

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 II - HIDROGEOLOGÍA, HIDROGRAFÍA,
MORFOMETRÍA, PENDIENTES, HIDROLOGÍA**

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 Consorcio POMCAS 2014	CORPOURABA Consorcio POMCAS 2014	MARZO DE 2018

EN ETAPA DE PUBLICIDAD



TABLA DE CONTENIDO

3.	CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO BIÓTICO	13
3.3	HIDROGEOLOGÍA	13
3.3.1	Localización.....	13
3.3.2	Antecedentes	14
3.3.3	Evaluación preliminar de acuíferos	17
3.3.4	Identificación y evaluación de unidades geológicas.....	18
3.3.5	Geología estructural	27
3.3.6	Evaluación Geofísica.....	30
3.3.7	Inventario de puntos de agua subterránea	37
3.3.8	Clasificación hidrogeológica	47
3.3.9	Caracterización hidrogeoquímica.....	58
3.3.10	Demanda del agua subterránea	64
3.3.11	Identificación de las problemáticas sobre el acuífero	67
3.3.12	Modelo hidrogeológico conceptual para la Provincia Hidrogeológica De Urabá (10).....	72
3.3.13	Oferta hídrica subterránea.....	78
3.3.14	Aspectos de especial importancia Hidrogeológica.....	86
3.3.15	Conclusiones	89
3.4	HIDROGRAFÍA.....	91
3.4.1	Límites geográficos de la cuenca Río Turbo Currulao	92
3.4.2	Delimitación y codificación de subcuencas y microcuencas	93
3.4.3	Caracterización de la red de drenaje.....	96
3.4.4	Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales – IVET.....	111
3.4.5	Conclusiones	117
3.5	MORFOMETRÍA.....	118
3.5.1	Caracterización física de la Cuenca Río Turbo-Currulao	118
3.5.2	Análisis morfométrico por Subcuencas.....	124
3.5.3	Análisis morfométrico por Microcuenca abastecedora.....	159
3.5.4	Conclusiones	179
3.6	PENDIENTES	180
3.6.1	Descripción del rango de pendientes en porcentaje	180
3.6.2	Descripción de pendientes en grados.....	182
3.7	HIDROLOGÍA	185
3.7.1	Descripción y evaluación de la red de estaciones hidrológicas.....	185



3.7.2	Inventario de infraestructura hidráulica	193
3.7.3	Caracterización del régimen hidrológico	195
3.7.4	Estimación de caudales ambientales.....	230
3.7.5	Estimación de la oferta hídrica total y disponible	233
3.7.6	Estimación de la demanda hídrica sectorial y total.....	237
3.7.7	Indicadores del estado del recurso hídrico.....	249
3.7.8	Necesidades de información	258
4.	BIBLIOGRAFÍA	260

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.	Velocidad de filtración.....	56
Ecuación 2.	Conductividad hidráulica.....	56
Ecuación 3.	Demanda total de agua subterránea.....	65
Ecuación 4.	Caudal explotable.....	84
Ecuación 5.	Coeficiente de bifurcación	97
Ecuación 6.	Densidad de Drenaje.....	100
Ecuación 7.	Índice de variabilidad.....	115
Ecuación 8.	Ancho medio de la cuenca.....	119
Ecuación 9.	Coeficiente de forma.....	119
Ecuación 10.	Coeficiente de Sinuosidad.....	119
Ecuación 11.	Coeficiente de compacidad.....	119
Ecuación 12.	Índice de alargamiento.....	120
Ecuación 13.	Índice asimétrico.....	120
Ecuación 14.	Altura promedio ponderada del cauce.....	121
Ecuación 15.	Pendiente promedio del cauce principal.....	121
Ecuación 16.	Pendiente promedio ponderada del cauce principal.....	121
Ecuación 17.	Altura promedio ponderada de la cuenca.....	122
Ecuación 18.	Pendiente promedio ponderada de la cuenca.....	122
Ecuación 19.	Tiempo de Concentración por Kirpich.....	123
Ecuación 20.	Tiempo de Concentración por Témez.....	123
Ecuación 21.	Tiempo de Concentración por Giandotti.....	123
Ecuación 22.	Tiempo de Concentración por Bransby-Williams.....	123
Ecuación 23.	Tiempo de Concentración por Dirección General de Carreteras.....	123
Ecuación 24.	Promedio de caudales.....	195
Ecuación 25.	Coeficiente de variación.....	195
Ecuación 26.	Coeficiente modular.....	196
Ecuación 27.	Diferencia integral.....	196
Ecuación 28.	Coeficiente modular promedio.....	196
Ecuación 29.	Error Cuadrático Medio.....	202
Ecuación 30.	Coeficiente de eficiencia de Nash tradicional.....	203
Ecuación 31.	Coeficiente de eficiencia de Nash para la raíz cuadrada de los caudales	203
Ecuación 32.	Error porcentual en el balance.....	203



Ecuación 33. Distribución normal.....	222
Ecuación 34. Distribución Log-normal.....	222
Ecuación 35. Distribución Gumbel con sesgo a la izquierda.	223
Ecuación 36. Caudal para un periodo de retorno T_r en años.	224
Ecuación 37. Media de caudales máximos.	224
Ecuación 38. Desviación estándar de caudales máximos.	224
Ecuación 39. Media de caudales máximos.....	226
Ecuación 40. Desviación estándar de caudales máximos.....	226
Ecuación 41. Escorrentía superficial expresada en términos de lámina de agua [mm].	233
Ecuación 42. Volúmenes de oferta anual.....	234
Para calcular las necesidades de riego se utilizó la oferta de agua disponible para cada subcuenca obtenida para cada uno de los periodos definidos (normal y seco), esto es la precipitación promedio anual para condiciones secas y promedio multianuales (Ecuación 43), multiplicada por el área de cultivo.....	242
Ke: coeficiente de escorrentía = $Y_o=0.88$, calculada en la Ecuación 44.....	242
Ecuación 45. Índice de retención y regulación hídrica.	249
Ecuación 46. Índice de uso de agua superficial.	251
Ecuación 47. Demanda hídrica sectorial.....	252
Ecuación 48. Oferta hídrica superficial disponible.....	252

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de la Cuenca Río Turbo-Currulao, en las provincias hidrológicas Sinú-San Jacinto y de Urabá.	14
Figura 2. Fase de Diagnóstico.....	17
Figura 3. Diagrama de flujo para la construcción modelo hidrogeológico conceptual. .	18
Figura 4. Unidades geológicas y rasgos estructurales presentes en la Cuenca Río Turbo-Currulao.	20
Figura 5. Columna estratigráfica generalizada de la secuencia de Pavo a lo largo de la quebrada El Indio.	23
Figura 6. Columna estratigráfica generalizada de la Unidad Pavo a lo largo del río Turbo.	24
Figura 7. Columna estratigráfica generalizada de la Formación Arenas Monas, sección Naranjitas-El Tomate.	26
Figura 8. Ubicación de los Sondeos Eléctricos Verticales-SEV realizados en la Cuenca Río Turbo-Currulao.....	32
Figura 9. Curva tipo 1 para los SEV ´S realizados en la Cuenca Hidrogeológica de Urabá.	33
Figura 10. Curva tipo 2 para los SEV ´S realizados en la Cuenca Hidrogeológica de Urabá.	34
Figura 11. Curva tipo 3 para los SEV ´S realizados en la Cuenca Hidrogeológica de Urabá.	34
Figura 12. Curva tipo 4 para los SEV ´S realizados en la Cuenca Hidrogeológica de Urabá	35
Figura 13. Perfil Geoeléctrico del centro de la Cuenca Río Turbo-Currulao, en donde se evidencia la transición con la zona de influencia marina mostrado por los bajos valores de resistividad.....	36



Figura 14. Localización de los pozos profundos presentes en la Cuenca Río Turbo-Currulao.....	39
Figura 15. Rangos de profundidades para los pozos presentes en la Cuenca Río Turbo-Currulao.....	47
Figura 16. Rangos de caudales para los pozos presentes en la Cuenca Río Turbo-Currulao.....	47
Figura 17. Unidades geológicas de interés hidrogeológico.	52
Figura 18. Red de flujo que esquematiza el flujo subterráneo natural en la Cuenca río Turbo-Currulao.....	54
Figura 19. Curva de la prueba de bombeo.	56
Figura 20. Ubicación de los pozos profundos en la Cuenca Río Turbo-Currulao.....	58
Figura 21. Diagrama de Piper (Amaya, 2007), de las muestras del área analizadas...	62
Figura 22. Valoración de la vulnerabilidad de los acuíferos presentes en la Cuenca Río Turbo-Currulao.....	70
Figura 23. Correlación litológica de los pozos en la Provincia Hidrogeológica de Urabá (12) en sentido norte-sur rocas sedimentarias, predominando las clásicas: arenitas con intercalaciones de conglomerados, arenitas interestratificadas con limolitas y limolitas con arcillolitas.	74
Figura 24. Correlación hidrogeológica de las cuencas Sinú y Urabá.	75
Figura 25. Modelo estructural de las cuencas Urabá-Sinú, fallas normales, de cabalgamiento y transcurrentes. El Borde delantero del cinturón deformado del Sinú está representado por la falla Uramita (Flinch, 2003).	76
Figura 26. Columna estratigráfica del Pozo Apartadó-1.....	77
Figura 27. Modelo Hidrogeológico Conceptual para la Cuenca Río Turbo-Currulao.	78
Figura 28. Red hidrográfica de la Cuenca Río Turbo-Currulao.	79
Figura 29. Balance hidroclicmático mensual subcuenca río Currulao.	81
Figura 30. Presencia de "acuífero colgado", en el sector Alto de Mulatos – Caracolí. ...	83
Figura 31. Zonas de recarga y descarga para la Cuenca Río Turbo-Currulao.....	87
Figura 32. Perímetros de protección de pozos en un acuífero libre.	88
Figura 33. Sectorización hidrográfica cuenca Río Turbo y Currulao.	92
Figura 34. Representación gráfica de subcuencas de la cuenca Río Turbo Currulao....	95
Figura 35. Representación gráfica de microcuencas abastecedoras de la cuenca Río Turbo Currulao.	96
Figura 36. Jerarquización de la red de drenaje subcuencas Río Turbo Currulao.	99
Figura 37. Patrón de alineamiento dendrítico.....	103
Figura 38. Patrón de alineamiento paralelo.	104
Figura 39. Patrón de alineamiento meándrico.....	105
Figura 40. Anomalías identificadas (puntos rojos) en los perfiles de las corrientes principales de las subcuencas de la Cuenca Río Turbo-Currulao. Fuente: Propia.....	109
Figura 41. Patrón de alineamiento de la red de drenaje presente en la Cuenca Río Turbo-Currulao. Fuente: Propia	110
Figura 42. Comportamiento espacial de los Rangos de pendiente (en porcentaje) en el POMCA Río Turbo – Currulao.....	181
Figura 43. Rango de pendientes en grados y su escala de colores adoptados para el proyecto POMCA Río Turbo – Currulao.....	182
Figura 44. Salida gráfica de modelo de pendientes (calculada en grados) para el área del proyecto POMCA Río Turbo – Currulao.....	184
Figura 45. Localización estaciones hidrológicas.....	186



Figura 46. Resultados gráficos análisis de consistencia Estación El Tres (12027030).	190
Figura 47. Resultados gráficos análisis de consistencia Estación Currulao (12027040).	191
Figura 48. Resultados gráficos análisis de consistencia Estación El Dos (12027060).	192
Figura 49. Correlación caudal vs IOA.	193
Figura 50. Curvas de diferencias integrales.	197
Figura 51. Esquema conceptual del modelo de tanques.	198
Figura 52. Distribución de polígonos de Thiessen.	201
Figura 53. Curvas de duración de las series del modelo de tanques calibrado en las estaciones El Tres-12027030, Currulao-12027040 y El Dos-12027060.	205
Figura 54. Curvas de duración de las series del modelo de tanques validado en las estaciones El Tres-12027030, Currulao-12027040 y El Dos-12027060.	207
Figura 55. Variación porcentual del rendimiento hídrico anual con respecto al primer cuatrimestre del año hidrológico.	219
Figura 56. Variación porcentual del rendimiento hídrico anual con respecto al segundo cuatrimestre del año hidrológico.	220
Figura 57. Variación porcentual del rendimiento hídrico anual con respecto al tercer cuatrimestre del año hidrológico.	221
Figura 58. Ajuste potencial de los caudales medios máximos con los caudales medios de las estaciones.	227
Figura 59. Ajuste potencial de las desviaciones estándar de los caudales máximos a los caudales medios de largo plazo en cada una de las estaciones.	227
Figura 60. Datos utilizados en el cálculo del balance hídrico de largo plazo para la Cuenca Río Turbo-Currulao.	236
Figura 61. Especialización de la disponibilidad de agua en las subcuencas de los ríos Turbo-Currulao.	237
Figura 62. Curva del coeficiente del cultivo.	239
Figura 63. Distribución espacial de territorios agrícolas (uso actual Plátano y Banano).	244
Figura 64. Distribución espacial de áreas destinadas a pastoreo extensivo.	247

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Relación de los usos para el agua subterránea dentro de la Cuenca Río Turbo-Currulao.	66
Gráfico 2. Perfil longitudinal del cauce principal río Currulao.	125
Gráfico 3. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuenca del río Currulao.	125
Gráfico 4. Perfil longitudinal del cauce principal río Guadualito.	126
Gráfico 5. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuenca del río Guadualito.	127
Gráfico 6. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada Guadualito.	128
Gráfico 7. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuenca quebrada Guadualito.	128
Gráfico 8. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada El Cuna.	130
Gráfico 9. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuenca quebrada El Cuna.	130



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

Gráfico 10. Perfil longitudinal del cauce principal Zona Urbana Turbo.	132
Gráfico 11. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuenca Zona Urbana Turbo.	132
Gráfico 12. Perfil longitudinal del cauce principal río Turbo.	134
Gráfico 13. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuenca río Turbo.	134
Gráfico 14. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada Aguas Claras.	135
Gráfico 15. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuenca quebrada Aguas Claras.	136
Gráfico 16. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada Cope.	137
Gráfico 17. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuenca quebrada Cope.	137
Gráfico 18. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada NN1.	139
Gráfico 19. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuenca quebrada NN1.	139
Gráfico 20. Perfil longitudinal del cauce principal río Punta de Piedra.	140
Gráfico 21. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuenca río Punta de Piedra.	141
Gráfico 22. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada NN2.	142
Gráfico 23. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuenca quebrada NN2.	142
Gráfico 24. Perfil longitudinal del cauce principal río Cirilo.	144
Gráfico 25. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuenca río Cirilo.	144
Gráfico 26. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada NN3.	145
Gráfico 27. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuenca quebrada NN3.	146
Gráfico 28. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada Tié.	147
Gráfico 29. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuenca quebrada Tié.	147
Gráfico 30. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada NN4.	149
Gráfico 31. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuenca quebrada NN4.	149
Gráfico 32. Perfil longitudinal del cauce principal río Caimán Nuevo.	150
Gráfico 33. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuenca río Caimán Nuevo.	151
Gráfico 34. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada Seca.	152
Gráfico 35. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuenca quebrada Seca.	152
Gráfico 36. Perfil longitudinal del cauce principal río Totumo.	154
Gráfico 37. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuenca río Totumo.	154
Gráfico 38. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada Manuela.	155
Gráfico 39. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuenca quebrada Manuela.	156
Gráfico 40. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada La Anguilla.	157
Gráfico 41. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuenca quebrada La Anguilla.	157
Gráfico 42. Perfil longitudinal del cauce principal río Caimán Viejo.	159
Gráfico 43. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuenca río Caimán Viejo.	159
Gráfico 44. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada Caraballo.	160



Gráfico 45. Curva hipsométrica e histograma de elevación microcuenca quebrada Caraballo.....	161
Gráfico 46. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada NN (1202-01-01-02). ...	162
Gráfico 47. Curva hipsométrica e histograma de elevación microcuenca quebrada NN (1202-01-01-02).....	162
Gráfico 48. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada El Limón.	164
Gráfico 49. Curva hipsométrica e histograma de elevación microcuenca quebrada El Limón.	164
Gráfico 50. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada Alto Mulatos.	165
Gráfico 51. Curva hipsométrica e histograma de elevación microcuenca quebrada Alto Mulatos.	166
Gráfico 52. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada Los Indios.	167
Gráfico 53. Curva hipsométrica e histograma de elevación microcuenca quebrada Los Indios.	167
Gráfico 54. Perfil longitudinal del cauce principal río Turbo (microcuenca).	169
Gráfico 55. Curva hipsométrica e histograma de elevación microcuenca río Turbo... ..	169
Gráfico 56. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada San Felipe.	170
Gráfico 57. Curva hipsométrica e histograma de elevación microcuenca quebrada San Felipe.....	171
Gráfico 58. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada Las Minas.....	172
Gráfico 59. Curva hipsométrica e histograma de elevación microcuenca quebrada Las Minas.....	172
Gráfico 60. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada Copez (microcuenca)... ..	174
Gráfico 61. Curva hipsométrica e histograma de elevación microcuenca quebrada Copez.	174
Gráfico 62. Perfil longitudinal del cauce principal río Cirilo (microcuenca).....	175
Gráfico 63. Curva hipsométrica e histograma de elevación microcuenca río Cirilo....	176
Gráfico 64. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada NN (1202-01-12-02). ...	177
Gráfico 65. Curva hipsométrica e histograma de elevación microcuenca quebrada NN (1202-01-12-02).....	177
Gráfico 66. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada Tié (microcuenca).	179
Gráfico 67. Curva hipsométrica e histograma de elevación microcuenca quebrada Tié.	179
Gráfico 68. Serie de caudales diarios estación El Tres (12027030).	188
Gráfico 69. Serie de caudales diarios estación Currulao (12027040).....	188
Gráfico 70. Serie de caudales diarios estación El Dos (12027060).....	189
Gráfico 71. Transporte promedio y máximo mensual multianual de sedimentos.....	230

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sondeos Eléctricos Verticales y tipos de curvas.	33
Tabla 2. Correlación de Unidades Geoelectricas y sus principales características.	37
Tabla 3. Inventario de puntos de agua presentes en la cuenca (datos tomados de CORPOURABA, 2016).	40
Tabla 4. Caudales y abatimientos registrados durante la Prueba de Bombeo.	55
Tabla 5. Parámetros físicos	59
Tabla 6. Resultados de sólidos.....	59
Tabla 7. Resultados químicos iones dominantes.....	60



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

Tabla 8. Error admisible del balance iónico en relación con la conductividad.....	61
Tabla 9. Balance iónico para las muestras de agua subterráneas de la Cuenca Río Turbo-Currulao.	61
Tabla 10. Demanda de agua subterránea según concesiones vigentes (CORPOURABA, Inventario de puntos de agua, 2016).	65
Tabla 11. Caudal otorgado de los pozos presentes en la Cuenca Río Turbo-Currulao.	67
Tabla 12. Clases de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).	68
Tabla 13. Características de cada unidad hidroestratigráfica presente en la cuenca. ...	69
Tabla 14. Capacidad de almacenamiento de agua por subcuencas.	82
Tabla 15. Oferta de aguas subterráneas para la Cuenca Río Turbo-Currulao.....	84
Tabla 16. Estimación de la población que podría abastecerse de aguas subterráneas en el Sistema Acuífero del Golfo de Urabá.	85
Tabla 17. Características y reservas de las provincias de Urabá y Sinú-San Jacinto ...	85
Tabla 18. Puntos de captación agua superficial.	93
Tabla 19. Codificación subcuencas y microcuencas.....	94
Tabla 20. Número de orden y relación de bifurcación de la red de drenaje.	98
Tabla 21. Categorización de la densidad de drenajes.....	100
Tabla 22. Densidad de drenajes y corrientes a nivel de subcuencas.	100
Tabla 23. Descripción patrones de drenaje.....	101
Tabla 24. Relaciones para categorizar el índice morfométrico.	111
Tabla 25. Relaciones entre variables morfométricas para la categorización del índice.	113
Tabla 26. Cálculo del índice morfométrico para las subcuencas jerarquizadas.	113
Tabla 27. Clasificación del índice de vulnerabilidad (IV).	115
Tabla 28. Resultados del índice de variabilidad para las subcuencas jerarquizadas. .	115
Tabla 29. Clasificación del índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales. ...	116
Tabla 30. Resultados del Índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales IVET para las subcuencas jerarquizadas.	116
Tabla 31. Clasificación de cuenca de la FAO en función de el indice de compacidad.	119
Tabla 32. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-01.	124
Tabla 33. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-02.	126
Tabla 34. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-03.	127
Tabla 35. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-04.	129
Tabla 36. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-05.	131
Tabla 37. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-06.	133
Tabla 38. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-07.	135
Tabla 39. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-08.	136
Tabla 40. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-09.	138
Tabla 41. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-10.	140
Tabla 42. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-11.	141
Tabla 43. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-12.	143
Tabla 44. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-13.	145
Tabla 45. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-14.	146
Tabla 46. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-15.	148
Tabla 47. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-16.	150
Tabla 48. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-17.	151
Tabla 49. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-18.	153
Tabla 50. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-19.	155



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

Tabla 51. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-20.	156
Tabla 52. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-21.	158
Tabla 53. Resultados morfométricos microcuenca 1202-01-01-01.....	160
Tabla 54. Resultados morfométricos microcuenca 1202-01-01-02.....	161
Tabla 55. Resultados morfométricos microcuenca 1202-01-02-01.....	163
Tabla 56. Resultados morfométricos microcuenca 1202-01-02-02.....	165
Tabla 57. Resultados morfométricos microcuenca 1202-01-02-03.....	166
Tabla 58. Resultados morfométricos microcuenca 1202-01-06-01.....	168
Tabla 59. Resultados morfométricos microcuenca 1202-01-06-02.....	170
Tabla 60. Resultados morfométricos microcuenca 1202-01-06-03.....	171
Tabla 61. Resultados morfométricos microcuenca 1202-01-07-01.....	173
Tabla 62. Resultados morfométricos microcuenca 1202-01-12-01.....	175
Tabla 63. Resultados morfométricos microcuenca 1202-01-12-02.....	176
Tabla 64. Resultados morfométricos microcuenca 1202-01-14-01.....	178
Tabla 65. Datos de superficie en ha y ha en porcentaje para los rangos de pendiente en el POMCA Río Turbo – Currulao.	180
Tabla 66. Estadísticas cálculo de pendientes en grados.....	182
Tabla 67. Estaciones hidrológicas utilizadas.	185
Tabla 68. Estado de la información hidrológica en cuanto a datos faltantes.	187
Tabla 69. Pruebas de homogeneidad y tendencias series de caudales.....	189
Tabla 70. Selección del mejor IOA correlacionado con los caudales.	193
Tabla 71. Bocatomas de acueductos en la cuenca del río Turbo-Currulao.	194
Tabla 72. Obras hidráulicas en cauces de ríos.	194
Tabla 73. Porcentaje de cobertura estaciones meteorológicas en áreas hidrológicas a calibrar.	202
Tabla 74. Rangos establecidos para los parámetros del modelo hidrológico.	202
Tabla 75. Parámetros calibrados en estaciones hidrológicas.	204
Tabla 76. Criterios de desempeño del modelo de tanques diario calibrado.....	204
Tabla 77. Criterios de desempeño del modelo de tanques diario validado.....	206
Tabla 78. Parámetros y entradas regionalizados para las unidades hidrográficas jerarquizadas.	208
Tabla 79. Caudales medios, mínimos y máximos promedios simulados para las subcuencas jerarquizadas.....	210
Tabla 80. Caudales medios, mínimos y máximos promedios simulados para las microcuencas jerarquizadas.	212
Tabla 81. Rendimiento hídrico subcuencas.	215
Tabla 82. Rendimiento hídrico microcuencas.	217
Tabla 83. Caudales mínimos evaluados para diversos periodos de retorno en subcuencas.	223
Tabla 84. Caudales mínimos evaluados para diversos periodos de retorno en microcuencas abastecedoras.....	224
Tabla 85. Caudales máximos instantáneos registrados en las estaciones hidrológicas.	225
Tabla 86. Estadísticos de las estaciones de caudal usadas en el proceso de regionalización de caudales máximos.	226
Tabla 87. Caudales máximos evaluados para diversos periodos de retorno en subcuencas.....	228
Tabla 88. Caudales máximos evaluados para diversos periodos de retorno en microcuencas abastecedoras.....	228



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

Tabla 89. Caudales ambientales para subcuencas años hidrológicos seco y normal (litros/seg).	232
Tabla 90. Caudales ambientales para microcuencas años hidrológicos seco y normal (litros/seg).	233
Tabla 91. Oferta hídrica total y disponible año hidrológico normal y seco, subcuencas.	234
Tabla 92 Oferta hídrica total y disponible año hidrológico normal y seco, microcuencas abastecedoras.....	234
Tabla 93. Demanda hídrica para consumo humano (CH).	238
Tabla 94. Volumen de agua consumida en el beneficio del banano (2008).	241
Tabla 95. Coeficientes de cultivo y ciclo de siembra para pastos manejados.	241
Tabla 96. Demanda hídrica consumo sector agrícola subcuencas (CSA).	242
Tabla 97. Demanda hídrica consumo sector agrícola microcuencas (CSA).	243
Tabla 98. Consumo aproximado de agua diaria por bovinos (l/día).	246
Tabla 99. Demanda hídrica consumo sector pecuario subcuencas (CSP).	246
Tabla 100 Demanda hídrica consumo sector pecuario microcuencas (CSP).	248
Tabla 101. Demanda hídrica total en las subcuencas (DHT).	248
Tabla 102. Demanda hídrica total en las microcuencas abastecedoras (DHT).	249
Tabla 103. Calificación de los rangos de valores IRH.	250
Tabla 104. Resultados del Índice de retención y regulación hídrica en las subcuencas.	250
Tabla 105. Resultados del Índice de retención y regulación hídrica en las microcuencas.	251
Tabla 106. Rangos y categorías del Índice de uso del agua (IUA).	252
Tabla 107. Índice de uso del agua superficial condición hidrológica normal subcuencas.	252
Tabla 108. Índice de uso del agua superficial condición hidrológica seca.	253
Tabla 109. Índice de uso del agua superficial condición hidrológica normal microcuencas abastecedoras.	254
Tabla 110. Índice de uso del agua superficial condición hidrológica seca microcuencas abastecedoras.	255
Tabla 111. Matriz de relación para caracterizar el índice de vulnerabilidad al desabastecimiento (IVH).	256
Tabla 112. Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico para las subcuencas condición hidrológica normal.	256
Tabla 113. Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico para las subcuencas condición hidrológica seca.	257
Tabla 114. Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico para las microcuencas abastecedoras condición hidrológica normal.	257
Tabla 115. Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico para las microcuencas abastecedoras condición hidrológica seca.	258



3. CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO BIÓTICO

3.3 HIDROGEOLOGÍA

El recurso hídrico, base fundamental de la vida y la conservación de importantes ecosistemas, debe estar planificado en todos sus órdenes para mitigar los efectos ambientales del orden antrópico y natural. El uso adecuado del recurso debe generar políticas institucionales para evitar la escasez de este importante recurso natural.

El Urabá antioqueño, ha tenido un significativo desarrollo en las últimas décadas, desarrollo que va ligado a la necesidad del uso del recurso hídrico, el cual está limitado a la disponibilidad superficial y subterránea. La disponibilidad del agua superficial es insuficiente, puesto que está asociado a la estacionalidad de las condiciones meteorológicas, y se recurre a la utilización del recurso hídrico subterráneo proveniente de los acuíferos presentes en el subsuelo.

La demanda del recurso hídrico para todas las actividades humanas y agrícolas, en la cuenca, representa grandes volúmenes de agua. En la cuenca, la industria del banano es la que más demanda exige en sus diferentes procesos, lo cual ha obligado a la construcción de pozos profundos como fuentes de abastecimiento de agua para sus diferentes actividades.

La caracterización hidrogeológica de la Cuenca Río Turbo-Currulao, se efectuó desde un marco regional a partir de la geología, geomorfología, análisis del balance hídrico generado para la misma y de la información disponible en instituciones del nivel nacional, regional o local, tales como: Servicio Geológico Colombiano-SGC, IDEAM, Autoridades Ambientales, Universidades u otras instituciones que desarrollaron estudios sobre este tema.

Dicha caracterización buscó identificar las unidades geológicas que conforman los sistemas acuíferos en la cuenca, sus usos actuales y potenciales, la estimación de la oferta y calidad del recurso hídrico subterráneo, las condiciones de vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación, las zonas que deben ser objeto de protección especial, entre otros aspectos con el fin de generar un modelo hidrogeológico conceptual que permitan medidas de manejo ambiental para los acuíferos. Un modelo hidrogeológico conceptual que permita identificar las condiciones de recarga y descarga de agua; las características litológicas y geométricas de la roca permeable, las secuencias estratigráficas y las respectivas condiciones hidrogeológicas locales tales como: direcciones de flujo del agua subterránea, gradientes hidráulicos, transmisividad, coeficiente de almacenamiento, capacidad específica y eficiencia, entre otras.

3.3.1 Localización

De acuerdo al modelo geológico básico de Colombia, se ha dividido al país en provincias hidrológicas (IDEAM, 2010), las cuales agrupan cuencas geológicas con características litológicas, estructurales y geomorfológicas similares, presentando además un comportamiento hidrogeológico homogéneo reconocible espacialmente (Ver Figura 1).



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

La Cuenca del Río Turbo-Currulao, se sitúa dentro de las provincias hidrogeológicas de Sinú-San Jacinto (10) y Urabá (12), las cuales se encuentran ubicadas al noroccidente de Colombia (Figura 1).

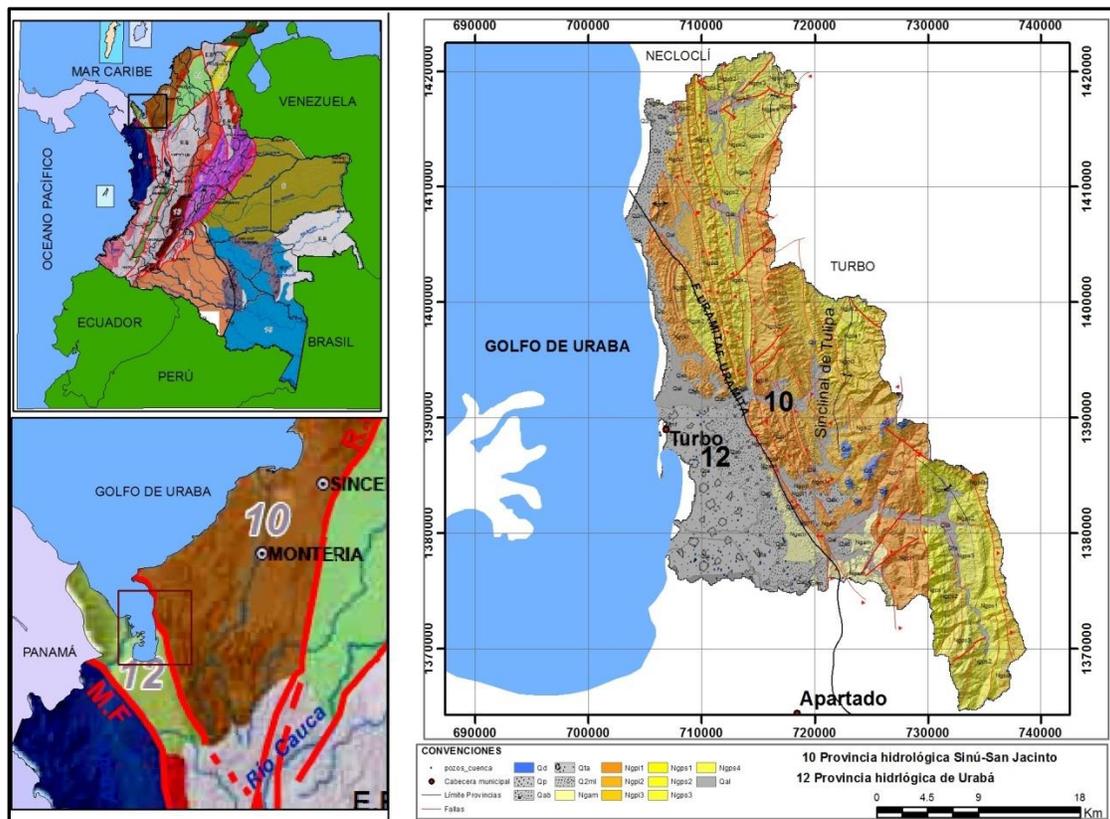


Figura 1. Localización de la Cuenca Río Turbo-Currulao, en las provincias hidrogeológicas Sinú-San Jacinto y de Urabá.

Fuente: Modificado de IDEAM (2010).

La provincia de Sinú-San Jacinto limita al sur con las estribaciones de las cordilleras Central y Occidental; al oriente, se encuentra limitada por el sistema de fallas de Romeral; al suroccidente, por el sistema de fallas del río Atrato; y al norte, por el litoral Caribe. La Provincia de Urabá, limita por el noroccidente con la frontera colombo-panameña; por el norte, con el mar Caribe; en el oriente, está delimitada por el sistema de fallas de Uramita (IDEAM, 2010).

Desde el punto de vista topográfico, estas provincias corresponden a una zona plana, que contrasta con el relieve moderado de la Serranía de Abibe-Las Palomas. Geomorfológicamente se encuentran colinas altas, colinas bajas y la planicie que corresponde a los depósitos cuaternarios y marinos.

3.3.2 Antecedentes

La gestión de los recursos hídricos subterráneos debe basarse en información confiable, actualizada y pertinente sobre el estado de estos recursos, de los ecosistemas asociados,



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

de los usuarios y de factores externos que pueden incidir sobre los mismos, tales como el uso de la tierra, las fuentes potenciales de contaminación y factores climáticos, entre otros aspectos. Teniendo en cuenta lo anterior, el análisis de la información cuenta con el apoyo de un Sistema de Información Geográfica (SIG), el cual permite el manejo, análisis y estructuración de información alfanumérica y espacial, así como la modelación de las variables físicobióticas y socioeconómicas.

En el área de la Cuenca Río Turbo-Currulao, desde hace más de treinta años, se han realizado estudios geológicos/geoeléctricos con el fin de conocer las características geológicas e hidrológicas del área a partir del análisis de las resistividades del subsuelo y su relación con el contenido de agua.

En 1985, se realizó el estudio de prospección hidrogeológica en el noreste de Urabá (Terreno Sinú-San Jacinto), a través de un convenio bilateral entre los gobiernos de Colombia y Holanda (Peña, Esquivel, Pérez, & Ávila, 1985).

De acuerdo con (Cossio, 1995), INTEGRAL S.A llevó a cabo en 1986, un estudio que consistió en la realización de doce Sondeos Eléctricos Verticales (SEV'S) en un área localizada al norte de la zona bananera, en el corregimiento de Currulao en terrenos de fincas bananeras de EXPOBAN, en el cual se identificaron cinco capas geoeléctricas, el basamento y la unidad suprayacente, lo mismo que el nivel de agua salada. Los resultados incluyen dos capas acuíferas: uno superior correspondiente a un acuífero libre, cuya profundidad base se reporta menor de 20 m y un nivel inferior correspondiente a un acuífero, confinado a semiconfinado, hasta profundidades mayores de 100 m.

CORPOURABA, desde su creación y delegación como entidad encargada del manejo, control y protección de las fuentes de agua en la zona, ha tenido un interés creciente de impulsar la realización de estudios de tipo regional a partir de los cuales se logre un mejor conocimiento acerca de la disponibilidad y características del agua subterránea en la región y en desarrollar herramientas de apoyo para una mejor administración de ella. En 1995, a través de INGEOMINAS, se realizó la prospección del agua subterránea en la región de Urabá. En este estudio regional, se determinó el gran potencial del recurso hídrico subterráneo, enfocado a los municipios del sur de la zona, es decir: Apartadó, Chigorodó y Carepa, centros poblados con mayor explotación de pozos para uso agrícola y doméstico. En este estudio se definieron unidades hidrogeológicas, se caracterizó físicoquímicamente el agua, se estimó la recarga de los acuíferos y se determinaron parámetros hidráulicos mediante pruebas de bombeo utilizando como escala 1:25000.

En 1998, CORPOURABA realizó la caracterización de la calidad del agua subterránea. En esta caracterización la entidad hizo la medición de niveles de 60 pozos de la red de monitoreo de aguas subterráneas. (CORPOURABA, 2016).

Posteriormente, la Corporación, adelantó la caracterización hidrogeoquímica y bacteriológica de las aguas y actualizó el inventario de pozos profundos. Como resultado de este estudio se definió un monitoreo periódico de niveles en los meses de marzo, agosto y noviembre (CORPOURABA, 2015).



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

Geológicamente el área ha sido estudiada por el Servicio Geológico Colombiano, por ello existen diferentes estudios asociados al tema, entre ellos:

En el 2003 se llevó a cabo la investigación titulada: Geología de los cinturones Sinú – San Jacinto planchas 50 Puerto Escondido, 51 Lorica, 59 Mulatos, 60 Canalete, 61 Montería, 69 Necolí, 70 San Pedro de Urabá, 71 Planeta Rica, 79 Turbo, 80 Tierralta (INGEOMINAS - GEOTEC LTDA, 2003).

En el 2004 se realizó la investigación: Geología de los cinturones del Sinú, San Jacinto y borde occidental del valle inferior del Magdalena Caribe colombiano (Ospitia, Londoño, & Suárez, 2004).

Posteriormente, la Universidad de Antioquia mediante ejercicios académicos realizó una serie de estudios de vulnerabilidad utilizando metodologías de índice y superposición y modelo físico de tiempo de viaje (López J. , 2004).

En 2007, la Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, realizó un estudio con el fin de establecer el Modelo conceptual hidrogeológico del acuífero costero del municipio de Turbo, Antioquia. Proyecto financiado por las Empresas Públicas de Medellín y Colciencias, está encaminado a la prospección de agua subterránea en el municipio de Turbo, buscando abastecer su población y la demanda industrial futura de agua. En la campaña de campo, se hizo el reconocimiento de las características geológicas y geomorfológicas de la zona de estudio, la ejecución de 47 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV'S), y la recopilación de información secundaria, para generar un modelo conceptual hidrogeológico. Se realizó el inventario de captaciones de agua subterránea, del cual se identificó, que la gran mayoría son de tipo aljibe, permitiendo así, elegir 18 captaciones, en las cuales se tomaron muestras de agua subterránea para su caracterización fisicoquímica, y se realizaron pruebas de bombeo tipo Slug Tests, determinando la conductividad hidráulica del acuífero superficial en las cercanías de la captación (Amaya, 2007).

Mientras tanto en el 2009, Gómez, J, también desde la Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, realizó la tesis de maestría en ingeniería denominada "Geología, geofísica, hidrogeoquímica e isótopos, como herramientas para definir un modelo conceptual hidrogeológico, caso de aplicación: acuífero costero del municipio de Turbo" (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).

En el 2007, se construyó el Atlas Geológico de colombiano. La información del área está consignada en la Plancha 05 (Gómez , y otros).

En el 2009, se realizó el trabajo "Cartografía geológica y moldeamiento estructural de las cuencas de Urabá y Sinú-San Jacinto a partir de la interpretación de imágenes de sensores remotos y monitoreo sísmico" (Universidad Nacional de Colombia; Agencia Nacional de Hidrocarburos, 2009).

Paredes Zúñiga en el año 2010, realizó el estudio "Susceptibilidad a la contaminación salina del acuífero costero del eje bananero de Urabá (Golfo de Urabá) con técnicas



hidrogeoquímicas e isotópicas”. Con los resultados obtenidos, se evidencia que los procesos de salinización presentes en el acuífero costero del Eje Bananero de Urabá podrían estar ligados a la interacción agua - roca, a mezclas con aguas que se salinizaron como resultado de procesos de transgresión-regresión antiguos en la zona de estudio (Paredes Zúñiga, 2010).

CORPOURABA, en el 2011, realizó una aproximación a la evaluación del peligro a la contaminación por pesticidas utilizando información de 150 fincas bananeras de las 330 existentes. Con la información levantada se evaluó la vulnerabilidad intrínseca del acuífero y parcialmente el peligro potencial de contaminación por los pesticidas (Vargas, 2011).

En el año 2015 mediante el convenio de cooperación entre CORPOURABA y la Universidad de Antioquia, con el apoyo del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible –MADS– se formuló el Plan de Manejo Ambiental de Acuífero del Sistema Hidrogeológico del Golfo de Urabá, el cual se hace teniendo en cuenta la metodología propuesta en la Guía Técnica para la Formulación de Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2014), en el documento final se presenta y se describe los resultados del proceso de la formulación del Plan de Manejo Ambiental del Sistema Acuífero del Urabá antioqueño (CORPOURABA; Universidad de Antioquia, 2016).

3.3.3 Evaluación preliminar de acuíferos

La caracterización del sistema acuífero y de las condiciones socioculturales de la Cuenca Río Turbo-Currulao, se hace con el fin de elaborar la línea base de oferta y demanda del agua subterránea, identificar los conflictos y problemáticas por el uso del recurso hídrico, analizar la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación e identificar las fuentes potenciales de contaminación, entre otros aspectos (Figura 2).



Figura 2. Fase de Diagnóstico.

Fuente: Adaptado de (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014) y la Guía preliminar sin editar (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012).



La caracterización busca identificar unidades geológicas que conforman los sistemas acuíferos en la Cuenca Río Turbo-Currulao, sus usos actuales y potenciales, la estimación de la oferta y calidad del recurso hídrico subterráneo, las condiciones de vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación, las zonas que deben ser objeto de protección especial, entre otros aspectos con el fin de generar un modelo hidrogeológico conceptual que permitan medidas de manejo ambiental para los acuíferos (Figura 3).

El modelo hidrogeológico conceptual permite determinar la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos, mientras que la caracterización del sistema hidrológico se precisa para poder evaluar oferta y disponibilidad. El modelo hidrogeológico conceptual aquí presentado, se complementa a partir de los resultados obtenidos en el estudio "Actualización del Modelo Hidrogeológico Conceptual del Sistema Acuífero del Urabá antioqueño" (CORPOURABA; Universidad de Antioquia, 2014).

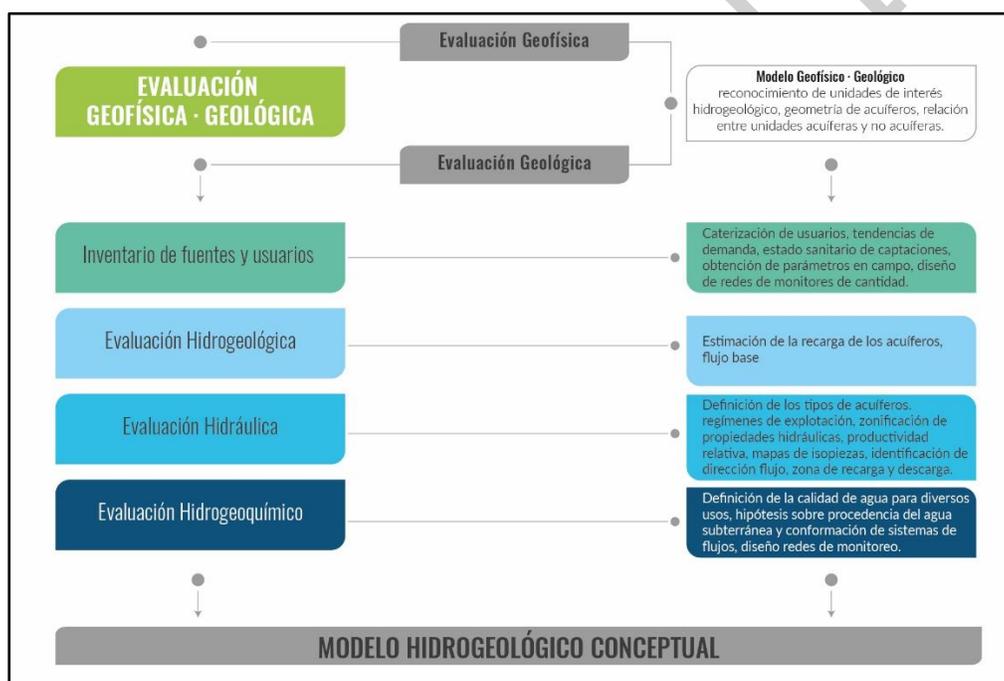


Figura 3. Diagrama de flujo para la construcción modelo hidrogeológico conceptual.

Fuente: Guía Metodológica para la Formulación de los Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

3.3.4 Identificación y evaluación de unidades geológicas

La evaluación geológica es la base para los estudios hidrogeológicos, ya que permite identificar las rocas, los sedimentos y las estructuras geológicas que favorecen la circulación y almacenamiento de las aguas subterráneas, así como la determinación de su continuidad, área y espesor. Para esta fase, se tuvo en cuenta la textura, cambios de facies, tipo de porosidad, ambientes de deposición, estructuras tectónicas y geomorfológicas, así como composición mineralógica de los sedimentos y rocas.



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

Como se ha mencionado anteriormente, la Cuenca Río Turbo-Currulao, está constituida por las provincias hidrogeológicas de Sinú-San Jacinto (10) y Urabá (12), separadas por la Falla de Uramita, la cual actúa como una barrera impermeable.

De acuerdo con Ospitía, Londoño, & Suárez (2004) en el área afloran rocas sedimentarias marinas del Mioceno y Pleistoceno (Neógeno), especialmente arcillositas y areniscas denominadas formaciones Pavo Inferior, Pavo Superior, Arenas Monas y depósitos aluviales de edad cuaternarias. (Figura 4).

La Provincia Hidrogeológica de Urabá evidencia una acreción prolongada desde el Cretácico Tardío, que culmina con la consolidación de la cuenca ante-arco del río Atrato desde el Eoceno Tardío (Agencia Nacional de Hidrocarburos -ANH-, 2009), en esta época se manifiesta un evento erosivo de primer orden (conglomerados polimícticos de la Formación Salaquí), que inicia una sedimentación clástica con proveniencia continental a partir del Mioceno.

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 olistostromas de la Formación Manantial). Esta secuencia inicia una sedimentación de aguas someras y termina en el Mioceno Superior con sedimentos costeros a fluviales (unidad de Arenas Monas), que constituyen las secuencias clásticas de la Serranía de Abibe-Las Palomas (Agencia Nacional de Hidrocarburos -ANH-, 2009). Estructuralmente este cinturón es muy característico, ya que está formado por anticlinales estrechos muy pronunciados, separados entre sí por sinclinales amplios y suaves, presenta elevaciones de hasta 1000 m, aflora de manera muy extensa en la parte oriental de la cuenca exhibiendo un patrón estructural que lo diferencia claramente del Cinturón de San Jacinto. El rumbo general de los ejes de los anticlinales es W más o menos paralelo a las márgenes oriental y occidental del cinturón. En general este cinturón presenta un patrón radial, relacionado con las estructuras anticlinales y diapirismo de lodo (Duque-Caro H., 1980) y se encuentra afectado por fallas normales y de cabalgamiento.

De acuerdo con la ANH (2009) el límite entre estas provincias está recubierto por una secuencia sedimentaria neógena que supera los 3000 metros de espesor, verificado en los pozos exploratorios de Apartadó y de Necoclí (Figura 25).

La Cuenca Río Turbo-Currulao, se enmarca en una tectónica de pliegues longitudinales con orientación general N20°E, diapirismo de lodo, fallamiento norte-sur, paralelo a la dirección del rumbo (Figura 4). Las fallas inversas, en general reconocidas como fallas cabalgantes, tienen una dirección preferencial NNE-SSW, con inclinación predominante al oeste, y son limitadas en gran parte por fallas de rumbo con dirección perpendicular u oblicua a las fallas inversas y movimiento tanto dextral como sinistral (Ospitía, Londoño, & Suárez, 2004).



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

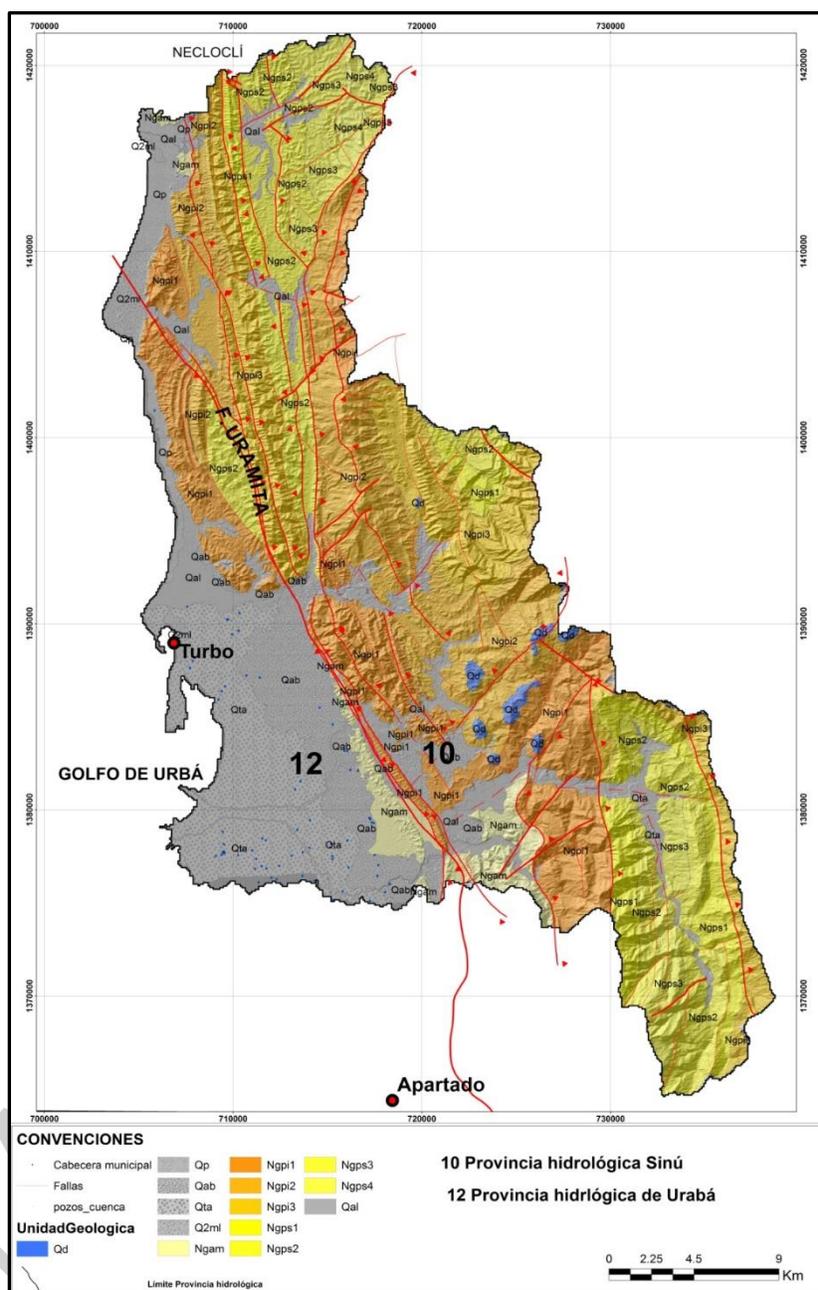


Figura 4. Unidades geológicas y rasgos estructurales presentes en la Cuenca Río Turbo-Currulao.
Fuente: Elaboración propia.

3.3.4.1 Unidades geológicas neógenas

Las unidades litológicas presente en el área de la Cuenca Río Turbo-Currulao, están referidas en las memorias explicativas 69-Necloclí y 79- Turbo (INGEOMINAS-IGAC, 2005) y 80-Tierralta (INGEOMINAS - GEOTEC LTDA, 2003) , en ellas se describe una secuencia clástica litoral del Mioceno denominada secuencia de Pavo (Ngp), y



sedimentos fluviales de la unidad de Arenas Monas (Ngam) de edad Mio/Plioceno, las cuales documentan desarrollos sedimentológicos con alta variabilidad de facies y una tectónica propia de un prisma acrecentivo en el Neógeno (Agencia Nacional de Hidrocarburos -ANH-, 2009).

La secuencia de Pavo se ha dividido en la Subunidades (Ngpi,1, 2, 3) y (Ngps,1, 2, 3, 4). La parte inferior es principalmente arenosa y la superior es predominantemente lutítica. Las diferencias están en los parámetros de estratificación, dureza de la secuencia sedimentaria y su relación espacial.

3.3.4.2 Unidad Ngp Secuencia de Pavo

La unidad Ngp, está representada por la secuencia de Pavo, con edades que oscilan entre el Eoceno Superior y el Mioceno Medio (Figura 5). De acuerdo a su litología y su contenido fosilífero (foraminíferos), el ambiente de depósito de esta secuencia es marino (INGEOMINAS - GEOTEC, 1997). En la cuenca, de la base al techo, aflora la siguiente sucesión (Figura 5):

Una secuencia de capas delgadas de arenisca, de color amarillo anaranjado oscuro, constituidas por cuarzo, feldespato, fragmentos de roca volcánicas y sedimentaria, moscovita, circón y minerales opacos; con matriz arcillosa y ocasionalmente con cemento calcáreo. Los granos son de tamaño de medio a grueso, ligeramente conglomeráticas, subangulares de baja esfericidad y selección de moderada a pobre, el contacto entre ellos es tangente a completo (Cossio, 1995).

