligro potencial de contaminación de las aguas subterráneas por agroquímicos*. Informe técnico, Apartadó.
- Vázquez, Y. (2016). Programa Nacional de Recursos Genéticos.
- Velez, & Puricelli. (2009). *Parameter extrapolation to ungauged basins with a hydrological distributed model in a regional framework*. *Hydrology and Earth*. Obtenido de <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/13/229/2009/hess-13-229-2009.html>
- Velez, J. I., Poveda, G., & Mesa, O. (1995). *Balances hidrológicos de Colombia*.
- Vélez, M. & Vásquez, L. (2004). *Métodos para determinar la recarga en acuíferos Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos* (Vol. 11). (P. e. Hidráulicos, Ed.) Medellín, Antioquia, Colombia.
- Vélez, N. (2010). Proyecto de Ordenación Forestal Sostenible en el bajo Cauca y Nordeste de Antioquia - Colombia - .
- Verdad Abierta. (14 de 10 de 2008). Bloque Elmer Cárdenas de Urabá. Colombia.
- Verdad Abierta. (12 de 3 de 2015). Cuando los niños salen del conflicto . Colombia.
- Verdad Abierta. (18 de Febrero de 2015). En Tulapas, Urabá antioqueño, sí hubo despojo: Corte Suprema de Justicia. Recuperado el junio de 2017, de <http://www.verdadabierta.com/lucha-por-la-tierra/5624-en-tulapas-si-hubo-despojo-de-tierras>
- VERSTAPPEN, H. T. (1992). *El sistema ITC para levantamientos geomorfológicos*. *Publicación ITC No. 10*. Villanueva de Huerva. Villanueva de Huelva.
- Villamarin, O. (2015). Estrategia nacional para mejorar la seguridad alimentaria y nutricional de Colombia. En S. Salcedo Vaca (Ed.), *Políticas de seguridad alimentaria en los países de a comunidad Andina* . Santiago de Chile: FAO.
- Villota, H. (2005). *Geomorfología aplicada a Levantamientos Edafológicos y Zonificación física de tierras*. Bogotá.
- Vivas-Aguas, L. J., Espinosa, L., & Parra, L. (2013). Identificación de fuentes terrestres de contaminación y cálculo de las cargas contaminantes en el área de influencia de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe Colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 7.30.
- Wang, C., & Enfield, D. (2001). The Tropical Western Hemisphere Warm Pool. *Geophysical Research Letters*.
- Wanielista, M. P. (1997). *Hydrology and Water Quality Control*.
- WMO. (2011). *Guide to Climatological Practices - WMO No 100 (Third)*. Geneva, Switzerland.
- Wolter, K. (1987). The Southern Oscillation in surface circulation and climate over the tropical Atlantic, Eastern Pacific, and Indian Oceans as captured by cluster analysis. *Climate Appl*, 540-558.
- World Meteorological Organization. (2011). *Guide to Climatological Practices - WMO No 100*. Geneva, Switzerland.
- Xu, C; Singh, V P. (1998). A Review on Monthly Water Balance Models for Water Resources Investigations. *Water Resources Management*, 12, 31-50. doi:09204741



FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO

- Zinck, A. (1987). *Aplicación de la geomorfología al levantamiento de suelos en zonas aluviales y definición del ambiente geomorfológico con fines de descripción de suelos*. Bogotá.
- Zinck, A. (2012). *Geopedología: Elementos de Geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales*. Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation. ITC Enschede, The Netherlands.

EN ETAPA DE PUBLICIDAD