Se presentan zonas lenticulares de conglomerados que contienen guijarros de chert negro, cuarzo, rocas ígneas volcánicas y sedimentarias interestratificados con las capas de arenisca.

Por encima de la secuencia se observa un paquete de lodolitas de color gris, masivas (esporádicamente se observan nódulos calcáreos arenosos) con intercalaciones de capas delgadas de arenisca de color amarillo grisáceo a amarillo marrón pálido, de grano fino a muy fino (Cossio, 1995).

Luego se encuentra una alternancia de areniscas, arcillolitas y lentes de arenisca conglomerática, con predominio de las primeras.

Las arcillolitas son de color gris verdoso y marrón rojizo, plásticas, blandas, con laminación incipiente en capas de 1 a 2 m de espesor.

Los conglomerados se presentan en forma de lentes; presentan gránulos y guijos de cuarzo, chert, roca volcánica y sedimentaria en una matriz arenosa, de grano medio a grueso (Cossio, 1995).

Hacia techo de la secuencia se observa una serie de lodolitas de color gris, masivas (con presencia esporádica de nódulos calcáreos arenosos) intercalada con capas delgadas de arenisca de color amarillo grisáceo a amarillo marrón pálido, de grano fino a muy fino.

El espesor de esta unidad es variable, en el río Turbo alcanza 4310 metros (Figura 6), y



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

en el carretable Turbo-El Alto-Valencia (Córdoba) alcanza los 9000 m.

Localmente, las arenitas aumentan considerablemente de tamaño de grano y conforman lentejones de conglomerados arenosos de guijos, y se observan los mismos componentes de las arenitas ya descritas, además de fragmentos de ostreidos. Las arcillolitas esporádicamente muestran restos de plantas, concreciones ferruginosas e intercalaciones de láminas a capas delgadas de arenitas arcillosas fino granulares. Localmente en la parte superior de esta unidad se presentan algunas capas delgadas de turba (INGEOMINAS - GEOTEC LTDA, 2003).

El contacto inferior de la unidad no aflora en la región de estudio. El contacto superior con la unidad Ngam es fallado, a través de la Falla Uramita.



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

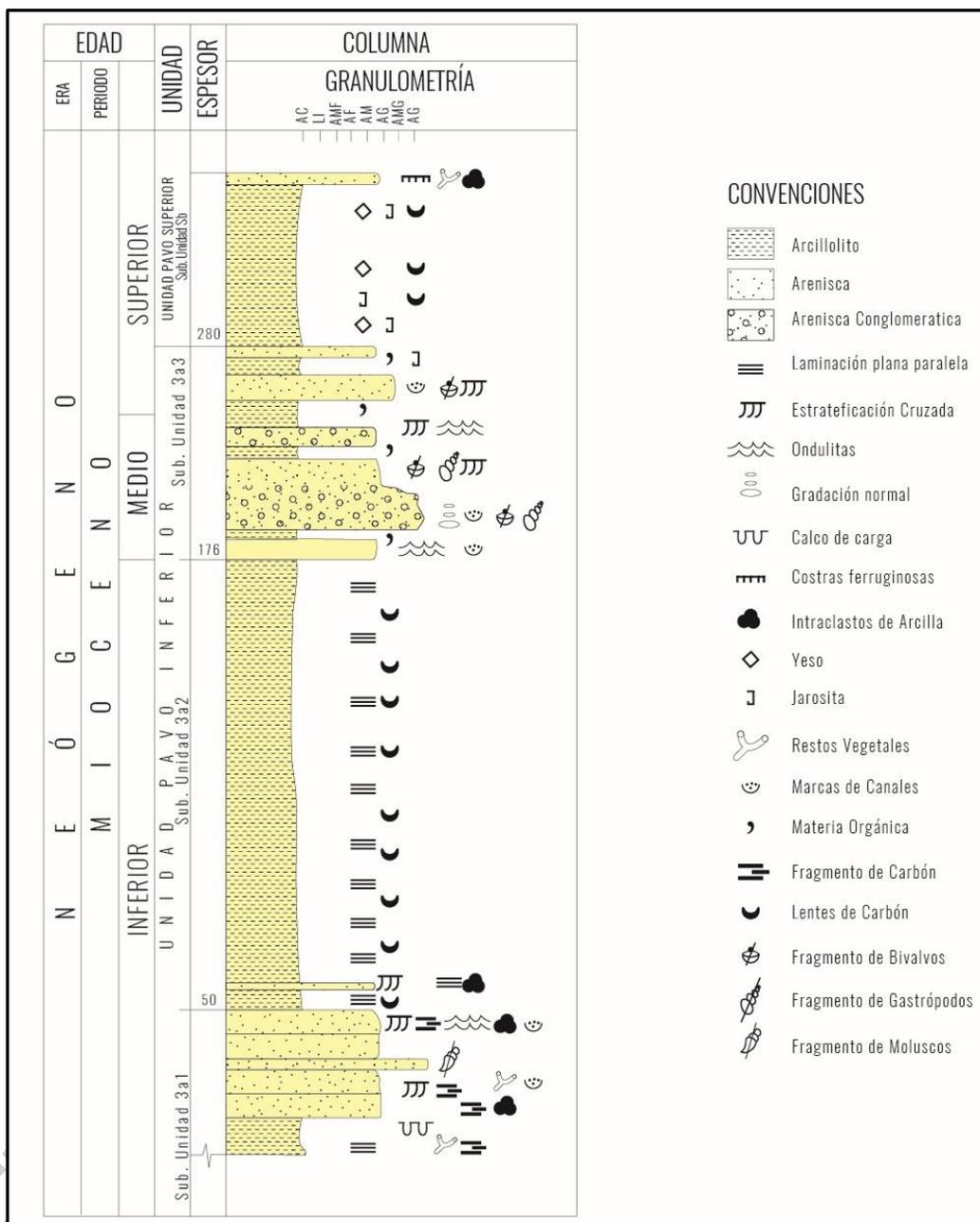


Figura 5. Columna estratigráfica generalizada de la secuencia de Pavo a lo largo de la quebrada El Indio.

Fuente: INGEOMINAS (1995).

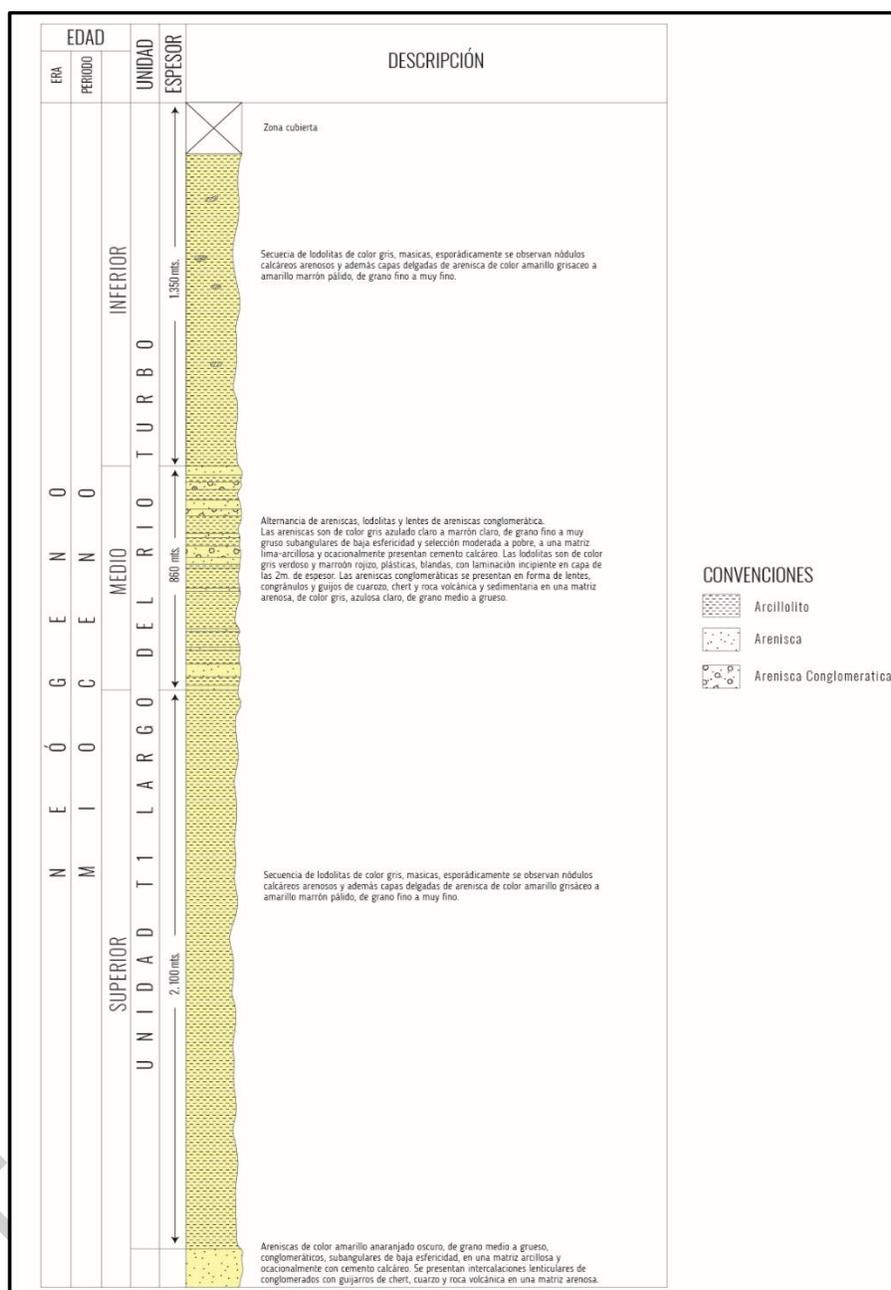


Figura 6. Columna estratigráfica generalizada de la Unidad Pavo a lo largo del río Turbo. Fuente: INGEOMINAS (1995).

3.3.4.3 Unidad Ngam Arenas Monas

Es una secuencia rítmica y de carácter granodecreciente que incluye en la base conglomerados arenosos de guijos que varían a arenitas conglomeráticas, arenitas y lutitas al techo. Los conglomerados arenosos ocurren en un 5% de la secuencia total, y presentan guijos hasta de 6 cm embebidos en una matriz de arenita de grano mediano



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

a muy grueso, subredondeados a subangulares, friables a localmente cementados por carbonato 5-10%; porosidad pobre a moderada 2-10%; permeabilidad escasa (INGEOMINAS - GEOTEC LTDA, 2003). La unidad Arenas Monas agrupa las rocas de la Formación Arenas Monas de edad Plioceno Superior a Holoceno.

Las lutitas ocurren en un 15%, son de color gris verdoso; localmente teñidas de morado a rojo, blandas, macizas, en sectores propiamente limolitas, generalmente calcáreas y micáceas, en capas delgadas, de color gris verdoso claro.

De la base al techo, se observa la siguiente sucesión, ver Figura 7, (Cossio, 1995):

Areniscas de color amarillo grisáceo, 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. Los clastos son angulosos a subredondeados de baja esfericidad y mala selección. Se presenta en capas de 10 a 20 cm de espesor continuas paralelas, interestratificadas con capas de lodolitas de color gris azulado claro, friable que se presentan en capas de 5 a 10 cm (Cossio, 1995).

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. Se presentan en capas discontinuas no paralelas, de 1 a 15 m de espesor, con estratificación cruzada hacia el tope de las capas. Presentan láminas delgadas de lodolitas (Cossio, 1995).

Las capas de conglomerados están conformadas por gránulos y guijos de cuarzo, chert y roca volcánica (basaltos), en una matriz arenosa de color amarillo grisáceo, de grano medio a grueso (Cossio, 1995).

Lodolitas de color gris azulado, con capas discontinuas no paralelas, de espesor 1 a 2 m 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. Las características litológicas de la unidad Ngam sugieren un ambiente de depositación de tipo continental, con corrientes sinuosas de periodos de media a alta energía, depositación de la fracción conglomerática, y periodos de tranquilidad, depositación de la fracción areno-arcillosa, (Cossio, 1995).

Por la abundancia relativa de guijos de roca volcánica y sedimentaria en los conglomerados, puede asegurarse que las rocas volcánicas y sedimentarias que se encuentran en el eje de la Serranía de Abibe-Las Palomas estaban expuestas a erosión, durante la sedimentación de la unidad Ngam.

El contacto inferior de esta unidad es de tipo fallado (Falla Uramita), con la Unidad Ngp. El contacto superior es discordante, con los sedimentos Cuaternarios de la llanura aluvial Mutatá-Turbo.

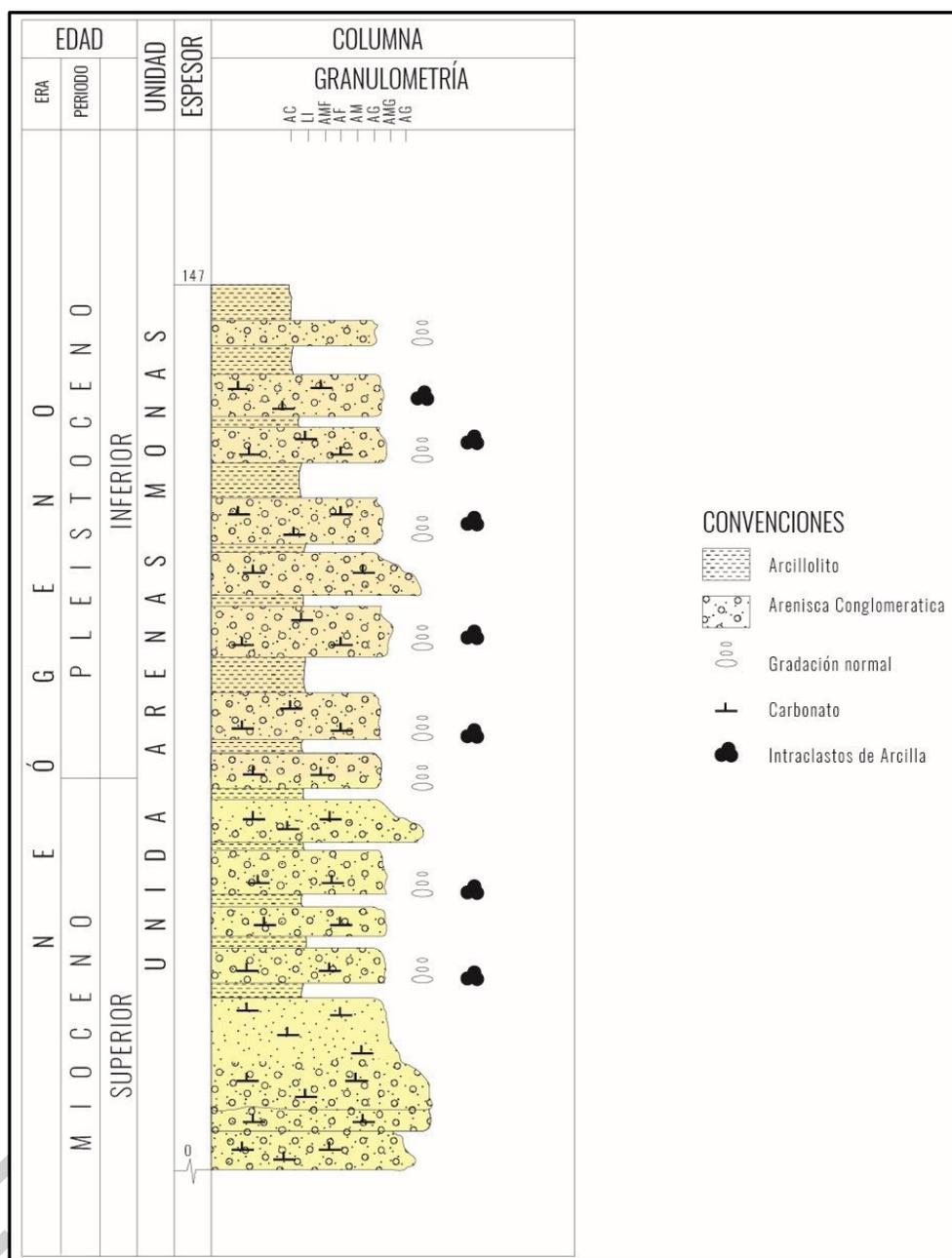


Figura 7. Columna estratigráfica generalizada de la Formación Arenas Monas, sección Naranjitas-El Tomate.

Fuente: INGEOMINAS (1995).

3.3.4.4 Unidades Cuaternarias Tabular (Qta)

El Cuaternario en la cuenca está representado por terrazas aluviales relacionadas a los ríos Currulao y los pequeños abanicos aluviales de los ríos El Tres, Turbo y la gran llanura aluvial. Aflora en el flanco más occidental de la Serranía de Abibe-Las Palomas, formando



las colinas bajas que se observan a lo largo de la carretera Juradó - Turbo.

Las terrazas aluviales se encuentran entre la carretera y el piedemonte de la Serranía de Abibe-Las Palomas. El espesor de este conjunto en el sector de El Tres - El Alto es 115 metros (Cossio, 1995).

El primer nivel, de poca altura, tiene un espesor de 1.5 m, está conformado por gravas dentro en una matriz areno-arcillosa, de baja consolidación; seguido hacia el tope de un nivel de arenas, de color marrón, grano grueso, ligeramente conglomerática y de poca consolidación (Cossio, 1995).

El segundo nivel, está conformado, de la base al techo de un nivel limo arcilloso, de 1.8 m de espesor, muy friable; seguido de un material arenoso conglomerático de 1.5 m de espesor de poca consolidación (Cossio, 1995).

El tercer nivel, similar al anterior; conformado, de la base al techo de un nivel limo arcilloso, de 1.6 m de espesor, muy friable; seguido de un material arenoso conglomerático de 1.9 m de espesor de poca consolidación (Cossio, 1995).

La llanura aluvial presenta gran cantidad de áreas planas o ligeramente inclinadas. Sobre ella se ha dado el mayor desarrollo agropecuario de la región, especialmente el cultivo de banana, donde se han construido gran cantidad de pozos de agua.

Su composición litológica es muy variada y caótica, y depende de la procedencia de los sedimentos. Superficialmente se observan niveles de 1 a 2 m de arena de grano grueso, seguida de niveles de 1 a 2 m de arena de grano grueso, seguida de niveles de arcilla, localmente consolidadas, de 1 a 2 m de espesor. Esta llanura se encuentra cubriendo discordantemente la unidad Arenas Monas, con espesores entre 10 y 45 m (Cossio, 1995).

3.3.5 Geología estructural

El esquema geotectónico de la Cuenca Río Turbo-Currulao es complejo y caracterizado por una serie de anticlinales estrechos muy pronunciados, separados por sinclinales amplios y suaves, adicionalmente afectados por fallas normales, de cabalgamiento y transcurrentes, volcanismo y plutonismo de lodo. El rasgo estructural más sobresaliente es la falla de Uramita que separa las dos provincias hidrogeológicas.

En las rocas sedimentarias son comunes las estructuras geológicas como pliegues y fallas, pero se consideran de mayor importancia hidrogeológica los sinclinales y homoclinales que favorecen la acumulación de aguas subterráneas, así como las trampas estratigráficas (discordancias) y estructurales.

La Falla de Uramita separa los sedimentos del Cinturón de Sinú de una cuña sedimentaria que subyace la zona bananera y la parte oriental del golfo de Urabá (Agencia Nacional de Hidrocarburos -ANH-, 2009) convirtiéndose en una barrera impermeable.

En la Cuenca de Urabá, el basamento se profundiza hacia el oriente y se torna somero hacia el occidente, encontrándose afectado por fallas normales al centro y occidente, así



como por fallas inversas en el extremo oriental de la misma. Las fallas normales escalonan el basamento, provocando su hundimiento hacia el sector centro-oriental, en tanto que las fallas inversas lo levantan en el extremo oriental. De igual manera, las fallas inversas afectan la unidad sedimentaria inferior, generando pliegues anticlinales volcados hacia el occidente (ver Figura 4).

El borde y el interior del Cinturón del Sinú, exhibe dos provincias estructurales que designan evoluciones estructurales particulares: en el frente de deformación (borde de las llanuras de la zona bananera), se destacan colinas alargadas en forma de cuchillas. Estos rasgos geomorfológicos se deben a una o dos escamas plegadas o anticlinales fallados, los cuales poseen flancos occidentales muy inclinados a invertidos y flancos orientales moderadamente inclinados. Con esta geometría ellos exhiben una vergencia hacia el W (Agencia Nacional de Hidrocarburos -ANH-, 2009). De acuerdo al mapa geológico, las fallas que separan dichos anticlinales tienen saltos mayores, ya que unidades blandas asociadas a la Unidad de Pavo Superior en los bloques yacentes se presentan en diferentes proporciones o faltan del todo. El tren de estas estructuras es de dirección SSW-NNE (Agencia Nacional de Hidrocarburos -ANH-, 2009).

3.3.5.1 Sistema de Fallas de Uramita - Las Monas

Es el mayor rasgo estructural presente en la cuenca, se destacan las fallas de cabalgamiento, que se presentan con tendencias de sur a norte, básicamente en el costado occidental, con orientación principal suroeste-noroeste. Fallas de dirección N10°W a N10°E con tendencia norte-sur situada en la parte oeste de la Cordillera Occidental, tiene una dirección N10°-20°W y una longitud mayor de 300 km y se prolonga hasta el mar Caribe (Ospitia, G. et al, 2004) (Ver Figura 4).

3.3.5.2 Falla de Uramita

Es regional, de tipo inverso con ángulo bajo; dirección N-S a N30°W; buza hacia el oriente. Hacia el norte de Turbo, es truncada por fallas menores; hacia el sur su trazo continuo por fuera de la cuenca. Pone en contacto la Unidad Arenas Monas (de origen continental) con la Unidad Pavo (de origen marino).

3.3.5.3 Falla El Dos

Falla Normal, de dirección N80W, de ángulo moderado hacia el norte. Se encuentra truncada por las fallas de Uramita y San José.

3.3.5.4 Falla El Águila

Es regional, de carácter inverso con ángulo alto y dirección N30°W; buza hacia el oriente. Su trazo se manifiesta desde el río Guadualito hasta el norte del municipio de Necolí.

3.3.5.5 Falla de Turbo

Con rumbo E-W a lo largo de la depresión del río del mismo nombre, en donde se desarrollaron depósitos aluviales y de terrazas.



3.3.5.6 Falla de Currulao

De dirección N-S a lo largo de la depresión del río del mismo nombre, en donde se desarrollaron depósitos aluviales y de terrazas.

3.3.5.7 Diaclasas

De acuerdo con Billings (1972) "se encuentran generalmente concentradas cerca a las fallas, lo cual indica que están relacionadas genéticamente al fallamiento, aunque no necesariamente sean contemporáneos con él, ya que debilitamientos direccionales producidos por el fallamiento o por el plegamiento, pueden ser la causa del diaclasamiento millones de años más tarde" (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, pág. 7).

3.3.5.8 Pliegues

La Cuenca Río Turbo-Currulao, presenta sinclinales largos y anticlinales estrechos. Hacia el norte estas estructuras generalmente están afectadas por estructuras dómicas de volcanes de lodo dando la impresión de que el plegamiento se hubiera formado por este tipo de eventos.

Los pliegues del interior del terreno de Sinú contrastan con los pliegues apretados del frente de deformación occidental por presentarse en formas abiertas, por una falta de continuidad en el tren de las estructuras y por una carencia de anticlinales. Idealmente estos pliegues están constituidos por sinclinales delimitados por fallas inversas en ambos flancos, y presentan ejes de una doble inmersión hacia el interior de un sinclinal, que tiene una forma de cubeta. El tren estructural es de dirección SSW-NNE (Agencia Nacional de Hidrocarburos -ANH-, 2009).

En su forma más sencilla los sinclinales representan estructuras elípticas con una longitud limitada de 20 km a 30 km y con un ancho de aproximadamente 10 km, resultando en una razón ancho a longitud de 1:3 aproximadamente. Anticlinales que separan sinclinales adyacentes no existen. Los anticlinales existen solamente en contados lugares y subrayan la tendencia estructural de dirección SSW-NNE. Se presentan en las siguientes condiciones:

1. Sinclinales, que se presentan en forma completas y sinclinales truncados como lo observado en la curvatura noroccidental del Sinclinal de Túlipa (ver Figura 4).
2. Sinclinales que se unen localmente a través de anticlinales. Estos anticlinales son discontinuos y terminan en fallas o simplemente pierden sus expresiones estructurales por adaptarse a una estructura mayor. Un caso particular se observa en la parte septentrional del flanco oriental del Sinclinal de Túlipa, el cual se une en este tramo con un apéndice más oriental. Entre estos dos sinclinales se observa un anticlinal, el cual, al igual de sus estructuras adyacentes, presenta una inmersión hacia el N y pierde su amplitud hacia la cuenca del río Mulatos. En esta cuenca se completa la unión entre el



Sinclinal de Túlipa y la estructura subalterna al E de su flanco oriental (Agencia Nacional de Hidrocarburos -ANH-, 2009).

El vulcanismo de lodo hace su presencia en la cabecera del río Turbo con un drenaje circular y en su exterior con un drenaje radial.

El análisis estructural de la tectónica nos ayudará comprender el estilo del plegamiento, por consiguiente, a identificar trampas estructurales que favorezcan la acumulación de aguas subterráneas. En la cuenca se destacan:

- **Anticlinal El Caimán**

Se encuentra hacia el norte del municipio de Turbo, presenta una dirección N-S. Es un anticlinal tumbado al oeste, simétrico, con buzamiento en sus flancos de 70° a 80°. Se ha desarrollado en la Unidad Ngp. Tiene una longitud de más de 12 Km y un ancho de 5 Km

Se encuentra afectado en el norte por pequeñas fallas de dirección NE y SE; hacia el sur lo trunca la Falla de Uramita.

- **Sinclinal El Caimán**

Se encuentra hacia el oriente del anticlinal El Caimán. Tiene dirección N20°W a N-S en la parte norte. Es asimétrico con buzamientos en el flanco occidental de 40° a 70" y en el flanco oriental de 50° a 80°. Se ha desarrollado sobre los estratos de la Unidad Ngp. Esta estructura está cortada por la falla El Dos hacia el sur.

- **Sinclinal de Tulipa**

Es un sinclinal amplio, con una dirección N10°W a N-S. Es simétrico con buzamiento de sus flancos entre 15° a 30". El flanco oriental está afectado por la Falla El Águila y al sur se encuentra cortado por la Falla El Bus.

- **Plegamientos menores de El Tres**

Al este del caserío de El Tres se presentan una serie subestructuras con dirección N30°W y buzamientos entre 40° a 60°. Su longitud no sobrepasa los 5 Km

3.3.6 Evaluación Geofísica

A través de la combinación de los datos geofísicos y geológicos, se puede determinar la presencia y la geometría de los acuíferos en la cuenca. Los métodos de exploración geofísica se aplican con el fin de obtener información del subsuelo de una forma indirecta y determinar con una buena aproximación los espesores y profundidades de los depósitos asociados con capas potencialmente acuíferas.

El método más utilizado en la exploración de aguas subterráneas para la cuenca es el de resistividad eléctrica, el cual permitió distinguir capas permeables como arenas e impermeables como arcillas (Cossio, 1995). El método de resistividad eléctrica (Sondeos Eléctricos Verticales-SEV) consiste fundamentalmente en estudiar las variaciones en el subsuelo, de la propiedad física denominada resistividad eléctrica. La resistividad eléctrica es la propiedad que poseen los diferentes tipos de materiales, artificiales o naturales, de oponerse al flujo de la corriente eléctrica en presencia de un campo



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

eléctrico. A través de los contrastes de los valores obtenidos de resistividad es posible diferenciar distintas clases de materiales existentes en el subsuelo como arcillas de arenas.

Para la Cuenca Río Turbo-Currulao, existen diferentes estudios de prospección de agua subterránea que proporciona información geofísica recopilados por CORPOURABA (UNAL, IDEAM, C. MARINA, etc.), siendo el más completo el realizado por el INGEOMINAS (hoy Servicio Geológico Nacional) en el año de 1995 (Cossio, 1995) (Figura 8). El estudio es de carácter regional, y determinó el gran potencial del recurso hídrico subterráneo para algunos municipios de la zona del Golfo de Urabá, definiendo unidades hidrogeológicas, caracterización fisicoquímicamente del agua, estimación de la recarga en los acuíferos, además de parámetros hidráulicos mediante pruebas de bombeo utilizando como escala 1:25000 (Cossio, 1995).

En un medio estratificado de una secuencia de capas de distintas resistividades, el valor obtenido de resistividad para una distancia determinada entre electrodos de corriente está influido por los distintos horizontes atravesados por el flujo de corriente.



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

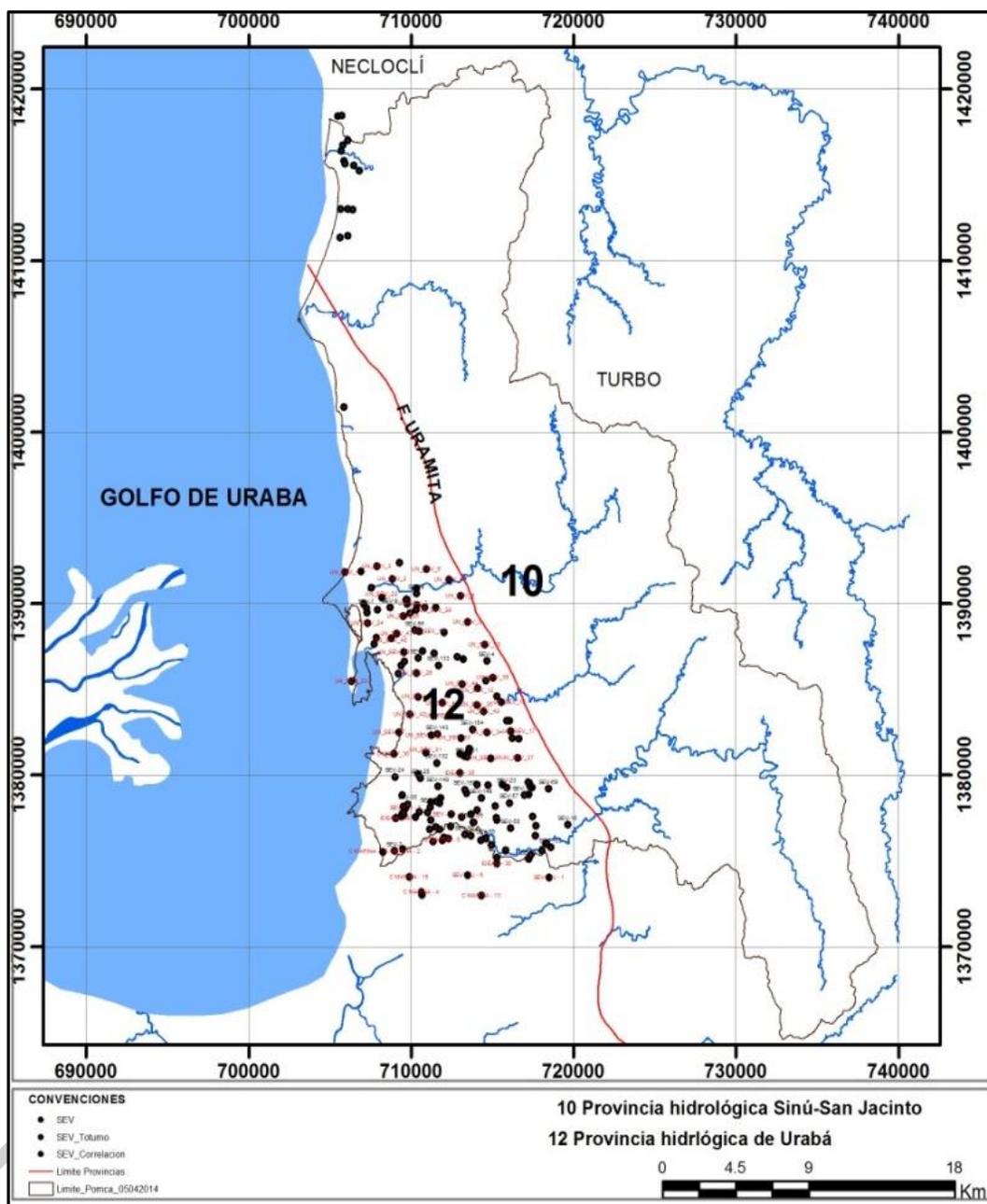


Figura 8. Ubicación de los Sondeos Eléctricos Verticales-SEV realizados en la Cuenca Río Turbo-Currulao.

Fuente: CORPOURABA, 2017.

Con todos los valores procesados se establecen relaciones entre los diferentes puntos de observación mediante la elaboración de Perfiles Geoeléctricos, para poder así analizar la variación de la resistividad del subsuelo con la profundidad.



En la Tabla 1, y en las Figura 9, Figura 10, Figura 11 y Figura 12, se dan los resultados del modelamiento matemático, interpretación y correlación de las curvas de los SEV'S realizados en el área (Cossio, 1995).

De acuerdo a la forma de las curvas de los SEV'S y a los rangos de valor de resistividad aparente (RA) es posible reconocer diferentes tipos de curvas y dividir las curvas en grupos, los cuales a su vez representan condiciones diferentes. Las curvas de los SEV'S muestran rangos de RA con valores que van de 1 a 100 Ohmm y se tienen variaciones según las cuales se han obtenido tres tipos de curva.

Tabla 1. Sondeos Eléctricos Verticales y tipos de curvas.

SEV	TIPO DE CURVA	SEV	TIPO DE CURVA	SEV	TIPO DE CURVA
1	1	25	2	133	
2	2	26	2	143	2
4	3	40	1	147	1
6	2	41	1	148	1
8	1	55	2	149	2
9	1	56	2	150	2
10	4	57	1	153	1
23	1	69	1	154	1
24	2	131			
		132			

Fuente: (Cossio, 1995).

3.3.6.1 Curva Tipo 1

El primer tipo de curva se caracteriza por tener un mínimo de resistividad aparente con valores cercanos a los 5 Ohmm en medio de pendientes relativamente suaves con un cambio negativo de pendiente hacia mayor profundidad (Figura 9).

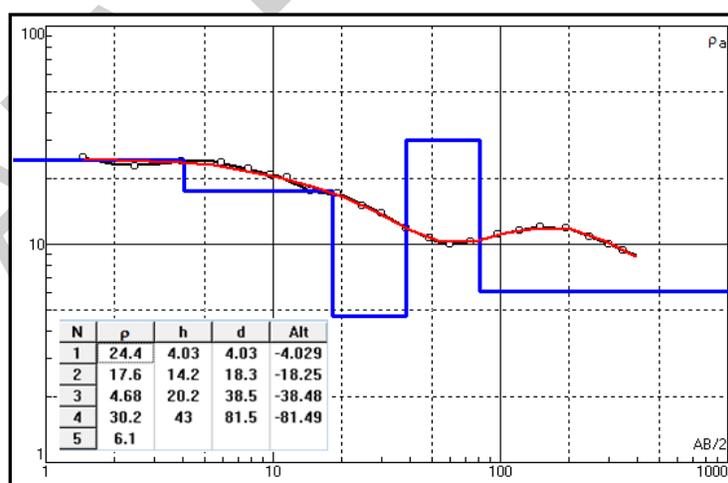


Figura 9. Curva tipo 1 para los SEV'S realizados en la Cuenca Hidrogeológica de Urabá.
Fuente: Reprocesado de (Cossio, 1995).



3.3.6.2 Curva Tipo 2

El segundo tipo de curva se diferencia del primero en que el mínimo de RA llega hasta valores menores, notoriamente bajos con pendientes más inclinadas (Figura 10).

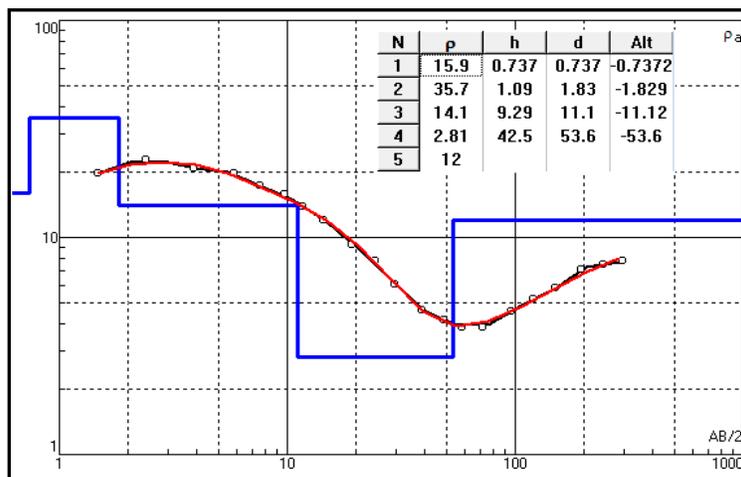


Figura 10. Curva tipo 2 para los SEV'S realizados en la Cuenca Hidrogeológica de Urabá.
Fuente: Reprocesado de (Cossio, 1995).

3.3.6.3 Curva Tipo 3

El tercer tipo de curva es similar al primero, sin embargo, se caracteriza por tener un rango restringido de RA y termina con una leve pendiente positiva (Figura 11).

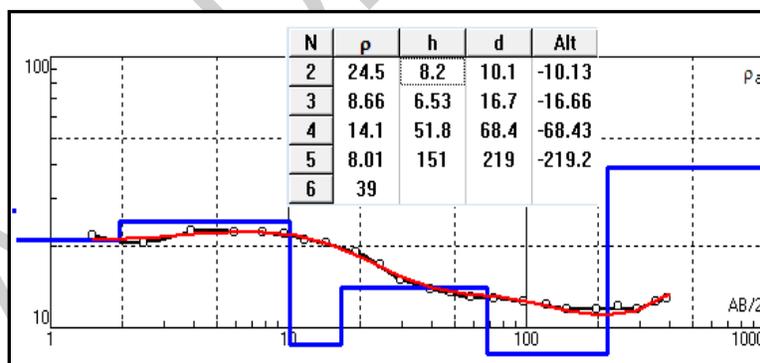


Figura 11. Curva tipo 3 para los SEV'S realizados en la Cuenca Hidrogeológica de Urabá.
Fuente: Reprocesado de (Cossio, 1995).

3.3.6.4 Curva Tipo 4

El cuarto tipo de curva también se asemeja al primero, pero en este caso, sus valores de RA de la curva son mayores (Figura 12).

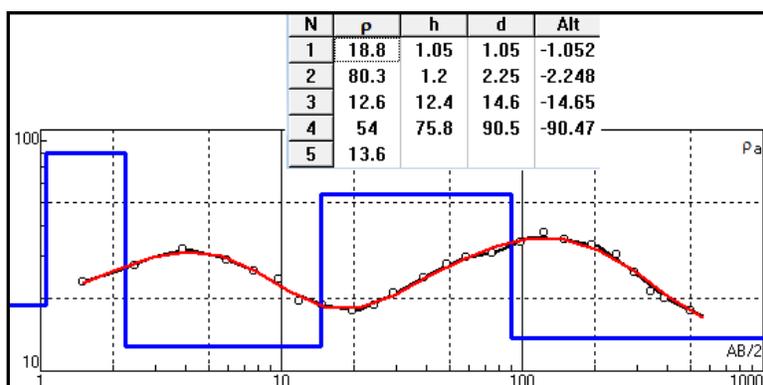


Figura 12. Curva tipo 4 para los SEV'S realizados en la Cuenca Hidrogeológica de Urabá
Fuente: Reprocesado de (Cossio, 1995).

Partiendo de la interpretación matemática, las capas geoelectricas de los SEV'S representativos de cada tipo de curva se correlacionan hidrogeológicamente teniendo en cuenta no solamente rangos generales de resistividad sino también, información de la cuenca a saber:

1. Rasgos geológicos conocidos, delimitación de las unidades litológicas presentes en la cuenca.
2. Rangos de resistividad obtenidos en otros estudios del área, los cuales correlacionan diversas litologías y calidades de agua con la resistividad.

Los resultados de la interpretación de las curvas y su correspondiente correlación hidrogeológica se plasman en la Figura 13 y la Tabla 2.

3.3.6.5 Perfil Geoelectrico A-A' Turbo

El perfil geoelectrico se elaboró a partir de los centros de medición de los SEV'S UN_SEV_30, UN_SEV_31, IDEAM_35, IDEAM_38 y SEV_TJ_2, 149, en sentido W-E, con el objeto de visualizar y esquematizar la distribución vertical y la variación lateral de 5 zonas de resistividad con sus caracterizaciones geoelectricas, interpretadas y asociadas a las unidades arenosas y arcillosas de la Formación Arenas Monas (Figura 13). Unidades hidrogeológicas de distribución regional en la Provincia Hidrogeológica Urabá (12), entre otros, al noroeste del departamento de Antioquia.



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

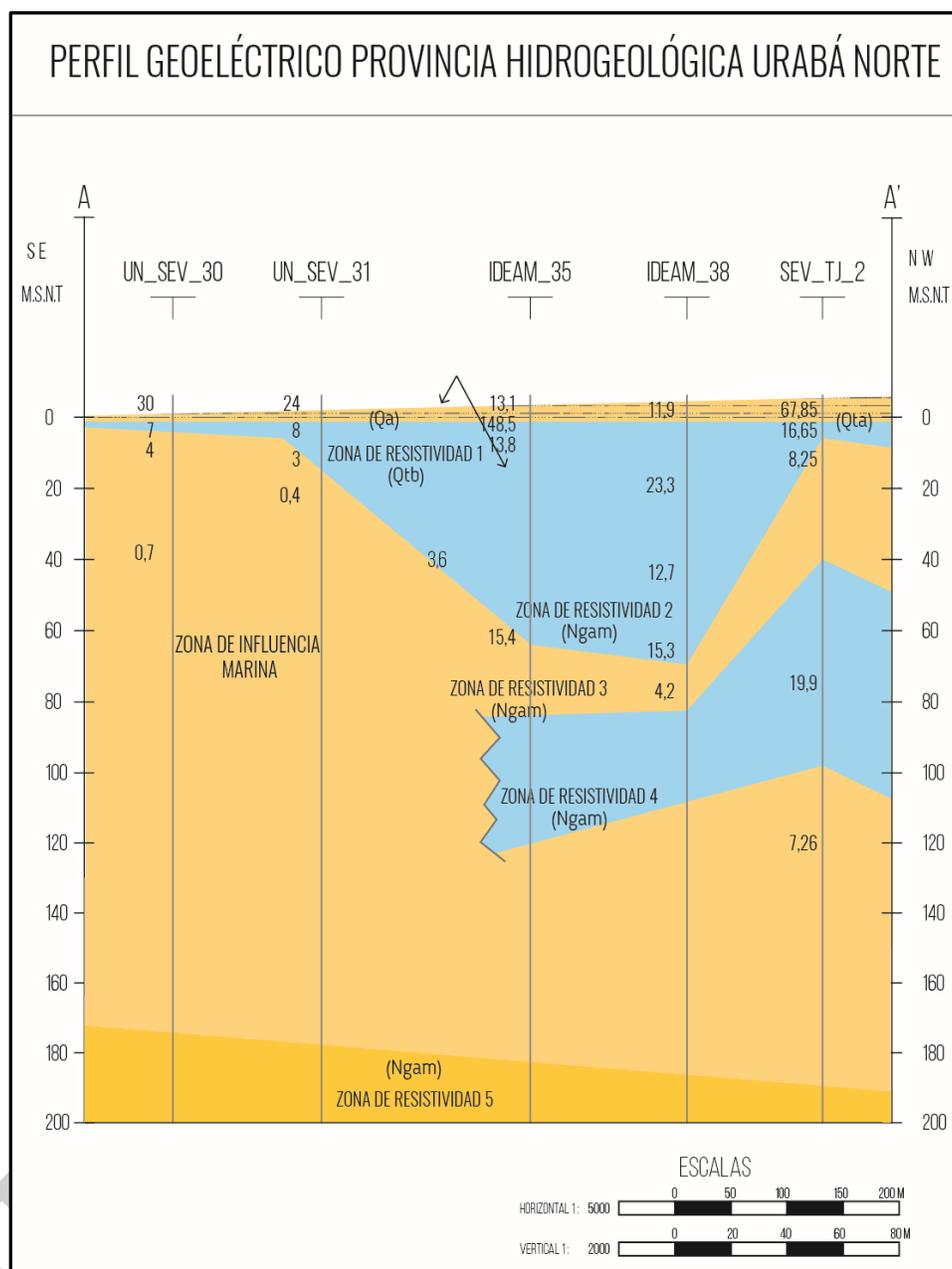


Figura 13. Perfil Geoeléctrico del centro de la Cuenca Río Turbo-Currulao, en donde se evidencia la transición con la zona de influencia marina mostrado por los bajos valores de resistividad.

Fuente: Elaboración propia con datos de resistividad suministrados por CORPOURABA.



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

Tabla 2. Correlación de Unidades Geoeléctricas y sus principales características.

UNIDAD	RESISTIVIDAD Ohmm	PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	UBICACIÓN
Unidad superficial arcillosa (Qa)	7 - 28	20		Microcuenca de los ríos Currulao, Guadualito y Turbo en sus respectivas áreas de salida hacia la llanura aluvial. Los espesores van disminuyendo a medida que el curso de los ríos avanza hacia el Golfo.
Unidad Acuífera Superior o Sedimentos Acuíferos del Cuaternario (Qtb)			> 15	Al norte en las poblaciones de Turbo y Guadualito.
		10	Entre 5 y 15	Hacia el sector del golfo propiamente dicho, así como en cercanía a la zona montañosa en forma paralela al contacto entre los sedimentos de Cuaternario y las rocas del Neógeno.
	4		< 5	Sector noroccidental del área, lo cual muestra la influencia extendida de agua salada, interpretada como la zona intruida posiblemente por la cuña marina. Esta zona se encuentra entre la línea de costa y la localidad de Puerto César.
Unidad intermedia arcillosa no acuíferas	1 - 15	30		Turbo y Guadualito
Unidad inferior niveles de arena y/o grava saturadas, confinada por la anterior (Ngam, Ngps)	13 - 45	100		En la zona central
	Entre 16 y 48		Entre 40 y 100 > 100	En el oriente. Indica la existencia de materiales con buena probabilidad acuífera. Se encuentran al oeste de Currulao y oriente de Turbo, distribuido de manera irregular. En una dirección aproximada NW-SE, desde Turbo hacia Apartado, paralela a la Falla de Uramita.
Basamento geoeléctrico capa arcillosa e impermeable (Ngpi)	5 - 12	200	< 40	A la profundidad de 200 m con respecto al terreno, las posibilidades acuíferas son más bajas que en los casos anteriores. No es claro la influencia marina hacia el sector que circunda el golfo de Urabá, ya que los valores de resistividad bajos no siempre indican presencia de agua marina, estos valores pueden indicar la presencia de una capa arcillosa.

Fuente: Elaboración propia con datos de (Cossio, 1995).

3.3.7 Inventario de puntos de agua subterránea



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

Un punto de agua subterránea es un lugar u obra civil que permite el acceso al agua subterránea, incluyendo pozos, aljibes, surgencias naturales o manantiales que corresponden a descargas del acuífero; y lagos o lagunas cuando son salidas o afloramientos de acuíferos someros.

En el inventario se integra información de la ubicación geográfica de los puntos (Figura 14) (coordenadas y cota), profundidad del nivel estático, caudal de producción, tiempo de bombeo, características constructivas de pozos o aljibes (profundidad, diámetro, diseño de construcción en el caso de pozos, columna litológica), parámetros físico químicos in situ (conductividad eléctrica, pH y temperatura); datos del predio y propietario, uso del agua, capacidad instalada (potencia de la bomba), entre otros. (Ver Tabla 3).



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

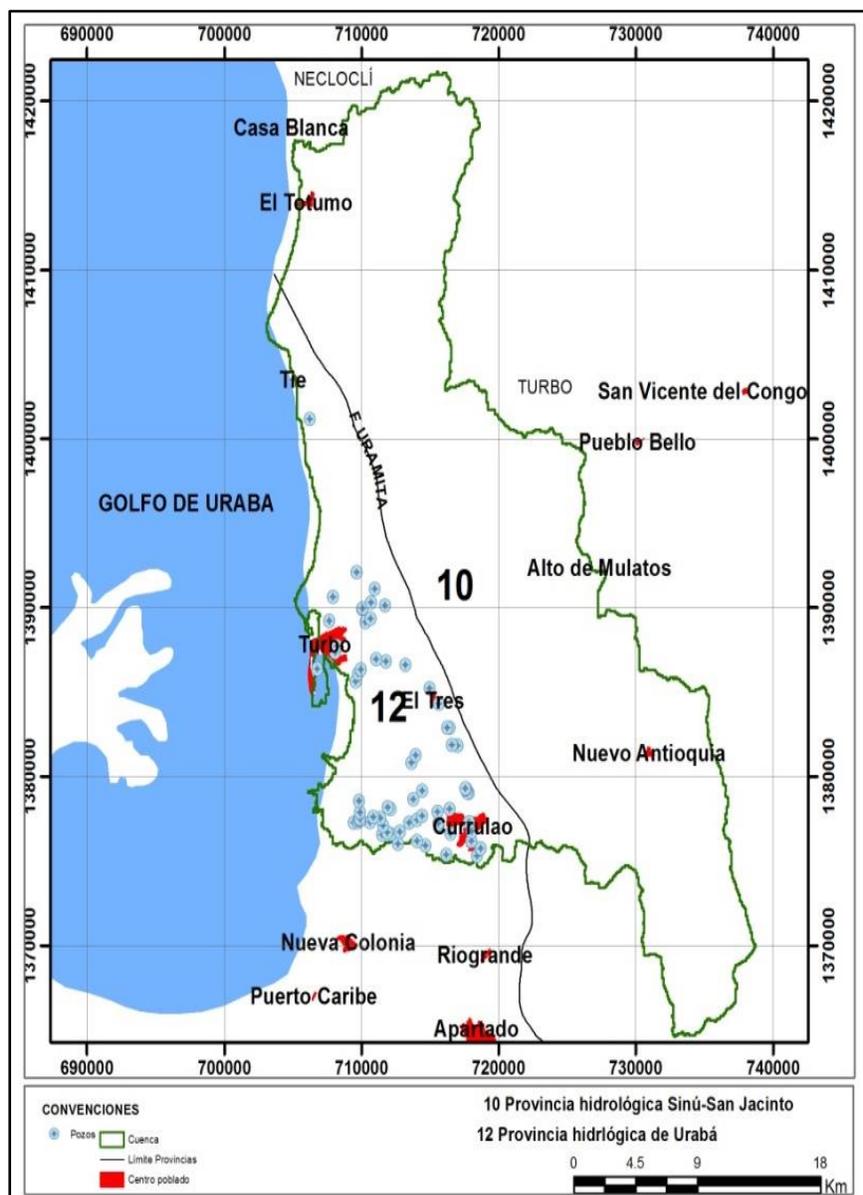


Figura 14. Localización de los pozos profundos presentes en la Cuenca Río Turbo-Currulao.
Fuente: (CORPOURABA, Inventario de pozos profundos en el área de la jurisdicción, 2015).

A través de los inventarios se puede evidenciar:

1. Distribución de la capacidad específica (caudales aprovechados por metro de abatimiento o descenso del nivel).
2. Diagnóstico sanitario de las captaciones de agua, en el cual se evalúan los aspectos constructivos de la captación en superficie y la existencia de fuentes potenciales de contaminación en los alrededores de la misma.



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

Tabla 3. Inventario de puntos de agua presentes en la cuenca (datos tomados de CORPOURABA, 2016).

TIP O	CÓDIG O	NOMBRE LUGAR	X	Y	VEREDA	USO	RÉGIME N (l/s)	AÑO CONS T	PRO F. (m)	D (")	MATERI AL REVEST.	ESTADO	CAUDA L EXP.	NIVE L AGUA
A	0603	Pradomar	104810 0	137425 0		Riego	0.000	2005	0			Cancelado		
P	0495	Madrigal	104515 0	137531 0		Sin uso	0.000	0	0	6		Abandonad o		
P	0240	Finca La Ceja	104452 0	137557 0		Agrícola	0.000	0	0	6	PVC	Activo		- 10.80
P	0328	Acueducto Currulao Pozo 2	104849 0	137560 0		Inactivo	0.000	1980	160	12	Acero al carbón	Inactivo		- 24.20
P	0238	Finca Juanca	104200 0	137594 0		Agrícola	0.000	0	80	8	Acero al carbón	Activo		-4.59
P	0493	Finca Rocalina	104261 0	137595 0		Sin uso	0.000	0	80	4	PVC	Abandonad o		
P	0294	Finca Villa Argelia	104328 0	137610 0		Agrícola	0.000	1997	98	6	PVC	Inactivo		-14.5
P	0327	Acueducto Currulao Pozo 1	104853 0	137618 0		Abastecimiento	0.000	1990	86	12	Acero al carbón	Activo	24 l/s	- 42.90
P	0494	Finca La Rochela	104032 0	137676 0		No se conoce	0.000	0	80	6		No se conoce		
P	PzC10	Finca Las Cuñadas	104039 0	137677 6		Monitoreo	0.000	2007	91	6	PVC			
P	0298	Finca Viviana María (Finca Carolina)	104029 0	137681 6		Sin uso	0.000	0	0	4	PVC	Abandonad o		-17.5
P	0594	Finca Las Cuñadas Pozo 2	104035 5	137685 3		Agrícola	0.000	0	0			Activo		
P	0631	Bernardo Castañeda (porqueris a)	104826 6	137843 0		Pecuario	0.000	0	0			Inactivo		
P	0261	Matadero Regional-	104816 2	137847 3		Inactivo	0.000	1987	45	4	PVC	Inactivo		-3.00



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

TIP O	CÓDIG O	NOMBRE LUGAR	X	Y	VEREDA	USO	RÉGIME N (l/s)	AÑO CONS T	PRO F. (m)	D (")	MATERI AL REVEST.	ESTADO	CAUDA L EXP.	NIVE L AGUA
P	0260	Convenio FLA o fabrica del alcohol Matadero Regional Emaru Pozo 2 (Frigourab a)	104807 6	137864 5	Currulao	Sin uso	0.000	1987	120	8	PVC	Abandonad o		-8.28
P	0693	Matadero Regional Emaru Pozo 3 (Frigourab a)	104803 5	137870 2		Industrial	0.000	2010	0					
P	0263	Acueducto Veredal Medellín	104438 0	138065 0		Abastecimiento	0.000	1988	80	4	PVC	Activo		+0.2 0
P	0326	Seminario Mayor	104741 8	138124 0		Doméstico	0.000	1992	40	4	PVC	Activo		- 11.30
P	0325	Sinaí	104742 0	138124 1		Doméstico	0.000	1980	38	4	PVC	Activo		-1.70
P	0681	Granja Veracruz	104701 7	138128 0	La Arenosa	Pecuario	0.000	0	85			Activo		
P	0231	Acueducto Veredal El Tres	104606 0	138372 0		Inactivo	0.000	1972	90		PVC	Inactivo		-7.45
P	0258	Finca María Yolanda	104536 0	138461 0		Inactivo	0.000	1999	117	4	PVC	Inactivo		-2.20
P	0418	Hacienda Casanova	104000 0	138500 0		No se conoce	0.000	1966	21	12	Acero al carbón	No se conoce		
P	0242	Hacienda La Florida	104359 0	138599 0		Inactivo	0.000	0	85	4	PVC	Inactivo		+0.5 0
P	0521	Finca El Molino	104219 0	138620 0		No se conoce	0.000	0	0			No se conoce		



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

TIP O	CÓDIG O	NOMBRE LUGAR	X	Y	VEREDA	USO	RÉGIME N (l/s)	AÑO CONS T	PRO F. (m)	D (")	MATERI AL REVEST.	ESTADO	CAUDA L EXP.	NIVE L AGUA
P	0520	Surtiabastos (Teatro Municipal)	1038480	1386700		Sin uso	0.000	0	80	6		Abandonado		
P	0692	Aguas de Urabá Pozo 1 (Turbo)	1040693	1388506		Abastecimiento	0.000	0	0					
P	0547	Escuela C.E	1040020	1391460		Sin uso	0.000	0	0			Abandonado		
P	PA-63	Piedrecitas Subestación de energía el Uno (EMP)	1038025	1388540	El Uno	Doméstico	1.000	0	0					
P	0241	Estación de Servicio La Manuela	1048326	1376725	Currulao	Industrial	0.000	2002	72	6	PVC	Activo	- 14.00	
A	PA-02	Finca Flor de Oro	1038313	1389978	600 metros ingrsando por la escuela el Uno	Agrícola	1.000	0	3	0.6	Concreto	Activo		
A	PA-19	Estación de servicio Las Garzas	1041470	1386301		Industrial	2.000	0	0					
A	0518	Servicentro Oriyana	1038626	1387065		Industrial	1.000	0	100	6		No se conoce		
A	PA-03	Finca Villa Tere	1036513	1400490	1 km después de Acuario	Agrícola	1.000	0	5	0.97	Anillos concretos	Activo		
P	0359	Finca La Toyosa	1046134	1374300		Agrícola	4.000	1992	126	6	PVC	Activo	- 16.50	
P	0582	Finca El Paraíso	1046080	1376647		Agrícola	0.000	0	0	6	PVC	Activo		



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

TIP O	CÓDIG O	NOMBRE LUGAR	X	Y	VEREDA	USO	RÉGIME N (l/s)	AÑO CONS T	PRO F. (m)	D (")	MATERI AL REVEST. PVC	ESTADO	CAUDA L EXP.	NIVE L AGUA -0.70
P	0350	EADE- Subestació n El Tres	104684 0	138228 0		Industrial	0.400	1996	80	4	PVC	Activo		
A	PA-61	Pozo Subestació n de Energía Urabá (El Tres)	104668 8	138229 7		Doméstico	0.400	0	0					
P	0646	Finca Oro Verde - Agroferrar a	104108 2	138965 9	Dos	Pecuario	7.000	0	90			Activo		
P	0519	Astillero Casanova	104017 0	138545 0	Casanov a	Industrial	2.000	0	120	6		Activo		
P	0297	Finca Villa Sonia	104110 0	137665 0	Comunal San Jorge	Agrícola/domest ico	0.000	0	90		PVC	Activo		-6.90
P	0287	Finca La Tagua	104206 0	137647 0		Agrícola	4.000	0	0	8	Acero al carbón	Activo		-
P	0213	Finca San Rafael	104393 0	137665 0		Sin uso	0.000	0	0	6	PVC	Inactivo		21.50 -5.40
P	0237	Finca El Paraíso (Gualanda y-Turbo)	104601 0	137730 0	Currulao	Agrícola/domest ico	0.000	2002	85	6	PVC	Activo		-4.76
P	0269	Finca Cantares	104315 8	137538 7		Agrícola	2.000	0	85	4	PVC	Activo		
P	0293	Finca Venturosa	104257 0	137747 0	San Jorge	Agrícola	8.000	0	130	4	PVC	Activo		-3.75
P	0365	Finca Monterrey II	104689 0	137750 0	El Tres	Agrícola/domest ico	6.650	0	90	10	Acero al carbón	Activo		-6.50
P	0272	Finca Oro Verde	104135 0	137695 8	San Jorge	Agrícola	2.000	1990	110	4	PVC	Activo		-2.80



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

TIP O	CÓDIG O	NOMBRE LUGAR	X	Y	VEREDA	USO	RÉGIME N (l/s)	AÑO CONS T	PRO F. (m)	D (")	MATERI AL REVEST.	ESTADO	CAUDA L EXP.	NIVE L AGUA
P	0449	Finca Renacer pozo 1	1049149	1375153	Currulao Tres	Sin uso	0.000	0	0			Abandonado		
P	0225	Finca Chambacú ahora El Paraíso Turbo	1046100	1376490	Currulao	Agrícola	24.000	0	95	4	PVC	Activo		-2.04
P	0437	Finca La Frontera	1046952	1376042		Agrícola	2.000	2002	98	6	PVC	Activo		
P	0295	Finca Villa Clemencia	1041846	1376919	comunal La Suerte	Agrícola	2.000	0	110	6	PVC	Activo		-4.36
P	0606	Finca Las Cuñadas Pozo 1	1040350	1377250	San Jorge	Agrícola/domestico	10.000	2004	105	6	PVC RDE 21	Activo		
P	0366	Finca Agripina	1046655	1374761	La Suerte	Agrícola	2.000	1988	933	8	PVC	Activo	3.25 l/s	
P	0355	Finca Katia	1042380	1377560	San Jorge	Agrícola	2.000	1995	110	8	PVC	Activo	3.2 l/s	-2.59
P	0222	Finca Cafetal	1048900	1374730	Palos Blancos	Agrícola	3.000	0	0	10	PVC	Activo		-40.0
P	0636	Finca Panorama	1040280	1377906	San Jorge	Agrícola	2.000	2007	84	6	PVC	Activo		
P	0217	Finca Banalinda	1042360	1376070	San Jorge	Agrícola	6.000	0	110	6	PVC	Activo		-5.40
P	0629	Compl. Tecnológico, Agroind. Pecuario y turístico (SENA)	1040353	1385704	Casanova	Doméstico	2.000	2007	130	6	PVC	Activo		
P	0698	Finca Samarkanda pozo 2	1039926	1376607		Industrial	2.650	0	106					



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

TIP O	CÓDIG O	NOMBRE LUGAR	X	Y	VEREDA	USO	RÉGIME N (l/s)	AÑO CONS T	PRO F. (m)	D (")	MATERI AL REVEST.	ESTADO	CAUDA L EXP.	NIVE L AGUA
P	0228	Finca Durazno pozo 1	1044520	1376840	San Jorge	Agrícola	2.000	0	90	8	PVC	Activo		-9.86
P	0471	Finca Durazno pozo 2	1044880	1377080		Sin uso	2.000	1992	180	6	Acero al carbón	Activo		
P	0285	Finca San Andrés	1042880	1375470		Agroindustrial	1.500	0	72	4	PVC	Activo	1.02	-2.00
P	0259	Matadero Regional Emaru Pozo 1 (Frigouraba)	1048088	1378679	Aguas Dulces (Currulao)	Industrial	0.000	2001	48	4	PVC RDE 21	Sellado	2.79 l/s	
P	0267	Finca Monterrey III	1044090	1380220	El Tres	Agrícola/domestico	1.000	1999	144	8	PVC	Activo	46.91 l/	-3.00
P	0354	Finca Samarkanda Pozo 1	1040220	1376660	San Jorge	Sin uso	0.000	1992	120	6	PVC	Abandonado		+0.35
P	0466	Finca Guanabana	1042210	1375210		Sin uso	0.000	1992	180	6	Acero al carbón	Abandonado		
P	0265	Finca Monterrey I	1044890	1378560	El Tres	Agrícola/domestico	3.000	2002	150	10	PVC	Activo		-9.20
P	0682	Aguas de Urabá Turbo pozo 2 (predio El Roble)	1040484	1389310		Abastecimiento	16.000	2009	217	6		Activo		
P	0556	Acueducto Multiveredal La Pola	1044230	1378030	La Pola	Abastecimiento	16.000	2005	190	8	Acero al carbón	Activo		
P	0517	Aguas de Urabá	1040423	1389298		Abastecimiento	0.000	0	200		Acero al carbón	Inactivo		



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

TIP O	CÓDIG O	NOMBRE LUGAR	X	Y	VEREDA	USO	RÉGIME N (l/s)	AÑO CONS T	PRO F. (m)	D (")	MATERI AL REVEST.	ESTADO	CAUDA L EXP.	NIVE L AGUA
P	0491	E.S.P pozo 1 (Turbo) Finca Renacer	104915 8	137517 8		Riego	16.000	2005	123	10	PVC	Activo		
P	0734	Pozo 2 Aguas de Urabá Turbo Pozo3	104103 6	138871 2		Abastecimiento	16.000	0	222					

Fuente: Elaboración propia.



Del listado (CORPOURABA, Inventario de pozos profundos en el área de la jurisdicción, 2015) del inventario de los pozos dentro de la Cuenca Río Turbo-Currulao, se tiene un total de 73 pozos, con profundidades que van desde los 20 metros hasta 224 metros (Ver Figura 15), con diámetros de 4" a 12" y caudales desde 1 lt/seg a 26 lt/seg (Ver Figura 16) (CORPOURABA, 2015).

El revestimiento lo conforman: tubos ciegos, filtros y punta de lápiz (tapón), el material predominante es PVC, algunos revestidos en acero al carbón, especialmente los de mayor diámetro y profundidad.

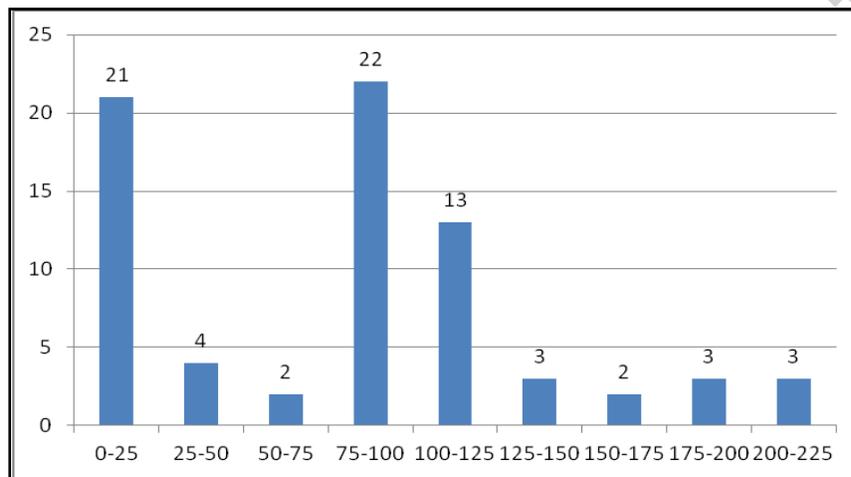


Figura 15. Rangos de profundidades para los pozos presentes en la Cuenca Río Turbo-Currulao.
Fuente: (CORPOURABA, Inventario de puntos de agua, 2016).

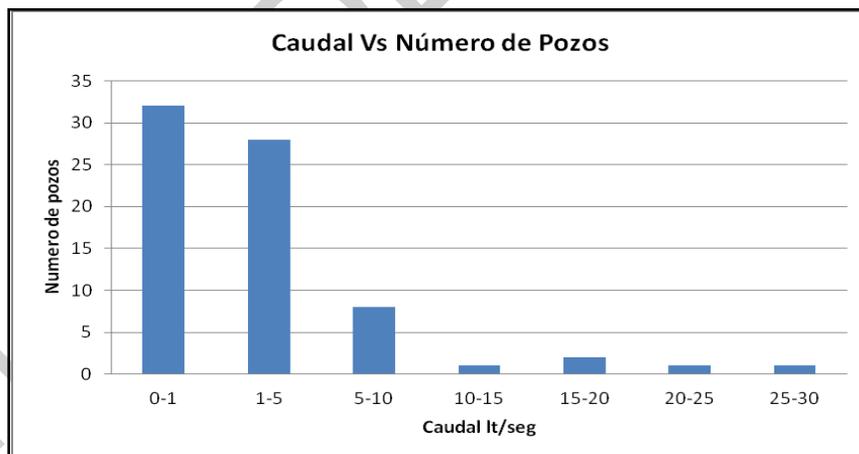


Figura 16. Rangos de caudales para los pozos presentes en la Cuenca Río Turbo-Currulao.
Fuente: (CORPOURABA, Inventario de puntos de agua, 2016).

3.3.8 Clasificación hidrogeológica

La clasificación hidrogeológica de las diferentes unidades hidrogeológicas se hizo con base en los siguientes aspectos:



1. Características geológicas (litología, aspectos estructurales, geomorfología, espesores, etc.) de las diferentes formaciones presentes en la cuenca.
2. Características geofísicas de las rocas (valores de resistividad eléctrica).
3. Distribución espacial de las rocas tanto en superficie como en profundidad.
4. Calidad del agua subterránea.

Las geoformas de mayor interés hidrogeológico lo constituyen las llanuras aluviales, terrazas, abanicos y las llanuras costeras.

3.3.8.1 Características geológicas de las diferentes formaciones presentes en la cuenca.

De acuerdo con Ospitía, Londoño, & Suárez (2004) en el área afloran rocas sedimentarias marinas del Mioceno y Pleistoceno (Neógeno), especialmente arcillositas y areniscas denominadas formaciones Pavo Inferior, Pavo Superior, Arenas Monas y depósitos aluviales de edad cuaternarias.

De acuerdo con Restrepo & Pérez (1982), citado por Garzón Varón, F. "la baja velocidad de las líneas sísmicas puede indicar que las rocas sedimentarias de la cuenca de Urabá presentan baja compactación, porosidades altas y densidades bajas" (2012, pág. 23). Para la profundidad del basamento se encontró que los menores valores se registran hacia la serranía de Abibe, mientras los sectores con mayor profundidad se encuentran en el norte, entre los ríos Turbo y Currulao (ECOPETROL, 1982).

3.3.8.1.1 Rocas porosas y sedimentos inconsolidados con importancia hidrogeológica

Las granulometrías medias (arenas) y, particularmente, las gruesas (gravas) son lo suficientemente porosas para almacenar el agua y con la permeabilidad necesaria para permitir que el agua fluya a través de ellas en cantidades económicamente importantes y de calidad deseable para su aprovechamiento, por lo cual se consideran de mayor interés hidrogeológico (Figura 17).

3.3.8.1.1.1 Depósitos de llanura Aluvial Qal

Acuíferos libres de extensión variable, constituidos por intercalaciones de arcillas de color café, arcilla plástica con poco contenido de arena y arenas finas a gruesas; ocasionalmente puede presentar gravas. Presenta espesores que varían entre 5 y 45 m.

El agua es dulce a moderadamente dulce, blanda a muy dura presenta valores altos en color (hasta 100 Unid. Pt-Co), turbiedad (hasta 55 N.T.U.) y hierro (hasta 4 ppm). Geoquímicamente se clasifica como $\text{HCO}_3\text{-NaCaMg}$, $\text{HCO}_3\text{-CaMgNa}$, $\text{HCO}_3\text{-MgNaCO}_3$, $\text{HCO}_3\text{-Na}$, $\text{HCO}_3\text{-Ca}$, $\text{HCO}_3\text{-Mg}$ o $\text{ClHCO}_3\text{-Na}$ (Cossio, 1995). Se considera de importancia hidrogeológica relativa moderada.



3.3.8.1.1.2 Unidad Ngam Arenas Monas

Es la unidad hidrogeológica de mayor importancia en la cuenca. Constituyen acuíferos libres, semiconfinados y confinados, de extensión regional. Están compuestos por intercalaciones de arcillolitas, areniscas y areniscas conglomeráticas, conglomerados y lodolitas. La conductividad hidráulica promedio para la unidad varían entre 3 y 19 m/día. El caudal de explotación fluctúa entre 0.3 y 47 l/s. De gran importancia hidrogeológica relativa. Su espesor varía entre 20 y 190 m (Cossio, 1995).

Estos acuíferos contienen aguas dulces a débilmente dulces, blandas a muy duras (60-180 ppm) CaCO_3 , con altos valores de color (hasta 55 N.T.U), turbiedad (hasta 60 unid. pt-Co) y $\text{HCO}_3\text{-NaCaMg}$, $\text{HCO}_3\text{-CaMgNa}$, $\text{HCO}_3\text{-Na}$, $\text{HCO}_3\text{-Ca}$, $\text{HCO}_3\text{-Mg}$ o $\text{ClHCO}_3\text{-Na}$ (Cossio, 1995).

Las areniscas y las arenitas conglomeráticas de la Unidad Arenas Monas son las que mejor características geológicas presentan para almacenar el agua y con la permeabilidad necesaria para permitir que el agua fluya a través de ellas en cantidades económicamente importantes y de calidad deseable para su aprovechamiento, por lo cual se consideran de mayor interés hidrogeológico: grano medio a grueso, subredondeados a subangulares; con un 5-10% de matriz arcillosa, friables o cementadas; porosidad intergranular moderada a alta 8-15%; permeabilidad pobre a nula, se disponen en capas gruesas a muy gruesas (INGEOMINAS - GEOTEC LTDA, 2003).

3.3.8.1.2 Rocas porosas y sedimentos inconsolidados con poca importancia hidrogeológica relativa muy pequeña o nula

La granulometría fina (arcillas y limos) se caracteriza por tener baja permeabilidad y porosidad efectiva, aunque presenta alta porosidad total. En esta litología el volumen total de agua almacenada es elevado, pero el volumen extraíble es escaso. Las velocidades de flujo son muy bajas y existe tendencia hacia el aumento de la salinidad del agua. La formación que presenta estas características geológicas es la Formación Pavo Superior, esta unidad presenta una serie de lodolitas de color gris, masivas, intercaladas con capas delgadas de areniscas de grano fino a muy fino.

3.3.8.1.2.1 Unidad Ngp Secuencia de Pavo

Conformado por espesos paquetes de lodolitas de color gris, con delgadas intercalaciones de areniscas con matriz arcillosa, y areniscas conglomeráticas. 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.

En general, la Unidad Pavo está constituida por capas gruesas a muy gruesas de arenitas líticas a sublíticas gris azulosas a gris medio, interestratificadas con capas delgadas a medianas de lutitas gris verdosas a pardas. Las arenitas son de grano mediano predominante, también fino y grueso, ocasionalmente con guijos, subredondeados a subangulares, de selección moderada, cemento calcáreo (5-10%) o matriz arcillosa (5-10%), porosidad intergranular baja a moderada (2-10%), permeabilidad baja, compactación alta. Compuestas por cuarzo 40%; chert negro = 5-20%; fragmentos de



lutitas y rocas volcánicas = 10%; carbón = 2-4%; restos vegetales (1%); escasos granos de asfaltos (1% o menos); esporádicamente, concreciones calcáreas (1%) (INGEOMINAS - GEOTEC LTDA, 2003).

Localmente, las arenitas aumentan considerablemente de tamaño de grano y conforman lentejones de conglomerados arenosos de guijos, y se observan los mismos componentes de las arenitas ya descritas, además de fragmentos de ostreidos. Las arcillolitas esporádicamente muestran restos de plantas, concreciones ferruginosas e intercalaciones de láminas a capas delgadas de arenitas arcillosas fino granulares. Localmente en la parte superior de esta subunidad se presentan algunas capas delgadas de turba (INGEOMINAS - GEOTEC LTDA, 2003).

3.3.8.1.2.2 Unidades Cuaternarias Tabular (Qta)

Conformada por gravas dentro de una matriz arenosa - arcillosa, limos, arcillas y arenas conglomeráticas de poca extensión y espesor.

3.3.8.1.2.3 Intrusión marina

A partir de la interpretación de los SEV cercanos a la costa, la descripción de los diferentes perfiles geológicos, y valores de concentraciones del ion cloruro (Cl⁻) en el agua subterránea de pozos muestreados, se demarcó la línea de avance de la intrusión marina en la zona de estudio. Su detección, se estableció por los valores de resistividad eléctrica en el rango de 0 – 1 Ω .m (Ohmio.metro), interpretado como estratos de sedimentos cuaternarios con agua salada (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).

3.3.8.2 Características geofísicas de las rocas (valores de resistividad eléctrica)

De acuerdo a la distribución de la resistividad eléctrica del subsuelo bajo los centros de medición de los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV'S), realizados en la Cuenca Río Turbo-Currulao, las curvas muestran rangos de RA con valores que van de 1 a 100 Ohmm, con variaciones que muestran cuatro tipos de curva.

Los SEV'S realizados dentro de la Provincia Hidrogeológica de Urabá (12) muestran la existencia de acuíferos en la misma Para satisfacer las necesidades de abastecimiento de agua subterránea mediante la opción de pozos profundos

Con la técnica geofísica del Sondeo Eléctrico Vertical (SEV), como método indirecto exploratorio, es factible determinar la profundidad de capas potencialmente acuíferas bajo el subsuelo, la litología y la calidad cualitativa del agua, pero hay que tener en cuenta sus limitaciones técnicas (Efecto Skin o sea que la corriente no penetra en el terreno y más bien fluye horizontalmente cuando los materiales del subsuelo son muy buenos conductores como las arcillas; modelos equivalentes, es decir, una curva de resistividad puede tener varios modelos matemáticos de capas geoelectricas y por ende soluciones y; supresión de capas delgadas con la profundidad (Esquivel, 2014).



Los valores de resistividad se correlacionan con la litología del subsuelo, determinado las características litológicas de los materiales del mismo (perfil geoelectrico Figura 13), se visualiza y esquematiza la distribución vertical y la variación lateral de 4 zonas de resistividad con sus caracterizaciones geoelectricas, interpretadas y asociadas a los conjuntos arenosos y arcillosos de la Formación Arenas Monas (Nagm), la cual está suprayacida por Terrazas y Aluviones Recientes (Qta), unidades hidrogeológicas de distribución regional en la Provincia Hidrogeológica de Urabá (12). En los diagramas analizados por (Cossio, 1995) se aprecian las siguientes unidades:

Una unidad superficial, hasta profundidades de más o menos 20 metros, permeable, algo arcillosa, con valores entre 7-28 Ohm.m.

Una unidad intermedia (principalmente arcillosa e impermeable) e infrayace a la anterior, con valores entre 1-15 Ohm.m.

Una unidad inferior (arenas y/o gravas saturadas), con resistividad relativamente mayores, confinadas por la anterior, con valores entre 13-45 Ohm.m.

El basamento geoelectrico que infrayace la unidad anterior con resistividades relativamente menores, corresponde a una capa arcillosa e impermeable, con valores de 5-12 Ohm.m.

Esta sucesión de capas de mayor y menor permeabilidad pierde su continuidad en la parte norte debido a la presencia posible de la cuña marina (Cossio, 1995).

3.3.8.3 Distribución espacial de las rocas tanto en superficie como en profundidad

Las rocas porosas y sedimentos inconsolidados con importancia hidrogeológica son (Figura 17), relacionados con el primer, tercero y cuarto, tipo de curva, resistividades altas (mayor a 20 Ohm, m.):

Depósitos de llanura aluvial (Qal): Acuíferos libre de extensión variable, constituido por intercalaciones de arcillas de color café, arcilla plástica con poco contenido de arena y arenas fina a gruesa; ocasionalmente puede presentar gravas.

Las unidades hidrogeológicas de importancia relativa grande o moderada, son las unidades Neogenas (Ngam), constituyen acuíferos libres, semiconfinados y confinados, de extensión regional. Están compuestos por intercalaciones de arcillolitas, areniscas y areniscas conglomeráticas, conglomerados y lodolitas.

Las rocas porosas y sedimentos inconsolidados con poca importancia hidrogeológica relativa muy pequeña o nula, relacionadas al segundo tipo de curva, resistividades menores (2-5 Ohm, m.):

Depósitos de terrazas aluviales (Qt), conformada por gravas dentro de una matriz arenosa - arcillosa, limos, arcillas y arenas conglomeráticas de poca extensión y espesor.

Unidades Neogenas (Ngp), conformadas por espesos paquetes de lodolitas de color gris, con delgadas intercalaciones de areniscas con matriz arcillosa, y areniscas



conglomeráticas. Areniscas de grano fino a medio en matriz arcillosa estratificadas con capas de lodolitas.

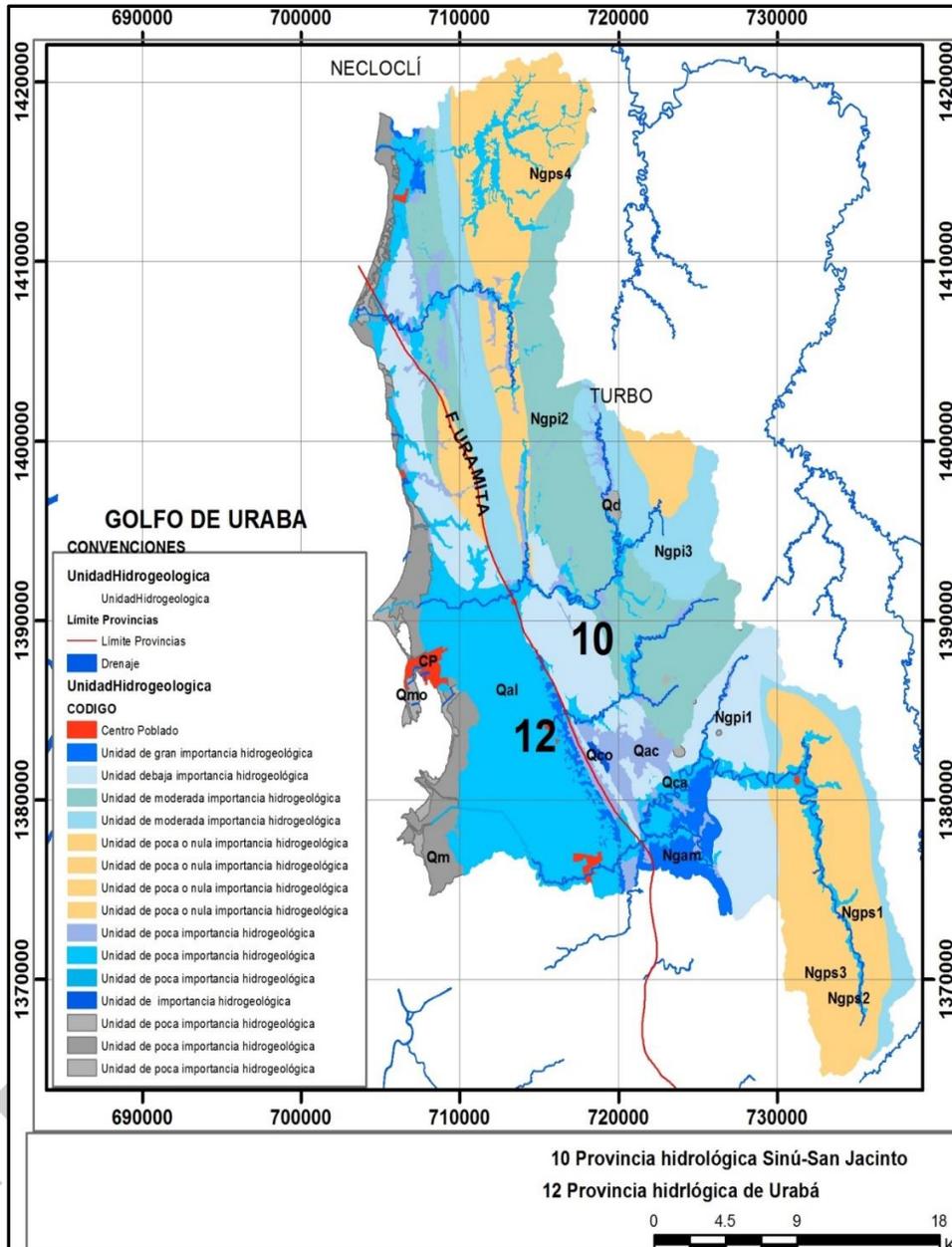


Figura 17. Unidades geológicas de interés hidrogeológico.
 Fuente: Elaboración propia a partir del análisis geológico escala 1:25000.

3.3.8.4 Red de flujo

Las características hidrogeológicas, ligadas esencialmente a las propiedades físicas de la roca almacén, determinan junto con la porosidad y el coeficiente de almacenamiento, el volumen de agua gravífica que puede ser liberado por los medios normales de captación, y con la permeabilidad o transmisibilidad, el caudal útil que se puede obtener. La



productividad de un manto acuífero es función, además de sus características geológicas, también de las hidrogeológicas y de los factores del flujo de aguas subterráneas.

Otro factor a tener en cuenta es el sistema de flujo regional, el cual se describe como aquél que su zona de recarga ocupa la divisoria subterránea y su zona de descarga se sitúa en la parte más baja de la cuenca. Estos sistemas de flujo tienen las vías de flujo más profundo y más largo (superior a 50 km), con sistemas intermedios que operan entre estos.

Los principales factores del flujo de las aguas subterráneas son el gradiente hidráulico, la velocidad real y el caudal unitario.

Para establecer el sistema de flujo de aguas subterráneas en la Cuenca Hidrográfica de Urabá (12) (Figura 18), se partió de los datos del inventario, priorizando aquellos pozos o aljibes, para los que se cumplan las siguientes condiciones:

1. Que se conozca el acuífero captado (ubicación de filtros, profundidad total).
2. Que cuenten con nivelación topográfica a cabeza de pozo, o a nivel del terreno que permita determinar la cota del agua subterránea (cota del terreno menos profundidad del nivel freático).
3. Que los pozos tengan una distribución espacial apropiada para poder correlacionar la información y construir líneas piezométricas.
4. Que se cuente con condiciones técnicas en campo para la toma de niveles.
5. Que sea posible obtener niveles estáticos (sin bombeo y sin interferencia de pozos cercanos en aprovechamiento).

De acuerdo a los diferentes sistemas de flujo del agua subterránea propuestos por Toth (1963), para la Cuenca Hidrográfica de Urabá (12) podemos tener las siguientes características:

Sistema de flujo local (L): son sistemas de flujo que tienen su área de recarga en un alto topográfico (Serranía de Abibe-Las Paloma) y el área de descarga en un bajo topográfico adyacente, es decir, el sistema de drenaje que conforma la cuenca.

Sistema de flujo intermedio (I): es el sistema de flujo en el que sus zonas de recarga y descarga, no son adyacentes, ni tampoco ocupan las elevaciones más altas y bajas de una cuenca; pero sí existe una separación entre sus zonas de recarga y descarga de uno a más altos y bajos topográficos.

Sistema de flujo regional (R): se considera sistema de flujo regional, aquél en el que su zona de recarga ocupa la divisoria subterránea y su zona de descarga se sitúa en la parte más baja de la cuenca. Estos sistemas tienen las vías de flujo más profundas y de mayor longitud (por lo general superior a 50 km), con sistemas intermedios que operan entre estos.



El flujo natural del agua subterránea de la Provincia Hidrogeológica de Urabá (12), se esquematiza mediante redes de flujo. En la Figura 18 se esboza el flujo subterráneo suponiendo el suelo homogéneo e isótropo. La forma de la superficie freática es la que gobierna toda la red.

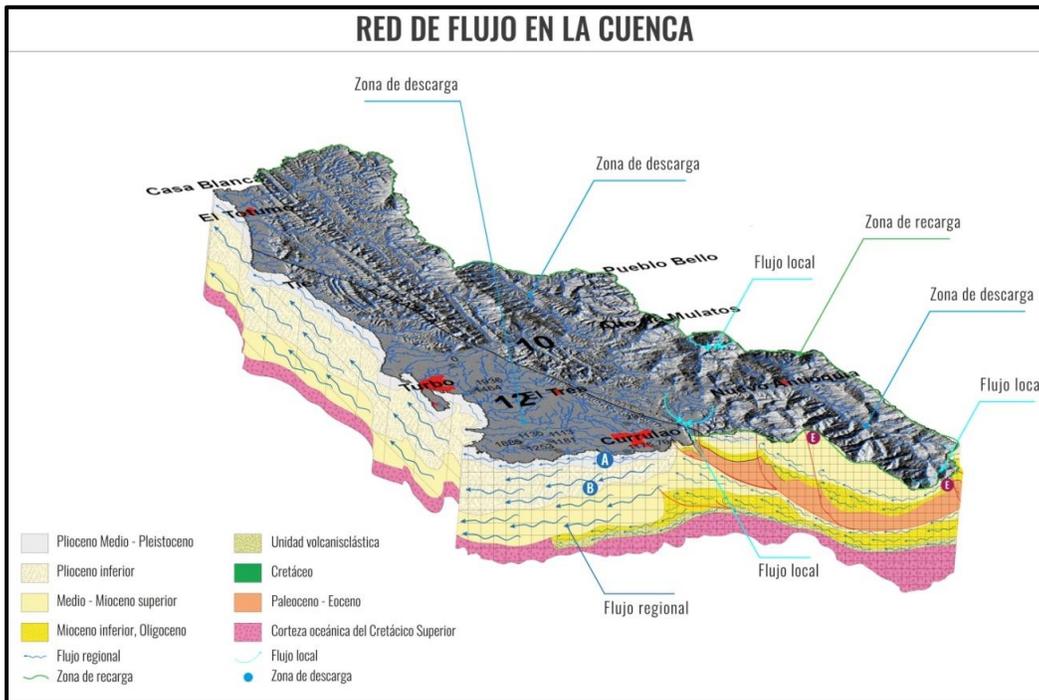


Figura 18. Red de flujo que esquematiza el flujo subterráneo natural en la Cuenca río Turbo-Currulao.

Fuente: Elaboración propia.

Dado que el área presenta una geología compleja, representaremos una simplificación de la realidad, veamos cómo afectan los cambios de conductividad hidráulica.

Áreas de recarga y de descarga: Las áreas de recarga (Serranía Abibe-Las Palomas) son aquellas en que el flujo subterráneo presenta una componente vertical descendente, y las áreas de descarga, ascendente (ríos). Aunque en este esquema tienen poca presencia, también existen áreas intermedias en las que el flujo es prácticamente horizontal.

Flujos locales y regionales: Los flujos locales normalmente están asociados a valles menores (Turbo, Currulao, etc) y los flujos regionales a los valles regionales.

En la misma vertical dos sondeos pueden encontrar aguas de calidad química muy distinta, como en los puntos marcados como A y B en la Figura 18. El agua en B procede de un flujo regional (mayor recorrido, tiempo de permanencia mucho mayor), por lo que será más salina y su composición química puede ser muy diferente.

Puntos de estancamiento: zonas de la red de flujo que no están sometidas a ningún gradiente, por lo que el agua no se moverá, como el marcado en la Figura 18 con la letra E.



La validación de los sistemas de flujo se hizo a partir de los datos de niveles (estático y dinámicos) de los pozos y los valores fisicoquímicos del agua subterránea. En la Cuenca Hidrográfica de Urabá (12), se modelaron 15 superficies piezométricas para los meses de marzo, agosto y noviembre, teniendo en cuenta los datos reportados en diferentes campañas de nivelación piezométrica; esta información procede de las bases de datos de CORPOURABA y corresponden a los años 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015 y 2016.

En general se puede observar dos redes de flujos para la cuenca: un flujo del agua desde la Serranía de Abibe-Las Palomas hacia el Golfo de Urabá siguiendo una tendencia este-oeste (ayudado por el sistema de fallas este-oeste) (Figura 18). También se ha identificado un flujo de aguas subterráneas siguiendo una alineación suroeste-noreste.

La tendencia de profundización de sur a norte, como de oriente a occidente de las isolíneas, permite deducir que la dirección de flujo de las aguas subterráneas es de sentido sur—norte como sentido este-oeste, es decir en dirección hacia el Golfo de Urabá.

3.3.8.5 Parámetros hidráulicos

En la determinación del caudal óptimo de explotación para los pozos ubicados dentro de la cuenca y de los parámetros hidráulicos del acuífero alrededor de los mismos, se tuvo en cuenta los datos obtenidos en las pruebas de bombeo a caudal constante con recuperación para el pozo 79-II-C-0015 (Amaya, 2007), perforado en el acuífero multicapa confinado de la Formación Arenas Monas de la Provincia Hidrogeológica de Urabá (12).

Para el Pozo 79-II-C-0015, ubicado en el predio El Roble, la prueba de bombeo, se realizó de forma continua e interrumpida por espacio de 36 horas, tomando registros de acuerdo a las normas establecidas. El caudal constante utilizado para esta prueba fue de 11.89 l/s, el nivel estático se detectó a una profundidad 1.6 m medido desde la boca del pozo, y durante tiempo de bombeo se descendió a 40 m (nivel dinámico), para un abatimiento de 38.4 m (Amaya, 2007). En la Tabla 4, se muestra los valores del abatimiento del Pozo 79-II-C-0015 y en la Figura 19 se muestra el gráfico del descenso durante la prueba de bombeo. Si el acuífero no recibe alimentación, el descenso continuaría y el cono aumentaría sin detenerse. En condiciones naturales, el cono de descenso puede tomar agua de un río, un lago o de otro acuífero. Si esto sucede, los descensos se estabilizan, alcanzándose el régimen permanente o de equilibrio.

Tabla 4. Caudales y abatimientos registrados durante la Prueba de Bombeo.

CAUDAL GPM	NIVEL DE BOMBEO (m)	
	Ajustado/Estimado	máx. prueba
140	-28.50	-27.75
162	-33.00	-32.38
180	-38.00	-37.09

Fuente: Amaya (2007).

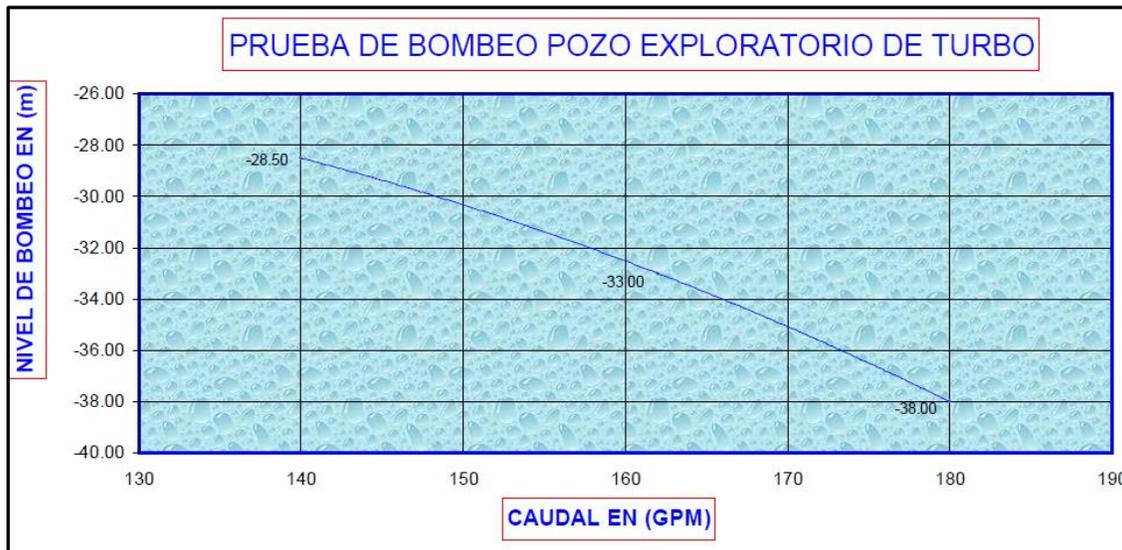


Figura 19. Curva de la prueba de bombeo.
Fuente: Amaya (2007).

El caudal específico es el caudal que produce el acuífero captado por cada metro que desciende el nivel de agua en el pozo. Durante la prueba de bombeo se tuvo un caudal máximo de 11.35 l/s y un abatimiento de 38 m lo cual indica que el caudal específico es de 0.30 l/m*s (Amaya, 2007).

3.3.8.5.1 Conductividad hidráulica k_f

De acuerdo con Bear (1979) citado por Jiménez Reyes & Rodríguez "la conductividad hidráulica K_f es una medida de la permeabilidad del medio rocoso al agua y está relacionada con la velocidad de filtración V_f y el gradiente hidráulico por la Ley de Darcy" (2013, pág. 5).

Ecuación 1. Velocidad de filtración.
 $V_f = k_f i$

Utilizando la teoría del flujo radial en régimen estacionario en un pozo que explota un acuífero heterogéneo durante una prueba de bombeo y considerando descensos pequeños D_s , es válida la siguiente ecuación entre la conductividad hidráulica k_f , el caudal afluente Q y el espesor del acuífero m .

Ecuación 2. Conductividad hidráulica.
 $k_f = Q \cdot A / m D_s$

Donde A es una función del radio del pozo r y del radio de influencia del cono de bombeo R . El valor de A puede considerarse en una primera aproximación equivalente a 1. El caudal afluente del acuífero Q y su espesor m pueden obtenerse a partir del diagrama de flujos volumétricos $Q\phi$.

La ecuación de producción del pozo se obtiene a partir de los parámetros hidráulicos calculados de la prueba de bombeo.



$MD = NE + BQ + CQ^2$, es decir que la Conductividad Hidráulica (m/d) = $32.1 \text{ m}^2/\text{d}/64 \text{ m}$
= 0.5

El valor de 0.5 m/d de conductividad corresponde a tomar como espesor del acuífero, la longitud total de rejillas, debido a que el valor es tan bajo, se decidió ensayar tomando como valor del espesor del acuífero un porcentaje de dicha longitud, otorgándole a cada una un porcentaje de acuerdo con las características de gradación de cada espesor.

Con esta aclaración el resultado de la conductividad hidráulica es de 4.3 m/d.

3.3.8.5.2 Trasmisividad T

Expresa la capacidad de una formación para transmitir agua subterránea. Se define como la rata de flujo de aguas subterráneas bajo un gradiente hidráulico unitario, y a la viscosidad cinemática de campo a través de una faja vertical del acuífero de ancho unitario y de altura igual al espesor saturado.

La trasmisividad T se relaciona con la conductividad hidráulica k_f y con el espesor m por medio de $T = k_f / m = QA/Ds$. Todos los datos de entrada pueden obtenerse partir del diagrama de distribución del flujo volumétrico vertical. Es decir que $T = 0.3226$.

Cuando la transmisibilidad $T > 100 \text{ m}^3/\text{día} \cdot \text{m}$, el acuífero es muy bueno (producción de $2787.264 \text{ m}^3/\text{día}$). Trasmisividad (T) (m^2/d) = 32.1.

Coefficiente de almacenamiento (S): Es el volumen de agua liberada por un prisma vertical de la capa acuífera, de sección igual a la unidad, para un descenso unitario del nivel piezométrico o de la carga. Se expresa en porcentaje. Depende de las características físicas de las rocas, particularmente de la porosidad total.

El coeficiente de almacenamiento (cantidad de agua que puede producir un acuífero): $S = 0,00005 / 0,005 = 5 \times 10^{-4}$.

La conectividad hidráulica se calcula como $K=T/b$ donde, T es la trasmisividad y b es el espesor de los acuíferos captados que para el caso de la prueba de bombeo eran de 64 metros.

3.3.8.5.3 Temperatura

Este parámetro es muy importante para el análisis del acuífero desde el punto de vista térmico y sus efectos sobre las propiedades del agua y la incidencia en los cálculos hidráulicos.

La temperatura de los pozos profundos está en función del gradiente geotérmico, caudal de bombeo, geometría del hueco, trayectoria y tiempo de bombeo. El gradiente geotérmico fue estimado a partir del Mapa de Gradientes Geotérmicos en Colombia, en el cual se reportan gradientes de 14,4- 60,5 °C/km 0.5 para la Provincia Hidrogeológica de Sinú-San Jacinto (10) y de 14,4- 25,6 °C/km para la Provincia Hidrogeológica de Urabá (12) (INGEOMINAS, 2009). La temperatura de los pozos de agua subterránea presentes en la Cuenca Río Turbo-Currulao oscila entre 25 y 29 °C.



3.3.9 Caracterización hidrogeoquímica

Para determinar las propiedades físicas y la composición química del agua, se parte del inventario de captaciones de aguas subterráneas realizado por CORPOURABA en el año 2015. En el inventario se relacionan los pozos profundos para uso agrícola y algunos aljibes para uso doméstico ver Tabla 3 y Figura 20.

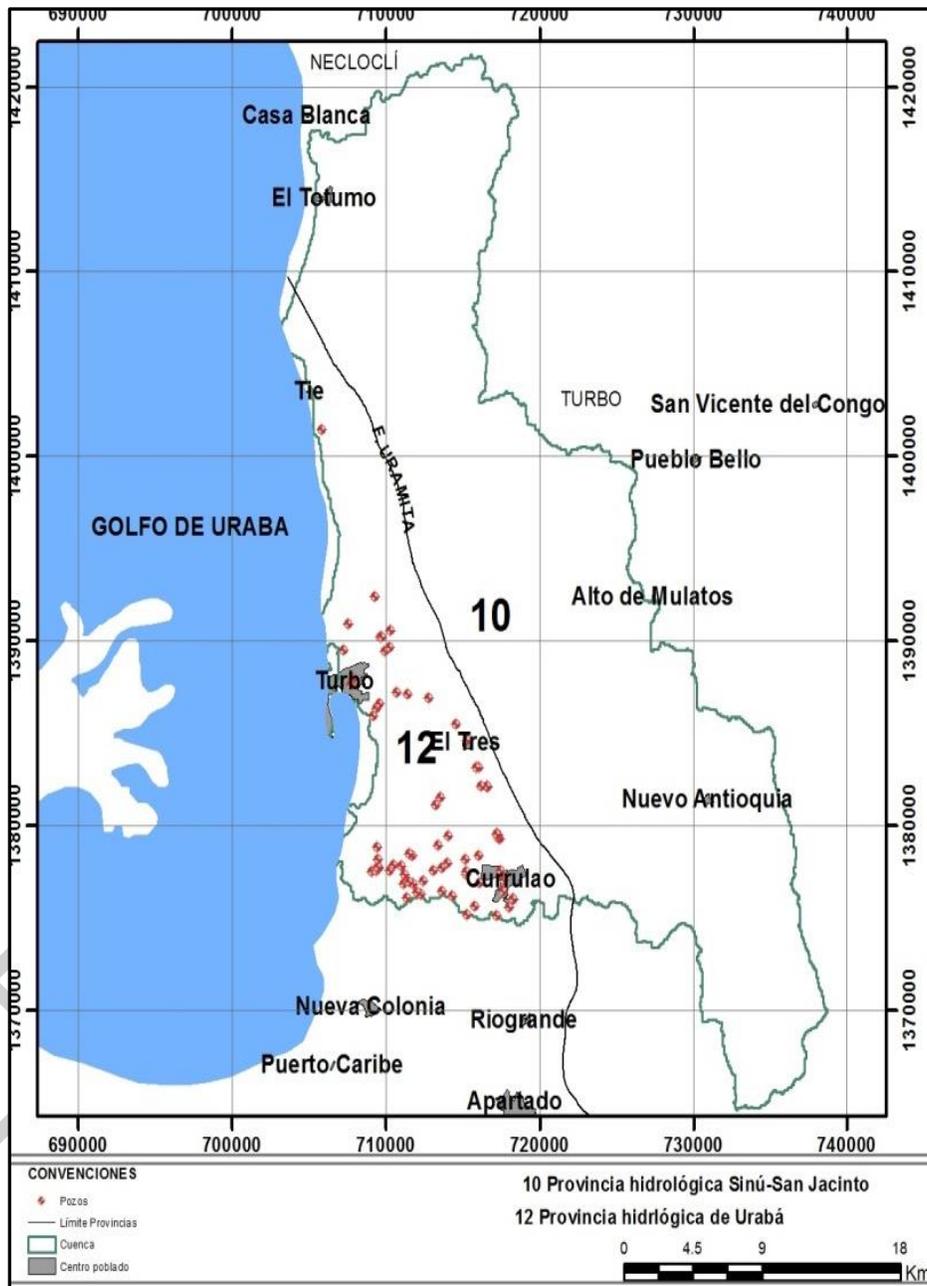


Figura 20. Ubicación de los pozos profundos en la Cuenca Río Turbo-Currulao.
Fuente: CORPOURABA.



Los acuíferos presentes en la Cuenca Río Turbo-Currulao, en especial el acuífero del sector occidental (Cuenca Hidrogeológica de Urabá-12), ha sido evaluado repetidamente desde el punto de vista hidrogeoquímico; los niveles más someros cuentan con dos campañas de monitoreo. Para efectos de caracterizar la calidad del agua subterránea, se retoman los valores de los siguientes parámetros: Sólidos Totales Disueltos (STD), Conductividad Eléctrica (CE), Cloruros (Cl-) y Nitratos (NO₃-), no se cuenta con reportes de análisis bacteriológicos. La evaluación se hace teniendo en cuenta los valores hidrogeoquímicos suministrados por CORPOURABA para los pozos profundos presentes en la cuenca. El acuífero del Golfo, es de extensión regional y cubre una amplia zona del noroccidente del Departamento de Antioquía, para el área de la Cuenca Río Turbo-Currulao, estas campañas solo reportan 12 pozos profundos con datos físicos-químicos, los cuales son utilizados para la caracterización hidrogeoquímica del agua presente en la Cuenca Río Turbo-Currulao, Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7.

Tabla 5. Parámetros físicos

MUESTRA	TEMPERATURA (°C)	pH	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µs/cm)
79-IV-B- 0111	27.3	7.15	743
79-IV-B- 0112	26.5	6.98	1150
79-IV-A- 0236		6.70	1468
79-IV-A- 0238		7.62	1374
79-IV-A-0250		7.24	2409
79-IV-A-0252	26.9	6.95	1259
79-IV-A-0253	27.1	6.87	1250
79-IV-B-0124	28.9	6.20	485
79-II-D-0216	27.9	6.96	568
79-II-C - 0004		7.15	1861
79-II-C-0005	29.3	6.87	3190
79-IV-B- 0111	27.3	7.15	743

Fuente: CORPOURABA.

El pH es una medida de la concentración de iones Hidrógeno. Se define como el Logaritmo del inverso de la concentración de iones H⁺ $pH = \text{Log } 1/ [H^+]$. Su interpretación va relacionada con la Alcalinidad o Acidez Titulable, los cuales tienen relevancia por encima de 9.6 o por debajo de 4.4 respectivamente, en este caso se obtiene un Ph, de 7 ligeramente acida.

La conductividad de 3.190 µS, la norma establece una conductividad para agua potable comprendida entre 485 y 3190 micromhos/cm, es decir se encuentra dentro de la norma.

Tabla 6. Resultados de sólidos.

MUESTRA	SÓLIDOS TOTALES (mg/L)
79-IV-B- 0111	764.00
79-IV-B- 0112	1175.00
79-IV-A- 0236	1253.00
79-IV-A- 0238	1181.00
79-IV-A-0250	1885.00
79-IV-A-0252	1113.00
79-IV-A-0253	1135.00
79-IV-B-0124	292.00
79-II-D-0216	206.00
79-II-C - 0004	1464.00



MUESTRA	SÓLIDOS TOTALES (mg/L)
79-II-C-0005	1936.00
79-II-C-0015	0.00

Fuente: CORPOURABA.

La concentración de Sólidos Disueltos Totales TDS, que corresponde a la sumatoria de aniones y cationes en solución en el agua subterránea, es el resultado de su sistema de flujo, de la litología y de los minerales presentes en el medio poroso.

Los Sólidos Disueltos Totales TDS, es la cantidad total de sólidos disueltos en el agua. La determinación de sólidos disueltos totales mide específicamente el total de residuos sólidos filtrables (sales y residuos orgánicos) a través de una membrana con poros de 2.0 μm (o más pequeños). Los sólidos disueltos pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua o un efluente de varias formas. Aguas para el consumo humano, con un alto contenido de sólidos disueltos, son por lo general de mal agrado para el paladar y pueden inducir una reacción fisiológica adversa en el consumidor. Por esta razón, se ha establecido un límite de 500 mg/L de sólidos disueltos para el agua potable. Los TDS, están relacionada con la Conductividad Eléctrica. La clasificación por dureza "puede variar según la zona y el uso específico que se le dé al agua, por esta razón, en la literatura se encuentran rangos que pueden variar de un autor a otro" para la cuenca, según Pérez (1997), citado por Amaya (2007, pág. 39) es dura.

3.3.9.1 Iones dominantes

Según Foster (FOSTER, 2002 - 2005), los constituyentes químicos importantes del agua subterránea son nueve (Na, Ca, Mg, K, HCO_3^- , Cl, SO_4 , NO_3^- y Si) Tabla 7, los cuales conforman el 99% del contenido soluto en las aguas subterráneas naturales. La proporción de cada uno de estos constituyentes, así como de los elementos traza asociados, reflejan la trayectoria del flujo del agua subterránea y su evolución hidrogeoquímica, generalmente el agua que viaja a lo largo de una línea de flujo, o a través de materiales de granulometría fina, tienen un mayor tiempo de residencia y mejor interacción agua roca, disolviendo más minerales y dando como resultando un agua con mayores concentraciones de sólidos disueltos. En su interacción con los sedimentos y las rocas, el agua va adquiriendo sales como resultado de la combinación de los iones presentes, siendo por su solubilidad el carbonato de calcio, el carbonato de magnesio, el cloruro de sodio y el sulfato de magnesio, los más frecuentes en el agua subterránea.

Tabla 7. Resultados químicos iones dominantes

MUESTRA	HCO_3^- (mg/L)	SO_4^{2-} (mg/L)	Cl- (mg/L)	NO_3^- (mg/L)	Na+ (mg/L)	Ca^{+2} (mg/L)	K+ (mg/L)	Mg^{+2} (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)
79-IV-B-0111	536.00	7.27	14.80	17.63	118.00	49.40	2.16	18.40	0.41	0.00
79-IV-B-0112	854.00	1.50	24.00	24.19	146.00	81.00	3.08	45.10	2.33	0.00
79-IV-A-0236	840.00	0.50	62.10	0.00	220.00	55.00	4.60	56.00	0.40	0.00
79-IV-A-0238	804.00	0.10	43.10	0.00	238.00	31.30	4.40	44.50	1.80	0.00
79-IV-A-0250	996.00	105.00	283.00	5.76	360.00	39.20	3.60	83.50	0.30	0.00
79-IV-A-0252	716.00	1.50	102.00	23.74	196.00	33.00	2.18	42.10	1.96	0.00
79-IV-A-0253	786.00	1.50	42.60	24.37	208.00	30.60	2.68	43.30	0.76	0.00
79-IV-B-0124	77.00	17.00	86.00	4.87	49.80	28.00	3.69	13.00	3.97	0.36
79-II-D-0216	340.03	10.80	11.80	0.35	49.30	24.40	3.30	24.90	0.51	0.66
79-II-C-0004	864.00	5.00	194.00	0.00	305.00	26.20	6.20	49.00	0.80	0.00
79-II-C-0005	478.00	23.00	802.00	0.35	577.50	97.60	8.21	50.80	3.38	2.80

Fuente: CORPOURABA



Las características químicas del agua subterránea están condicionadas o controladas por la litología y mineralogía de los sedimentos y rocas por las que circula. Esta interacción imprime una marca o huella al agua subterránea, y análisis de iones principales; trazas y los llamados trazadores físicos como la temperatura, el pH y la conductividad, permiten validar un sistema preliminar de flujo y determinar zonas de recarga, complementando luego con análisis isotópicos. Para hacer las clasificaciones y determinar la calidad del agua, se debe hacer primero, una evaluación del análisis químico para verificar la consistencia de los análisis realizados en laboratorio. Esto se realiza, con un balance iónico (electro neutralidad) y la verificación de relaciones entre algunos iones y parámetros, los cuales indican que la muestra de agua fue analizada correctamente y los resultados son confiables. Con este fin se calcula el balance iónico, donde se establece que la suma de miliequivalentes de aniones debe ser igual, con un margen de error permitido, a la suma de miliequivalentes de cationes. La mayoría de los autores coinciden en que un valor admisible del balance es menor de 10%.

Los rangos de error para aceptar o no el análisis de una muestra de agua, dependen según la literatura, del valor de conductividad eléctrica (Custodio, E. & Llamas, M., 2001) de la siguiente manera (Tabla 8).

Tabla 8. Error admisible del balance iónico en relación con la conductividad.

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA ($\mu\text{c}/\text{cm}$)	50	200	500	2000	> 2000
Error aceptable (%)	± 30	± 10	± 8	± 4	± 4

Fuente: Elaboración propia.

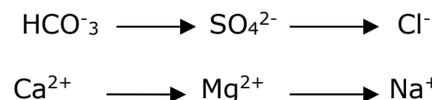
La Tabla 9, presenta los errores en los balances iónicos de las muestras analizadas dentro de la Cuenca Río Turbo-Currulao.

Tabla 9. Balance iónico para las muestras de agua subterráneas de la Cuenca Río Turbo-Currulao.

Cationes	Aniones	Error
9.18189	9.64311	0.02450
14.26615	15.10327	0.02850
17.05419	15.57096	0.04546
15.75317	14.42977	0.04385
24.58914	26.68810	0.04093
13.76257	15.06301	0.04511
14.23333	14.52309	0.01008
4.88941	4.15167	0.08160
5.54972	6.14045	0.05053
18.76487	19.80699	0.02702
34.65448	31.23284	0.05193

Fuente: Elaboración propia.

En general, las aguas de circulación regional tienden a ir aumentando su mineralización hasta irse saturando. En primera aproximación, entre los aniones primero satura el ion HCO_3^- , luego el SO_4^{2-} y el Cl^- . Para los cationes, el calcio se satura primero, luego el magnesio y más difícilmente el sodio. Así, la evolución normal de un agua de circulación regional es que sucesivamente vayan dominando los siguientes iones (Custodio, E. & Llamas, M., 2001):





De acuerdo con Custodio y Llamas (1976) "el manejo y estudio de análisis químicos puede simplificarse con el empleo de gráficos y diagramas, en especial cuando se trata de hacer comparaciones entre varios análisis de aguas de un mismo lugar en épocas diferentes o de lugares diferentes" (Amaya, 2007, pág. 40).

La Figura 21 presenta la clasificación mediante el Diagrama de Piper para unas muestras de agua subterránea del acuífero del Golfo perteneciente a la Cuenca del Río Turbo Currulao.

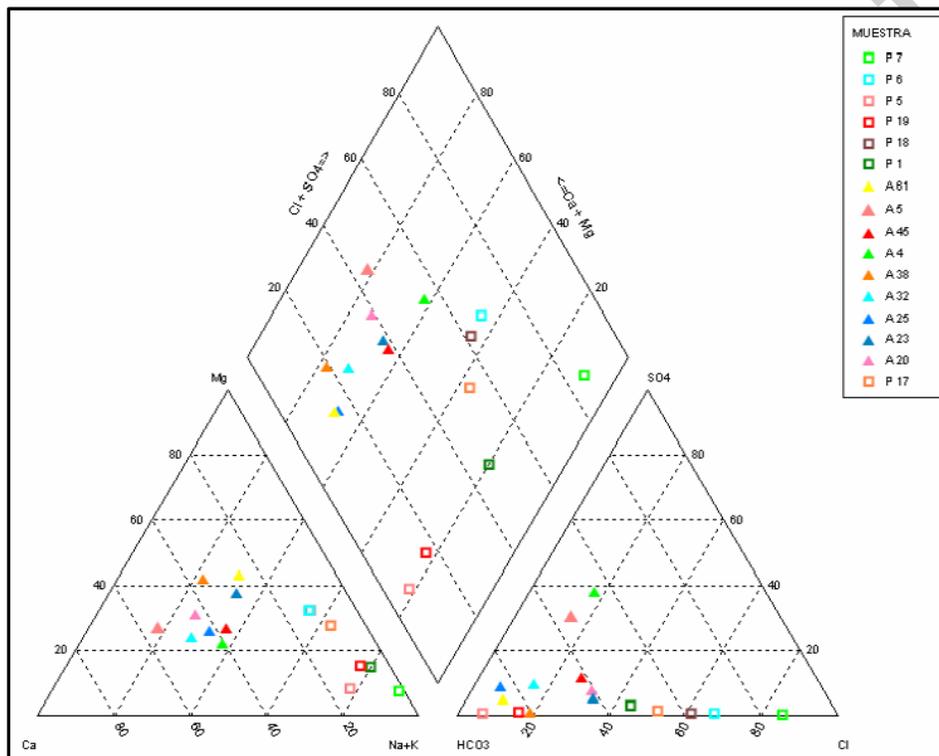


Figura 21. Diagrama de Piper (Amaya, 2007), de las muestras del área analizadas.
Fuente: (Amaya, 2007).

En el diagrama de Piper de la Figura 21, se aprecia que las aguas predominantes son de tipo bicarbonatada sódica. La cantidad del cloruro en estas muestras varía de 14.8 a 802 mg/l; los dos iones mayoritarios; cloruro y sodio registran una media, respectivamente, de 151.4 y 588.5 mg/l.

Teniendo en cuenta los valores fisicoquímicos reportados (trazadores físicos) para el agua proveniente de los pozos a partir de los iones mayores: HCO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , se deduce que geoquímicamente el agua de los acuíferos es de tipo:

- Sódica clorurada bicarbonatada
- Sódica magnésica clorurada bicarbonatada
- Sódica clorurada



Donde los principales cationes es el potasio y los principales aniones bicarbonato y cloruros. La alta concentración en potasio y cloruros indica la presencia de flujos subterráneos con largos tiempos de duración en el acuífero, donde el cloruro es producto de sales, recargado a través de flujos regionales.

La clasificación por iones dominantes Figura 21 utiliza herramientas gráficas para su representación. Se nombra el agua por el anión o catión que sobrepasa el 50% de sus sumas respectivas. Si ninguno sobrepasa el 50%, se nombran los dos más abundantes. Si conviene, se puede añadir el nombre de algún ion menor de interés y que esté en concentración anormalmente alta.

La relación SO_4^{2-}/Cl^- es menor a 0.92, lo que asocia este tipo de aguas con un origen más continental que salino. Los valores de la relación Mg^{2+}/Ca^{2+} están comprendidos entre 1.87 y 2.13. Esta relación varía entre 0,3 y 1,5 en aguas continentales y es del orden de 5,2 para el agua de mar. Por su parte, los valores de la relación Cl^-/HCO_3^- se encuentra en el rango de 0,03 a 1.68, dado que este índice hidrogeoquímico en aguas continentales varía entre 0,1 y 5, mientras que en agua del mar alcanza entre 20 y 50; puede inferirse que las aguas tienden a ser continentales con poca o ninguna influencia marina. Las relaciones iónicas analizadas para las muestras de agua indican que no hay un proceso marcado de salinización en la evolución química de las aguas subterráneas; no obstante, se observa una tendencia en el aumento de concentraciones de algunos parámetros (cloruros, CE, SST) en puntos de muestreo puntuales en los pozos, donde las características de diseño de los pozos están captando varios estratos y, por consiguiente, generando una mezcla de varios tipos de agua. Los resultados de los análisis fisicoquímicos señalan que la relación iónica Ca/Mg , Ca/SO_4 y Na/Cl del agua subterránea somera es ligeramente superior a la del agua del mar, indicando con ello que el ambiente de depositación de los acuíferos es continental con presencia de agua connata poco dulce, de acuerdo a los resultados hidroquímicos consignados en la Tabla 9.

Los parámetros de mayor interés para la evaluación hidrogeoquímica y de la calidad son: pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, sólidos disueltos, cationes mayores (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), aniones mayores (Cl^- , HCO_3^- , SO_4 , NO_3), y algunos elementos traza (Si, Fe, Mn, B).

Se observa también, que las concentraciones de los iones aumentan en sentido NW (teniendo particular importancia las concentraciones de, Na, HCO_3 y Cl). Se han determinado concentraciones sodio superior a los a los 49.3 mg/l, de potasio de hasta 577.5 mg/l y cloruros superiores a los 802 mg/l. La conductividad eléctrica aumenta hacia la zona costera, llegándose a registrar valores de hasta 3.190 uS/cm Tabla 6 y Tabla 7.

3.3.9.2 Análisis de calidad del agua

La calidad del agua se refiere a la concentración de determinados parámetros para un uso determinado y de acuerdo a una norma; en Colombia las características del agua aptas para el uso doméstico están descritas en el decreto 1594 de 1984, el decreto 475 de 1998 y la resolución 2115 de 2007 del Ministerio de Protección Social y el MAVDT, en los cuales se reglamenta la calidad del agua para consumo humano, presenta las concentraciones y valores admisibles de los diferentes parámetros físicos, químicos y



organolépticos para el agua de consumo humano. Además de los valores máximos permisibles, se presentan indicadores de calidad, procedimientos y equipos de medición y monitoreo del agua potable para consumo humano que deben cumplirse.

La interpretación de los resultados de un análisis de aguas debe partir del conocimiento del origen y del destino que se le va a dar al recurso. Los requisitos de un análisis, así como los parámetros interpretativos dependen en gran parte de estos aspectos básicos. Las aguas subterráneas no son tan susceptibles a la contaminación como las aguas superficiales, aunque una vez contaminadas, su restauración es difícil y de largo plazo. Casi todos los organismos patógenos y muchas sustancias indeseables se eliminan por la acción filtrante de las partículas del suelo.

La calidad del agua obedece a un proceso fisicoquímico al interior de la roca, las relaciones entre la geología regional y el tipo de agua presente en los acuíferos junto con la conductividad. De acuerdo a los datos de las Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7, los acuíferos libres, por ejemplo, son de tipo bicarbonatado cálcico-magnésico y con conductividades medias, mientras que los acuíferos confinados, se caracterizan por altas conductividades eléctricas y por contenidos predominantes de cloruros y sulfatos, respectivamente. De acuerdo a estos resultados, el tipo de agua subterránea presente en la Cuenca Río Turbo-Currulao corresponde al contexto geológico regional, con líneas de flujo resultantes de los modelos hidrodinámicos, es factible identificar que las zonas de recarga se encuentra a una distancia considerable, puesto que en las zonas donde se recarga el agua, las aguas están menos mineralizadas, con menores concentraciones en los iones y con menor conductividad, ya que el tiempo de contacto con los minerales es menor.

Como se mencionó en capítulos anteriores, la evaluación de la calidad del agua subterránea obedece a un proceso investigativo en el que se emplean los resultados de estudios previos a la hidrogeoquímica; estudios geológicos, hidráulicos e hidrodinámicos.

De acuerdo a los decretos 1594 de 1984, 475 de 1998 y la resolución 2115 de 2007 del Ministerio de Protección Social y el MAVDT, el agua del acuífero multicapa confinado, de la Provincia Hidrogeológica de Urabá (12), captada por los pozos profundos, en general contiene agua segura para uso agrícola y doméstico, no así para consumo humano, esto debido existen varios parámetros que se encuentran fuera de la norma como son: alto contenido en hierro, SDT 1127 ppm y una conductividad de 1375 μ S, valores superiores a los establecidos por la norma (500 mg/l y 1000 uS/cm, respectivamente), los cuales pueden ser mejorados con un sistema de tratamiento.

Para el acuífero de la Provincia de Sinú-San Jacinto (10), no se reportan datos de la calidad del agua, en este sector no se registran pozos de agua subterránea.

3.3.10 Demanda del agua subterránea

El agua cumple una función como materia prima o como insumo (IDEAM, 2014) (IDEAM & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014), puede ser usada para la satisfacción directa de las necesidades humanas, como parte de un proceso productivo o demandada por los ecosistemas para su sostenimiento.



La Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico –PNGIRH– en uno de sus objetivos específicos propone “caracterizar, cuantificar y optimizar la demanda de agua en el país” (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2010, pág. 96). El logro de este objetivo contempla el diseño de estrategias relacionadas con: caracterización y cuantificación de la demanda de agua en cuencas priorizadas, fomento a la gestión integral del recurso hídrico en los principales sectores usuarios del agua, y uso eficiente y sostenible del agua (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2010) (CORPOURABA; Universidad de Antioquia, 2016).

La demanda hídrica total, de acuerdo con el Decreto 2930 de 2010, corresponde a la suma del volumen de agua utilizada para los diferentes usos: doméstico, servicios, preservación de fauna y flora, agrícola, pecuario, recreativo, industrial, energía, minería e hidrocarburos, pesca, maricultura y acuicultura, navegación, transporte y caudal de retorno. De estos usos de agua se calculan volúmenes para los sectores, actividades y cadenas de uso.

El esquema general para la evaluación de la demanda de agua presentado en el Estudio Nacional del Agua –ENA– (IDEAM & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014), considera pertinente identificar, para cada caso de estudio, los sectores objeto de análisis y la información disponible. El uso de las aguas subterráneas para la Cuenca Río Turbo Currulao se presenta en el Gráfico 1.

Siguiendo los lineamientos planteados por la Guía Metodológica para la Formulación de Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos promulgada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en 2014, la demanda total de agua subterránea corresponde a la sumatoria de las demandas sectoriales de agua, y se calcula utilizando la siguiente expresión en m³ por año:

Ecuación 3. Demanda total de agua subterránea.
 $DT = DUD + DUI + DUS + DUA + DUP$

Dónde:

- DT = Demanda total de agua.
- DUD = Demanda de agua para uso doméstico.
- DUI = Demanda de agua para uso industrial.
- DUS = Demanda de agua para el sector servicios.
- DUA=Demanda de agua para uso agrícola.
- DUP= Demanda de agua para uso pecuario.

La demanda de agua subterránea en la Cuenca Río Turbo-Currulao se calculó a partir de la información entregada por CORPOURABA, que para este caso corresponde a 72 pozos registros para agua subterránea, detallado en la Tabla 10 y Gráfico 1.

Tabla 10. Demanda de agua subterránea según concesiones vigentes (CORPOURABA, Inventario de puntos de agua, 2016).

USO	CONCESIONES VIGENTES
Riego	1
Sin uso	11
Agrícola	21
Inactivo	5



USO	CONCESIONES VIGENTES
Abastecimiento	7
No se conoce	3
Monitoreo	1
Pecuario	3
Doméstico	5
Industrial	8
Agrícola/domestico	6
Agroindustrial	1
Demanda según concesiones vigentes (m3/año)	159.830.100

Fuente: (CORPOURABA, Inventario de puntos de agua, 2016).

El agua subterránea en la Cuenca Río Turbo-Currulao, es aprovechada para diferentes usos, entre los que se encuentran: el riego para la agricultura (zonas bananeras); suministro de agua potable, riego, pecuario, doméstico, industrial, agrícola/domestico y agroindustrial Gráfico 1.

El inventario de captaciones de aguas subterráneas, identificó que la gran mayoría de los pozos son para uso agrícola y uso domestico, y en menor proporción uso industrial.

De acuerdo a los resultados, se observa que para la Cuenca Río Turbo-Currulao, el uso del agua para consumo humano no muy representativo, lo cual tiene relación con la calidad fisicoquímica del agua, el mayor uso está representado en el sector agrícola-pecuario. La determinación de los usos se hace solo con la información disponible de los pozos para el Acuífero Arenas Monas (Acuífero del golfo), que se encuentran dentro de la Cuenca Río Turbo-Currulao.

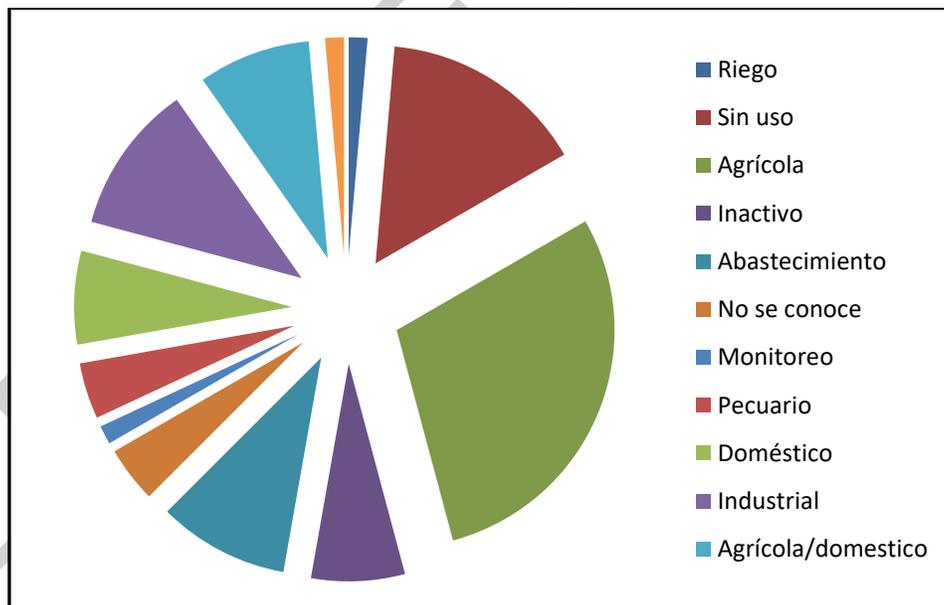


Gráfico 1. Relación de los usos para el agua subterránea dentro de la Cuenca Río Turbo-Currulao.

Fuente: (CORPOURABA, Inventario de pozos profundos en el área de la jurisdicción, 2015)



Los caudales promedios de uso de agua subterráneos solicitados y autorizados el más alto es para riego con 20 lps y el menor es para industrial con 0,5 lps. La suma de caudales especificados para uso de agua subterráneos autorizados 159.830.100 m³/año.

Tabla 11. Caudal otorgado de los pozos presentes en la Cuenca Río Turbo-Currulao.

CÓDIGO IGM	USO	CAUDAL OTORGADO	ESTADO DEL POZO
79-IV-A - 0233	Agrícola	0.000	Activo
79-IV-A - 0234	Agrícola	0.000	Activo
79-IV-B - 0118	Abastecimiento/ Agrícola	0.000	Activo
79-II-C - 0002	Abastecimiento	0.000	Activo
79-II-D - 0211	Doméstico	0.000	Activo
79-II-D - 0212	Doméstico	0.000	Activo
79-II-D - 0213	Pecuario	0.000	Activo
79-IV-B - 0121	Industrial	0.500	Activo
79-II-C - 0018	Agrícola	0.500	Activo
69-IV-C - 0001	Agrícola	1.000	Activo
79-IV-B - 0108	Agrícola	1.200	Activo
79-IV-B - 0120	Agrícola	1.410	Activo
79-II-D - 0214	Industrial	1.500	Activo
79-II-C - 0017	Pecuario	1.600	Activo
79-II-C - 0004	Industrial	1.700	Activo
79-IV-A - 0240	Agrícola	1.800	Activo
79-IV-A - 0238	Agrícola	2.000	Activo
79-IV-B - 0122	Agrícola	2.000	Activo
79-IV-A - 0231	Agrícola	2.200	Activo
79-IV-A - 0251	Agrícola	2.200	Activo
79-IV-B - 0123	Agrícola	2.360	Activo
79-IV-A - 0248	Agrícola	2.500	Activo
79-IV-B - 0119	Agrícola	2.820	Activo
79-IV-B - 0117	Agrícola	3.000	Activo
79-IV-A - 0247	Agrícola	3.000	Activo
79-IV-A - 0250	Agrícola	3.000	Activo
79-IV-B - 0112	Agrícola	3.200	Activo
79-IV-A - 0252	Agrícola	3.200	Activo
79-IV-B - 0111	Agrícola	3.300	Activo
79-IV-A - 0253	Agrícola	3.860	Activo
79-IV-A - 0236	Agrícola	4.500	Activo
79-II-C - 0005	Doméstico	4.500	Activo
79-IV-A - 0246	Agrícola	5.000	Activo
79-IV-A - 0249	Sin uso	5.000	Activo
79-IV-A - 0232	Agroindustrial	5.500	Activo
79-II-C - 0001	Agrícola	7.270	Activo
79-IV-A - 0255	Agrícola	9.900	Activo
79-II-C - 0015	Abastecimiento	11.000	Activo
79-IV-A - 0254	Abastecimiento	15.000	Activo
79-IV-B - 0114	Riego	20.000	Activo

Fuente: Elaboración propia.

3.3.11 Identificación de las problemáticas sobre el acuífero

A pesar de que existen muchas problemáticas asociadas con el recurso hídrico subterráneo, en la Cuenca Río Turbo-Currulao son de tipo socioeconómico relacionados con la deforestación de las zonas de recarga, la contaminación, el desabastecimiento y los posibles conflictos por uso del suelo en zonas de interés hidrogeológico.



3.3.11.1 Evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación intrínseca

La vulnerabilidad se define como: "las características propias de un acuífero que determinan la facilidad con que un contaminante derivado de actividades antrópicas o fenómenos naturales pueda llegar a afectarlo" (Decreto 1640 de 2012).

La vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación depende de las características litológicas de la zona no saturada, del tipo de acuífero, de la profundidad del nivel del agua para el acuífero libre o de la profundidad del techo del acuífero confinado (CORPOURABA; Universidad de Antioquia, 2016).

Existen diversas metodologías que permiten determinar la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación, en este trabajo se hizo uso de la metodología GOD (CORPOURABA; Universidad de Antioquia, 2016), la cual califica la vulnerabilidad a la contaminación mediante una escala cualitativa que generalmente va desde una vulnerabilidad muy baja o despreciable, hasta vulnerabilidad extrema Tabla 12.

Tabla 12. Clases de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

CLASE DE VULNERABILIDAD	DEFINICIÓN
Extrema	Vulnerable a la mayoría de los contaminantes con impacto rápido en muchos escenarios de contaminación
Alta	Vulnerable a muchos contaminantes (excepto a los que son fuertemente absorbidos o fácilmente transformados en muchos escenarios de contaminación.
Moderada	Vulnerable a algunos contaminantes sólo cuando son continuamente descargados o lixiviados.
Baja	Sólo vulnerable a contaminantes conservativos cuando son descargados o lixiviados en forma amplia y continua durante largos periodos de tiempo.
Despreciable	Presencia de capas confinantes en las que el flujo vertical (percolación)

Fuente: (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

Considerando que la Cuenca Río Turbo-Currulao, se ubica dentro de las dos provincias hidrogeológicas (Urabá y Sinú), el análisis de la vulnerabilidad se hace para cada provincia:

3.3.11.1.1 Provincia Hidrogeológica Urabá (12)

Está conformada por el sistema de acuífero de Arenas Monas, el cual en algunas zonas se manifiesta como un acuífero libre (somero) y en los niveles más profundos se comporta como un acuífero confinado, para la aplicación de la metodología de evaluación de vulnerabilidad en la elaboración del PLAN DE MANEJO DEL ACUÍFERO DEL GOLFO DE URABÁ tuvieron en cuenta estas características, para cual reportan lo siguiente (ver Tabla 13) (CORPOURABA; Universidad de Antioquia, 2016).



Tabla 13. Características de cada unidad hidroestratigráfica presente en la cuenca.

UNIDAD ACUÍFERA	G (grado de confinamiento)	O (ocurrencia del sustrato litológico)	D (profundidad del nivel freático o techo del acuífero –para capas confinadas)
Niveles donde acuífero aflora	El valor asignado es correspondiente al de libre G =1.	Para el valor de O se tomó como 0.8 ya que los materiales que afloran en la superficie son depromedio de los niveles características gruesas (piezométricos, clasificados gravas, arenas gruesa y medias), (Unidad Qal)	Los valores D varían entre 1 y 0.8, estos se obtuvieron en la interpolación del promedio de los niveles (piezométricos, clasificados según el método GOD.
Niveles donde acuífero no aflora	Teniendo en cuenta la conexión que hay entre las zonas libres y confinadas, se tomó un valor intermedio para el parámetro G (entre 0,3 y 0,5) (Unidad Arenas Monas-m)	Donde el material de la capa superior es de arcilla, se caracterizó como arcillosa, de acuerdo con la metodología tomamos un valor de O=0,5. de este, donde se obtuvo un espesor promedio de 50 m, correspondiente a un valor D= 0,6.	Como no se tiene el espesor de la capa de arcilla, se tomaron valores aleatorios

Fuente: (CORPOURABA; Universidad de Antioquia, 2016).

La aplicación del Índice de Vulnerabilidad Intrínseca (CORPOURABA; Universidad de Antioquia, 2016) da como resultado que, en los niveles someros del acuífero, presenta la categoría extrema en un pequeño sector al suroeste del área de estudio localizado hacia el occidente de Chigorodó en cercanías del río León (donde aflora el acuífero). La categoría alta está presente en diferentes sectores, principalmente en Chigorodó y al norte de Turbo; la valoración media se encuentra en algunos sectores ubicados al este de la zona de estudio en límites con las estibaciones de la Serranía de Abibe. Para las zonas donde el sistema acuífero no aflora a la superficie se obtuvo una categoría baja (CORPOURABA; Universidad de Antioquia, 2016) Figura 22.

No se reportaron fuentes potenciales de contaminación de aguas subterráneas dentro del inventario suministrado por CORPOURABA, ninguna fuente que pueda generar lixivaciones que alteren la calidad natural de las aguas subterráneas.

3.3.11.1.2 Provincia Hidrogeológica Sinú-San Jacinto (12)

Para esta provincia no se reportan datos fisicoquímicos con los que se pueda evaluar esta condición, sin embargo, teniendo en cuenta las características litológicas (arcillosa) y las condiciones geológicas de la provincia, de acuerdo con la metodología se tomó un valor de O=0,5.

Un elemento contaminante para estos acuíferos pueden ser los gases que expelen los volcanes de lodo, sobretodo porque estos presentan una composición isotópica muy variable: bacteriogénicos, termogénicos y mixtos (ECOPETROL, 1982). En la cuenca, los gases están asociados a volcanes de lodo, el cual es característico de fuentes inmaduras, que presentan gradientes geotérmicos menores de 14,4- 60,5 °C/km 0.5 para la Provincia Hidrogeológica de Sinú-San Jacinto (10) (INGEOMINAS, 2009), la liberación de estos gases son facilitados por la presencia de fallas que sirven de vías de migración de los gases profundos (ECOPETROL, 1982) Figura 22.

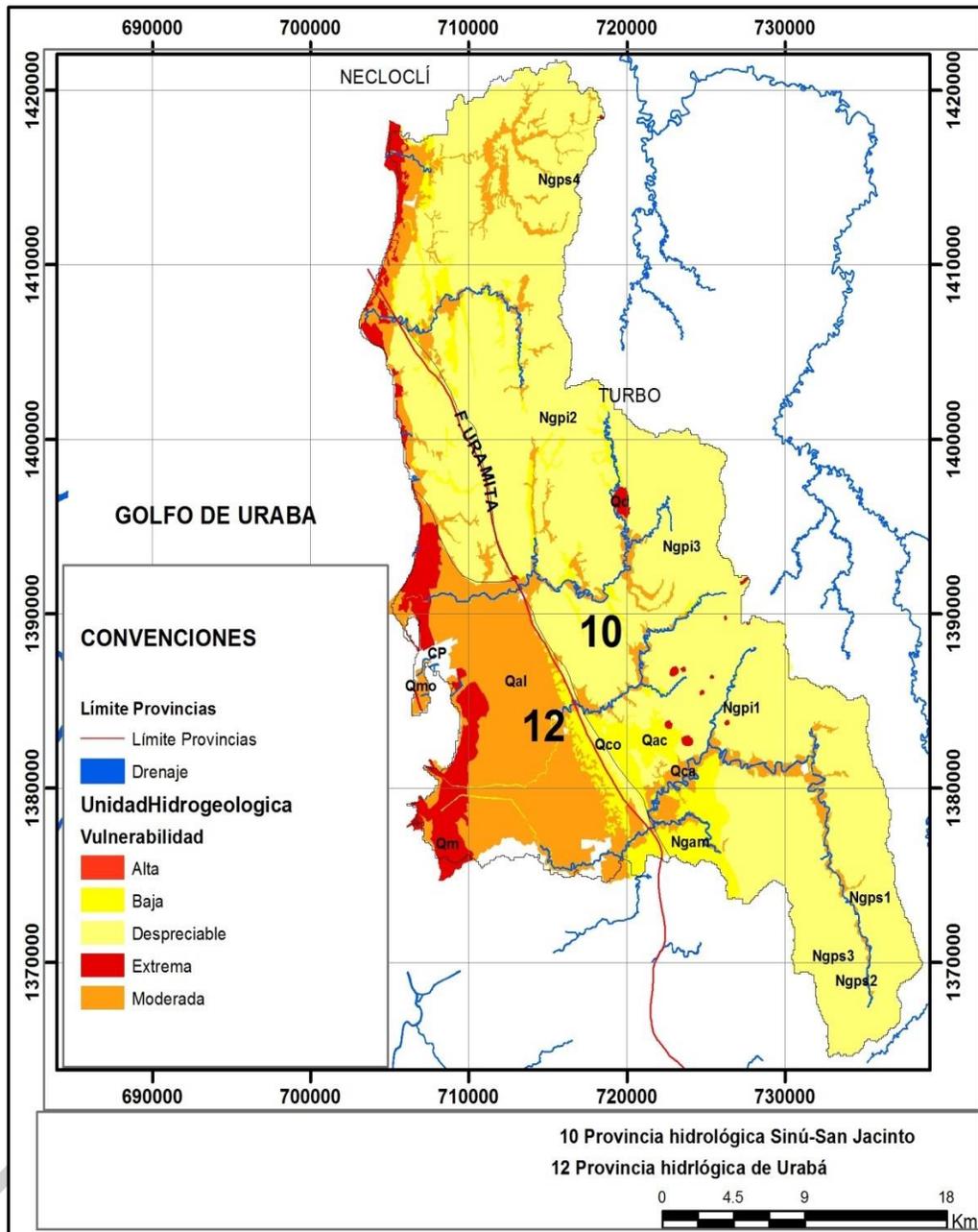


Figura 22. Valoración de la vulnerabilidad de los acuíferos presentes en la Cuenca Río Turbo-Currulao.

Fuente: Plan De Manejo Del Acuífero Del Golfo De Urabá (CORPOURABA; Universidad de Antioquia, 2016).

3.3.11.2 Riesgos por agotamiento de las aguas subterráneas

El análisis de los riesgos asociados con el recurso hídrico subterráneo involucra una interrelación de las variables del componente natural (que condicionan el funcionamiento del sistema acuífero y su respuesta ante factores externos), con las variables sociales, económicas y culturales de una población que puede beneficiarse del recurso,



implementar medidas para su protección, o constituirse en una amenaza para la sostenibilidad del mismo en términos de calidad y de cantidad.

El agotamiento de un acuífero puede considerarse de manera literal como una reducción en el volumen de agua en la zona saturada, independientemente de consideraciones de calidad del agua, o desde otra perspectiva que involucre la reducción en el volumen útil de agua dulce subterránea en el almacenamiento (Konikow, L. & Kendy, E., 2005.).

Algunos de los efectos negativos del agotamiento del agua subterránea por efectos de la explotación excesiva son:

- Agotamiento de los pozos: esto genera pérdidas de pozos, necesidad de profundizar más las captaciones, aumentar la cabeza de bombeo de la bomba y además disminuir las tasas de rendimiento del pozo.
- Reducción de agua en cauces, arroyos y lagos: si existe conexión hidráulica entre el agua superficial y el agua subterránea, de tal forma que las fuentes superficiales se mantienen en periodos de estiaje por el flujo de las aguas subterráneas, estas condiciones cambian por completo cuando los niveles descienden. El cambio en las direcciones de flujo del agua subterránea y de la forma como se mueve en el acuífero también pueden afectar las conexiones hidráulicas.
- El deterioro de la calidad del agua: dos causas del deterioro de la calidad pueden darse, una en los acuíferos costeros por intrusión marina o en acuíferos continentales por bombeo de capas confinadas cercanas, de otros niveles acuíferos o de otro nivel del mismo acuífero de mala calidad o por inducir flujo de corrientes superficiales contaminadas.
- Aumento de los costos de bombeo: La necesidad del cambio físico en las captaciones y del sistema de extracción por la profundidad de los niveles eleva los costos de extracción de agua. En el caso en que el agotamiento se define por calidad, se pueden generar costos de tratamiento insostenibles.
- Hundimiento de terreno – subsidencia: por la sobreexplotación los poros del suelo se quedan vacíos, lo que genera fallas en el suelo y posteriores asentamientos en el terreno. Este efecto es irreversible y además de afectar las construcciones en superficie puede colapsar los pozos de explotación de acuíferos.

En la evaluación del riesgo por agotamiento del recursos hídricos subterráneos se partió del establecimiento de la relación entre la oferta y la demanda del recurso actual o futura, por consiguiente, el riesgo por agotamiento está relacionado con una alta demanda de aguas subterráneas que supere la oferta disponible o disminuya las reservas, o con una disminución de la oferta, referente a la tasa de recarga derivada de cambios en el uso del suelo o de reducciones importantes en la precipitación por variaciones naturales o inducidas en el ciclo hidrológico. Para el caso del acuífero de Arenas Monas (Provincia Hidrogeológica Urabá), los resultados de oferta-demanda no son críticos, en este caso el riesgo es bajo por tratarse de un acuífero de gran espesor (3000) con una distribución regional, secuencia sedimentaria apropiada para almacenar grandes cantidades de agua.



Dentro de las condiciones naturales, el cambio climático puede tener impactos como el ascenso en el nivel del mar, los cambios en el régimen de lluvias, tormentas severas más intensas y más frecuentes, sequías cada vez más severas, que puede afectar la oferta hídrica superficial, donde el agua subterránea se convierte en una alternativa.

La problemática más relevante identificada que pueda contribuir a este tipo de riesgo, son de tipo socioeconómico relacionados con la deforestación de las zonas de recarga.

3.3.11.3 Deficiencias de información

Es importante resaltar que, al analizar las problemáticas, se detectó que existe deficiencia de información en la prospección de agua subterránea que proporcione información geofísica e hidrogeológica para la Provincia Hidrogeológica del Sinú (10) que nos permita generar instrumentos para la gestión del recurso hídrico subterráneo.

Todo el conocimiento hidrogeológico se ha centrado en la Provincia Hidrogeológica de Urabá (12), existiendo un desconocimiento sobre el acuífero presente en la Provincia Hidrogeológica del Sinú (10), en donde no se reporta ningún pozo de agua. El conocimiento hidrogeológico no solamente es importante para la búsqueda de acuíferos para el abastecimiento de agua, sino para conocer el comportamiento del agua subterránea como elemento detonante dentro de los movimientos en masa; la deficiencia de información o de conocimiento nos induce a generar un modelo hidrogeológico conceptual errado.

No es posible generar un buen modelo hidrogeológico conceptual para toda la Cuenca Río Turbo-Currulao, solamente se presenta el Modelo Hidrogeológico Conceptual para la Provincia Hidrogeológica de Urabá (12). Para la Provincia Hidrogeológica del Sinú (10), no se realizó este modelo ya que no contamos con elementos suficientes para identificar realmente las zonas de recarga, tránsito y descarga dentro de la cuenca, la relación de las dos provincias hidrogeológicas con las aguas superficiales y marinas, teniendo en cuenta que la Falla de Uramita se comporta como una barrera impermeable (Agencia Nacional de Hidrocarburos -ANH-, 2009) dentro de estas dos provincias y de esta forma establecer las medidas para el manejo del acuífero.

3.3.12 Modelo hidrogeológico conceptual para la Provincia Hidrogeológica De Urabá (10)

El modelo hidrogeológico conceptual, resultado del análisis e integración de la información geológica, geomorfológica, geofísica, hidrológica, hidroquímica e hidráulica de los acuíferos, el cual nos permite la identificación y caracterización de los sistemas acuíferos y de las unidades impermeables o con limitadas posibilidades de flujo subterráneo, la distribución de los puntos de agua, la dirección regionales de flujo, las condiciones de recarga y descarga, las características hidrogeoquímicas y parámetros hidráulicos, como se ilustra en la Figura 27, en este bloque diagrama se muestra en términos generales el funcionamiento de los sistemas acuíferos en 3 dimensiones, el dominio del acuífero a una versión simplificada de la realidad para la Cuenca Río Turbo-Currulao.

Los sistemas hidrogeológicos para la Cuenca Río Turbo-Currulao, corresponden a acuíferos multicapas; este tipo de sistemas está constituido por una serie alternada de capas permeables, semipermeables e impermeables; a esta caracterización se llegó



siguiendo criterios de correlación litológica e hidroestratigráfica, en los que se reunió información procedente de registros de perforación y sondeos eléctricos verticales, y considerando condiciones de conductividad y trasmisividad hidráulica correspondientes a pruebas de bombeo. La correlación de varias columnas litológicas de algunos pozos perforados en la cuenca (Figura 23 y Figura 27), permitió la construcción del modelo tridimensional, el cual se presentan en la Figura 27. En el sistema acuífero predomina la presencia de material arcilloso; la representación en planta de la litología en superficie del sistema acuífero muestra la existencia de areniscas y arenas que cubren el 30% del total del área de la cuenca.

La Cuenca Río Turbo-Currulao está representada por rocas sedimentarias, predominando las clásticas: arenitas con intercalaciones de conglomerados, arenitas interestratificadas con limolitas y limolitas con arcillolitas, con algunas diferencias en los parámetros de estratificación, dureza de la secuencia sedimentaria y su relación espacial. Formaciones Pavo Inferior, Pavo Superior, Unidad de Arenas Monas y depósitos cuaternarios, que están presentes en el área de interés (ver Figura 23).

EN ETAPA DE PUBLICIDAD

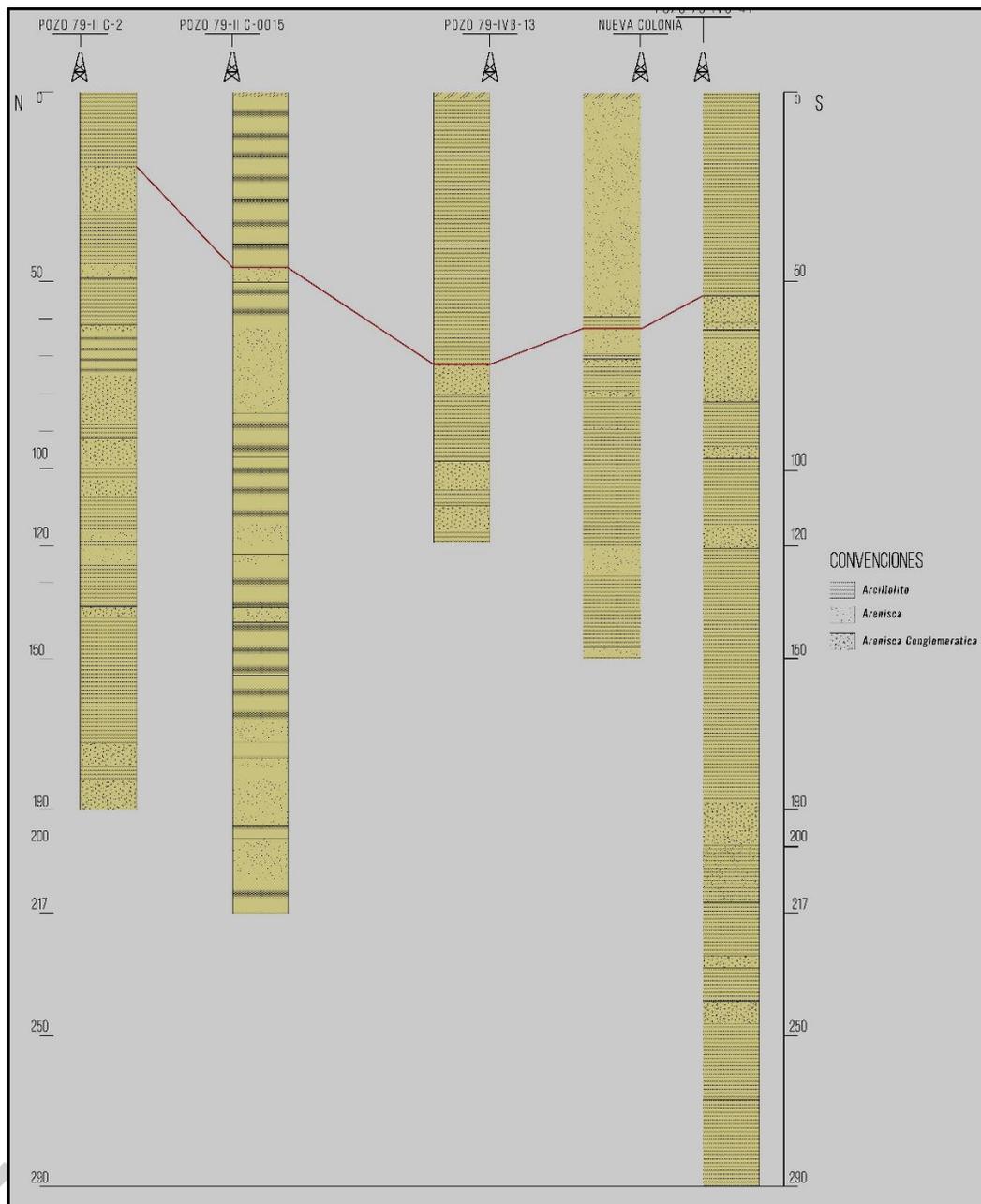


Figura 23. Correlación litológica de los pozos en la Provincia Hidrogeológica de Urabá (12) en sentido norte-sur rocas sedimentarias, predominando las clásticas: arenitas con intercalaciones de conglomerados, arenitas interestratificadas con limolitas y limolitas con arcillolitas.

La secuencia predominante es limolítica y arcillolítica, fina a medianamente estratificada e invertida, principalmente en el sector oriental del área (Npv).

La Provincia Hidrogeológica del Sinú (10) está formada por una secuencia turbidítica monótona de sedimentos finos que superan los 5.000 m de espesor, diferenciada en las formaciones Cansona, San Cayetano, Maralú, Pavo Inferior, Pavo Superior, Floresanto, Paujil Inferior, Paujil Superior, Morrocroy-El Pantano, Arenas Monas, Corpa Inferior y

Corpa Superior, con edades del Cretácico, Paleógeno y Neógeno (ver Figura 23). Depósitos cuaternarios, especialmente aluviales y coluviales, cubren localmente estas unidades.

La Provincia Hidrogeológica de Urabá (12) contiene una espesa secuencia sedimentaria siliclástica del Oligoceno al Holoceno, soportada por un basamento constituido por corteza oceánica (Flinch, 2003) (ver Figura 24). La secuencia sedimentaria siliclástica empieza con una sección del Oligoceno y también probablemente del Eoceno, conformada por shale de agua profunda y ocasionales interestratificaciones de arenisca de probable origen turbidítico. La sección superior del Mioceno está compuesta por arenisca, shale y ocasionales interestratificaciones de capas de carbón y conglomerado de agua somera. Depósitos cuaternarios aluviales, cubren la costa oriental del golfo de Urabá, yaciendo discordantemente sobre las unidades litológicas más antiguas, principalmente del Neógeno/Paleógeno.

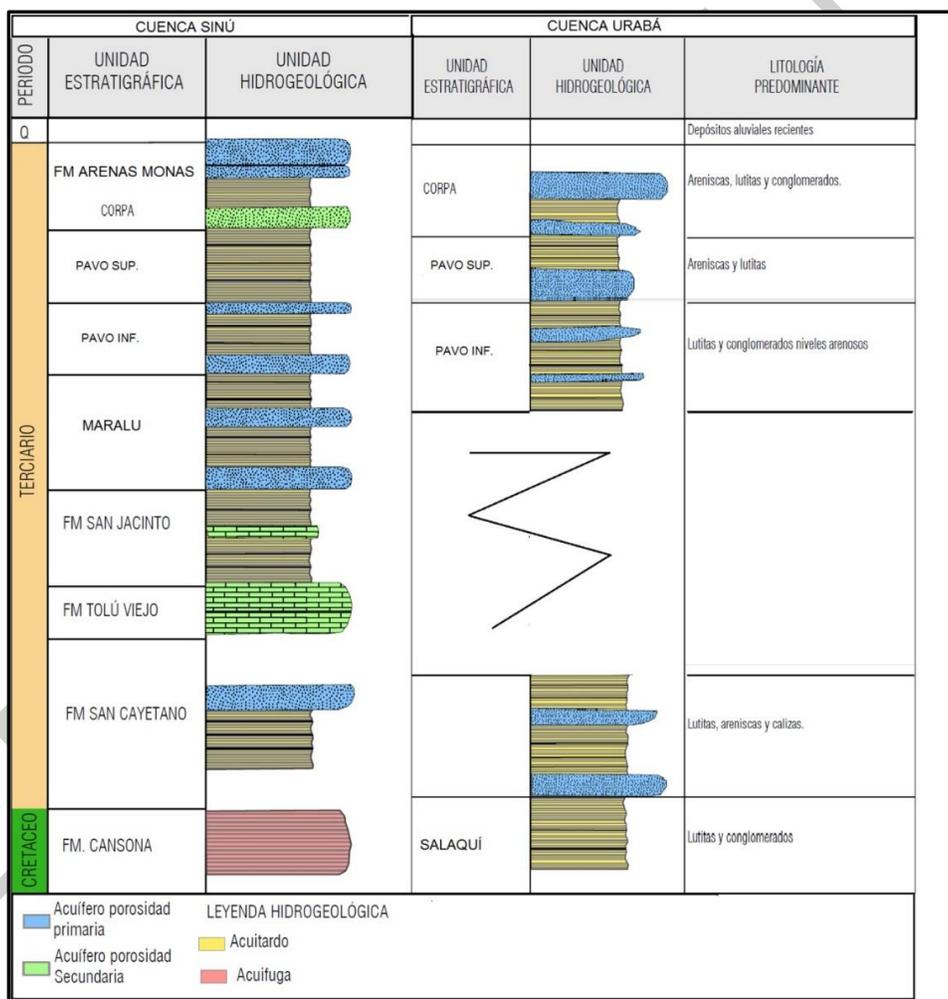


Figura 24. Correlación hidrogeológica de las cuencas Sinú y Urabá.
 Fuente: Ecopetrol, 1998.



De acuerdo con Garzón Varón F, "el basamento de la cuenca de Urabá se encuentra afectado por fallas normales, que han generado bloques hundidos y levantados, imbricados, que le confieren a la cuenca una geometría de semi-graben como lo muestran los modelos de Flinch, 2003" (2012, pág. 8) Ver Figura 25.

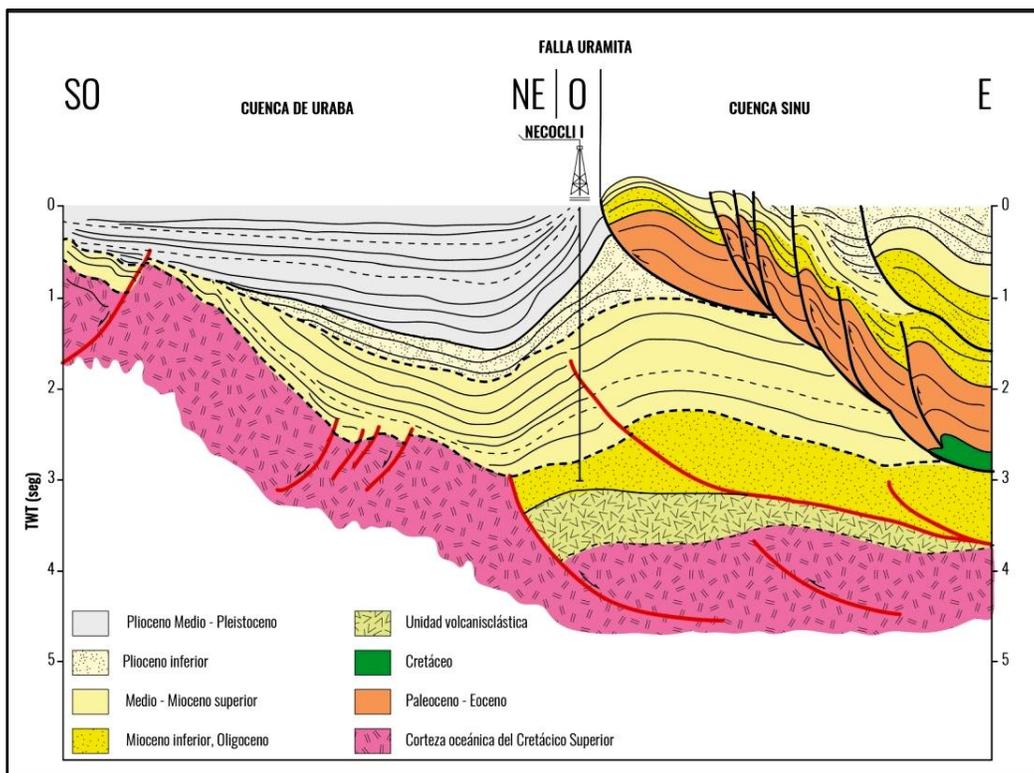


Figura 25. Modelo estructural de las cuencas Urabá-Sinú, fallas normales, de cabalgamiento y transcurrentes. El Borde delantero del cinturón deformado del Sinú está representado por la falla Uramita (Flinch, 2003).

Fuente: Garzón Varón, F (2012, pág. 9).

La información sísmica de la Cuenca de Urabá muestra que el basamento buza regionalmente hacia el noreste, creando espacio para acomodar sedimentos en esa dirección. La somerización del basamento causa el acuñaamiento progresivo hacia el suroeste de rocas más jóvenes, creando trampas estratigráficas en la parte superior de la sucesión estratigráfica Figura 25, (ECOPETROL, 1982).

En el modelo tectonoestratigráfico de la Cuenca de Urabá, se identifican cuatro horizontes o secuencias sedimentarias representadas (secuencias A, B, C y D), la cual se caracteriza por presentar una geometría acuñaada, evidenciando la presencia de discordancias de tipo erosivo, y la diferenciación de secuencias retrogradantes (ECOPETROL, 1982). El espesor de las unidades A, B, C y D se incrementa ligeramente en la misma dirección NW de igual manera indica que las unidades A, B, C y D aumentan ligeramente de espesor en sentido norte y se acuñaen en sentido sur. La información de los pozos indica el depósito de areniscas intercaladas con arcillolitas y limolitas en toda la secuencia perforada en el pozo Apartadó-1 (Figura 26), lo que hace que prácticamente todas las unidades en la cuenca tengan potencial acuífero (Figura 27).

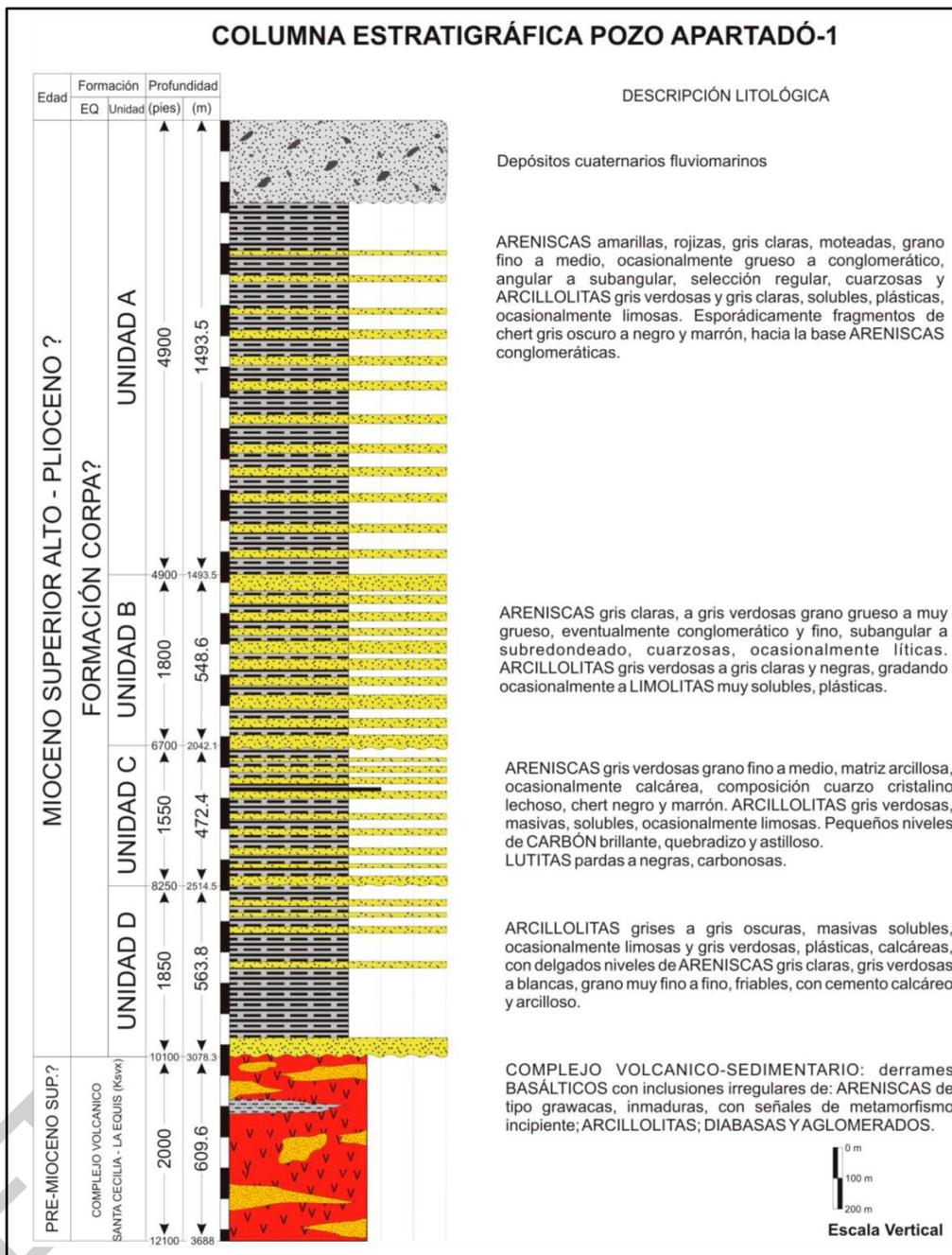
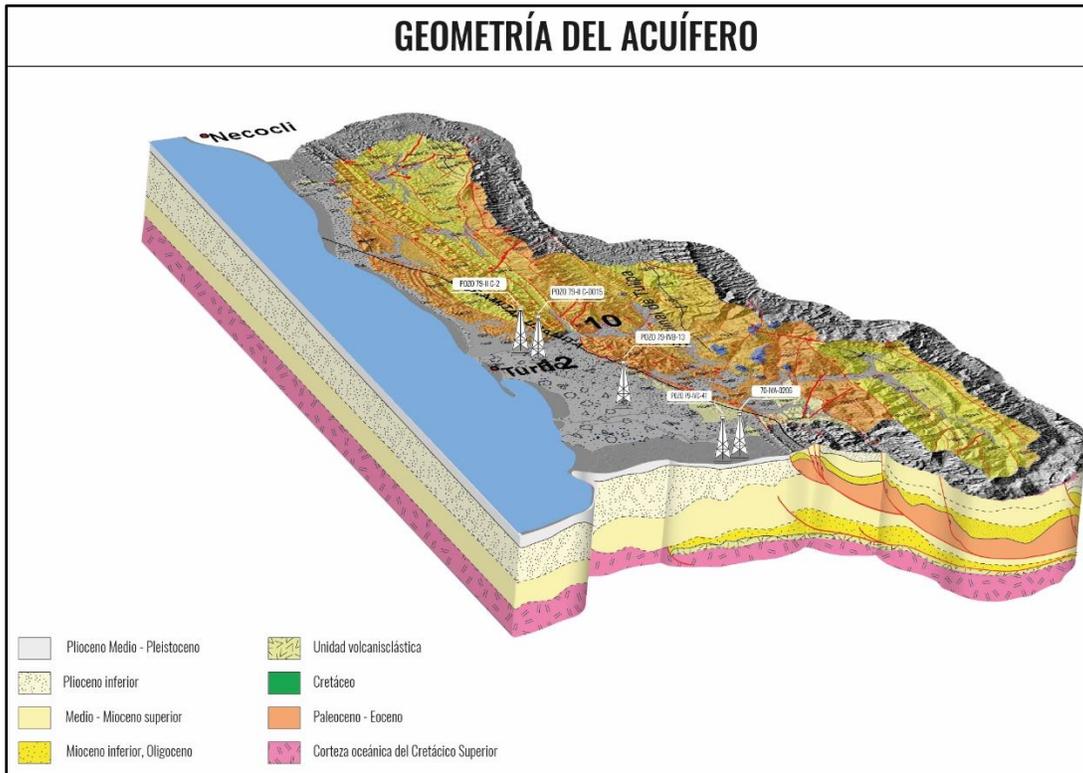


Figura 26. Columna estratigráfica del Pozo Apartadó-1.
 Fuente: ECOPETROL (1982).



Este modelo hidrogeológico conceptual permite abordar de manera sencilla, la identificación de las zonas de recarga, tránsito y descarga, su relación con otros acuíferos, con las aguas superficiales y marinas, para establecer las medidas de manejo del acuífero, mediante programas para la protección y el aprovechamiento sostenible del agua subterránea.

3.3.13 Oferta hídrica subterránea

Las aguas atmosféricas, superficiales y subterráneas hacen parte del mismo ciclo hidrológico y se encuentran constantemente en interacción. Además, la principal fuente de alimentación de las aguas subterráneas son las aguas meteóricas. Por lo anterior, es de gran importancia la evaluación de las condiciones meteorológicas e hidrológicas, para contribuir al modelo hidrogeológico con la siguiente información:

1. Posibles fuentes y zonas de recarga y descarga de aguas subterráneas.
2. Disponibilidad del agua para la recarga (balance hídrico superficial).

El relieve se caracteriza por la presencia de una topografía suave a ligeramente ondulada; la zona plana, tiene alturas menores de 50 msnm y una extensión aproximada de 237.85 km², el resto del área (662.32 km²), lo ocupan las cadenas de colinas pertenecientes a la Serranía de Abibe-Las Palomas con alturas que no superan los 1.000 msnm. En el piedemonte de la Serranía de Abibe-Las Palomas se encuentran abanicos aluviales producidos por los ríos que nacen al oriente.



El área es caracterizada por una hidrografía, compuesta por cuencas y microcuencas, con tributarios importantes dentro de la Cuenca Turbo-Currulao, siendo los más importantes: ríos Turbo, Currulao, Caimán Nuevo y Caimán Viejo, además de varias corrientes menores (Figura 28).

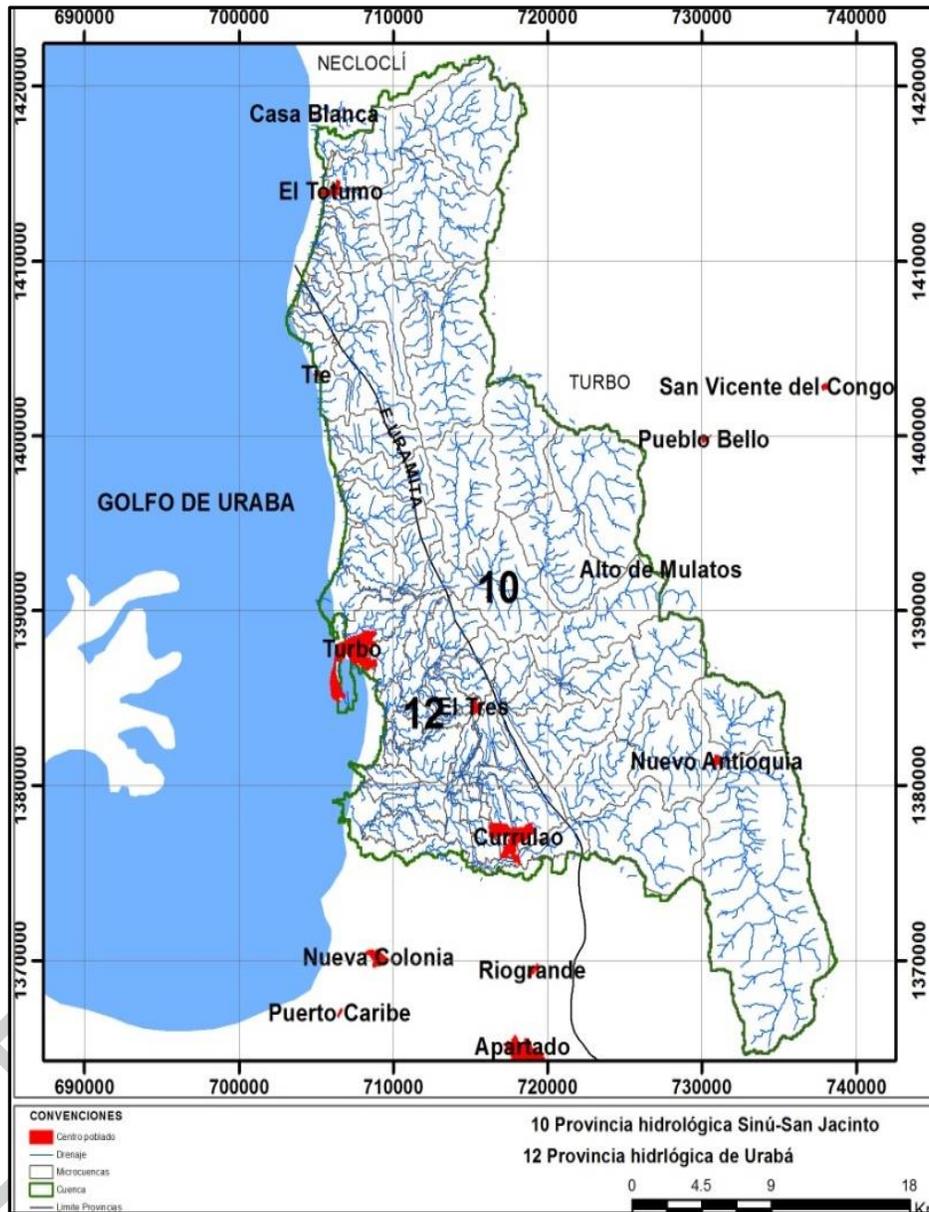


Figura 28. Red hidrográfica de la Cuenca Río Turbo-Currulao.
Fuente: Elaboración propia.

3.3.13.1 Fuentes y magnitud de la recarga

La recarga de agua a un acuífero depende de gran cantidad de variables, las cuales en muchas ocasiones no se determinan de manera exacta y sencilla y aquellas que pueden medirse de manera directa, corresponden a datos puntuales que luego deben extenderse



a grandes áreas (Custodio, Llamas, & Sauquillo, 2000). Autores como Lerner (Lerner R, A.S., & Simmers, 1990) (1990) y Samper (Samper, 1997) han propuesto una clasificación para los diferentes métodos de estimación de la recarga subterránea tales como medidas directas, balance de agua, técnicas de Darcy, técnicas de trazadores y métodos empíricos, en Colombia el método de Balance Hídrico es el más utilizado.

Este método está basado en el principio de la conservación de masa a una cierta región de volumen conocido (volumen de control), definida por unas condiciones de frontera, durante un período de tiempo. La diferencia en las entradas y las salidas debe ser igual al cambio en el almacenamiento de agua. La mayor parte de los métodos de balance de agua determinan la recarga a partir de los demás componentes, este tipo de balances se puede hacer en la zona superficial, en la no saturada y en la saturada (Vélez y Vásquez, 2004) (Vélez, M. & Vásquez, L, 2004).

Considerando como factores fundamentales para la infiltración las características del terreno tales como la pendiente, la textura del suelo, la cobertura vegetal, entre otras se indagó acerca de las condiciones texturales de los suelos desarrollados en la cuenca, parámetros que se tuvieron en cuenta en el análisis hidrometeorológico realizado para la cuenca en el capítulo de clima, en donde la estimación de la recarga potencial de los acuíferos, se realiza mediante la utilización del balance hídrico a nivel mensual.

Para el modelamiento del comportamiento hidrológico de la cuenca, existe información adquirida en el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales): estaciones de precipitación, estaciones de caudal y temperatura, a través de los cuales se obtuvo la clasificación climática para la Cuenca Río Turbo Currulao, como Cálido semihúmedo.

El periodo de referencia para el estudio es de 1973 a 2015. Las estaciones que se incluyen para la espacialización de la precipitación son 4 correspondientes a: Aeropuerto los cedros, Uniban, Tulenapa y Represa Urrá.

Los análisis de precipitación de las estaciones citadas para la Cuenca Río Turbo-Currulao y Currulao permiten inferir que su régimen de lluvia varía desde los 1500 mm/año en la estación Puerto Bello, hasta los 3260 mm/año en Aeropuerto Los Cedros, la estación más representativa localizada dentro del polígono es Turbo y registra un promedio de 2180 mm/año. 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 recarga potencial por precipitación se da de dos maneras:

- Por un movimiento descendente del agua debido a la fuerza de gravedad.
- Por el movimiento horizontal del flujo debido a las diferentes condiciones hidráulicas de las capas que constituyen el perfil del suelo (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

Retomando los resultados del cálculo balance hídrico Figura 29 (capítulo clima) mensual, podemos estimar la recarga potencial por precipitación del sistema de acuíferos de la Cuenca Río Turbo-Currulao por agua lluvia en los períodos con exceso o deficiencia de agua dentro de la cuenca, teniendo en cuenta que:



Se puede almacenar agua (A), 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.

Existe exceso (E), 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 E.

El déficit (D) se da 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.

La evapotranspiración real (E_r), es la evapotranspiración que realmente, según (García J. &., 1972), ocurre en función del agua disponible ($P+A$). Máximo puede ser igual a la potencial.

La capacidad de almacenamiento de agua en el suelo fue obtenida con base en la caracterización física de las unidades de suelo definidas para la cuenca. Se estimó un valor de CMA por unidad hidrográfica. En la Tabla 14 se presentan valores medios, mínimos y máximos obtenidos de la interpolación de cada unidad de suelo para las subcuencas de la Cuenca Río Turbo-Currulao jerarquizadas.

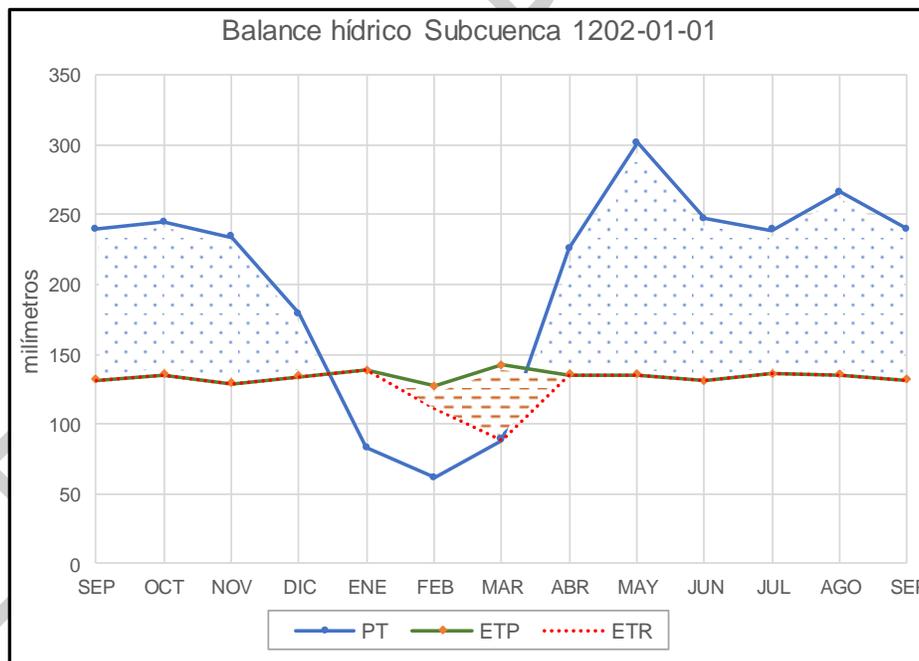


Figura 29. Balance hidroclimático mensual subcuenca río Currulao.
Fuente: Elaboración propia (datos obtenidos en el capítulo de clima).



Tabla 14. Capacidad de almacenamiento de agua por subcuencas.

SUBCUENCAS	AÑO SECO (mm)	AÑO HUMEDO (mm)	AÑO MEDIO (mm)	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA
Río Currulao	0.11	151.08	105.02	Pavo (Ngp)
Río Guadualito	33.29	161.65	121.05	Pavo (Ngp)-Arenas Monas (Ngam)
Quebrada Guadualito	0.29	146.74	77.22	Aluvial (Qhal)
Quebrada El Cuna	56.64	164.00	111.66	Aluvial (Qhal)
Zona Urbana Turbo	0.09	78.87	49.43	Aluvial (Qhal)
Río Turbo	0.08	207.97	119.29	Pavo (Ngp) Aluvial (Qhal)
Quebrada Aguas Claras - Estorbo	34.45	109.12	85.66	Pavo (Ngp) Aluvial (Qhal)
Quebrada Cope	83.13	105.67	95.01	Pavo (Ngp)
Quebrada NN1	92.63	96.20	94.15	Pavo (Ngp)
Río Punta de Piedra	93.10	108.71	101.34	Pavo (Ngp)
Quebrada NN2	93.71	97.51	95.84	Pavo (Ngp)
Río Cirilo	96.42	104.56	101.37	Pavo (Ngp)
Quebrada NN3	97.16	102.00	99.60	Pavo (Ngp)
Quebrada Tie	99.53	104.07	102.05	Pavo (Ngp)
Quebrada NN4	99.83	107.88	104.02	Pavo (Ngp)
Río Caiman Nuevo	67.28	147.98	112.83	Pavo (Ngp)
Quebrada Seca	87.35	132.97	120.38	Pavo (Ngp)
Río Totumo	14.18	129.01	82.72	Pavo (Ngp)
Quebrada Manuela	0.06	76.74	32.09	Pavo (Ngp)
Quebrada La Anguilla	0.31	90.40	44.52	Pavo (Ngp)
Río Caimán Viejo - Tigre	28.52	137.60	95.94	Pavo (Ngp)
Recarga potencial	97.91	213.39	155.65	Cuenca Río Turbo-Currulao

Fuente: Elaboración propia (datos obtenidos en el capítulo de clima).

Datos similares a los calculados por el INGEOMINAS (2005), para la región de Urabá, en donde reporta una recarga potencial de 99 mm/año para año seco, para año medio un valor de 177 mm/año y para año húmedo un valor de 315 mm/año.

3.3.13.2 Oferta del agua subterránea

Teniendo en cuenta el modelo hidrogeológico para la Provincia Hidrogeológica de Urabá (12), se identifican cuatro horizontes o secuencias sedimentarias de gran significado hidrogeológico, representadas por las secuencias A, B, C y D (Pozo Apartadó-1), la cual se caracteriza por presentar una geometría acuñada (ECOPETROL, 1982). El espesor de las unidades A, B, C y D se incrementa ligeramente en la misma dirección NW, de igual manera indica que las unidades A, B, C y D aumentan ligeramente de espesor en sentido norte y se acuñan en sentido sur. De acuerdo a la información consignada en los registros de perforación de los pozos del área, en donde la máxima profundidad alcanzada es 290 m (Pozo 79-IV-C-41), la secuencia reportada es una secuencia alternante de areniscas intercaladas con arcillolitas y limolitas, correlacionable con la secuencia reportada en el Pozo Apartadó-1, lo que hace suponer que prácticamente todas las unidades de la Provincia Hidrogeológica de Urabá (12) tienen potencial acuífero y es la Unidad Hidrogeológica Arenas Monas (Ngam), de edad Neógena, es decir que esta unidad



alcanza un espesor de 3000 m, en la Provincia Hidrogeológica de Urabá (12), representando un gran potencial para la extracción de aguas subterráneas.

Como no se cuenta con datos, geofísicos, hidrogeológicos, ni fisicoquímicos para la Provincia Hidrogeológica de Sinú (10), no se puede calcular la disponibilidad de agua para esta provincia hidrogeológica, sin embargo por correlación geológica-estructural, el modelo hidrogeológico para la Provincia Hidrogeológica de Sinú (10), identifica una espesa secuencia sedimentarias (>4000 m) de regular a moderado significado hidrogeológico para la Cuenca Río Turbo-Currulao, representada por una secuencia de delgadas capas de areniscas con matriz arcillosa y ocasionalmente con cemento calcáreo, de baja esfericidad y selección de moderada a pobre (Formación Pavo). Esta unidad no se reportó en el Pozo Apartadó-1, lo que hace suponer que la secuencia no fue depositada en este sector de la Provincia Hidrológica de Urabá (12), además el ambiente de depósito para la Formación Pavo (Ngp) es marino contrario al ambiente de depósito de la Formación Arenas Monas (Ngam) que es continental.

El sector Altos de Mulatos, se observó un estrato de material con baja permeabilidad (lente) en una zona de mayor permeabilidad, interceptando el agua que se mueve a través de la zona no saturada (acumula en el mismo), provocando una zona saturada aislada, lo que se denomina comúnmente como "acuífero colgado" (Figura 30). Este lente saturado hace parte de la formación Pavo Superior compuesta por arcillolitas, conglomerados, arenitas y lodolitas, y se considera el elemento detonante del deslizamiento presentado.



Figura 30. Presencia de "acuífero colgado", en el sector Alto de Mulatos – Caracolí.
Fuente: Campaña geotécnica.

Para que la Formación Pavo sea considerada acuífero debe almacenar y transmitir agua a tasas suficientes para satisfacer la extracción desde un pozo de bombeo, esta condición no ha sido constatada o reportado hasta el momento en el área de la Cuenca Río Turbo-



Currulao. La Unidad Pavo (Ngp), por sus características litológicas ha sido considerada como de poco valor hidrogeológico, y se le considera como estrato confinante por presentar baja permeabilidad intrínseca $< 10^{-2}$ darcy, sin embargo, esta condición no siempre se cumple, ya que muchas veces depende de las condiciones locales de flujo. En áreas de arcilla, con permeabilidades del orden de 10^{-4} darcy, un estrato de limo con una permeabilidad de 10^{-2} puede ser considerado un excelente sistema acuífero (como lo evidenciado), además el "acuífero colgado", se encuentra en una zona de recarga.

Para calcular un estimativo aproximado de la oferta hídrica renovable de agua subterránea en la Cuenca Río Turbo-Currulao, se consideraron los valores de recarga, obtenidos en el balance hídrico.

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, estableció mediante Resolución 872 de 2006, en el marco de la definición del Índice de Escasez para Aguas Subterráneas, la forma de calcular el caudal de agua explotable desde un acuífero; si bien esta metodología ha sido cuestionada, aún no se ha reformulado y sigue vigente. Según esta resolución el caudal explotable de agua subterránea se calcula con la expresión (CORPOURABA; Universidad de Antioquia, 2016):

Ecuación 4. Caudal explotable.
 $QE = a QN$

QE: Caudal explotable expresado, en $m^3/año$.

QN: Recarga del acuífero en condiciones naturales y los componentes de recarga artificial cuando ellos son conocidos, expresada en $m^3/año$.

a: Coeficiente adimensional que tiene valor de 1,0, de acuerdo con el régimen de explotación establecido por CORPOURABA, es decir toda el agua que se recarga al acuífero es explotable.

Resumiendo las consideraciones planteadas, los valores de recarga potencial (Tabla 14) en la Cuenca Río Turbo-Currulao, considerando tres años tipo con condiciones hidrológicas diferentes (seco, medio o húmedo), se estableció para cada uno un área de influencia para calcular el volumen de agua recargada anualmente, multiplicando recarga por área.

Tabla 15. Oferta de aguas subterráneas para la Cuenca Río Turbo-Currulao

PROVINCIA HIDROGEOLÓGICA	RECARGA POTENCIAL (m^3) Año seco	RECARGA POTENCIAL (m^3) Año húmedo	RECARGA POTENCIAL (m^3) Año medio	ÁREA (Km^2)	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA
Sinú (10)	258898.97	564250.95	411573.46	661.056	Pavo (Ngp) Aluvial (Qhal)
Golfo de Urabá (12)	92980.81	202647.09	147728.48	237.414	Arenas Monas (Nam) Aluvial (Qhal)

Fuente: Elaboración propia.

Considerando una dotación aproximada de $54,75 m^3/habitante/año$ (150 litros/habitante/día) de acuerdo a lo planteado por la Resolución 2320 de 2009 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, ahora Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, y los valores de oferta de la Tabla 15, se estima la población



que se podría abastecer para cada años tipo en cada subcuenca (Tabla 16) (CORPOURABA; Universidad de Antioquia, 2014).

Tabla 16. Estimación de la población que podría abastecerse de aguas subterráneas en el Sistema Acuífero del Golfo de Urabá.

PROVINCIA HIDROGEOLÓGICA	RECARGA POTENCIAL (m ³) Año seco	POBLACIÓN (Hab/año)	RECARGA POTENCIAL (m ³) Año húmedo	POBLACIÓN (Hab/año)	RECARGA POTENCIAL (m ³) Año medio	POBLACIÓN (Hab/año)
Sinú (10)	258898.97	4728.74	564250.95	10305.95	411573.46	661.056
Golfo de Urabá (12)	92980.81	1698.27	202647.09	3701.31	147728.48	237.414

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al Estudio Nacional del Agua (IDEAM, 2010), las provincias hidrogeológicas de Sinú-San Jacinto y Urabá, presenta las siguientes características (ver Tabla 17):

Tabla 17. Características y reservas de las provincias de Urabá y Sinú-San Jacinto

PROVINCIA HIDROGEOLÓGICA	FORMACIONES GEOLOGICAS CON POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO	TIPO DE ACUÍFERO	AREA (Km ²)	ESPELOR DEL ACUÍFER O (m)	RENDIMIENT O ESPECÍFICO	RESERVA S (m ³ *10 ¹⁰)
Urabá	Depósitos de terraza y llanura aluvial de los ríos principales. Capa de arenisca en matriz arcillosa, interestratificadas con lentes de conglomerado y lodolitas que agrupa la Formación Arenas Monas constituida por intercalaciones de lodolitas, areniscas y conglomerados.	Acuíferos libres en las unidades de terrazas y llanura aluvial semiconfinados a confinados en la Unidad Ngam Arenas Monas	237,9114	3078	0.01—0.04	0.44
Sinú-San Jacinto	Sedimentos arenosos y de gravas, areniscas friables y conglomeráticas de la Formación Corpa, Formación Pavo, Formación Maralu, Formación San Jacinto, Formación Cayetano y Gravas de Rotinet.	Acuíferos libres a semiconfinados para las unidades recientes. Libres a confinados para el resto de unidades.	37.770,88	970	0,0054-0.13	19,40

Fuente: (IDEAM, 2010).



Las arenas y gravas se consideran los acuíferos principales del área, con niveles saturados. Es de extensión regional por su porosidad primaria. Según las columnas litológicas de los pozos profundos, los acuíferos son del tipo multicapa, esto está corroborado con los diseños de los pozos realizados a partir de los registros eléctricos de SP, Gamma, Resistividad.

3.3.14 Aspectos de especial importancia Hidrogeológica

Como resultado de la fase de diagnóstico se determinaron las áreas que revisten una especial importancia hidrogeológica y que, por tanto, serán objeto de establecimiento de medidas de manejo específicas o de estrategias de protección diferenciales. Entre las áreas de especial importancia hidrogeológica se encuentran las zonas de recarga prioritaria, las áreas con mayor vulnerabilidad a la contaminación y los perímetros de protección de captaciones para abastecimiento público. A continuación, se abordarán aspectos generales que servirán de insumo para la determinación de zonas o condiciones de especial importancia hidrogeológica.

3.3.14.1 Zonas de recarga por precipitación

Aunque no se dispone de toda la información necesaria para delimitar las zonas de recarga a escala detallada, nos ayudamos de la cartográfica temática existente (topografía, suelos, vegetación, geología, e información climática) para establecer el área de recarga potencial por precipitación, con objeto de priorizar las zonas de conservación para la regulación hídrica y de fuentes abastecedoras de la población (Artículo 1° de la Ley 99 de 1993).

Las áreas de pendientes mayores, la vegetación natural previene la escorrentía y favorece la infiltración y por lo mismo, la deforestación incrementa la escorrentía, por lo tanto, existirá un decremento del agua disponible para la recarga. En zonas bajo cobertura boscosa, al reducirse la escorrentía, hay más agua disponible para la recarga del acuífero debido a la función de "captura de agua" inherente a esas coberturas. En consecuencia, la protección de dichas áreas debe contemplar el mantenimiento de la capacidad de infiltración de la superficie del terreno mediante la prohibición su intervención (aumento de la frontera agrícola) y mediante la reforestación con especies nativas con bajas necesidades de agua. Aunque estas zonas de pendientes altas, no se considera como proceso representativo de alimentación para los acuíferos, su carácter de zona de protección se articula más con la conservación de aguas superficiales y con la protección de suelos frente a procesos erosivos, que con la conservación de acuíferos. Por otra parte, la conservación y/o mejoramiento de la calidad del agua subterránea demanda normas especiales sobre el uso del suelo en las zonas de recarga, como son el prohibir el desarrollo de actividades que se puedan erigir en focos contaminantes para el agua subterránea (mataderos, porquerizas y galpones, pozos sépticos).

Como ya existe un PMAA para el acuífero del Golfo de Urabá (Provincia Hidrogeológica 12) y en él están contempladas estas zonas especiales, simplemente se debe hacer el respectivo seguimiento para garantizar la prevención o minimización de aportes de contaminantes al subsuelo.

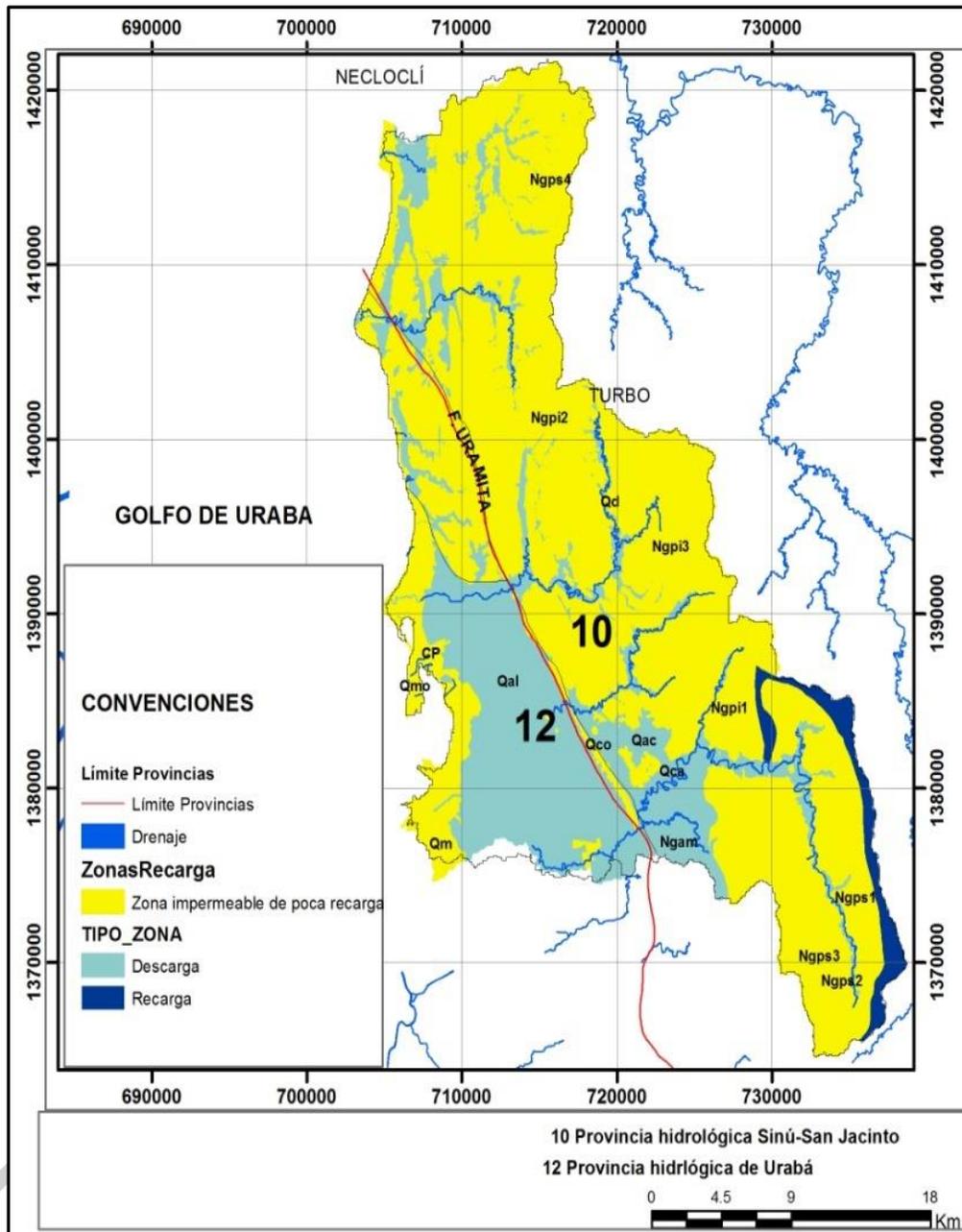


Figura 31. Zonas de recarga y descarga para la Cuenca Río Turbo-Currulao.
Fuente: Elaboración propia.

3.3.14.2 Perímetros de protección de pozos

Una forma de proteger las aguas subterráneas de la contaminación indeseada es la restricción de ciertas actividades y del uso del terreno en la zona que circunda una fuente de captación de recursos hídrico subterráneo (Hirata, R. & Reboúças, A., 1999).



Con esta zona de protección, se busca proteger la zona de alimentación del pozo, misma que está en función tanto de las condiciones hidrogeológicas del acuífero, como del caudal de bombeo del pozo. Existen diferentes niveles de perímetros de protección de pozos que responden a objetivos y criterios diferentes, un ejemplo tomado del (BANCO MUNDIAL, 2007), plantea cuatro niveles correspondientes a: la zona operacional; la zona de inspección sanitaria; el área de protección microbiológica y; el área de captura total de la fuente. De acuerdo con estos niveles, se definen estrategias de protección de los acuíferos a través de las cuales se podrán prohibir, restringir o, aceptar condicionadamente, la ubicación de ciertas actividades potencialmente contaminantes. Figura 32 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012).

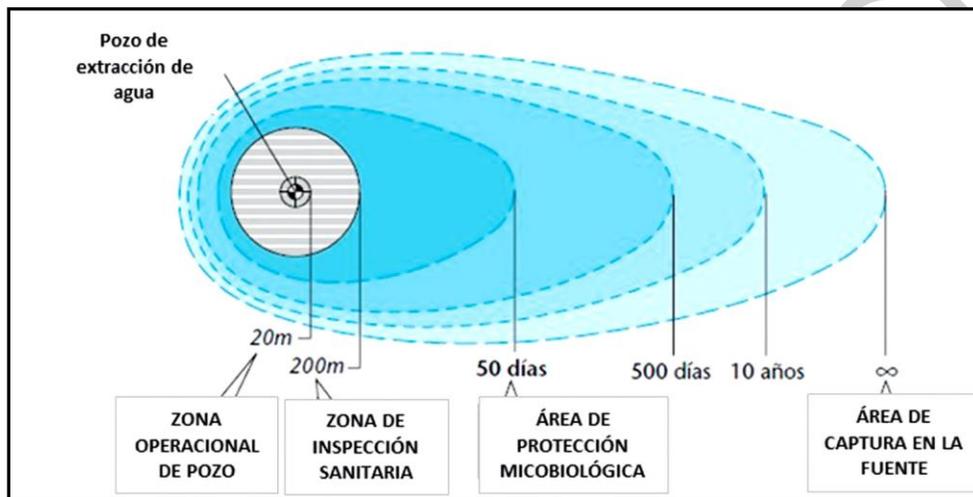


Figura 32. Perímetros de protección de pozos en un acuífero libre.
Fuente: (BANCO MUNDIAL, 2007). Propuestas Metodológicas para la Protección del Agua Subterránea, Guía técnica parte B.

3.3.14.3 Intrusión marina

El Acuífero del Golfo por tratarse de un acuífero con límites costeros está expuesto al deterioro de la calidad del agua por cargas laterales como la intrusión marina.

Aunque hasta el momento no ha sido comprobada este tipo de contaminación, es pertinente la vigilancia permanente de la intrusión marina y la dinámica de las aguas entre ambientes marinos, transicionales y continentales.

Este límite se establece a partir de la interpretación de los SEV cercanos a la costa, la descripción de los diferentes perfiles geológicos. Su detección, se estableció por los valores de resistividad eléctrica en el rango de 0 – 1 Ω .m (Ohmio.metro), interpretado como estratos de sedimentos cuaternarios con agua salada (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).



3.3.15 Conclusiones

Como se ha evidenciado a lo largo de todo el documento, para la Provincia Hidrogeológica del Sinú (10) existe un gran desconocimiento hidrogeológico, especialmente en las características geofísicas, hidráulicas e hidrogeoquímicas, por consiguiente, es necesario mejorar el conocimiento de este sector (oriental) de la Cuenca Río Turbo-Currulao con el fin de establecer corroborar su importancia dentro de la cuenca, ya que el análisis realizado para esta provincia es puramente geológico-estructural.

No es posible generar un buen modelo hidrogeológico conceptual para toda la Cuenca Río Turbo-Currulao, solamente se presenta el Modelo Hidrogeológico Conceptual para la Provincia Hidrogeológica de Urabá (12). Para la Provincia Hidrogeológica del Sinú (10), no se realizó este modelo ya que no contamos con elementos suficientes para identificar realmente las zonas de recarga, tránsito y descarga dentro de la cuenca, la relación de las dos provincias hidrogeológicas con las aguas superficiales y marinas, teniendo en cuenta que la Falla de Uramita se comporta como una barrera impermeable (Agencia Nacional de Hidrocarburos -ANH-, 2009) dentro de estas dos provincias y de esta forma establecer las medidas para el manejo del acuífero.

De acuerdo al Decreto 1640 de 2012 en su artículo 62 establece que: “en aquellos acuíferos que no hagan parte de un plan de ordenación y manejo de cuenca hidrográfica, la autoridad ambiental competente elaborará el plan de manejo ambiental de acuíferos, previa selección y priorización del mismo, cuando se prevean como mínimo una de las siguientes condiciones, en relación con oferta, demanda, calidad hídrica, riesgo y gobernabilidad:

- Agotamiento o contaminación del agua subterránea de conformidad con lo establecido en el artículo 152 del Decreto Ley 2811 de 1974 reglamentado por los artículos 121 y 166 del Decreto 1541 de 1978 o la norma que los modifique o sustituya.
- Cuando el agua subterránea sea la única y/o principal fuente de abastecimiento para consumo humano.
- Cuando por sus características hidrogeológicas el acuífero sea estratégico para el desarrollo socioeconómico de una región.
- Cuando existan conflictos por el uso del agua subterránea.
- Cuando se requiera que el acuífero sea la fuente alterna por desabastecimiento de agua superficial, debido a riesgos antrópicos o naturales.

Si tenemos en cuenta estas condiciones, en estos momentos no se cumplen para la Provincia Hidrogeológica del Sinú (10), es decir en estos momentos no es prioridad elaborar un PMAA, puesto que el recurso hídrico subterráneo no ha sido evaluado, no se tiene registrado ningún punto de agua subterránea.

Se recomienda adelantar estudios de exploración hidrogeológicas para la Provincia Sinú-San Jacinto (10) con el fin de obtener el conocimiento suficiente para poder generar el Modelo Hidrogeológico Conceptual de esta provincia y establecer cuál es la relación de



las dos provincias hidrogeológicas con las aguas superficiales y marinas de la provincia vecina, y de esta forma establecer las medidas para el manejo del acuífero, en relación con oferta, demanda, calidad hídrica, riesgo y gobernabilidad, teniendo en cuenta que:

- El agua subterránea puede llegar a ser la principal fuente de abastecimiento para consumo humano.
- De acuerdo a las características hidrogeológicas los acuíferos presentes en la cuenca son estratégicos para el desarrollo socioeconómico de la región.
- Porque estos acuíferos son la fuente alterna por desabastecimiento de agua superficial, debido a riesgos antrópicos o naturales (cambio climático).

EN ETAPA DE PUBLICIDAD



3.4 HIDROGRAFÍA

La hidrografía del POMCA Río Turbo Currulao tiene como objetivo principal la caracterización de la red de drenaje de la cuenca, subcuencas y microcuencas abastecedoras de centros urbanos y centros poblados. Estos procedimientos se realizaron siguiendo lo establecido en el documento: Zonificación y Codificación de Unidades Hidrográficas e Hidrogeológicas de Colombia (IDEAM, 2013), que tuvo su base metodológica en la Resolución 0337 del 4 de abril de 1978.

Según esta guía, “una de las más valiosas herramientas de la práctica hidrológica, después de la zonificación, clasificación e inventario de cuencas, es la codificación de las mismas; que permite estudiar y determinar en forma cuantitativa todos los procesos físicos que contribuyen a la formación y variación espacio temporal del recurso hídrico en una zona determinada; la asignación de un código a la cuenca facilita identificar y diferenciar unas cuencas de otras. Igualmente, el código permite acceder dentro de una base de datos a los diferentes atributos y características morfológicas y fisiográficas e interrelacionar con otras variables, su distribución espacial del agua” (IDEAM, 2013).

Siguiendo estos lineamientos institucionales, de los cuales se derivaron cinco (5) áreas hidrográficas, 41 zonas y 311 subzonas hidrográficas para el territorio nacional; se identifica que la cuenca en ordenación río Turbo Currulao (1202-01), se encuentra localizada en el área hidrográfica Caribe, código uno (1), zona hidrográfica Caribe - Litoral código (12) y la subzona en la cual se formulan e implementan los planes de ordenación y manejo de cuencas POMCA, corresponde a río Mulatos y otros directos al caribe, código (1202).

La cuenca del río Turbo Currulao se clasifica como pericontinental, debido a su ubicación costera. La subcuenca del río Turbo está localizada en su totalidad en la zona norte del municipio del mismo nombre. Se encuentra limitada naturalmente por el occidente con el Golfo de Urabá; por el oriente con la parte alta de la serranía de Abibe, por el sur con la cuenca del río Guadualito y por el norte con la cuenca del río Mulatos. La cuenca se caracteriza por tener una zona de llanuras que va desde la desembocadura en el Golfo hasta el pie de monte de la Serranía de Abibe de forma plana y ondulada, de allí hacia arriba, se encuentran las montañas de la serranía que cubren el mayor porcentaje de área con pendientes fuertes pero cortas, suaves y onduladas de formas convexas y cóncavas, presentando pequeños valles en el trayecto de su cauce (CORPOURABA, 2009).

La subcuenca del río Currulao, tiene su división natural al oriente con la cuenca del río Mulatos; al noroeste con la cuenca del río Grande y al occidente con la cuenca del río Apartadó. El río Currulao sigue su curso sur-norte dentro del municipio para luego descender al Golfo de Urabá con un viaje en sentido oriente-occidente, regando la zona bananera del municipio de Turbo (CORPOURABA, 2009).

Se identifican otras corrientes de importancia en sentido sur norte de la cuenca y que drenan directamente al golfo de Urabá, a saber: río Guadualito, quebrada el Cuna, quebrada Aguas Claras, quebrada Cope, río Punta de Piedra, río Cirilo y Tié, río Caimán Nuevo, quebrada Seca, río Totumo, quebrada Manuela y La Anguilla, quebrada Caimán Viejo-Tigre.



3.4.2 Delimitación y codificación de subcuencas y microcuencas

La guía técnica (IDEAM, 2013) recomienda que se codifiquen los diversos niveles de las unidades hidrológicas de una cuenca por el sentido derecho del afluente principal, partiendo de un punto de control o de confluencia. Sin embargo, este lineamiento no es aplicable al sistema de drenaje de la cuenca Río Turbo Currulao, por su condición de cuenca pericontinental, debido a que la mayoría de corrientes confluyen directamente al Golfo. Dada esta condición, se optó por codificar las unidades hidrológicas de nivel II (subcuencas) en sentido sur – norte y las de nivel III (microcuencas) siguiendo los lineamientos de la guía. Se codificaron 21 subcuencas incluyendo la zona urbana del municipio de Turbo y 4 interfluvios denominados como NN pero que corresponden a drenajes de tipo permanente. Con la información suministrada por CORPOURABA, en cuanto a puntos de captación, se delimitaron 12 microcuencas abastecedoras correspondientes a sistemas lóticos; solo se identificó un sistema de abastecimiento proveniente de un cuerpo léntico, todas las captaciones se encuentran localizadas en el municipio de Turbo, en la Tabla 18 se presentan las captaciones en mención.

Tabla 18. Puntos de captación agua superficial.

ID	CORRIENTES	ELEVACIÓN m.s.n.m	COORDENADAS DATUM MAGNAS SIRGAS ORIGEN OESTE	
			ESTE	NORTE
1	Río Caraballo	130	1057143	1374815
2	Quebrada NN	215	1062728	1375479
3	Quebrada Alto Mulatos	400	1057452	1390146
4	Quebrada el Limón	45	1050322	1380531
5	Quebrada Los Indios	42	1049070	1386867
6	Río Turbo	10	1041334	1390596
7	Quebrada San Felipe	70	1047209	1389224
8	Quebrada la Mina	55	1043699	1397814
9	Quebrada Copez	115	1042640	1393613
10	Río Cirilo	100	1037342	1399577
11	Río Cirilo	25	1037046	1399311
12	Quebrada Tíe	37	1036669	1401973
13	Cuerpo Léntico	10	1036982	1413049

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 19 se puede consultar los diversos niveles de las unidades hidrológicas de la cuenca. En la Figura 34 se ilustra la espacialización del nivel II (subcuencas) de las unidades hidrológicas, en la Figura 35 se presentan las microcuencas abastecedoras (nivel III).



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

Tabla 19. Codificación subcuencas y microcuencas.

AH	ZH	SZH	CUENCA	SUBCUENCA	COD.SUB	MICROCUENCA	COD.MICRO
				Río Currulao	1202-01-01	Río Caraballo	1202-01-01-01
						Quebrada NN	1202-01-01-02
				Río Guadualito	1202-01-02	Quebrada El Limón	1202-01-02-01
					1202-01-02	Quebrada Alto Mulatos	1202-01-02-02
					1202-01-02	Quebrada Los Indios	1202-01-02-03
Caribe (COD. 1)				Quebrada Guadualito	1202-01-03		
				Quebrada El Cuna	1202-01-04		
				Zona Urbana Turbo	1202-01-05		
				Río Turbo	1202-01-06	Río Turbo	1202-01-06-01
						Quebrada San Felipe	1202-01-06-02
						Quebrada La Mina	1202-01-06-03
						Quebrada Copez	1202-01-07-01
	Caribe - Litoral (COD. 12)	Río Mulatos y otros Directos al Caribe (COD. 1202)	Río Turbo- Currulao (COD. 1202-01)	Quebrada Aguas Claras - Estorbo	1202-01-07		
				Quebrada Cope	1202-01-08		
				Quebrada NN1	1202-01-09		
				Río Punta de Piedra	1202-01-10		
				Quebrada NN2	1202-01-11		
				Río Cirilo	1202-01-12	Río Cirilo	1202-01-12-01
						Quebrada NN	1202-01-12-02
				Quebrada NN3	1202-01-13		
				Quebrada Tie	1202-01-14	Quebrada Tié	1202-01-14-01
				Quebrada NN4	1202-01-15		
				Río Caimán Nuevo	1202-01-16		
				Quebrada Seca	1202-01-17		
				Río Totumo	1202-01-18		
				Quebrada Manuela	1202-01-19		
				Quebrada La Anguilla	1202-01-20		
				Río Caimán Viejo - Tigre	1202-01-21		

Fuente: Elaboración propia.



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

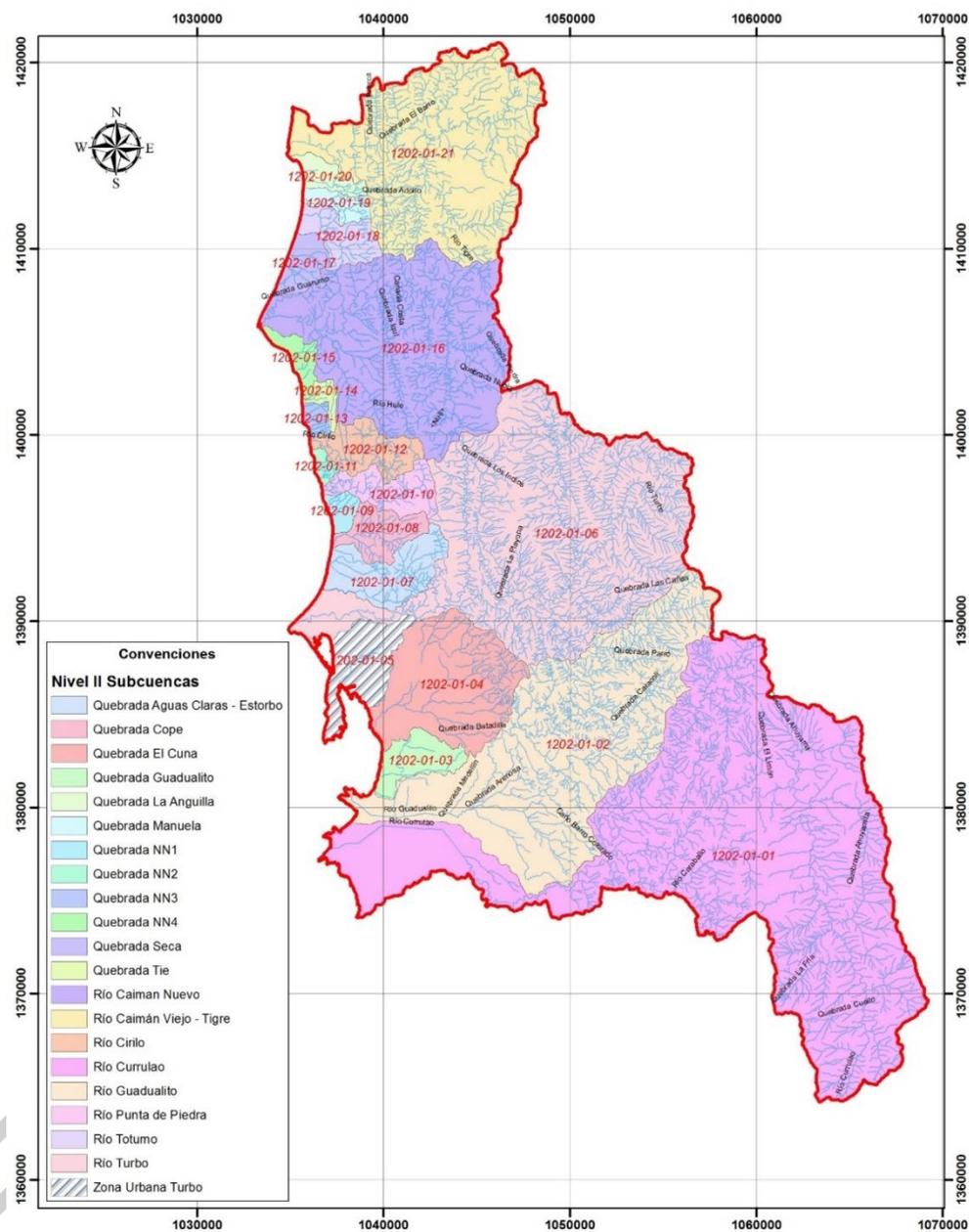


Figura 34. Representación gráfica de subcuencas de la cuenca Río Turbo Currulao.
 Fuente: Elaboración propia.



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

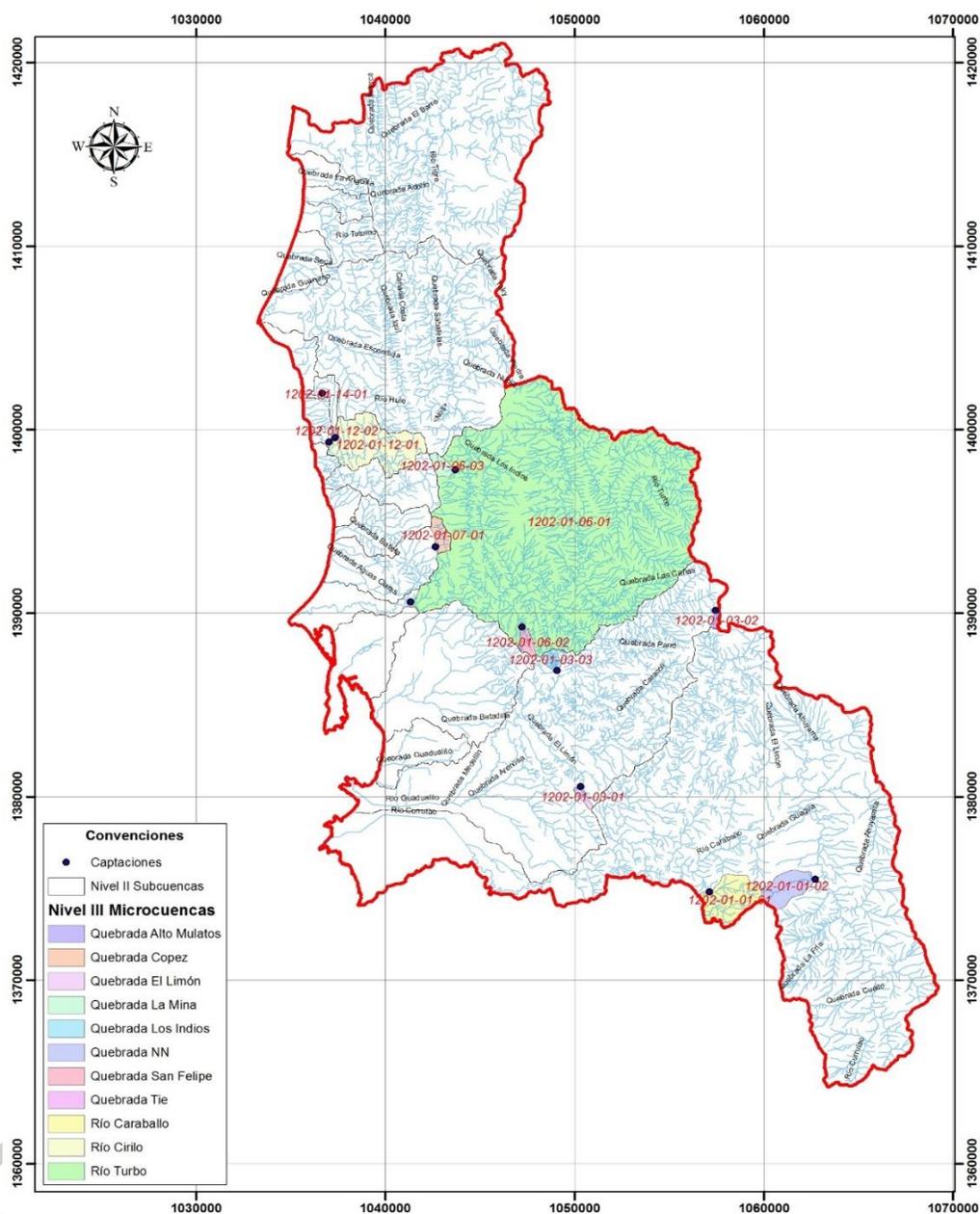


Figura 35. Representación gráfica de microcuencas abastecedoras de la cuenca Río Turbo Currulao.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.3 Caracterización de la red de drenaje

La red de drenaje de una cuenca está conformada por el río principal, sus tributarios y en los casos que se presenten, cuerpos de agua como lagos, lagunas y embalses; el conocimiento de su disposición, ramificación y caracterización es básico si se considera su influencia en el comportamiento hidráulico e hidrológico de una cuenca.



3.4.3.1 Jerarquización de la red de drenaje

La jerarquización del drenaje es una clasificación que se da a los cauces de una cuenca, asignándole un valor de acuerdo con el grado de bifurcación, siguiendo la metodología propuesta por Horton y modificada por (Strahler, 1952). De acuerdo con esta metodología, se consideran corrientes de primer orden aquellas que no tienen afluentes y corresponden a los nacimientos de agua; la confluencia de dos corrientes de primer orden da como resultado una de segundo orden y así sucesivamente, en el caso que una o varias corrientes de orden inferior desemboquen en una de orden superior, la corriente conservará la de mayor orden. El orden de los cauces de las subcuencas que conforman la cuenca Río Turbo-Currulao se obtuvo a partir de la cuantificación de corrientes permanentes e intermitentes del mapa topográfico escala 1:25.000 y el procesamiento del Modelo de elevación digital. La ley del número de los cauces de Horton (1945) establece la relación de bifurcación como el cociente entre el número de cauces N de orden i y el número de cauces N de orden inmediatamente superior $i + 1$ (Domínguez C., 2010):

Ecuación 5. Coeficiente de bifurcación

$$R_{b,i,i+1} = \frac{N_i}{N_{i+1}}$$

El valor promedio del radio de bifurcación para las subcuencas se obtiene como la media aritmética de los radios de bifurcación obtenidos entre las combinaciones encontradas para los órdenes de cauces en la red hídrica de la cuenca.

La relación de bifurcación de Horton describe el grado de ramificación entre corrientes de orden contiguo. La relación de bifurcación permite comprender algunas variaciones geológicas que se producen en el territorio de la cuenca, fundamentalmente cambios importantes en el sustrato rocoso y de los grupos de suelos dominantes. Las cuencas cuya relación de bifurcación permanece constante, indican homogeneidad en las características geológicas anteriores (Reyes T., Barroso, & Carvajal E., 2010).

Cuando los valores de la razón de bifurcación son bajos, existen picos fuertes en el hidrograma; y cuando son altos, el hidrograma es más uniforme. También, como norma general, valores muy altos de la razón de bifurcación permiten esperar cuencas alargadas, con multitud de tributarios de primer orden, vertiendo a una sola corriente principal (Londoño, 2001).

En la Tabla 20 se presenta el número de orden de cada una de las subcuencas jerarquizadas y el coeficiente de bifurcación. La espacialización de la red de drenaje se puede consultar en la Figura 36.



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

Tabla 20. Número de orden y relación de bifurcación de la red de drenaje.

SUBCUENCAS	CÓDIGO	N° ORDEN	NÚMERO DE CORRIENTES SEGÚN EL ORDEN						RADIOS DE BIFURCACIÓN					Rb (Subcuencas)
			1	2	3	4	5	6	Rb(1)	Rb(2)	Rb(3)	Rb(4)	Rb(5)	
Río Currulao	1202-01-01	6	1612	723	459	127	132	165	2,23	1,58	3,61	0,96	0,80	1,84
Río Guadualito	1202-01-02	6	685	312	211	106	43	11	2,20	1,48	1,99	2,47	3,91	2,41
Quebrada Guadualito	1202-01-03	4	55	31	10	11			1,77	3,10	0,91			1,93
Quebrada El Cuna	1202-01-04	5	233	126	57	34	15		1,85	2,21	1,68	2,27		2,00
Zona Urbana Turbo	1202-01-05	4	77	45	19	4			1,71	2,37	4,75			2,94
Río Turbo	1202-01-06	6	915	424	215	130	79	62	2,16	1,97	1,65	1,65	1,27	1,74
Quebrada Aguas Claras - Estorbo	1202-01-07	5	88	56	18	14	1		1,57	3,11	1,29	14,00		4,99
Quebrada Cope	1202-01-08	4	56	23	20	12			2,43	1,15	1,67			1,75
Quebrada NN1	1202-01-09	4	18	10	4	1			1,80	2,50	4,00			2,77
Río Punta de Piedra	1202-01-10	4	64	26	26	11			2,46	1,00	2,36			1,94
Quebrada NN2	1202-01-11	2	8	4					2,00					2,00
Río Cirilo	1202-01-12	4	71	25	28	16			2,84	0,89	1,75			1,83
Quebrada NN3	1202-01-13	3	14	9	1				1,56	9,00				5,28
Quebrada Tie	1202-01-14	3	9	7	1				1,29	7,00				4,14
Quebrada NN4	1202-01-15	2	22	14					1,57					1,57
Río Caiman Nuevo	1202-01-16	5	614	293	183	77	60		2,10	1,60	2,38	1,28		1,84
Quebrada Seca	1202-01-17	4	40	25	11	2			1,60	2,27	5,50			3,12
Río Totumo	1202-01-18	4	56	30	12	11			1,87	2,50	1,09			1,82
Quebrada Manuela	1202-01-19	4	24	14	4	5			1,71	3,50	0,80			2,00
Quebrada La Anguilla	1202-01-20	3	27	11	13				2,45	0,85				1,65
Río Caimán Viejo - Tigre	1202-01-21	6	540	268	152	62	33	26	2,01	1,76	2,45	1,88	1,27	1,88

Fuente: Elaboración propia.



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

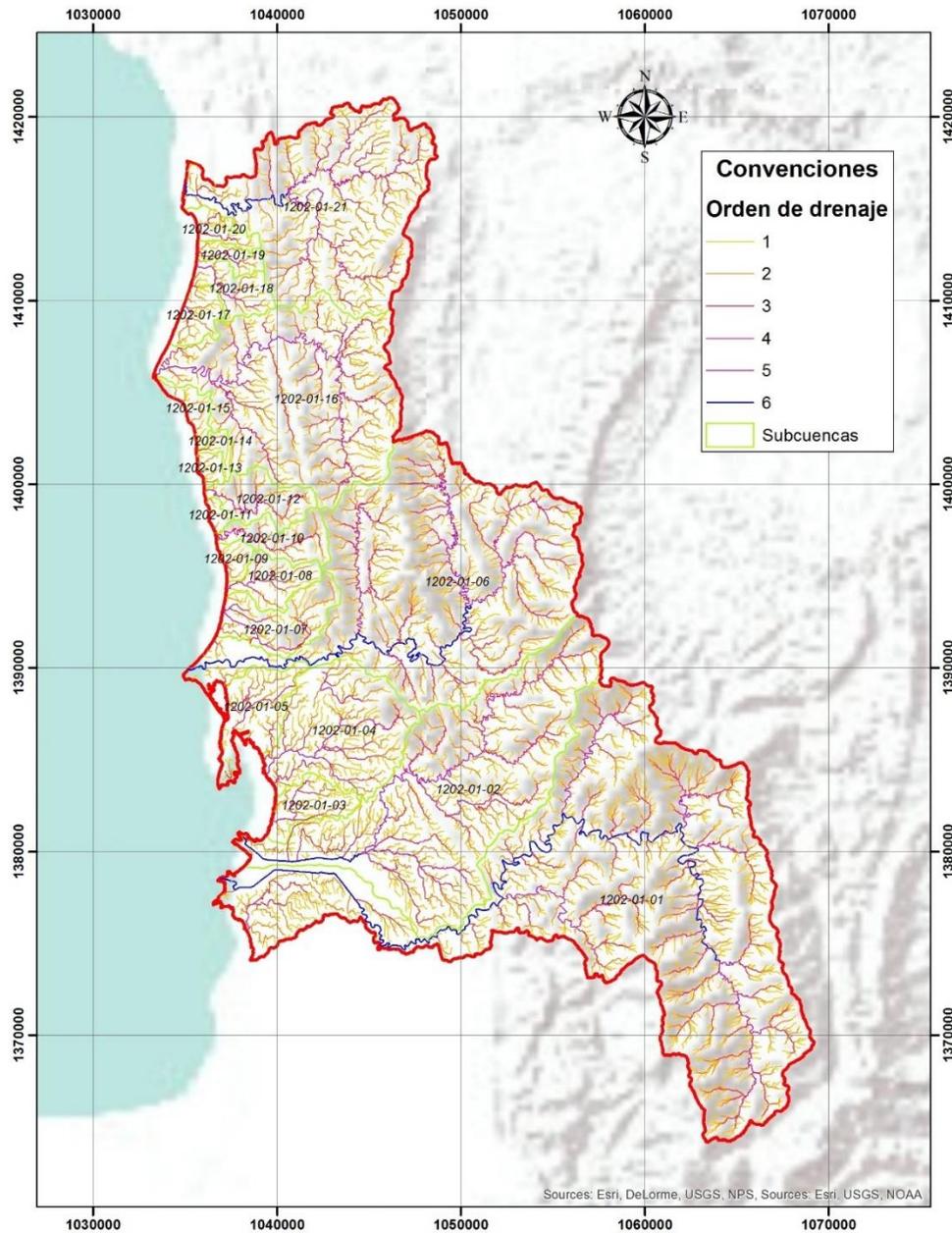


Figura 36. Jerarquización de la red de drenaje subcuencas Río Turbo Currulao.
Fuente: Elaboración propia.

Las subcuencas más representativas del POMCA en ordenación (río Turbo y río Currulao), ostentan ordenes de corrientes tipo 6; así como las corrientes Guadualito y Caimán viejo al norte del polígono. Las demás subcuencas oscilan entre orden 2 y orden 5.

El coeficiente de bifurcación (R_b) en la mayoría de las subcuencas es bajo $R_b < 3$, exceptuando a la Quebrada Aguas Claras – Estorbo, Quebrada NN3 y Quebrada Tié, que



presentan un $R_b > 4$. Estos resultados se asocian a unidades hidrográficas muy bien drenadas que pueden generar a su vez crecidas más violentas.

3.4.3.2 Densidad de drenaje

Este parámetro se define como el cociente entre la longitud total de los cauces que conforman el sistema fluvial de la cuenca, expresados en kilómetros y el área total de la cuenca, expresada en kilómetros cuadrados (Horton, 1945). Matemáticamente se expresa como:

Ecuación 6. Densidad de Drenaje.

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n L_{t_i}}{A}$$

Donde n es el número de corrientes visibles en la cartografía disponible y A es el área en kilómetros cuadrados la cuenca evaluada. La densidad de la red hidrográfica está controlada por el clima, la geología y la estructura del relieve (Domínguez C., 2010).

El número de corrientes que se obtuvo de la jerarquización de drenajes al dividirla por el área de cada subcuenca clasifica un índice denominado densidad de corrientes.

En la Tabla 21, se presenta una clasificación de la densidad de drenaje propuesta por (Delgadillo & Paez, 2008), interpretada de cartografía 1:25.000.

Tabla 21. Categorización de la densidad de drenajes.

DENSIDAD DE DRENAJE (km/km ²)	CATEGORÍA
< 1	Baja
1 a 2	Moderada
2 a 3	Alta
> 3	Muy Alta

Fuente: (Delgadillo & Paez, 2008).

La literatura asocia una densidad de drenaje alta con materiales impermeables a nivel superficial, vegetación dispersa y relieves montañosos (Strahler, 1952). Además de ello, indica que la unidad hidrográfica posee suficiente drenaje para cuando se presentan las tormentas. Una cuenca bien drenada generaría poca oportunidad de darle tiempo a la escorrentía superficial de infiltrarse y percolar a nivel subterráneo, de allí que los acuíferos de estas zonas son de bajos rendimientos o en su defecto el volumen de recarga es muy pobre.

En la Tabla 22 se pueden consultar los resultados de estos parámetros derivados de la red de drenaje.

Tabla 22. Densidad de drenajes y corrientes a nivel de subcuencas.

SUBCUENCAS	CÓDIGO	ÁREA [Km ²]	LONGITUD DE DRENAJES [Km]	DENSIDAD DE DRENAJES [Km/Km ²] 1:25.000	DENSIDAD DE CORRIENTES [1/Km ²] 1:25.000
Río Currulao	1202-01-01	265,17	1.918,40	7,23	12,14
Río Guadualito	1202-01-02	124,74	872,11	6,99	10,97
Quebrada Guadualito	1202-01-03	9,61	66,52	6,92	11,13
Quebrada El Cuna	1202-01-04	43,07	308,96	7,17	10,80
Zona Urbana Turbo	1202-01-05	15,75	98,80	6,27	9,20



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

SUBCUENCAS	CÓDIGO	ÁREA [Km ²]	LONGITUD DE DRENAJES [Km]	DENSIDAD DE DRENAJES [Km/Km ²] 1:25.000	DENSIDAD DE CORRIENTES [1/Km ²] 1:25.000
Río Turbo	1202-01-06	159,80	1.084,78	6,79	11,42
Quebrada Aguas Claras - Estorbo	1202-01-07	16,42	107,21	6,53	10,78
Quebrada Cope	1202-01-08	9,42	53,53	5,68	11,78
Quebrada NN1	1202-01-09	2,99	19,60	6,56	11,05
Río Punta de Piedra	1202-01-10	10,90	65,13	5,97	11,65
Quebrada NN2	1202-01-11	1,70	10,34	6,08	7,05
Río Cirilo	1202-01-12	11,89	69,78	5,87	11,78
Quebrada NN3	1202-01-13	2,27	14,81	6,51	10,55
Quebrada Tie	1202-01-14	2,21	11,79	5,32	7,68
Quebrada NN4	1202-01-15	4,42	25,13	5,68	8,14
Río Caiman Nuevo	1202-01-16	97,45	667,54	6,85	12,59
Quebrada Seca	1202-01-17	6,45	45,27	7,02	12,09
Río Totumo	1202-01-18	8,91	56,52	6,34	12,23
Quebrada Manuela	1202-01-19	4,10	25,77	6,29	11,47
Quebrada La Anguilla	1202-01-20	4,63	28,45	6,14	11,01
Río Caimán Viejo - Tigre	1202-01-21	95,56	601,64	6,30	11,31

Fuente: Elaboración propia.

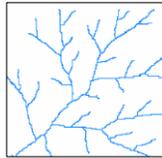
En términos generales la cuenca Río Turbo-Currulao se considera bien drenada y la categoría de la densidad de drenaje es Muy Alta ($D > 3$). En cuanto a la densidad de corrientes, se tiene un rango de 7 a 12 corrientes por kilómetro cuadrado de territorio drenado.

3.4.3.3 Patrones de drenajes y alineamiento

Los patrones de drenaje son configuraciones en las redes hídricas que presentan ciertos arreglos geométricos o irregulares, que permiten su relación con sus propiedades hidrológicas o hidrogeológicas (Londoño, 2001). Dependiendo de la forma que presenten los cauces que posee la cuenca, se puede hablar de patrones de drenaje, entendido esto como la forma que tiene él o los cauces encargados de drenar o extraer el agua de los terrenos circundantes (vertientes). En la Tabla 23, se presenta la descripción de algunos de los patrones de drenaje citados en la literatura.

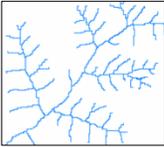
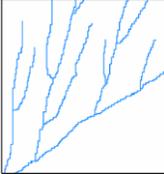
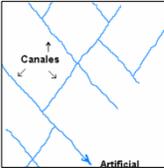
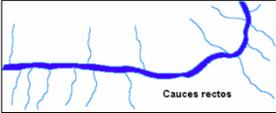
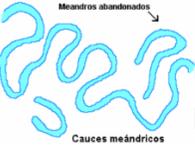
Con base en la forma se pueden tener los siguientes patrones:

Tabla 23. Descripción patrones de drenaje.

Sistema de drenaje	Forma	Descripción
Dendrítico		Es el patrón que más frecuentemente se presenta, y se caracteriza por mostrar una ramificación arborescente en la que los tributarios se unen a la corriente principal formando ángulos agudos. Se desarrolla en suelos homogéneos, moderadamente permeables, con pendientes suaves y sin ningún tipo de control. Se presenta, con frecuencia, en zonas de rocas sedimentarias blandas, aluviones finos, tobas volcánicas, depósitos de till glacial (brecha consolidada o roca sedimentaria, cuyos materiales de partida se han formado por fenómenos glaciares), principalmente.



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

Sistema de drenaje	Forma	Descripción
Pinado		Corresponde a un drenaje dendrítico modificado que presenta una gran cantidad de tributarios cortos y poco espaciados, e indica un elevado contenido de limo en el suelo. Es típico de zonas planas o casi planas, con materiales muy homogéneos, friables y finos, eólicos o aluviales, como: loess (roca sedimentaria incoherente, de partículas muy finas), ceniza volcánica, till. Tampoco presenta controles.
Paralelo		Este patrón presenta los tributarios paralelos o casi paralelos entre sí. Tiene la característica que se puede presentar por influencia de control topográfico o estructural, siendo más común el topográfico, ya que es muy frecuente encontrarlo en zonas con fuertes pendientes.
Artificial		Cobija todas las obras que realiza el hombre para evacuar los excesos de agua de zonas mal drenadas. No se debe confundir con las acequias de riego en zonas áridas o semiáridas.
Rectos		Son tramos del cauce que discurren en línea casi recta y que pueden estar asociados con problemas de fallas que lo están controlando. Este tipo de canales no son frecuentes en la naturaleza. También se presenta este tipo de cauces en ríos canalizados y, en este caso, no hay relación entre el cauce y algún fenómeno geológico.
Meándricos		Este tipo de cauces es indicativo, según Strahler (1979), de ríos que están en su etapa de madurez, caracterizados por poseer valles amplios y planos, en los cuales el cauce se desplaza formando lazos u ondulaciones más o menos regulares, que aumentan grandemente su longitud, con respecto a la longitud que presenta el valle.
Trenzados		Los cauces trezados, llamados también por Strahler (1979) anastomosados o anastomóticos, evidencian un aporte de sedimentos a las corrientes, mayor del que ellas pueden transportar; por esto se observa que los depósitos de material dentro del cauce del río son bastante considerables, obligando a las corrientes a dividirse en una serie de canales interconectados (brazos), y separados por islas, con lo cual van adquiriendo una apariencia de trenza. Los canales trezados tienden a ser muy anchos y relativamente poco profundos, con materiales gruesos en el fondo y bien gradado.

Fuente: Adaptado de (Londoño, 2001).

Las formas de drenaje presentadas son las más comunes, sin embargo, existen otras formas tales como drenaje enrejado, anular, rectangular, los cuales son más complicados de definir claramente, ya que sus formas pueden darse por la unión de otras más simples, como las presentadas anteriormente.

Los patrones de drenaje que regionalmente caracterizan a la cuenca Río Turbo-Currulao se describen como: dendrítico, paralelo, meándrico y artificial.



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

- **Dendrítico**

Se presenta en terrenos con condición homogénea en su área de drenaje; con suelos de granulometría fina y permeabilidad baja; regionalmente este patrón se observa en la parte alta de los ríos Currulao, Guadualito, Turbo, Caimán Nuevo y Caimán Viejo. Se presentan cuando hay una captura intensa y además existe un control estructural o topográfico.

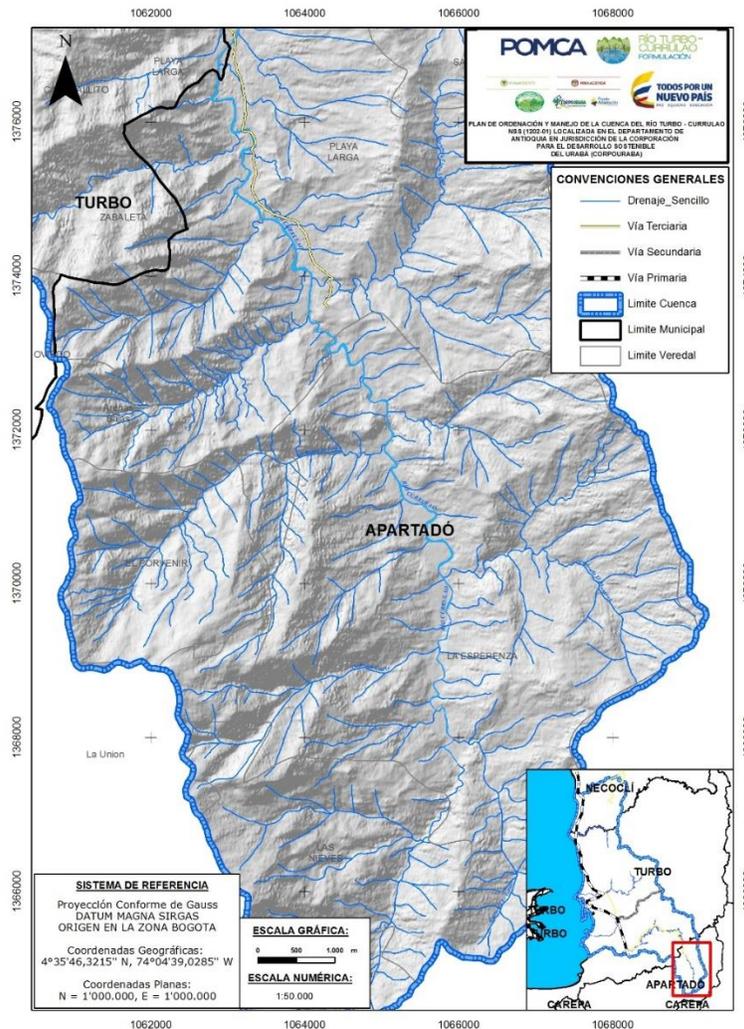


Figura 37. Patrón de alineamiento dendrítico.
Fuente: Elaboración propia.

- **Paralelo**

Este sistema es un caso especial donde se aprecia la esquistosidad de las rocas. Las características que lo influyen son: Alta a mediana permeabilidad, control estructural y moderada cobertura vegetal. Regionalmente este patrón se observa en la parte media de la cuenca en ordenación, principalmente en los ríos que nacen en su eje medio



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

longitudinal, como son: quebrada El Cuna, quebrada Aguas Claras – Estorbo, quebrada Cope y Punta de Piedra, río Cirilo, río Totumo y quebrada Manuela.

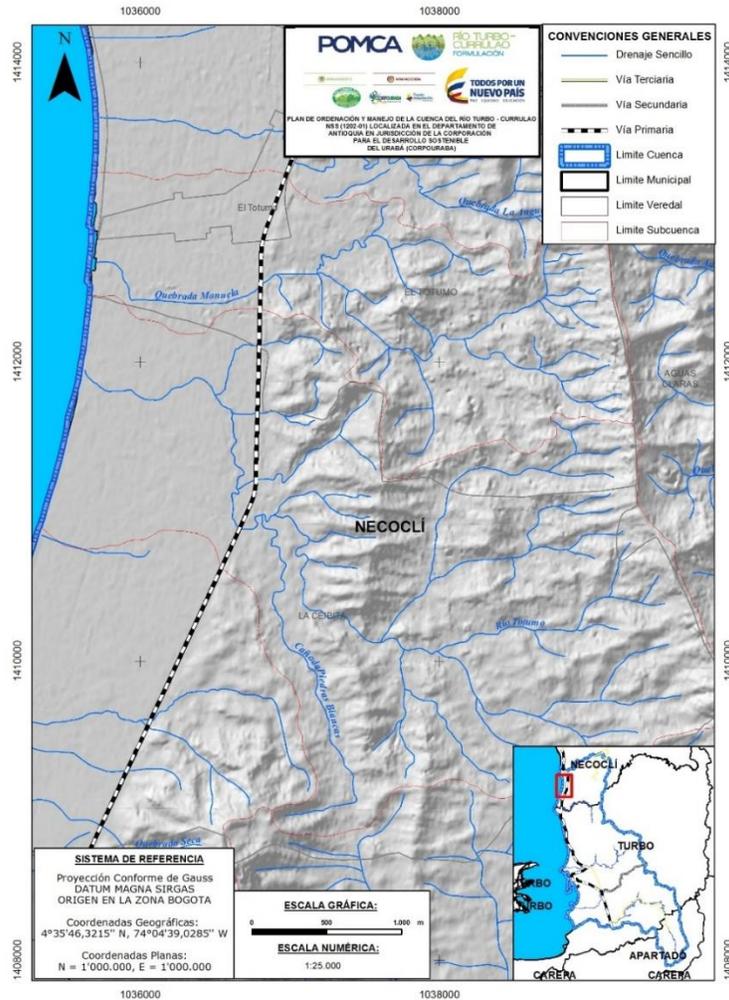


Figura 38. Patrón de alineamiento paralelo.
Fuente: Elaboración propia.

- **Meándrico**

Este es el caso en el cual un río posee una extensión apreciable como llanura de inundación, allí se generan curvas pronunciadas conocidas como meandros. Para que se genere un comportamiento de este tipo es necesario que el caudal involucrado sea importante, de cantidad apreciable. Adicionalmente es característica de los ríos aluviales, se dice que son serpenteantes, es decir que tienen una tendencia natural a no seguir un curso rectilíneo, lo que constituye una expresión de su inestabilidad.

La aparición de meandros significa necesariamente un aumento del recorrido fluvial lo que implica una disminución de la pendiente y de la velocidad media de la corriente. Las



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

curvas características de los ríos con meandros son muy dinámicas y no se deben esencialmente a las propiedades del terreno, sino a la naturaleza del comportamiento fluvial.

Los drenajes que presentan este tipo de patrón generalmente se desarrollan en la parte media de las subcuencas, ya que en la parte baja la gran mayoría son canalizados; los cauces principales de los ríos con este patrón son: Currulao, Turbo, Punta de Piedra, Caimán Nuevo y Caimán Viejo.

La geomorfología que caracteriza estas corrientes de agua en el tramo de su cauce, son unidades de Abanico Terraza (Fat) en ambas márgenes, y su cauce está conformado por unidades de cauce aluvial (Fca), barras longitudinales (Fbl) y meandro abandonado (Fma).

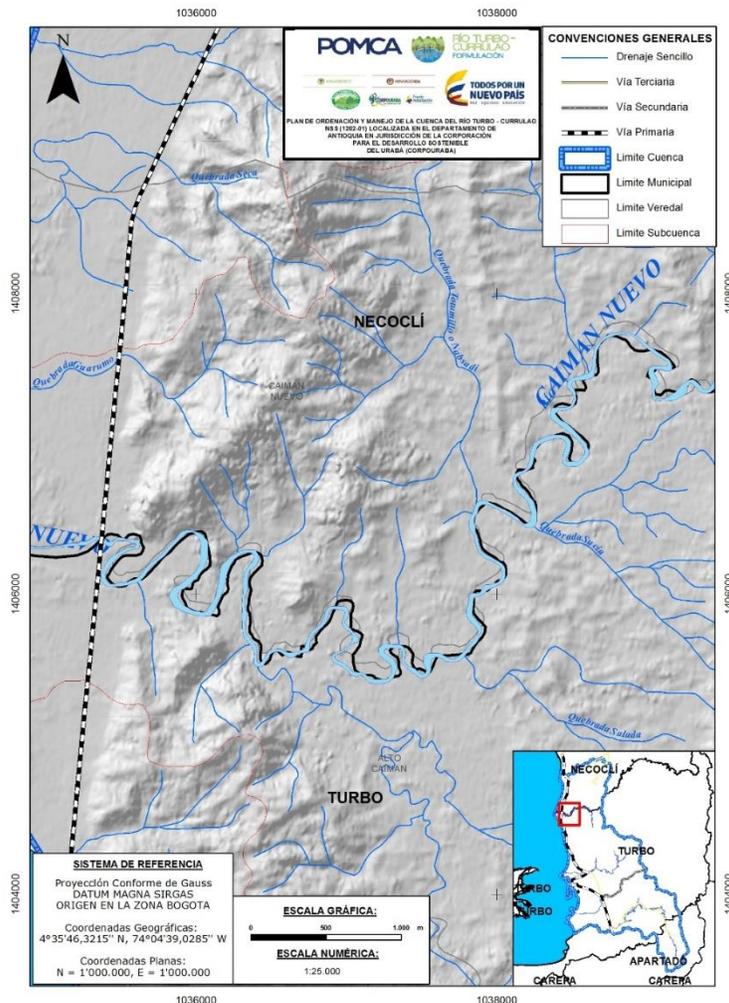


Figura 39. Patrón de alineamiento meándrico.

Fuente: Elaboración propia.



- **Artificial**

Corresponde a los sistemas de canales de riego y de aguas pluviales identificados en las partes bajas de las subcuencas de los ríos Currulao, Guadualito, Zona urbana de Turbo, quebrada Aguas Claras – Estorbo.

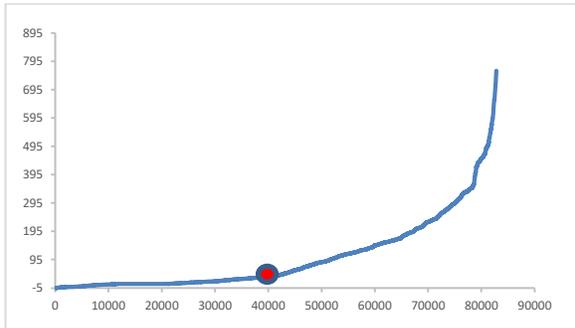
Finalmente, estos patrones pueden ser consultados en la salida gráfica del Mapa de hidrografía.

3.4.3.3.1 Patrón de alineamiento

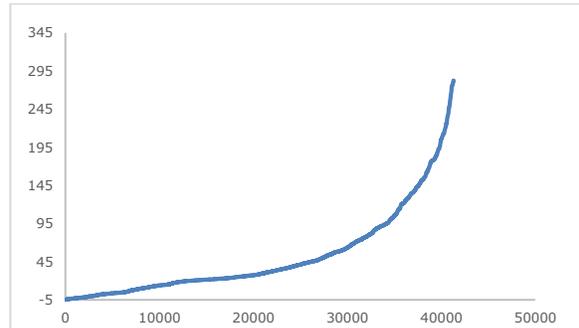
La existencia de anomalías en la forma de las redes de drenaje indica controles estructurales, un salto en el perfil del drenaje indica un levantamiento estructural (Figura 40).



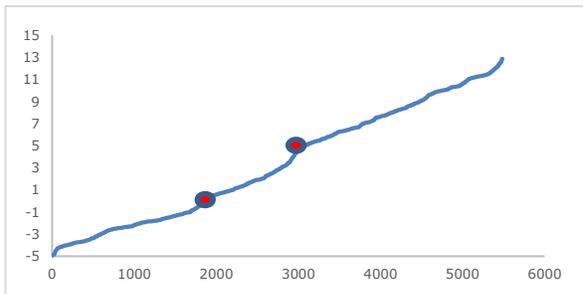
FASE DE DIAGNÓSTICO
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO



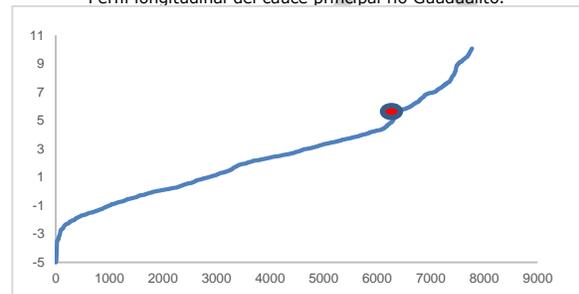
Perfil longitudinal del cauce principal río Currulao



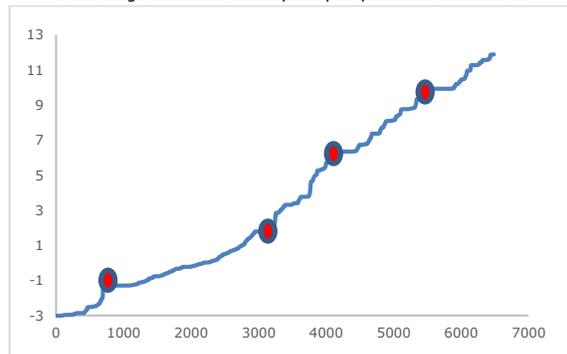
Perfil longitudinal del cauce principal río Guadualito.



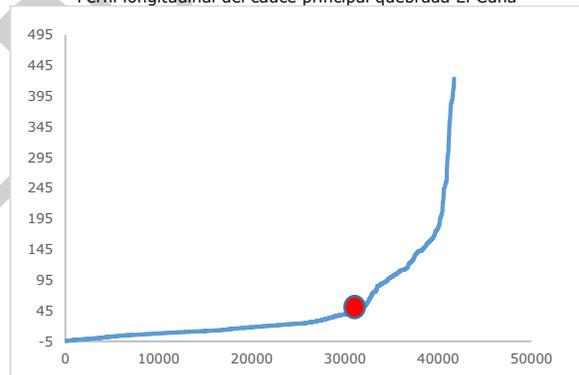
Perfil longitudinal del cauce principal quebrada Guadualito.



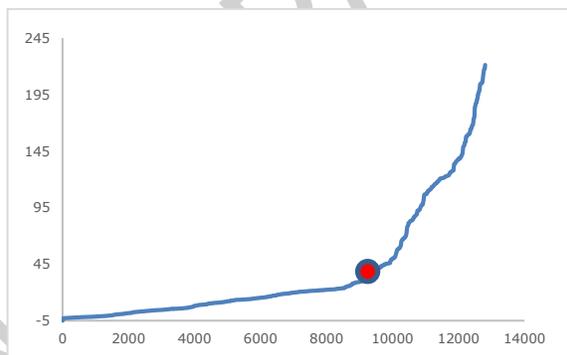
Perfil longitudinal del cauce principal quebrada El Cuna



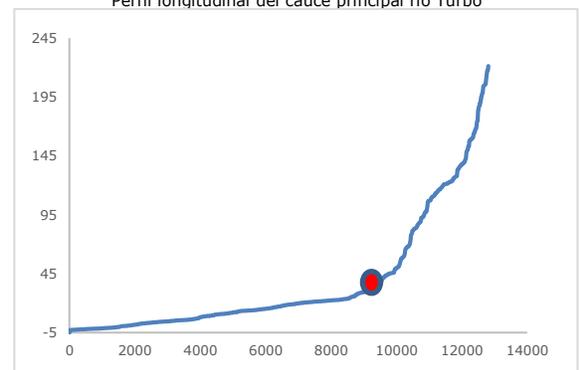
Perfil longitudinal del cauce principal Zona Urbana Turbo.



Perfil longitudinal del cauce principal río Turbo



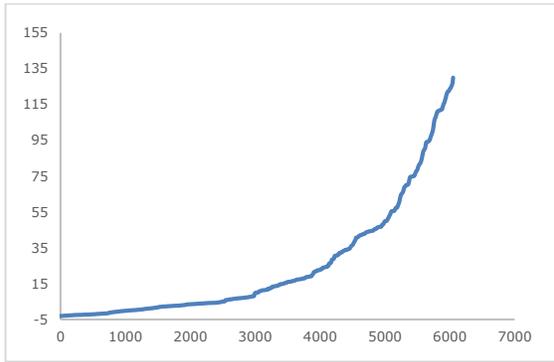
Perfil longitudinal del cauce principal quebrada Aguas Claras.



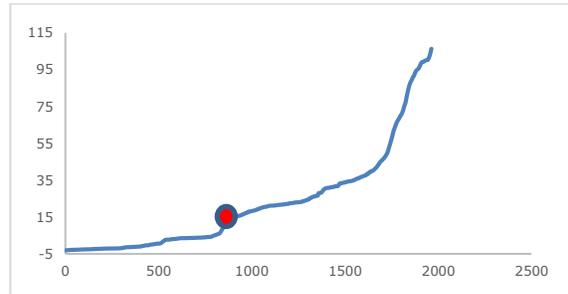
Perfil longitudinal del cauce principal quebrada Aguas Claras



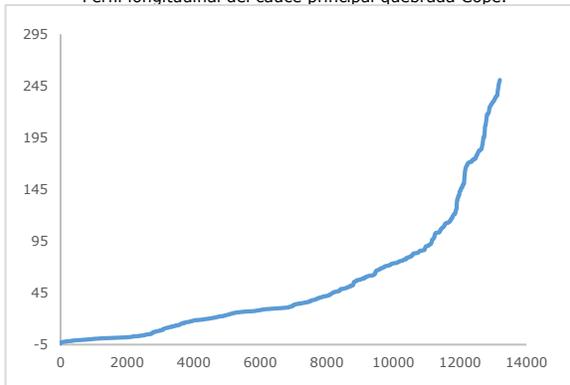
FASE DE DIAGNÓSTICO PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO TURBO – CURRULAO



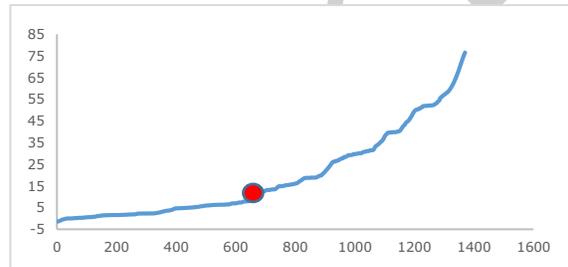
Perfil longitudinal del cauce principal quebrada Cope.



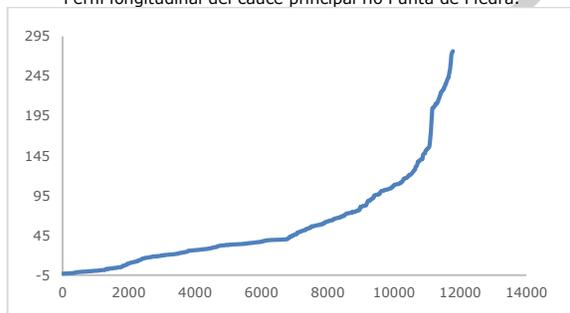
Perfil longitudinal del cauce principal quebrada NN1.



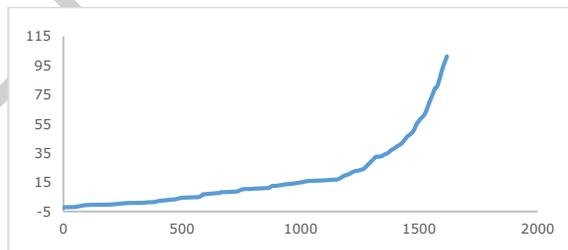
Perfil longitudinal del cauce principal río Punta de Piedra.



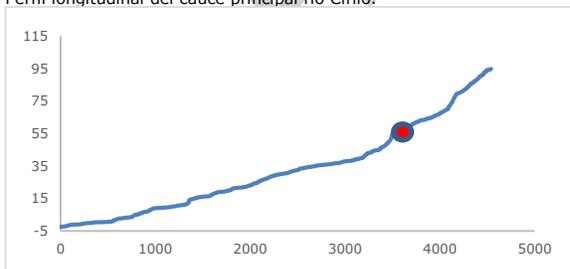
Perfil longitudinal del cauce principal quebrada NN2.



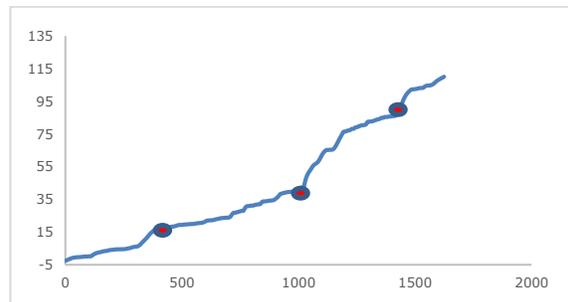
Perfil longitudinal del cauce principal río Cirilo.



Perfil longitudinal del cauce principal quebrada NN3.



Perfil longitudinal del cauce principal quebrada Tié.



Perfil longitudinal del cauce principal quebrada NN4.



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

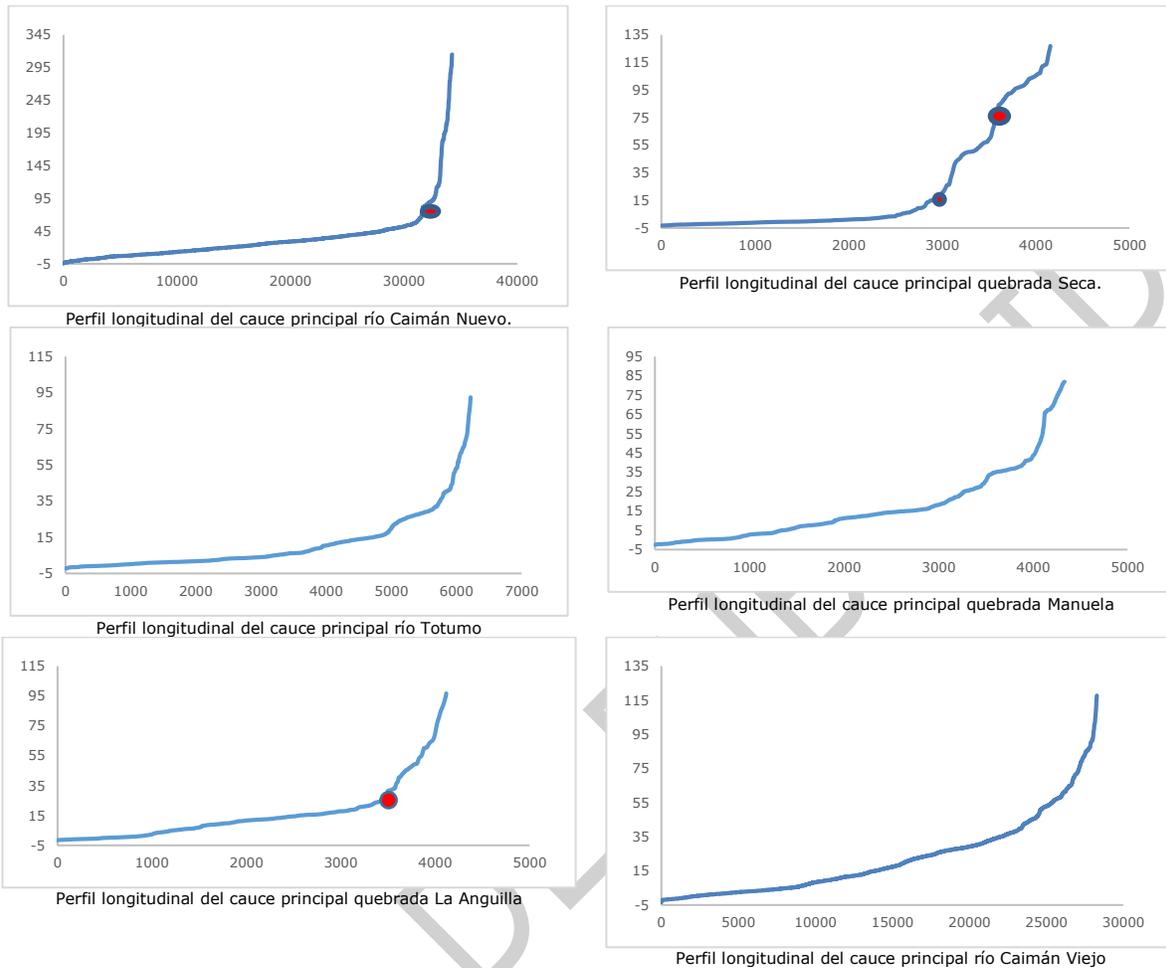


Figura 40. Anomalías identificadas (puntos rojos) en los perfiles de las corrientes principales de las subcuencas de la Cuenca Río Turbo-Currulao. Fuente: Propia.

Los estrechamiento de la planicie de inundación observados en las partes altas de los ríos Turbo - Currulao indican cambios litológicos debidos al plegamientos y fallamiento presentes en la cuenca (Figura 41).

El ensanchamiento de los lechos de inundación en los ríos principales indica una influencia estructural. Los cambios bruscos de dirección observados en la red de drenaje reflejan elevaciones locales por plegamiento y fallamiento (Figura 41).

Los cambios bruscos en la periodicidad de los meandros indican fallas locales perpendiculares a la dirección del escurrimiento (Figura 41).



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

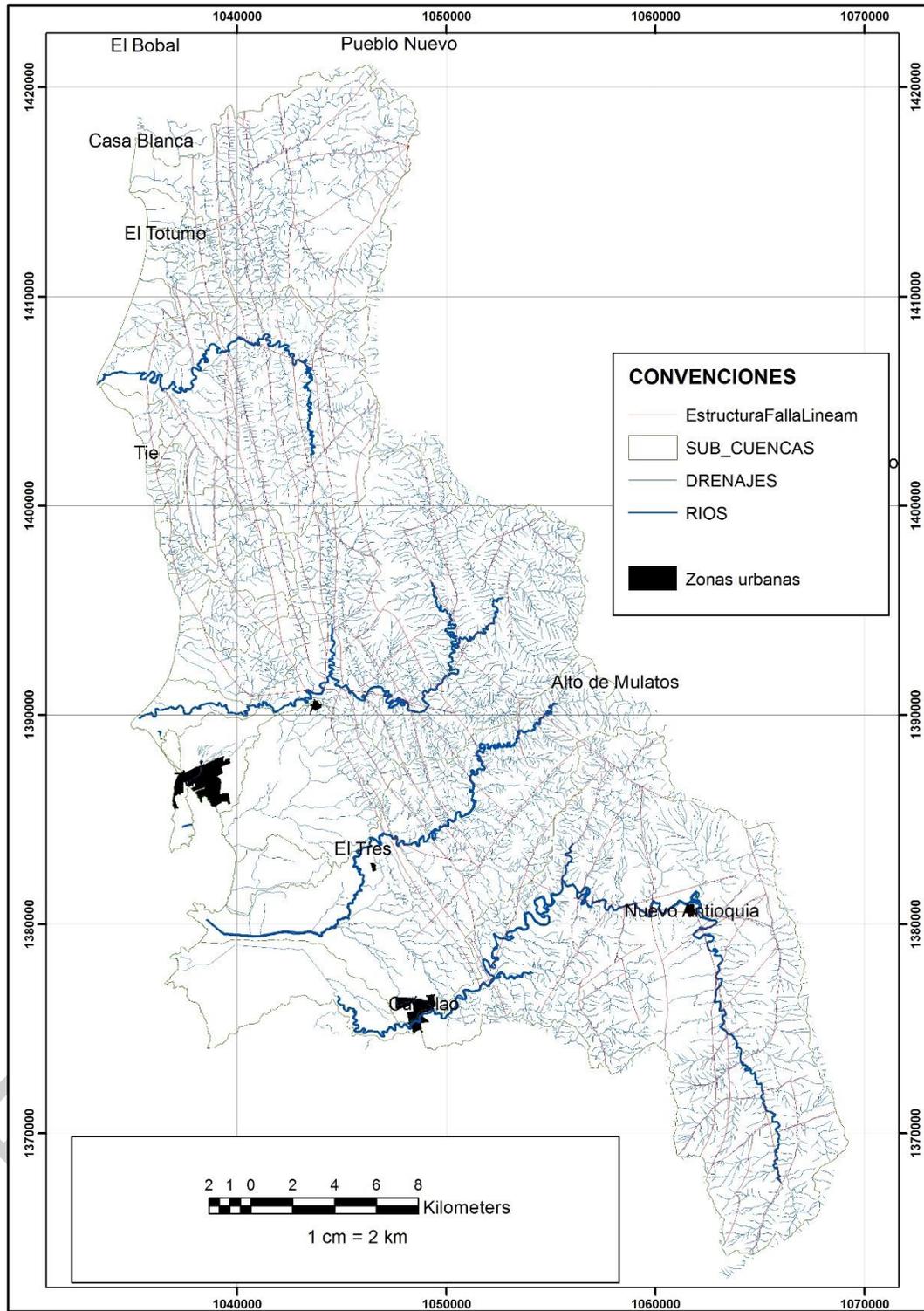


Figura 41. Patrón de alineamiento de la red de drenaje presente en la Cuenca Río Turbo-Currulao. Fuente: Propia



3.4.4 Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales – IVET

De acuerdo con los lineamientos propuestos por el (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014), a continuación, se presenta el cálculo del IVET a nivel de afluentes principales de las subcuencas jerarquizadas.

Una forma de expresar el potencial de avenidas torrenciales de una cuenca es mediante el índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales. En éste, la vulnerabilidad se expresa en relación con los índices morfométricos de torrencialidad e Índice de variabilidad. Este índice permite detectar la mayor o menor tendencia para que en la cuenca se presenten procesos torrenciales, es decir el grado de vulnerabilidad a este tipo de procesos. Una condición muy alta para el índice corresponde a áreas que se caracterizan por ser potencialmente inestables, que responden rápida y violentamente a lluvias de alta intensidad y corta duración, generando avenidas torrenciales de forma frecuente.

Los insumos necesarios para la conceptualización del IVET son parámetros morfométricos y caudales característicos de las subcuencas, información que se describe en detalle en capítulos posteriores, sin embargo, para este acápite se citan de manera puntual para el análisis matricial del IVET. El proceso metodológico que según (IDEAM, 2013) se debe seguir es el siguiente:

3.4.4.1 Índice morfométrico de torrencialidad

Relación entre los parámetros morfométricos como el coeficiente de compacidad o de forma, la pendiente media de la cuenca y la densidad de drenaje, los cuales son indicativos de la forma como se concentra la escorrentía, la oportunidad de infiltración, la velocidad y capacidad de arrastre de sedimentos, la eficiencia o rapidez de la escorrentía y de los sedimentos para salir de la cuenca luego de un evento de precipitación y con ello inferir cuál podría ser el nivel de susceptibilidad a procesos torrenciales, en la Tabla 24 se puede consultar las relaciones propuestas para categorizar este índice.

Tabla 24. Relaciones para categorizar el índice morfométrico.

ÍNDICE MORFOMÉTRICO	ESCALA	ÁREA DE LA CUENCA DE DRENAJE (Km ²)	CATEGORÍAS				
			1	2	3	4	5
Densidad de drenaje (km/km ²)	1:10.000	<15	<1,50	1,51 - 2,00	2,01 - 2,50	2,51 - 3,00	>3
	1:25.000	16 a 50	<1,20	1,21 - 1,80	1,81 - 2,00	2,01 - 2,50	>2,5
	1:100.000	>50	<1,00	1,01 - 1,50	1,51 - 2,00	2,01 - 2,50	>2,5
			Baja	Moderada	Moderada a Alta	Alta	Muy Alta
Pendiente media de la cuenca (%)	1:10.000	<15	<20	21 - 35	36 - 50	51 - 75	>75
	1:100.000	>50	<15	16 - 30	30 - 45	46 - 65	>65
			Accidentado	Fuerte	Muy Fuerte	Escarpado	Muy Escarpado



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

ÍNDICE MORFOMÉTRICO	ESCALA	ÁREA DE LA CUENCA DE DRENAJE (Km ²)	CATEGORÍAS				
			1	2	3	4	5
Coeficiente de compacidad		<1,625	1,376 – 1,500	1,251 – 1,375	1,126 – 1,250	1,00 – 1,125	
		Oval-oblonga a rectangular-oblonga	Oval redonda a oval-oblonga	Casi redonda a oval-redonda			

Fuente: (IDEAM, 2013).

En la Tabla 25 se presentan las categorías del índice morfométrico que van desde muy alta hasta muy baja, en función de los parámetros pendiente media de la cuenca, densidad de drenaje y coeficiente de forma.

Una condición muy alta para el índice morfométrico corresponde a áreas que se caracterizan por ser inestables y potencialmente inestables, que responden rápidamente y violentamente a lluvias de alta intensidad y corta duración, generando avenidas torrenciales de forma frecuente.

La categoría alta muestra áreas con una respuesta hidrológica rápida con una cobertura de suelo que permite procesos torrenciales que se presentan frecuentemente en periodos lluviosos. La condición media, en cambio, presenta una respuesta a procesos hidrológicos de moderada a rápida y los eventos se presentan generalmente en las épocas de las mayores precipitaciones al año.

En la Tabla 26 se puede consultar los resultados del índice morfométrico para las cuencas jerarquizadas.



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

Tabla 25. Relaciones entre variables morfométricas para la categorización del índice.

		Pendiente media de la cuenca					
		1	2	3	4	5	
Densidad de drenaje	1	111	121	131	141	151	1
		112	122	132	142	152	2
		113	123	133	143	153	3
		114	124	134	144	154	4
		115	125	135	145	155	5
	2	211	221	231	241	251	1
		212	222	232	242	252	2
		213	223	233	243	253	3
		214	224	234	244	254	4
		215	225	235	245	255	5
	3	311	321	331	341	351	1
		312	322	332	342	352	2
		313	323	333	343	353	3
		314	324	334	344	354	4
		315	325	335	345	355	5
	4	411	421	431	441	451	1
		412	422	432	442	452	2
		413	423	433	443	453	3
		414	424	434	444	454	4
		415	425	435	445	455	5
	5	511	521	531	541	551	1
		512	522	532	542	552	2
		513	523	533	543	553	3
		514	524	534	544	554	4
		515	525	535	545	555	5

■ Muy alta ■ Baja ■ Muy baja
■ Alta ■ Moderada

Fuente: (IDEAM, 2013).

Tabla 26. Cálculo del índice morfométrico para las subcuencas jerarquizadas.

CÓDIGO	SUBCUENCA	DENSIDAD DE DRENAJE [Km/Km ²]	PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA (%)	COEFICIENTE COMPACTIDAD [Kc]	CLASES MORFOMÉTRICAS	ÍNDICE MORFOMÉTRICO		
					DENSIDAD	PENDIENTE	[Kc]	
1202-01-01	Río Currulao	7.23	9.26	2.22	5	1	1	Moderado
1202-01-02	Río Guadualito	6.99	7.04	1.86	5	1	1	Moderado
1202-01-03	Quebrada Guadualito	6.92	5.00	1.56	5	1	2	Moderado
1202-01-04	Quebrada El Cuna	7.17	6.38	1.42	5	1	2	Moderado
1202-01-05	Zona Urbana Turbo	6.27	5.00	2.07	5	1	1	Moderado
1202-01-06	Río Turbo	6.79	9.61	1.82	5	1	1	Moderado
1202-01-07	Quebrada Aguas	6.53	7.69	1.57	5	1	2	Moderado



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

CÓDIGO	SUBCUENCA	DENSIDAD DE DRENAJE [Km/Km ²]	PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA (%)	COEFICIENTE COMPACTIDAD [Kc]	CLASES MORFOMÉTRICAS			ÍNDICE MORFOMÉTRICO
					DENSIDAD	PENDIENTE	[Kc]	
1202-01-08	Claras - Estorbo Quebrada	5.68	6.95	1.51	5	1	2	Moderado
1202-01-09	Cope Quebrada NN1	6.56	6.63	1.19	5	1	4	Moderado
1202-01-10	Río Punta de Piedra	5.97	10.14	1.69	5	1	1	Moderado
1202-01-11	Quebrada NN2	6.08	7.02	1.36	5	1	3	Moderado
1202-01-12	Río Cirilo	5.87	10.31	1.57	5	1	2	Moderado
1202-01-13	Quebrada NN3	6.51	7.44	1.30	5	1	3	Moderado
1202-01-14	Quebrada Tié	5.32	9.51	1.76	5	1	1	Moderado
1202-01-15	Quebrada NN4	5.68	6.68	1.68	5	1	1	Moderado
1202-01-16	Río Caiman Nuevo	6.85	8.56	1.49	5	1	2	Moderado
1202-01-17	Quebrada Seca	7.02	6.80	1.31	5	1	3	Moderado
1202-01-18	Río Totumo	6.34	8.02	1.52	5	1	2	Moderado
1202-01-19	Quebrada Manuela	6.29	7.74	1.62	5	1	1	Moderado
1202-01-20	Quebrada La Anguilla	6.14	6.04	1.73	5	1	1	Moderado
1202-01-21	Río Caimán Viejo - Tigre	6.30	7.72	1.59	5	1	2	Moderado

Fuente: Elaboración propia

3.4.4.2 Índice de variabilidad

Este índice se obtiene de la curva de duración de caudales (CDC); muestra como es la variabilidad de los caudales en una determinada cuenca. Una cuenca torrencial es aquella que presenta una mayor variabilidad, es decir, existen diferencias grandes entre los caudales mínimos y los valores máximos. Cuencas con variabilidades pequeñas muestran que los caudales tienden a mantenerse y los cauces por los que existe flujo, generalmente tienen la capacidad para transportar estos caudales. El comportamiento con variabilidad pequeña es típico de cauces de llanuras, los cuales generalmente no presentan procesos torrenciales.



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

Cuencas de área pequeña con pendientes altas, por lo general presentan caudales de creciente, alternado de caudales medios y bajos con magnitudes muy inferiores a las de los caudales máximos, que hacen que la CDC muestre una gran variabilidad, en la Tabla 27 se puede consultar el índice.

La curva de duración de caudales al ser graficada en escala logarítmica muestra una tendencia lineal, de la cual se puede obtener el índice de variabilidad que se expresa mediante la siguiente ecuación.

Ecuación 7. Índice de variabilidad

$$\text{Índice de variabilidad} = \frac{(\log Q_i - \log Q_f)}{(\log X_i - \log X_f)}$$

Dónde:

Q_i y Q_f : Caudales tomados de la curva de duración de caudales.

X_i y X_f : Porcentajes de tiempo en que se exceden los caudales Q_i y Q_f .

Tabla 27. Clasificación del índice de vulnerabilidad (IV).

ÍNDICE DE VARIABILIDAD	VULNERABILIDAD
<10	Muy baja
10,1 – 37	Baja
37,1 – 47	Media
47,1 – 55	Alta
>55	Muy alta

Fuente: (IDEAM, 2013).

En la Tabla 28 se pueden consultar los resultados del IV, sin embargo se deja dicho que este índice no es muy claro en su procedimiento como lo expresa (IDEAM, 2013). Dado que la curva de duración de caudales (CDC) no se linealiza con procedimientos de logaritmos en sus ejes para la totalidad de la curva, solo para la franja de caudales medios, y la filosofía del IV es identificar las diferencia entre caudales mínimos y máximos. Por lo anterior esto se considera como una limitante en el procedimiento; no obstante, se toman dos caudales extremos y se presenta la vulnerabilidad de las subcuencas. Estos cálculos se presentan en el [Anexo 46](#).

Tabla 28. Resultados del índice de variabilidad para las subcuencas jerarquizadas.

CÓDIGO	SUBCUENCA	ÍNDICE VARIABILIDAD (°)	VULNERABILIDAD
1202-01-01	Río Currulao	35.87	Baja
1202-01-02	Río Guadualito	48.97	Alta
1202-01-03	Quebrada Guadualito	49.06	Alta
1202-01-04	Quebrada El Cuna	49.04	Alta
1202-01-05	Zona Urbana Turbo	49.06	Alta
1202-01-06	Río Turbo	43.73	Media
1202-01-07	Quebrada Aguas Claras - Estorbo	43.81	Media
1202-01-08	Quebrada Cope	43.82	Media
1202-01-09	Quebrada NN1	43.83	Media
1202-01-10	Río Punta de Piedra	43.77	Media
1202-01-11	Quebrada NN2	43.84	Media
1202-01-12	Río Cirilo	43.76	Media
1202-01-13	Quebrada NN3	43.83	Media
1202-01-14	Quebrada Tie	43.80	Media
1202-01-15	Quebrada NN4	43.83	Media
1202-01-16	Río Caiman Nuevo	43.78	Media
1202-01-17	Quebrada Seca	43.83	Media
1202-01-18	Río Totumo	40.44	Media



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

CÓDIGO	SUBCUENCA	ÍNDICE VARIABILIDAD (°)	VULNERABILIDAD
1202-01-19	Quebrada Manuela	40.45	Media
1202-01-20	Quebrada La Anguilla	40.47	Media
1202-01-21	Río Caimán Viejo - Tigre	40.39	Media

Fuente: Elaboración propia

El índice de variabilidad frente a eventos torrenciales, indica la relación existente entre las características de la forma de una cuenca que son indicativos de la torrencialidad en la misma, en relación con las condiciones hidrológicas en dicha cuenca. En la Tabla 29 se muestra la clasificación de la vulnerabilidad frente a eventos torrenciales una vez se estima cada uno de los índices mencionados.

Tabla 29. Clasificación del índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales.

ÍNDICE DE VARIABILIDAD	ÍNDICE MORFOMÉTRICO DE TORRENCIALIDAD				
	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Muy baja	baja	baja	media	alta	alta
Baja	baja	media	media	alta	muy alta
Media	baja	media	alta	alta	muy alta
Alta	media	media	alta	Muy alta	muy alta
Muy alta	media	alta	alta	Muy alta	muy alta

Fuente: (IDEAM, 2013).

Los resultados del IVET para las subcuencas jerarquizadas se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 30. Resultados del Índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales IVET para las subcuencas jerarquizadas.

CÓDIGO	SUBCUENCA	ÍNDICE MORFOMÉTRICO	VULNERABILIDAD	IVET
1202-01-01	Río Currulao	Moderado	Baja	Media
1202-01-02	Río Guadualito	Moderado	Alta	Alta
1202-01-03	Quebrada Guadualito	Moderado	Alta	Alta
1202-01-04	Quebrada El Cuna	Moderado	Alta	Alta
1202-01-05	Zona Urbana Turbo	Moderado	Alta	Alta
1202-01-06	Río Turbo	Moderado	Media	Alta
1202-01-07	Quebrada Aguas Claras - Estorbo	Moderado	Media	Alta
1202-01-08	Quebrada Cope	Moderado	Media	Alta
1202-01-09	Quebrada NN1	Moderado	Media	Alta
1202-01-10	Río Punta de Piedra	Moderado	Media	Alta
1202-01-11	Quebrada NN2	Moderado	Media	Alta
1202-01-12	Río Cirilo	Moderado	Media	Alta
1202-01-13	Quebrada NN3	Moderado	Media	Alta
1202-01-14	Quebrada Tie	Moderado	Media	Alta
1202-01-15	Quebrada NN4	Moderado	Media	Alta
1202-01-16	Río Caimán Nuevo	Moderado	Media	Alta
1202-01-17	Quebrada Seca	Moderado	Media	Alta
1202-01-18	Río Totumo	Moderado	Media	Alta
1202-01-19	Quebrada Manuela	Moderado	Media	Alta
1202-01-20	Quebrada La Anguilla	Moderado	Media	Alta
1202-01-21	Río Caimán Viejo - Tigre	Moderado	Media	Alta

Fuente: Elaboración propia.

Las subcuencas del río Turbo y Currulao, en su mayoría presentan vulnerabilidad alta a eventos torrenciales. Esto significa que la cuenca tiene una densidad de drenaje muy alta, muy bien desarrollada, que hace que cualquier lluvia encuentre rápidamente un camino para llegar al cauce principal y causar avenidas torrenciales, con una pendiente accidentada que facilita el proceso.



3.4.5 Conclusiones

El contar con un Modelo de Elevación Digital de 5 m de resolución de celda, fue adecuado para la caracterización hidrográfica del territorio, esto sumado a la Cartografía Base del IGAC 1:25.000.

El límite geográfico de la cuenca en ordenación fue verificado y suavizado en sus contornos de manera semiautomática, con base en las curvas de nivel disponibles, red de drenaje e imágenes de satélite. El área obtenida para la cuenca Río Turbo-Currulao bajo el sistema de proyección Magna Colombia Oeste fue de 89.748,67 hectáreas. La dirección predominante de drenaje es Este a Oeste directamente al Golfo de Urabá. La subzona hidrográfica en la cual se formula e implementan los planes de ordenación y manejo de cuencas POMCA, corresponde a río Mulatos y otros directos al caribe, código (1202).

Se jerarquizaron 21 subcuencas incluyendo la zona urbana del municipio de Turbo y 4 interfluvios denominados como NN. Se delimitaron 12 microcuencas abastecedoras correspondientes a sistemas lóticos, solo se identificó un sistema de abastecimiento proveniente de un cuerpo léntico, todas las captaciones se encuentran localizadas en el municipio de Turbo.

Más del 80% de las subcuencas jerarquizadas presentaron un radio de bifurcación $R_b > 4$. Estos resultados se asocian a unidades hidrográficas muy bien drenadas que pueden generar a su vez crecidas más violentas.

Con los resultados obtenidos del IVET, se categoriza a la cuenca del río Turbo y Currulao, como un área altamente vulnerable a eventos de avenidas torrenciales.



3.5 MORFOMETRÍA

Las características de una cuenca y de las corrientes que forman el sistema hidrográfico pueden representarse cuantitativamente mediante índices de forma y relieve de la cuenca y de la conexión con la red fluvial. Muchos de los índices son razones matemáticas, por lo que pueden utilizarse para caracterizar y comparar cuencas de diferentes tamaños.

El ingeniero e hidrólogo Estadounidense Robert E. Horton fue el primero que estableció un método cuantitativo para analizar las redes de drenaje. Esta clasificación de las corrientes, desarrollada a comienzos de la década de 1940, establece una estructura jerárquica (Chow V. T., 1994). Horton estableció en 1945 las leyes estadísticas de la composición de las redes de drenaje en las que relacionaba la categoría, número, longitud y área de drenaje de las corrientes. Las leyes de Horton, como se han denominado, fueron modificadas y ampliadas con posterioridad, principalmente por los investigadores estadounidenses A. N. Strahler y R. L. Shreve.

La morfometría hidrográfica actual tiende a centrarse en el área, longitud, forma, atributos del relieve y densidad de drenaje de la cuenca. La importancia de este tipo de caracterizaciones radica, en la inferencia que genera sobre fenómenos de inundaciones, por ejemplo.

3.5.1 Caracterización física de la Cuenca Río Turbo-Currulao

En adelante, se describen algunos parámetros morfométricos para hidrología (Domínguez C., 2010). Los parámetros fueron obtenidos a través de la aplicación ArcHydro Tools (Hydrologic Engineering Center (HEC), 2013), además de ArcGis 10.2 (Environmental Systems Research Institute (ESRI), 2011) y Grass GIS 6.4.3 (GRASS Development Team, 2012) con base al modelo digital de terreno de resolución de 5 metros (Farr Tom, Rosen, & Caro, 2007) y la base hidrográfica IGAC utilizada a escala 1:25.000.

Este capítulo se aborda de la siguiente manera: se presenta un marco conceptual de los parámetros, índices y demás características físicas y morfométricas de las subcuencas y microcuencas jerarquizadas; luego en formato tabla se listan por temática, cada uno de los parámetros por unidad hidrográfica, en cuanto a superficie, red hídrica e índices.

3.5.1.1 Área de drenaje (A)

Este parámetro resulta ser uno de los más importantes ya que está directamente relacionado con los procesos hidrológicos que se dan al interior de ella (Reyes T., Barroso, & Carvajal E., 2010). Adicionalmente se determinan para cada unidad hidrográfica el perímetro, ya que en conjunto con el área permiten inferir sobre la forma de la cuenca.

3.5.1.2 Ancho medio de la cuenca (B)

Se determina como el cociente entre el área de la cuenca y la longitud lineal de la corriente principal:



Ecuación 8. Ancho medio de la cuenca.

$$B = \frac{A}{L_l}$$

3.5.1.3 Elongación de la cuenca o coeficiente de forma (Kf)

Se calcula como el cociente entre la longitud lineal (axial) de la corriente principal L_l y el ancho medio de la cuenca B:

Ecuación 9. Coeficiente de forma.

$$Kf = \frac{L_l}{B} = \frac{L_l^2}{A}$$

La longitud axial se mide siguiendo el desarrollo longitudinal del cauce principal, hasta llegar a la divisoria de la cuenca en el punto más alejado.

3.5.1.4 Longitud del cauce principal (L_t)

Es la distancia del recorrido que hace el cauce principal desde su nacimiento hasta su desembocadura medida en kilómetros. Usualmente L_t presenta un grado de sinuosidad, el cual se representa a través del coeficiente de sinuosidad K_s que constituye la relación entre la distancia total configurada por el recorrido de la corriente L_t , sobre la distancia lineal desde el nacimiento hasta la desembocadura L_l (Domínguez C., 2010):

Ecuación 10. Coeficiente de Sinuosidad.

$$K_s = \frac{L_t}{L_l}$$

Valores de K_s cercanos a la unidad caracterizan cauces con alineamiento recto, mientras valores por encima de dos (2) describen cauces con meandros y curvas.

3.5.1.5 Coeficiente de compacidad (K_c)

Es la relación entre la longitud del perímetro de la cuenca P_{cuenca} y el perímetro de un círculo con área equivalente a la de la cuenca $P_{circulo}$:

Ecuación 11. Coeficiente de compacidad.

$$k_c = \frac{P_{cuenca}}{P_{circulo}} = \frac{P_{cuenca}}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P_{cuenca}}{\sqrt{A}}$$

La Tabla 31 contiene la clasificación de cuenca en función del índice de compacidad según la FAO (FAO, 1985), cuencas con valores de compacidad superiores a 1,5 tienden a tener un tránsito más largo de sus crecientes y por lo tanto menores problemas de inundación.

Tabla 31. Clasificación de cuenca de la FAO en función de el índice de compacidad.

TIPO	RANGO	DESCRIPCIÓN
K _{C1}	1.00 - 1.25	Redonda a oval redonda
K _{C2}	1.26 - 1.50	Oval redonda a oval oblonga
K _{C3}	1.51 - 1.75	Oval oblonga a rectangular oblonga
K _{C4}	> 1.75	rectangular oblonga

Fuente: (FAO, 1985).



3.5.1.6 Índice de alargamiento (I_a)

Este índice propuesto por Horton relaciona la longitud máxima encontrada en la cuenca medida en el sentido del río principal y el ancho máximo de ella, medido perpendicularmente; se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

Ecuación 12. Índice de alargamiento.

$$I_a = \frac{Lm}{B}$$

I_a = índice de alargamiento
 Lm = longitud máxima de la cuenca
 B = Ancho de la cuenca

Cuando I_a , toma valores mucho mayores a la unidad, se trata de cuencas alargadas, mientras que para valores cercanos a 1, se trata de cuencas cuya red de drenaje presenta la forma de abanico y puede tenerse un cauce principal corto (Domínguez C., 2010).

3.5.1.7 Índice de asimetría (I_{as})

Este índice propuesto por F. Terns, resulta del cociente de dividir el área de las vertientes mayor ($A(+)$) y menor ($A(-)$), las cuales son separadas por el cauce principal.

Ecuación 13. Índice asimétrico.

$$I_{as} = \frac{A(+)}{A(-)}$$

El índice asimétrico evalúa la homogeneidad en la distribución de la red de drenaje (Londoño, 2001).

3.5.1.8 Perfil longitudinal del cauce principal

Este perfil muestra la evolución de las cotas de altitud del cauce principal. Se puede construir con base en batimetrías realizadas en campo o en su defecto con base en los modelos de elevación digital. El levantamiento de campo del perfil longitudinal puede realizarse para toda la corriente o en su defecto para tramos característicos. Los tramos característicos se pueden delimitar de acuerdo con los sitios de cambios fuertes en las profundidades del río, puntos de socavación o acumulación, lugares con cambio en el ancho superior del cauce, etc. Para construir el perfil longitudinal, con una línea recta horizontal, según la escala seleccionada, se expresa la longitud de la corriente. En el eje vertical se representan las cotas del fondo del río o del nivel del agua para cada punto de la corriente donde se tenga información (Domínguez C., 2010).

3.5.1.9 Elevación media del cauce principal (H_{cauce})

Se calcula como la altura promedio de los tramos característicos utilizados en la construcción del perfil longitudinal del cauce principal. Para las corrientes con muchos cambios de altura en el recorrido del cauce principal se calcula la pendiente promedio ponderada con base en las frecuencias relativas producto de la agrupación en clases



(usualmente entre 8 a 12 clases) de los valores de altura tomados en los tramos característicos (Domínguez C., 2010):

Ecuación 14. Altura promedio ponderada del cauce.

$$H_{cauce} = H_1f_1 + H_2f_2 + \dots + H_nf_n$$

Aquí: H_i es la cota de altura en la mitad del intervalo de cada clase y f_i es la frecuencia que le corresponde a ese intervalo.

3.5.1.10 Pendiente media del cauce principal (I_{cauce})

Por pendiente se entiende el cociente entre los incrementos de alturas/cotas y los incrementos de longitud de la corriente para un tramo determinado. Se distingue la pendiente promedio y la pendiente promedio ponderada. La pendiente promedio I_{cauce} es el cociente entre la caída de alturas/cotas ΔH sobre la longitud del tramo ΔL en la que esta caída ocurre (Domínguez C., 2010):

Ecuación 15. Pendiente promedio del cauce principal.

$$I_{cauce} = \frac{\Delta H}{\Delta L}$$

Para las corrientes con muchos cambios de pendiente como es el caso de la Cuenca Río Turbo-Currulao, se calcula la pendiente promedio ponderada. Ésta utiliza las frecuencias relativas producto de la agrupación en clases (usualmente entre 8 a 12 clases) para ponderar los valores de pendiente calculados (Domínguez C., 2010):

Ecuación 16. Pendiente promedio ponderada del cauce principal.

$$I_{cauce} = I_1f_1 + I_2f_2 + \dots + I_nf_n$$

Aquí: I_i es la pendiente en la mitad del intervalo de cada clase y f_i es la frecuencia que le corresponde a ese intervalo.

La pendiente del cauce es uno de los factores importantes que inciden en la capacidad que tiene el flujo para transportar sedimentos, por cuanto está relacionada directamente con la velocidad del agua. En los tramos de pendiente fuerte los cauces tienen pendientes superiores al 5 %, y las velocidades de flujo resultan tan altas que pueden mover como carga de fondo sedimentos de diámetros mayores de 5 centímetros, además de los sólidos que ruedan por desequilibrio gracias al efecto de lubricación producido por el agua (Reyes T., Barroso, & Carvajal E., 2010).

3.5.1.11 Curva hipsométrica

Esta curva da una interpretación clara de la distribución de las áreas de la cuenca contenidas en distintas zonas altitudinales. También son un indicativo a los patrones evolutivos de las cuencas (Strahler, 1952), así, cuencas con mayor parte del área con elevación por encima de los valores medios de la cuenca, son consideradas cuencas con gran potencial erosivo (cuencas inmaduras), de lo contrario son consideradas cuencas maduras o sedimentarias (Strahler, 1952). Para cuencas donde esta relación se encuentre en equilibrio (área relativa cuenca – elevación ponderada) se consideran como cuencas en equilibrio.



Para construirla se determinan de 10 a 20 zonas altitudinales y de acuerdo con la información del modelo digital de terreno, se calcula el porcentaje de área contenido en cada una de ellas. En el eje horizontal se gráfica el porcentaje de área de la cuenca cubierto por cada zona altitudinal y en el vertical los intervalos de clase de cada zona altitudinal (Domínguez C., 2010).

3.5.1.12 Elevación media de la cuenca (H_{cuenca})

Se calcula con base al diagrama de frecuencias de la curva hipsométrica, homólogo al cálculo de H_{cauce} , pero usando las 8 a 20 zonas altitudinales definidas (Domínguez C., 2010):

Ecuación 17. Altura promedio ponderada de la cuenca.

$$H_{\text{cuenca}} = H_1f_1 + H_2f_2 + \dots + H_nf_n$$

Aquí: H_i es la cota de altura en la mitad del intervalo de cada clase y f_i es la frecuencia que le corresponde a ese intervalo.

3.5.1.13 Pendiente de la cuenca (I_{cuenca})

Para obtener la pendiente media de la cuenca con base en el DEM, se construye el diagrama de pendientes con las pendientes locales de cada celda calculada a partir del cambio de alturas de las 8 celdas vecinas (Arriba, Abajo, Derecha, Izquierda, Arriba derecha, Arriba izquierda, Abajo derecha, Abajo izquierda). De modo similar al aplicado para definir la altura media, la pendiente promedio ponderada de la cuenca se obtiene como (Domínguez C., 2010):

Ecuación 18. Pendiente promedio ponderada de la cuenca.

$$I_{\text{cuenca}} = I_1f_1 + I_2f_2 + \dots + I_nf_n$$

Aquí: I_i es la pendiente en la mitad del intervalo de cada clase y f_i es la frecuencia que le corresponde a ese intervalo.

3.5.1.14 Tiempos de concentración (T_c)

Es el tiempo transcurrido entre el final del hietograma de excesos y el final del escurrimiento directo, siendo ésta la definición que aparece reseñada en la literatura con mayor frecuencia. Sin embargo, otros autores reportan el T_c como el tiempo comprendido entre el centroide del hietograma de excesos y el punto de inflexión sobre la curva de recesión del hidrograma de escurrimiento directo.

Además, se puede definir como el tiempo que demora en viajar una partícula de agua desde el punto más remoto hasta el punto de interés. Corresponde al lapso entre el final de la lluvia y el momento en que cesa el escurrimiento superficial. Existen una serie de fórmulas que permiten el cálculo de este tiempo, desarrolladas por diversos autores. Entre las fórmulas que se emplean para el cálculo de este indicador se encuentran, Kirpich, Témez, Giandotti, Bransby-Williams, Dirección General Carreteras (DGC). Sus cálculos se muestran a continuación:



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

Ecuación 19. Tiempo de Concentración por Kirpich.

Fuente: (Wanielista, 1997).

$$T_c = 0.02 * L^{0.77} * S^{-0.385}$$

Donde:

- Tc Tiempo de concentración (min).
- L Longitud del cauce principal en (m).
- S Pendiente del cauce principal (m/m).

Ecuación 20. Tiempo de Concentración por Témez.

Fuente: (Chow V. T., 1994).

$$T_c = 0.3 * \left[\frac{L}{S^{0.25}} \right]^{0.75}$$

Donde:

- Tc Tiempo de concentración (horas).
- L Longitud del cauce principal en (km).
- S Pendiente del cauce principal (m/m).

Ecuación 21. Tiempo de Concentración por Giandotti.

Fuente: (Chow V. T., 1994).

$$T_c = \left[\frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H}} \right]^{0.75}$$

Donde:

- Tc Tiempo de concentración (Horas).
- L Longitud del cauce principal en (km).
- A Área de la cuenca (km²).
- H Diferencia de alturas del cauce principal (m).

Ecuación 22. Tiempo de Concentración por Bransby-Williams.

Fuente: (Chow V. T., 1994).

$$T_c = \frac{L}{1.5D} \sqrt[5]{\frac{A^2}{S}}$$

Donde:

- Tc Tiempo de concentración (Horas).
- L Longitud del cauce principal en (Km).
- A Área de la cuenca (km²).
- S Pendiente media del cauce principal (%).
- D Diámetro del círculo de área equivalente a la superficie de la cuenca (km).

Ecuación 23. Tiempo de Concentración por Dirección General de Carreteras.

Fuente: (Chow V. T., 1994).

$$T_c = 0.3 \left[\frac{L}{J^{0.25}} \right]^{0.76}$$

Donde:

- Tc Tiempo de concentración (Horas).
- L Longitud del cauce principal en (km).
- J Pendiente media del cauce principal (H/L).
- H Diferencia de nivel entre el punto de salida y el punto hidrológicamente más cercano (m).



Finalmente, los cálculos realizados para la caracterización morfométrica de la cuenca Río Turbo-Currulao, pueden ser consultados en el [Anexo 48](#) al [Anexo 55](#).

3.5.2 Análisis morfométrico por Subcuencas

3.5.2.1 Subcuenca del río Currulao (1202-01-01)

En la Tabla 32 se presentan los resultados de los análisis morfométricos para la subcuenca del río Currulao; se pueden consultar las gráficas correspondientes al perfil del cauce principal y la curva hipsométrica (Gráfico 2 y Gráfico 3).

Tabla 32. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-01.

SUBCUENCA 1202-01-01 (río Currulao)			
	SUPERFICIE		
Área	km ²		265,17
Perímetro	km		129,30
Cota máxima	msnm		1088,46
Cota mínima	msnm		0,00
Desnivel altitudinal	m		1088
Elevación más frecuente	msnm		15
Elevación de frecuencia media (50%)	msnm		311
Pendiente media ponderada	%		9,26
Longitud Axial (LI)	km		49,60
Ancho (W)	km		5,35
	RED HÍDRICA		
Longitud del cauce principal (Lt)	km		82,82
Longitud de drenajes	km		1918,40
Elevación media ponderada	msnm		153
Pendiente media ponderada	%		5,23
Número de orden	-		6
	PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS		
Índice de compacidad (Kc)	-		2,22
Índice de alargamiento (Ia)	-		15,49
Factor de forma (Kf)	-		0,11
Índice de asimetría (Ias)	-		1,04
Tiempo de concentración (Tc)	Horas		7,50
Coefficiente de sinuosidad (Ks)	-		1,67
Densidad de drenajes	km/km ²		7,23
Densidad de corrientes	1/km ²		12,14
Tipo de cuenca según (Kc)			Rectangular oblonga

Fuente: Elaboración propia.



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

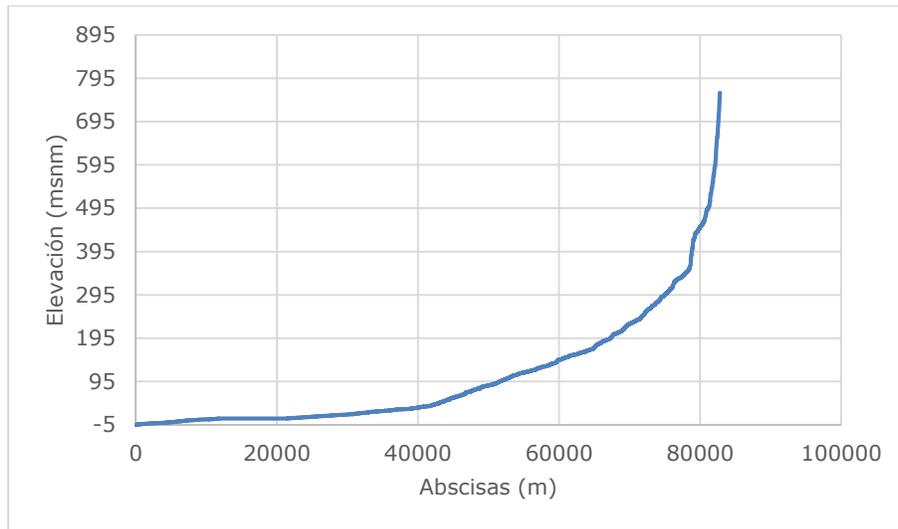


Gráfico 2. Perfil longitudinal del cauce principal río Currulao.
Fuente: Elaboración propia.

Se observa una fuerte pendiente en los primeros 30 kilómetros del cauce. De acuerdo con el $Kf=0,11$, se trata de una cuenca muy alargada e irregular $Kc=2,22$ con un tiempo de concentración de 7,5 horas; por ser de tipo rectangular oblonga se considera que los picos en sus crecidas sean menos súbitos. En el Gráfico 3 se puede consultar la curva hipsométrica de la cuenca.

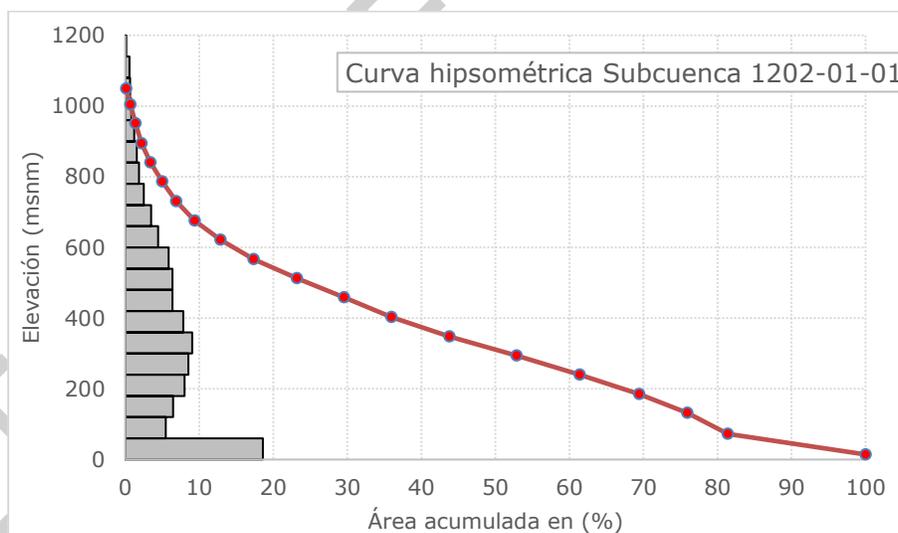


Gráfico 3. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuenca del río Currulao.
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la forma que expone la curva hipsométrica, se define que la cuenca del río Currulao se encuentra en una fase de madurez o de equilibrio sedimentario.



3.5.2.2 Subcuenca del río Guadualito (1202-01-02)

En la Tabla 33 se presentan los resultados para la subcuenca del río Guadualito (1202-01-02).

Tabla 33. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-02.

SUBCUENCA 1202-01-02 (río Guadualito)			
SUPERFICIE			
Área	km ²		124,74
Perímetro	km		74,07
Cota máxima	msnm		704,83
Cota mínima	msnm		0,00
Desnivel altitudinal	m		705
Elevación más frecuente	msnm		13
Elevación de frecuencia media (50%)	msnm		65
Pendiente media ponderada	%		7,04
Longitud Axial (LI)	km		28,24
Ancho (W)	km		4,42
RED HÍDRICA			
Longitud del cauce principal (Lt)	km		41,32
Longitud de drenajes	km		872,11
Elevación media ponderada	msnm		64
Pendiente media ponderada	%		1,87
Número de orden	-		6
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS			
Índice de compacidad (Kc)	-		1,86
Índice de alargamiento (Ia)	-		9,36
Factor de forma (Kf)	-		0,16
Índice de asimetría (Ias)	-		2,29
Tiempo de concentración (Tc)	Horas		5,64
Coefficiente de sinuosidad (Ks)	-		1,46
Densidad de drenajes	km/km ²		6,99
Densidad de corrientes	1/km ²		10,97
Tipo de cuenca según (Kc)			Rectangular oblonga

Fuente: Elaboración propia.

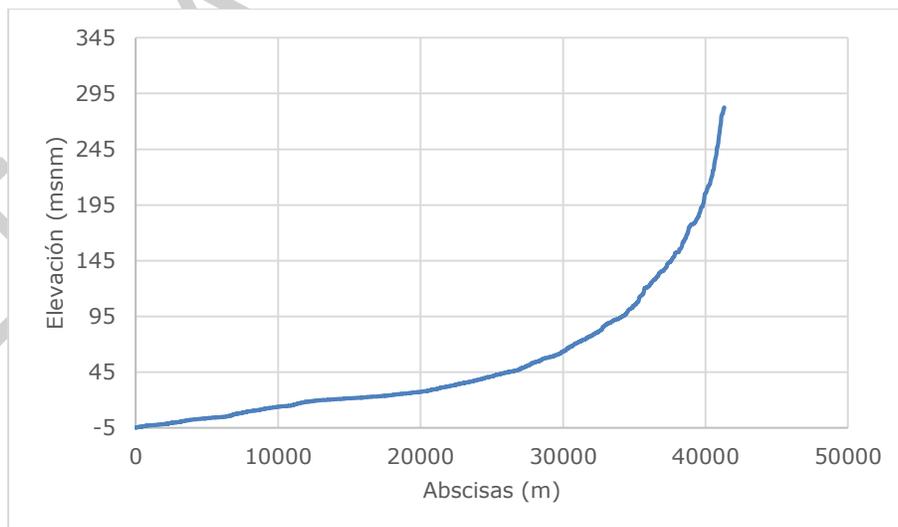


Gráfico 4. Perfil longitudinal del cauce principal río Guadualito.

Fuente: Elaboración propia.



Cuenca de orden 6, con la mayor parte del área de la vertiente en la margen derecha de la corriente $Ias = 2,29$. Por ser de tipo rectangular oblonga se considera que los picos en sus crecidas sean menos súbitos. En el Gráfico 5 se puede consultar la curva hipsométrica de la cuenca.

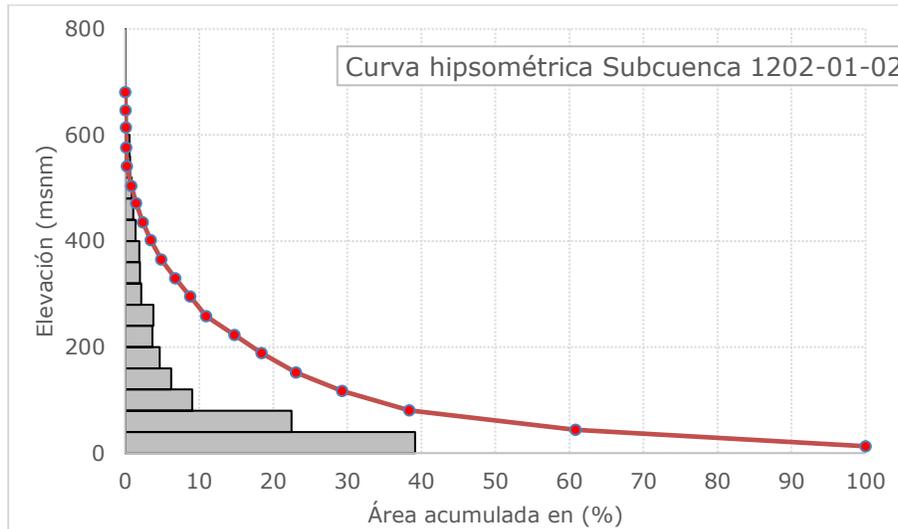


Gráfico 5. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuenca del río Guadualito.
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la forma que expone la curva hipsométrica, se define que la cuenca del río Guadualito se encuentra en una fase de vejez (cuenca sedimentaria).

3.5.2.3 Subcuenca de la quebrada Guadualito (1202-01-03)

En la Tabla 34 se presentan los resultados para la subcuenca de la quebrada Guadualito (1202-01-03).

Tabla 34. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-03.

SUBCUENCA 1202-01-03 (Qda. Guadualito)			
SUPERFICIE			
Área	km ²		9,61
Perímetro	km		17,33
Cota máxima	msnm		14,34
Cota mínima	msnm		0,00
Desnivel altitudinal	m		14
Elevación más frecuente	msnm		0
Elevación de frecuencia media (50%)	msnm		2
Pendiente media ponderada	%		5,00
Longitud Axial (LI)	km		5,28
Ancho (W)	km		1,82
RED HÍDRICA			
Longitud del cauce principal (Lt)	km		5,49
Longitud de drenajes	km		66,52
Elevación media ponderada	msnm		4
Pendiente media ponderada	%		0,65
Número de orden	-		4
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS			
Índice de compacidad (Kc)	-		1,56
Índice de alargamiento (Ia)	-		3,01



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

Factor de forma (Kf)	-	0,35
Índice de asimetría (Ias)	-	3,06
Tiempo de concentración (Tc)	Horas	2,75
Coefficiente de sinuosidad (Ks)	-	1,04
Densidad de drenajes	km/km ²	6,92
Densidad de corrientes	1/km ²	11,13
Tipo de cuenca según (Kc)	Oval oblonga a rectangular oblonga	

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca con trazos rectos en su corriente principal $Ks=1,04$, dada su característica oval oblonga a rectangular oblonga, su tiempo de viaje es más corto $Tc=2,7 h$. En el Gráfico 6 se observa un perfil sin cambios significativos en la pendiente.

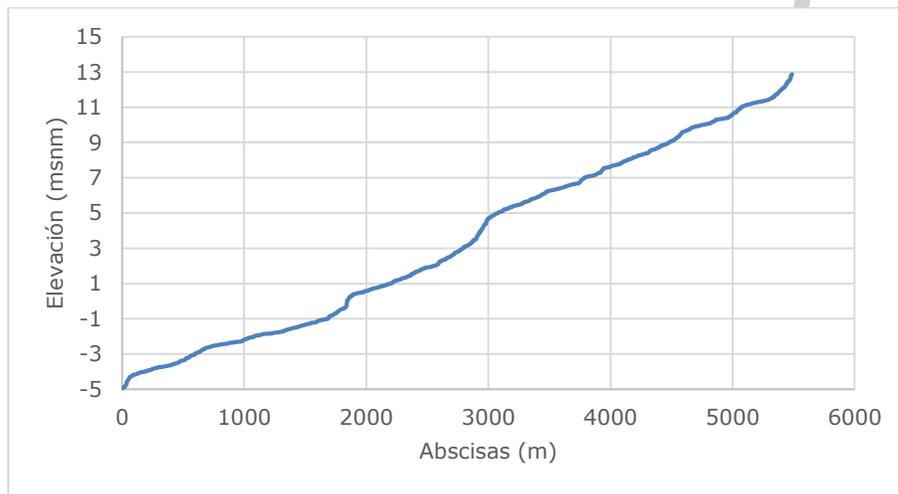


Gráfico 6. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada Guadualito.
Fuente: Elaboración propia.

En la Gráfico 7 se puede consultar la curva hipsométrica de la cuenca, el histograma de elevaciones muestra como alturas frecuentes 0 y 2 msnm.

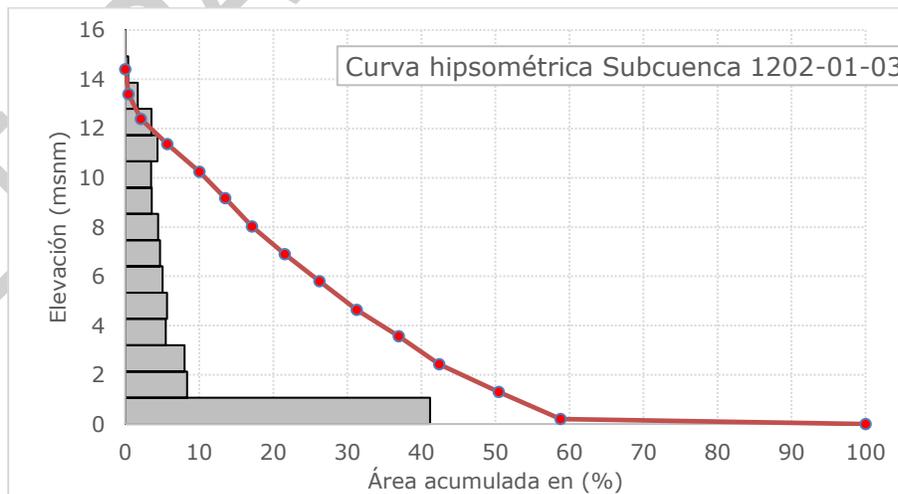


Gráfico 7. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuenca quebrada Guadualito.
Fuente: Elaboración propia.



De acuerdo con la forma que expone la curva hipsométrica, se define que la cuenca de la quebrada Guadualito se encuentra en una fase de vejez (cuenca sedimentaria).

3.5.2.4 Subcuenca de la quebrada El Cuna (1202-01-04)

En la Tabla 35 se presentan los resultados para la subcuenca de la quebrada El Cuna (1202-01-04).

Tabla 35. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-04.

SUBCUENCA 1202-01-04 (Qda. El Cuna)			
SUPERFICIE			
Área	km ²		43,07
Perímetro	km		33,19
Cota máxima	msnm		314,70
Cota mínima	msnm		0,00
Desnivel altitudinal	m		315
Elevación más frecuente	msnm		3
Elevación de frecuencia media (50%)	msnm		18
Pendiente media ponderada	%		6,38
Longitud Axial (LI)	km		10,02
Ancho (W)	km		4,30
RED HÍDRICA			
Longitud del cauce principal (Lt)	km		7,78
Longitud de drenajes	km		308,96
Elevación media ponderada	msnm		4
Pendiente media ponderada	%		0,69
Número de orden	-		5
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS			
Índice de compacidad (Kc)	-		1,42
Índice de alargamiento (Ia)	-		1,81
Factor de forma (Kf)	-		0,43
Índice de asimetría (Ias)	-		1,63
Tiempo de concentración (Tc)	Horas		3,37
Coefficiente de sinuosidad (Ks)	-		0,78
Densidad de drenajes	km/km ²		7,17
Densidad de corrientes	1/km ²		10,80
Tipo de cuenca según (Kc)			Oval redonda a oval oblonga

Fuente: Elaboración propia.

Es una cuenca ligeramente ensancha $Kf=0,43$, con trazos rectos en su corriente principal $Ks=0,78$, dada su característica oval redonda a oval oblonga el tiempo de recorrido del agua a través de la cuenca es mucho más corto que en cuencas alargadas, presentando mayor rapidez en la concentración del flujo superficial en las crecidas.



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

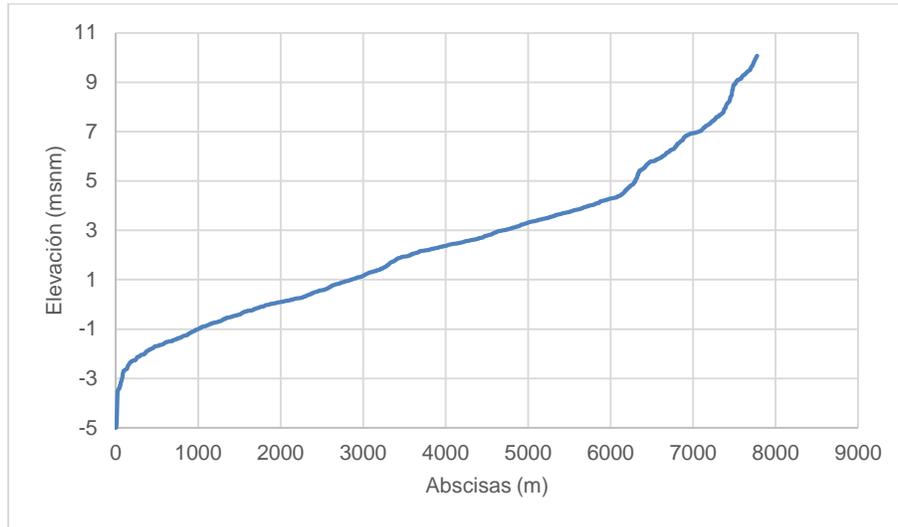


Gráfico 8. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada El Cuna.
Fuente: Elaboración propia.

La caída que presenta el perfil de la quebrada El Cuna según el Gráfico 8 puede deberse a los errores que contiene el DEM en zonas tan planas o pericontinentales. En el Gráfico 9 se puede apreciar la curva hipsométrica.

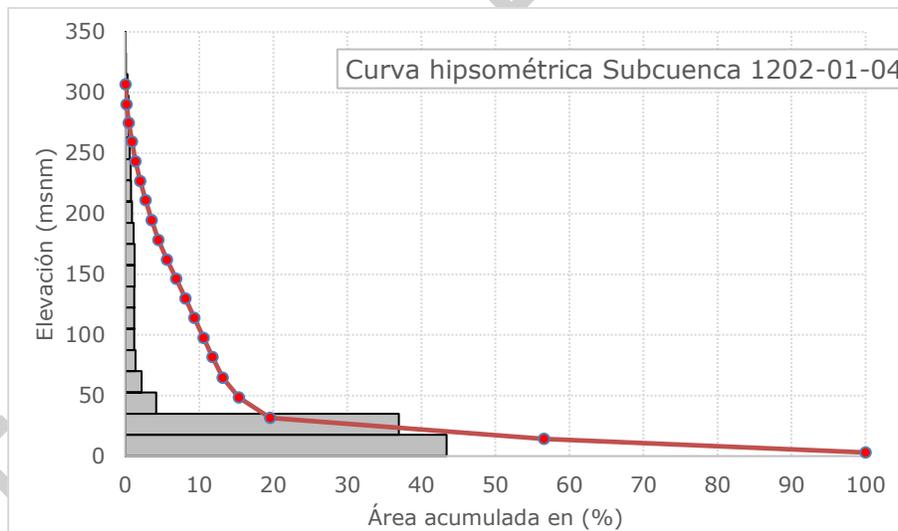


Gráfico 9. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuena quebrada El Cuna.
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la forma que expone la curva hipsométrica, se define que la cuenca de la quebrada El Cuna se encuentra en una fase de vejez (cuenca sedimentaria), con una elevación de frecuencia media (50%) de 18 msnm.



3.5.2.5 Subcuenca de la zona urbana de Turbo (1202-01-05)

En la Tabla 36 se presentan los resultados para la subcuenca de la Zona Urbana de Turbo (1202-01-05). El casco urbano del municipio de Turbo está localizado en la parte centro-oriental del Golfo de Urabá frente a la desembocadura del río Atrato y en el sector de línea litoral conocido como la Espiga de Turbo y Bahía del mismo nombre. En él habitan 42.452 personas. Los caños, Puerto Tranca, Veranillo y Waffe hacen parte del sistema natural de drenaje del río Turbo y atraviesan la zona urbana hasta su desembocadura en la Bahía de Turbo (CORPOURABA, 2009).

Tabla 36. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-05.

SUBCUENCA 1202-01-05 (Zona Urbana Turbo)			
SUPERFICIE			
Área	km ²		15,75
Perímetro	km		29,36
Cota máxima	msnm		13,98
Cota mínima	msnm		0,00
Desnivel altitudinal	m		14
Elevación más frecuente	msnm		0
Elevación de frecuencia media (50%)	msnm		2
Pendiente media ponderada	%		5,00
Longitud Axial (LI)	km		5,51
Ancho (W)	km		2,86
RED HÍDRICA			
Longitud del cauce principal (Lt)	km		6,49
Longitud de drenajes	km		98,80
Elevación media ponderada	msnm		5
Pendiente media ponderada	%		0,59
Número de orden	-		4
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS			
Índice de compacidad (Kc)	-		2,07
Índice de alargamiento (Ia)	-		2,27
Factor de forma (Kf)	-		0,52
Índice de asimetría (Ias)	-		1,46
Tiempo de concentración (Tc)	Horas		3,11
Coefficiente de sinuosidad (Ks)	-		1,18
Densidad de drenajes	km/km ²		6,27
Densidad de corrientes	1/km ²		9,20
Tipo de cuenca según (Kc)			Rectangular oblonga

Fuente: Elaboración propia.

Es una cuenca ligeramente ensancha $Kf=0,52$, con trazos rectos en su corriente principal $Ks=1,18$. Por ser de tipo rectangular oblonga se considera que los picos en sus crecidas sean menos súbitos.



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

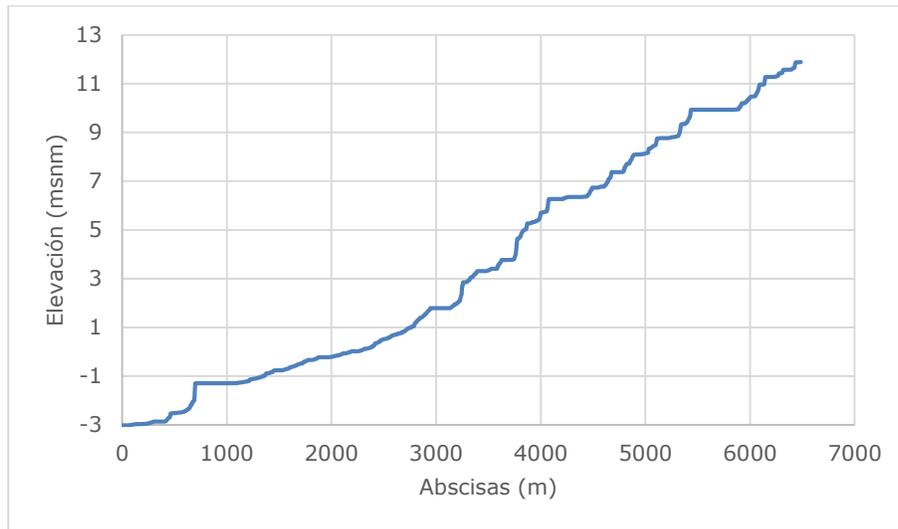


Gráfico 10. Perfil longitudinal del cauce principal Zona Urbana Turbo.
Fuente: Elaboración propia.

El perfil de cauce principal de la unidad hidrográfica (Gráfico 10) presenta algunos quieres en su pendiente pero que no son considerados de gran magnitud, es una corriente característica de zona plana, pero con un patrón de drenaje artificial.

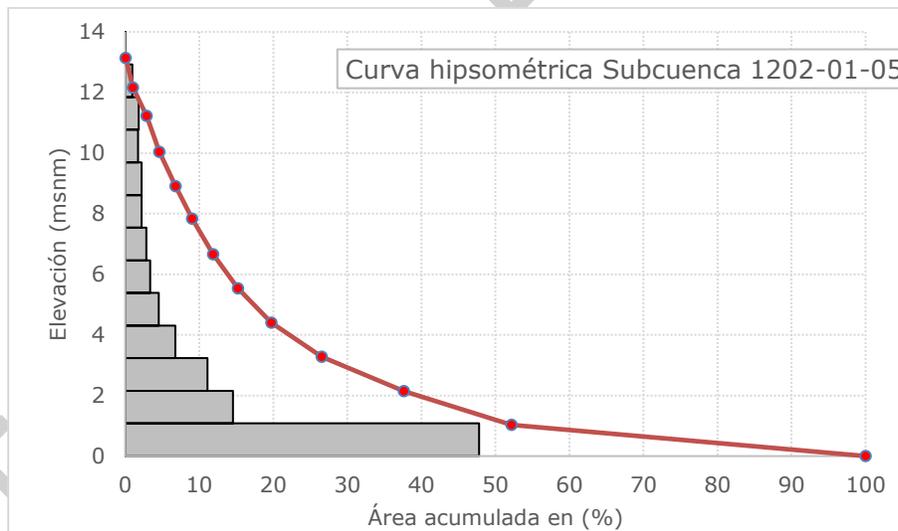


Gráfico 11. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuenca Zona Urbana Turbo.
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la forma que expone la curva hipsométrica (Gráfico 11) se define que esta unidad hidrográfica se encuentra en una fase de vejez (cuenca sedimentaria), con una elevación de frecuencia media (50%) de 2 msnm.



3.5.2.6 Subcuenca del río Turbo (1202-01-06)

En la Tabla 37 se presentan los resultados para la subcuenca del río Turbo (1202-01-06).

Tabla 37. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-06.

SUBCUENCA 1202-01-06 (río Turbo)			
SUPERFICIE			
Área	km ²		159,80
Perímetro	km		82,22
Cota máxima	msnm		704,83
Cota mínima	msnm		0,00
Desnivel altitudinal	m		705
Elevación más frecuente	msnm		48
Elevación de frecuencia media (50%)	msnm		159
Pendiente media ponderada	%		9,61
Longitud Axial (LI)	km		27,32
Ancho (W)	km		5,85
RED HÍDRICA			
Longitud del cauce principal (Lt)	km		41,72
Longitud de drenajes	km		1084,78
Elevación media ponderada	msnm		67
Pendiente media ponderada	%		8,14
Número de orden	-		6
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS			
Índice de compacidad (Kc)	-		1,82
Índice de alargamiento (Ia)	-		7,13
Factor de forma (Kf)	-		0,21
Índice de asimetría (Ias)	-		2,19
Tiempo de concentración (Tc)	Horas		4,82
Coefficiente de sinuosidad (Ks)	-		1,53
Densidad de drenajes	km/km ²		6,79
Densidad de corrientes	1/km ²		11,42
Tipo de cuenca según (Kc)			Rectangular oblonga

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca de orden 6, con la mayor parte del área de la vertiente en la margen derecha de la corriente $Ias = 2,19$. De acuerdo con el $Kf = 0,21$, se trata de una cuenca muy alargada e irregular $Kc = 1,82$ con un tiempo de concentración de 4,82 horas; por ser de tipo rectangular oblonga se considera que los picos en sus crecidas sean menos súbitos. En el Gráfico 12 se puede consultar el perfil del cauce principal. Se observa una fuerte pendiente en los primeros 20 kilómetros del cauce.

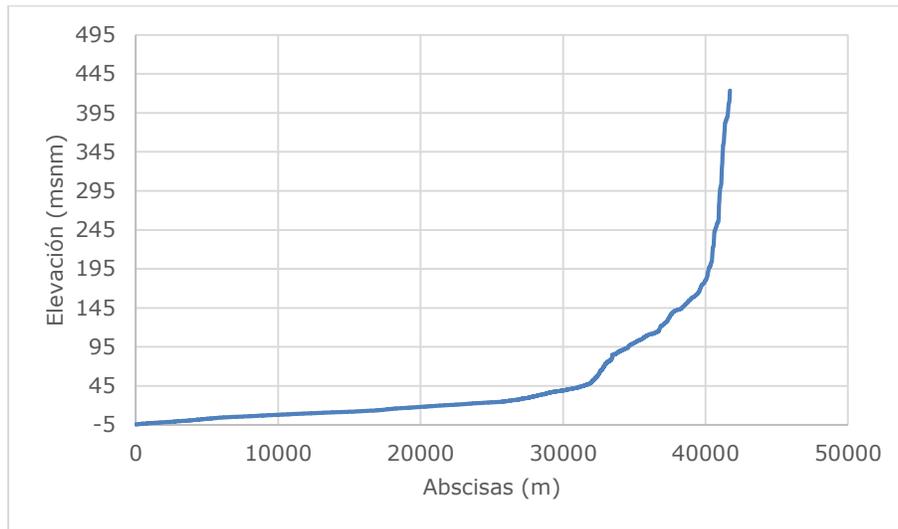


Gráfico 12. Perfil longitudinal del cauce principal río Turbo.
Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico 13 se puede consultar la curva hipsométrica de la cuenca.

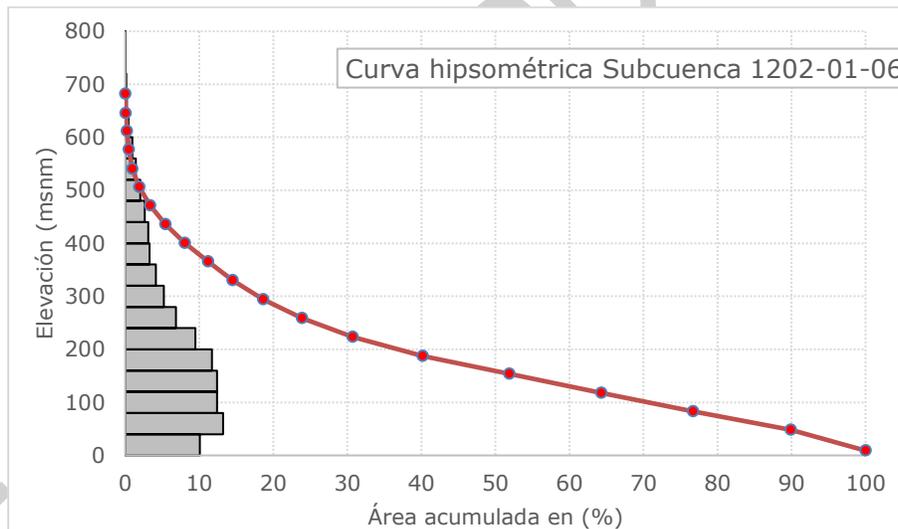


Gráfico 13. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuenca río Turbo.
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la forma que expone la curva hipsométrica, se define que esta unidad hidrográfica se encuentra en una fase de vejez (cuenca sedimentaria), con una elevación de frecuencia media (50%) de 159 msnm.

3.5.2.7 Subcuenca quebrada Aguas Claras (1202-01-07)

En la Tabla 38 se presentan los resultados para la subcuenca quebrada Aguas Claras (1202-01-07).



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

Tabla 38. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-07.

SUBCUENCA 1202-01-07 (Qda. Aguas Claras)			
SUPERFICIE			
Área	km ²		16,42
Perímetro	km		22,67
Cota máxima	msnm		324,93
Cota mínima	msnm		0,00
Desnivel altitudinal	m		325
Elevación más frecuente	msnm		1
Elevación de frecuencia media (50%)	msnm		41
Pendiente media ponderada	%		7,69
Longitud Axial (LI)	km		10,62
Ancho (W)	km		1,55
RED HÍDRICA			
Longitud del cauce principal (Lt)	km		12,81
Longitud de drenajes	km		107,21
Elevación media ponderada	msnm		47
Pendiente media ponderada	%		4,92
Número de orden	-		5
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS			
Índice de compacidad (Kc)	-		1,57
Índice de alargamiento (Ia)	-		8,28
Factor de forma (Kf)	-		0,15
Índice de asimetría (Ias)	-		1,83
Tiempo de concentración (Tc)	Horas		2,29
Coefficiente de sinuosidad (Ks)	-		1,21
Densidad de drenajes	km/km ²		6,53
Densidad de corrientes	1/km ²		10,78
Tipo de cuenca según (Kc)			Oval oblonga a rectangular oblonga

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca de orden 5, con la mayor parte del área de la vertiente en la margen derecha de la corriente $Ias = 1,83$. De acuerdo con el $Kf = 0,15$, se trata de una cuenca muy alargada e irregular $Kc = 1,57$; dada su característica oval oblonga a rectangular oblonga, su tiempo de viaje es más corto $Tc = 2,29 h$. En el Gráfico 14 se observa un perfil con un cambio significativo en la pendiente en el kilómetro 10, aguas arriba de la corriente.

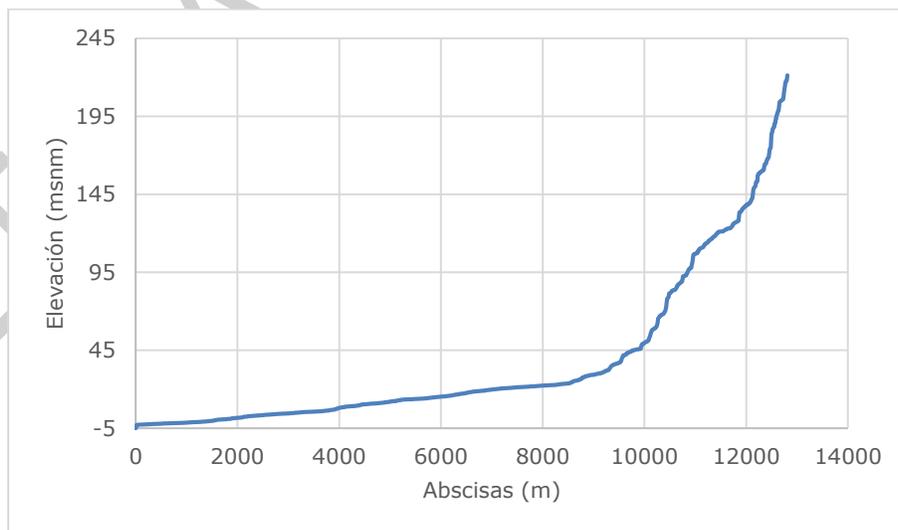


Gráfico 14. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada Aguas Claras.

Fuente: Elaboración propia.



En el Gráfico 15 se puede consultar la curva hipsométrica de la cuenca.

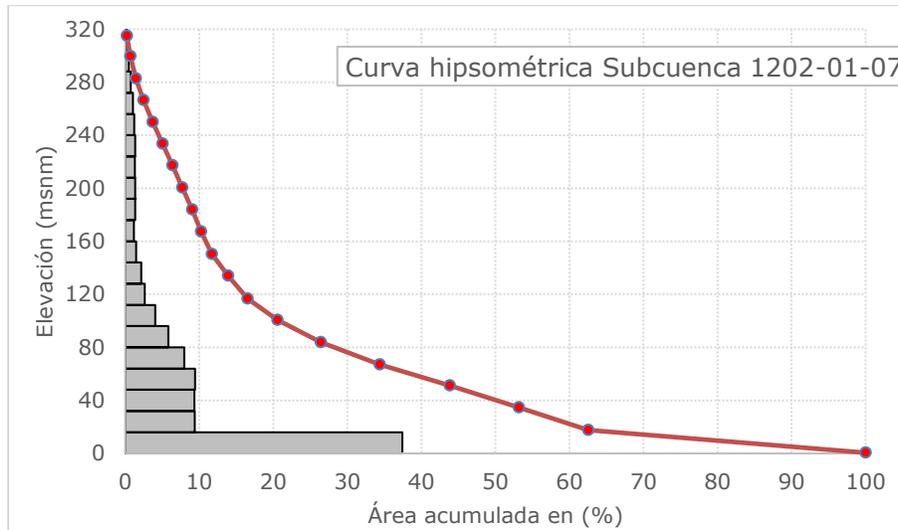


Gráfico 15. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuena quebrada Aguas Claras.
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la forma que expone la curva hipsométrica, se define que esta unidad hidrográfica se encuentra en una fase de vejez (cuenca sedimentaria), con una elevación de frecuencia media (50%) de 41 msnm.

3.5.2.8 Subcuena quebrada Cope (1202-01-08)

En la Tabla 39 se presentan los resultados para la subcuena quebrada Cope (1202-01-08).

Tabla 39. Resultados morfométricos subcuena 1202-01-08.

SUBCUENCA 1202-01-08 (Qda. Cope)			
SUPERFICIE			
Área	km ²		9,42
Perímetro	km		16,56
Cota máxima	msnm		330,50
Cota mínima	msnm		0,00
Desnivel altitudinal	m		330
Elevación más frecuente	msnm		38
Elevación de frecuencia media (50%)	msnm		50
Pendiente media ponderada	%		6,95
Longitud Axial (Ll)	km		5,59
Ancho (W)	km		1,69
RED HÍDRICA			
Longitud del cauce principal (Lt)	km		6,05
Longitud de drenajes	km		53,53
Elevación media ponderada	msnm		31
Pendiente media ponderada	%		3,72
Número de orden	-		4
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS			
Índice de compacidad (Kc)	-		1,51
Índice de alargamiento (Ia)	-		3,59
Factor de forma (Kf)	-		0,30
Índice de asimetría (Ias)	-		1,38



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

Tiempo de concentración (Tc)	Horas	1,88
Coefficiente de sinuosidad (Ks)	-	1,08
Densidad de drenajes	km/km ²	5,68
Densidad de corrientes	1/km ²	11,78
Tipo de cuenca según (Kc)	Oval oblonga a rectangular oblonga	

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca de orden 4, de acuerdo con el $Kf=0,30$, se trata de una cuenca ligeramente alargada y equilibrada $Ias=1,38$; dada su característica oval oblonga a rectangular oblonga, su tiempo de viaje es más corto $Tc=1,88 h$. En el Gráfico 16 se observa un perfil con una caída constante y regular en el cauce.

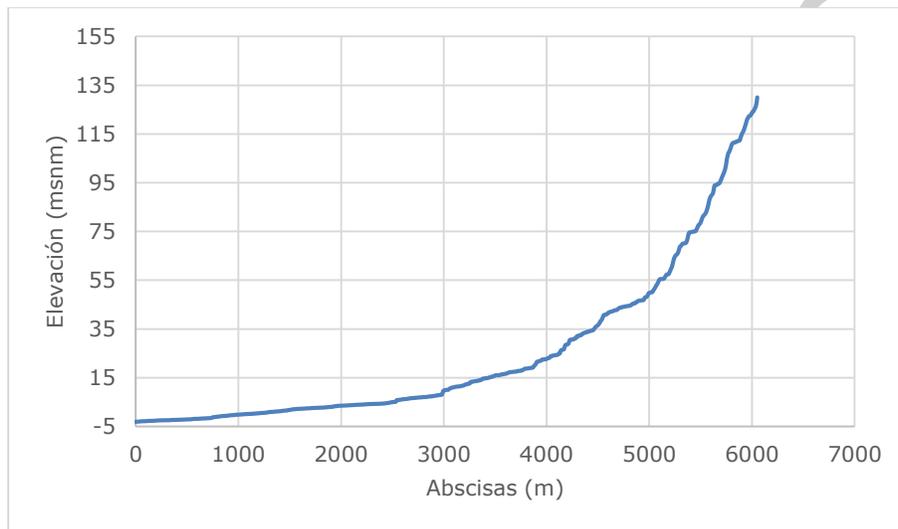


Gráfico 16. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada Cope.
Fuente: Elaboración propia.

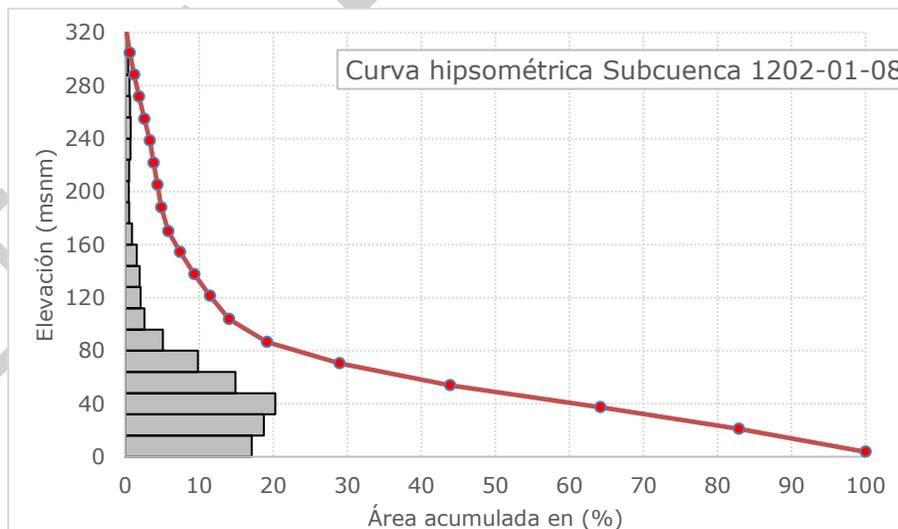


Gráfico 17. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuena quebrada Cope.
Fuente: Elaboración propia.



De acuerdo con la forma que expone la curva hipsométrica (Gráfico 17), se define que esta unidad hidrográfica se encuentra en una fase de vejez (cuenca sedimentaria), con una elevación de frecuencia media (50%) de 50 msnm.

3.5.2.9 Subcuenca quebrada NN1 (1202-01-09)

En la Tabla 40 se presentan los resultados para la subcuenca quebrada NN1 (1202-01-09).

Tabla 40. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-09.

SUBCUENCA 1202-01-09 (Qda. NN1)			
SUPERFICIE			
Área	km ²		2,99
Perímetro	km		7,37
Cota máxima	msnm		157,06
Cota mínima	msnm		0,00
Desnivel altitudinal	m		157
Elevación más frecuente	msnm		2
Elevación de frecuencia media (50%)	msnm		16
Pendiente media ponderada	%		6,63
Longitud Axial (LI)	km		1,98
Ancho (W)	km		1,51
RED HÍDRICA			
Longitud del cauce principal (Lt)	km		1,96
Longitud de drenajes	km		19,60
Elevación media ponderada	msnm		30
Pendiente media ponderada	%		9,48
Número de orden	-		3
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS			
Índice de compacidad (Kc)	-		1,19
Índice de alargamiento (Ia)	-		1,30
Factor de forma (Kf)	-		0,77
Índice de asimetría (Ias)	-		1,04
Tiempo de concentración (Tc)	Horas		0,71
Coefficiente de sinuosidad (Ks)	-		0,99
Densidad de drenajes	km/km ²		6,56
Densidad de corrientes	1/km ²		11,05
Tipo de cuenca según (Kc)			Redonda a oval redonda

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca de orden 3, de acuerdo con el $Kf=0,77$, se trata de una cuenca ensanchada y equilibrada $Ias=1,04$; dada su característica redonda a oval redonda presenta un tiempo de concentración bajo $Tc=0,71 h$ y una mayor concentración en caudales picos. En el Gráfico 18 se observa un perfil con una caída constante y regular en el cauce.

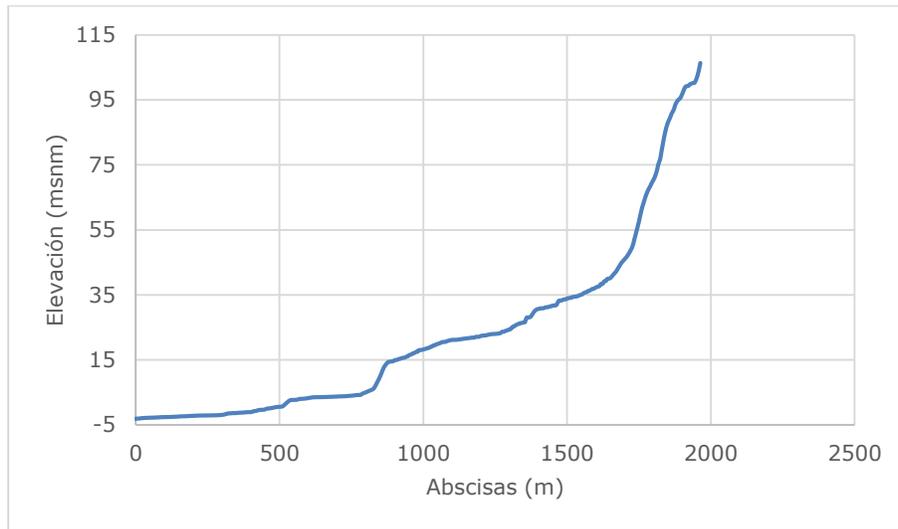


Gráfico 18. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada NN1.
Fuente: Elaboración propia.

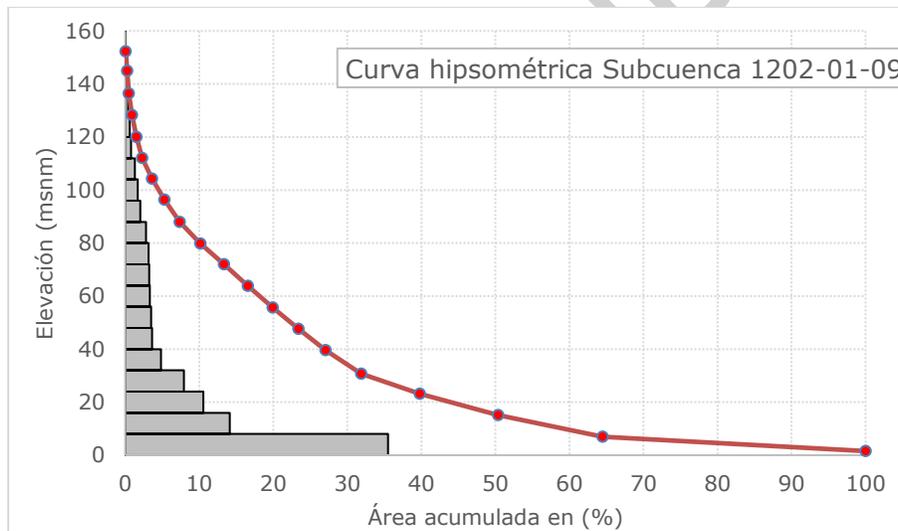


Gráfico 19. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuenca quebrada NN1.
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la forma que expone la curva hipsométrica (Gráfico 19), se define que esta unidad hidrográfica se encuentra en una fase de vejez (cuenca sedimentaria), con una elevación de frecuencia media (50%) de 16 msnm.

3.5.2.10 Subcuenca del río Punta de Piedra (1202-01-10)

En la Tabla 41 se presentan los resultados para la subcuenca del río Punta de Piedra (1202-01-10).



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

Tabla 41. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-10.

SUBCUENCA 1202-01-10 (río Punta de Piedra)			
SUPERFICIE			
Área	km ²		10,90
Perímetro	km		19,95
Cota máxima	msnm		360,21
Cota mínima	msnm		0,00
Desnivel altitudinal	m		360
Elevación más frecuente	msnm		78
Elevación de frecuencia media (50%)	msnm		107
Pendiente media ponderada	%		10,14
Longitud Axial (LI)	km		7,65
Ancho (W)	km		1,42
RED HÍDRICA			
Longitud del cauce principal (Lt)	km		13,20
Longitud de drenajes	km		65,13
Elevación media ponderada	msnm		63
Pendiente media ponderada	%		5,14
Número de orden	-		4
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS			
Índice de compacidad (Kc)	-		1,69
Índice de alargamiento (Ia)	-		9,27
Factor de forma (Kf)	-		0,19
Índice de asimetría (Ias)	-		1,05
Tiempo de concentración (Tc)	Horas		2,29
Coefficiente de sinuosidad (Ks)	-		1,73
Densidad de drenajes	km/km ²		5,97
Densidad de corrientes	1/km ²		11,65
Tipo de cuenca según (Kc)			Oval oblonga a rectangular oblonga

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca de orden 4, de acuerdo con el $Kf=0,19$, se trata de una cuenca muy alargada y equilibrada $Ias=1,05$; dada su característica oval oblonga a rectangular oblonga, su tiempo de viaje es más corto $Tc=2,29 h$. En el Gráfico 20 se observa un perfil con una caída constante y regular en el cauce.

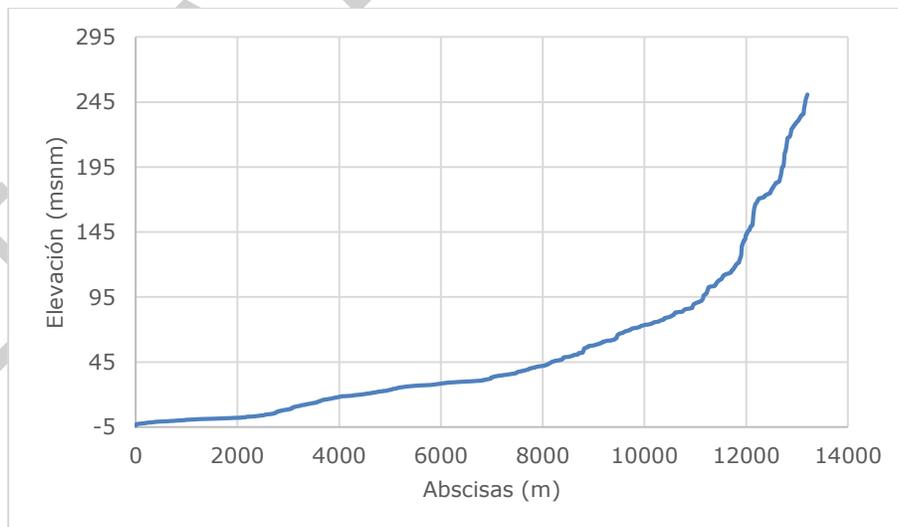


Gráfico 20. Perfil longitudinal del cauce principal río Punta de Piedra.

Fuente: Elaboración propia.



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

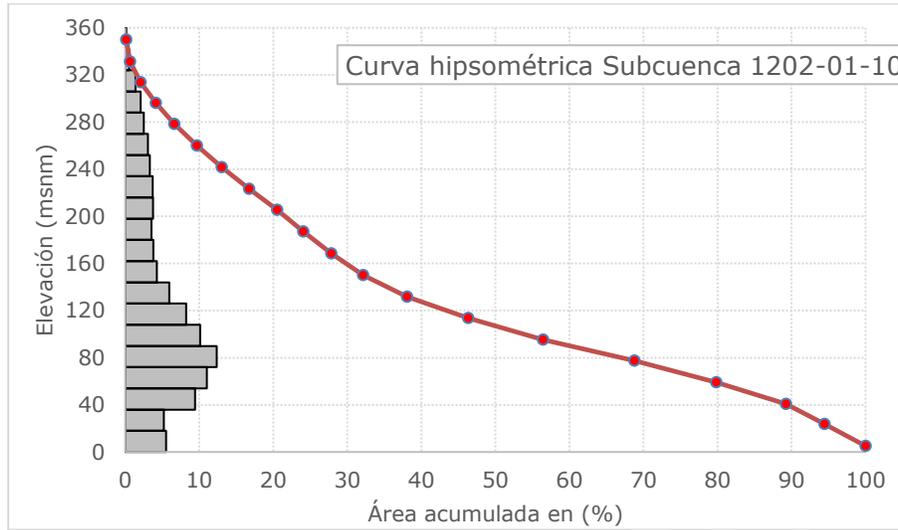


Gráfico 21. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuenca río Punta de Piedra.
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la forma que expone la curva hipsométrica (Gráfico 21), se define que la cuenca del río Punta de Piedra se encuentra en una fase de madurez o de equilibrio sedimentario. La elevación de frecuencia media (50%) es de 107 msnm.

3.5.2.11 Subcuenca quebrada NN2 (1202-01-11)

En la Tabla 42 se presentan los resultados para la subcuenca quebrada NN2 (1202-01-11).

Tabla 42. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-11.

SUBCUENCA 1202-01-11 (Qda. NN2)			
SUPERFICIE			
Área	km ²		1,70
Perímetro	km		6,31
Cota máxima	msnm		145,40
Cota mínima	msnm		0,00
Desnivel altitudinal	m		145
Elevación más frecuente	msnm		1
Elevación de frecuencia media (50%)	msnm		12
Pendiente media ponderada	%		7,02
Longitud Axial (LI)	km		1,32
Ancho (W)	km		1,28
RED HÍDRICA			
Longitud del cauce principal (Lt)	km		1,37
Longitud de drenajes	km		10,34
Elevación media ponderada	msnm		24
Pendiente media ponderada	%		9,00
Número de orden	-		2
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS			
Índice de compacidad (Kc)	-		1,36
Índice de alargamiento (Ia)	-		1,07
Factor de forma (Kf)	-		0,97
Índice de asimetría (Ias)	-		1,00
Tiempo de concentración (Tc)	Horas		0,53
Coefficiente de sinuosidad (Ks)	-		1,03
Densidad de drenajes	km/km ²		6,08



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

Densidad de corrientes	1/km ²	7,05
Tipo de cuenca según (Kc)	Oval redonda a oval oblonga	

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca de orden 2, de acuerdo con el $Kf=0,97$, se trata de una cuenca muy ensanchada y equilibrada $Ias=1,00$; dada su característica redonda a oval oblonga presenta un tiempo de concentración bajo $Tc=0,53 h$ y una mayor concentración en caudales picos.

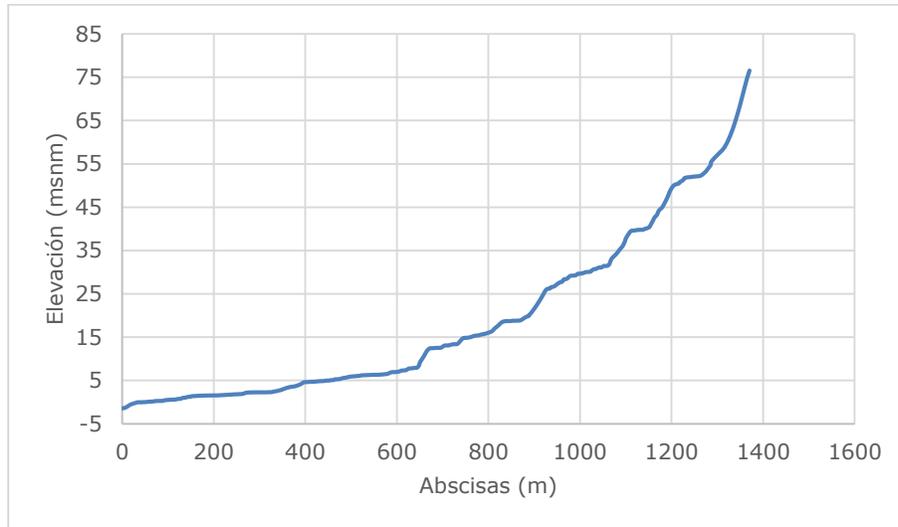


Gráfico 22. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada NN2.
Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico 22 se observa un perfil con una caída constante y regular en el cauce.

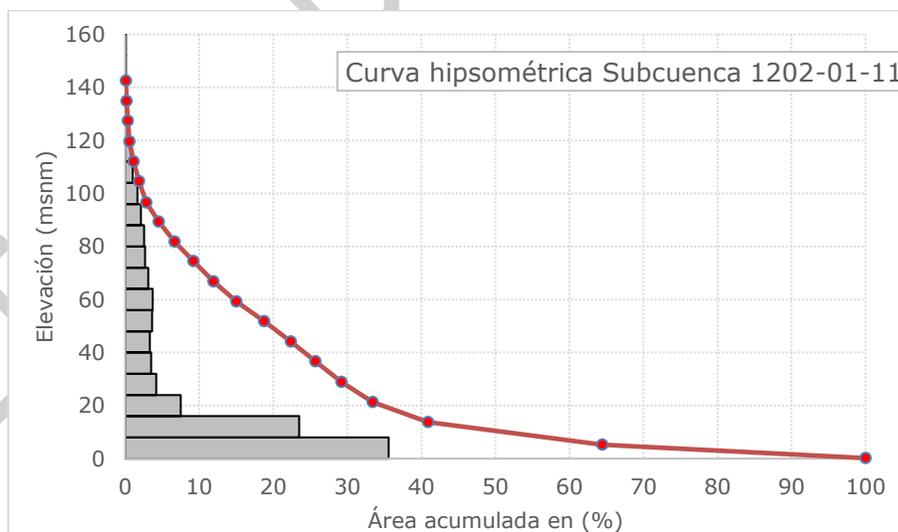


Gráfico 23. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuena quebrada NN2.
Fuente: Elaboración propia.



De acuerdo con la forma que expone la curva hipsométrica (Gráfico 23), se define que esta unidad hidrográfica se encuentra en una fase de vejez (cuenca sedimentaria), con una elevación de frecuencia media (50%) de 12 msnm.

3.5.2.12 Subcuenca del río Cirilo (1202-01-12)

En la Tabla 43 se presentan los resultados para la subcuenca del río Cirilo (1202-01-12).

Tabla 43. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-12.

SUBCUENCA 1202-01-12 (río Cirilo)			
SUPERFICIE			
Área		km ²	11,89
Perímetro		km	19,33
Cota máxima		msnm	359,66
Cota mínima		msnm	0,00
Desnivel altitudinal		m	360
Elevación más frecuente		msnm	114
Elevación de frecuencia media (50%)		msnm	112
Pendiente media ponderada		%	10,31
Longitud Axial (LI)		km	8,25
Ancho (W)		km	1,44
RED HÍDRICA			
Longitud del cauce principal (Lt)		km	11,78
Longitud de drenajes		km	69,78
Elevación media ponderada		msnm	68
Pendiente media ponderada		%	5,19
Número de orden		-	4
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS			
Índice de compacidad (Kc)		-	1,57
Índice de alargamiento (Ia)		-	8,17
Factor de forma (Kf)		-	0,17
Índice de asimetría (Ias)		-	1,45
Tiempo de concentración (Tc)		Horas	2,10
Coeficiente de sinuosidad (Ks)		-	1,43
Densidad de drenajes		km/km ²	5,87
Densidad de corrientes		1/km ²	11,78
Tipo de cuenca según (Kc)			Oval oblonga a rectangular oblonga

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca de orden 4, de acuerdo con el $Kf=0,17$, se trata de una cuenca muy alargada y con cierto peso de la vertiente en la margen derecha del cauce $Ias=1,45$; dada su característica oval oblonga a rectangular oblonga se considera que los picos en sus crecidas sean más súbitos.

En el Gráfico 24 se observa un perfil longitudinal con una caída fuerte en los primeros 4 kilómetros del cauce. Luego la pendiente presenta un descenso gradual y regular.

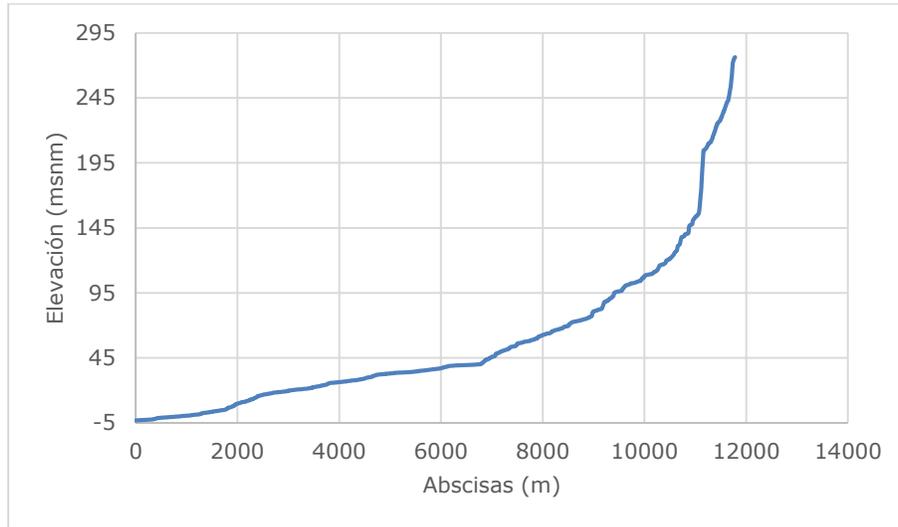


Gráfico 24. Perfil longitudinal del cauce principal río Cirilo.
Fuente: Elaboración propia.

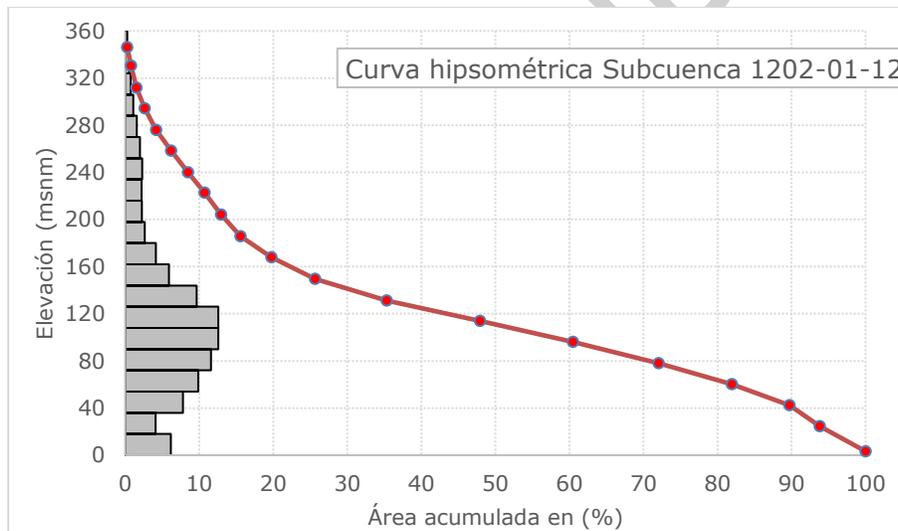


Gráfico 25. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuenca río Cirilo.
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la forma que expone la curva hipsométrica (Gráfico 25), se define que esta unidad hidrográfica se encuentra en una fase de vejez (cuenca sedimentaria), con una elevación de frecuencia media (50%) de 112 msnm.

3.5.2.13 Subcuenca quebrada NN3 (1202-01-13)

En la Tabla 44 se presentan los resultados para la subcuenca quebrada NN3 (1202-01-13).



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

Tabla 44. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-13.

SUBCUENCA 1202-01-13 (Qda. NN3)		
SUPERFICIE		
Área	km ²	2,27
Perímetro	km	7,03
Cota máxima	msnm	128,79
Cota mínima	msnm	0,00
Desnivel altitudinal	m	129
Elevación más frecuente	msnm	1
Elevación de frecuencia media (50%)	msnm	15
Pendiente media ponderada	%	7,44
Longitud Axial (LI)	km	1,55
Ancho (W)	km	1,47
RED HÍDRICA		
Longitud del cauce principal (Lt)	km	1,62
Longitud de drenajes	km	14,81
Elevación media ponderada	msnm	23
Pendiente media ponderada	%	9,44
Número de orden	-	3
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS		
Índice de compacidad (Kc)	-	1,30
Índice de alargamiento	-	1,10
Factor de forma (Kf)	-	0,94
Índice de asimetría	-	4,11
Tiempo de concentración (Tc)	Horas	0,60
Coefficiente de sinuosidad (Ks)	-	1,04
Densidad de drenajes	km/km ²	6,51
Densidad de corrientes	1/km ²	10,55
Tipo de cuenca según (Kc)	Oval redonda a oval oblonga	

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca de orden 3, de acuerdo con el $Kf=0,94$, se trata de una cuenca muy ensanchada y con gran porcentaje del área de la vertiente en la margen derecha del cauce $Ias=4,11$; dada su característica oval redonda a oval oblonga se considera que los picos en sus crecidas sean más súbitos, dado el $Tc=0,6$ h.

En el Gráfico 26 se observa un perfil longitudinal con una caída fuerte en los primeros 600 metros del cauce. Luego la pendiente presenta un descenso gradual y regular.

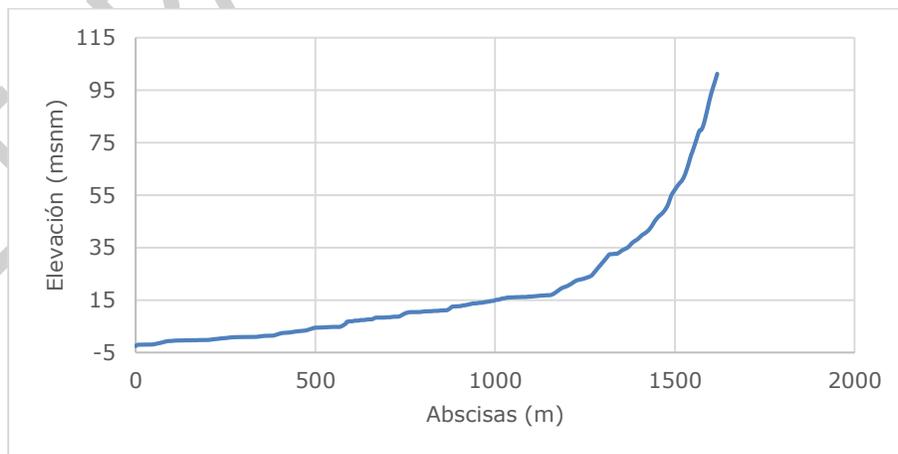


Gráfico 26. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada NN3.

Fuente: Elaboración propia.

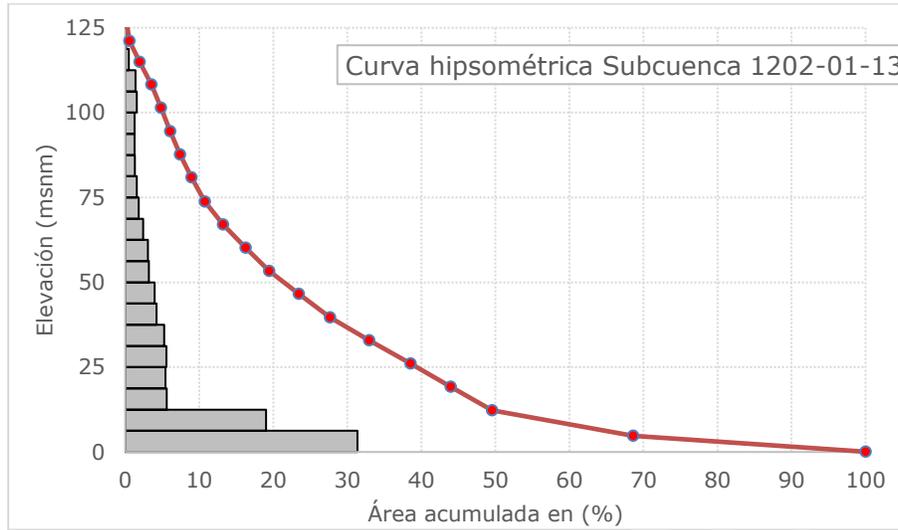


Gráfico 27. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuenca quebrada NN3.
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la forma que expone la curva hipsométrica (Gráfico 27), se define que esta unidad hidrográfica se encuentra en una fase de vejez (cuenca sedimentaria), con una elevación de frecuencia media (50%) de 15 msnm.

3.5.2.14 Subcuenca quebrada Tié (1202-01-14)

En la Tabla 45 se presentan los resultados para la subcuenca quebrada Tié (1202-01-14).

Tabla 45. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-14.

SUBCUENCA 1202-01-14 (Qda. Tié)			
SUPERFICIE			
Área		km ²	2,21
Perímetro		km	9,35
Cota máxima		msnm	171,11
Cota mínima		msnm	0,00
Desnivel altitudinal		m	171
Elevación más frecuente		msnm	36
Elevación de frecuencia media (50%)		msnm	55
Pendiente media ponderada		%	9,51
Longitud Axial (LI)		km	4,42
Ancho (W)		km	0,50
RED HÍDRICA			
Longitud del cauce principal (Lt)		km	4,54
Longitud de drenajes		km	11,79
Elevación media ponderada		msnm	38
Pendiente media ponderada		%	3,47
Número de orden		-	3
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS			
Índice de compacidad (Kc)		-	1,76
Índice de alargamiento (Ia)		-	9,05
Factor de forma (Kf)		-	0,11
Índice de asimetría (Ias)		-	1,11
Tiempo de concentración (Tc)		Horas	1,47
Coefficiente de sinuosidad (Ks)		-	1,03
Densidad de drenajes		km/km ²	5,32



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

Densidad de corrientes	1/km ²	7,68
Tipo de cuenca según (Kc)	Rectangular oblonga	

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca de orden 3, de acuerdo con el $Kf=0,11$, se trata de una cuenca muy alargada y equilibrada en sus vertientes $Ias=1,11$; dada su característica rectangular oblonga se considera que los picos en sus crecidas sean menos súbitos, el tiempo de concentración es de $Tc=1,47$ h.

En el Gráfico 28 se observa un perfil longitudinal con una caída gradual y regular.

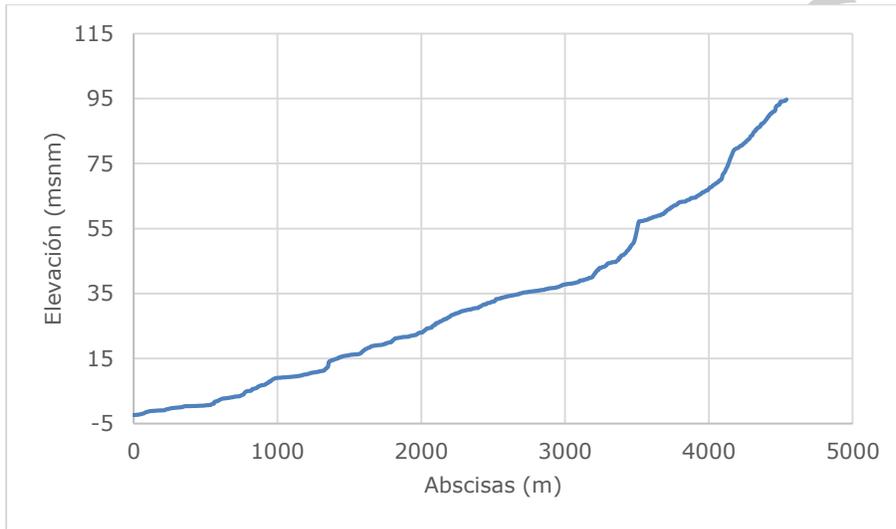


Gráfico 28. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada Tié.
Fuente: Elaboración propia.

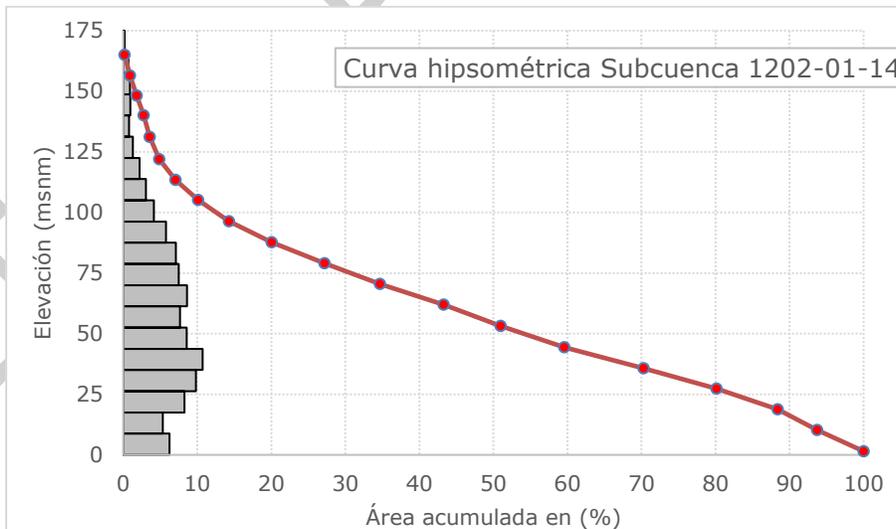


Gráfico 29. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuena quebrada Tié.
Fuente: Elaboración propia.



De acuerdo con la forma que expone la curva hipsométrica (Gráfico 29), se define que la cuenca de la quebrada Tié se encuentra en una fase de madurez o de equilibrio sedimentario, con una elevación de frecuencia media (50%) de 55 msnm.

3.5.2.15 Subcuenca quebrada NN4 (1202-01-15)

En la Tabla 46 se presentan los resultados para la subcuenca quebrada NN4 (1202-01-15).

Tabla 46. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-15.

SUBCUENCA 1202-01-15 (Qda. NN4)			
SUPERFICIE			
Área	km ²		4,42
Perímetro	km		12,61
Cota máxima	msnm		143,55
Cota mínima	msnm		0,00
Desnivel altitudinal	m		144
Elevación más frecuente	msnm		1
Elevación de frecuencia media (50%)	msnm		16
Pendiente media ponderada	%		6,68
Longitud Axial (LI)	km		1,71
Ancho (W)	km		2,59
RED HÍDRICA			
Longitud del cauce principal (Lt)	km		1,62
Longitud de drenajes	km		25,13
Elevación media ponderada	msnm		50
Pendiente media ponderada	%		9,50
Número de orden	-		2
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS			
Índice de compacidad (Kc)	-		1,68
Índice de alargamiento	-		0,63
Factor de forma (Kf)	-		1,52
Índice de asimetría	-		1,28
Tiempo de concentración (Tc)	Horas		0,59
Coefficiente de sinuosidad (Ks)	-		0,95
Densidad de drenajes	km/km ²		5,68
Densidad de corrientes	1/km ²		8,14
Tipo de cuenca según (Kc)			Oval oblonga a rectangular oblonga

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca de orden 2, de acuerdo con el $Kf=1,52$, se trata de una cuenca muy ensanchada y equilibrada en sus vertientes $Ias=1,28$; dada su característica oval oblonga a rectangular oblonga se considera que los picos en sus crecidas sean más súbitos, el tiempo de concentración es de $Tc=0,59$ h.

En el Gráfico 30 se observa un perfil longitudinal con una caída gradual y regular.

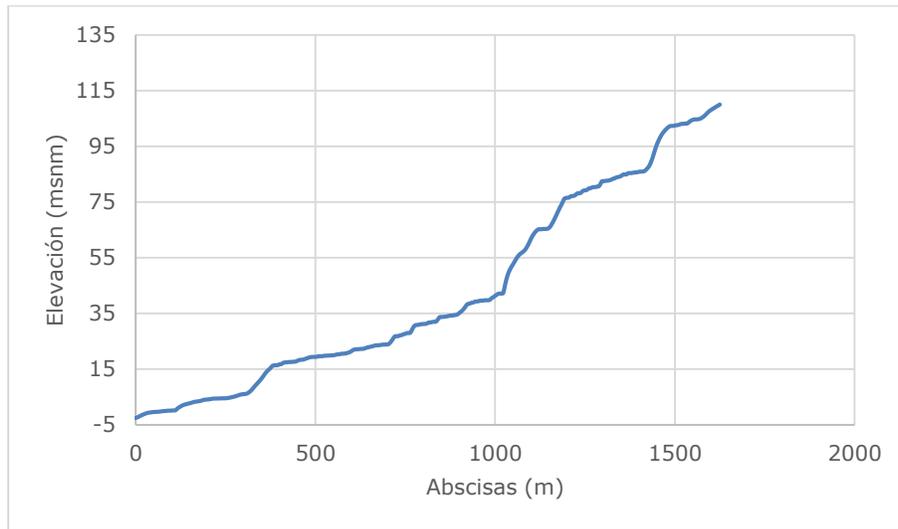


Gráfico 30. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada NN4.
Fuente: Elaboración propia.

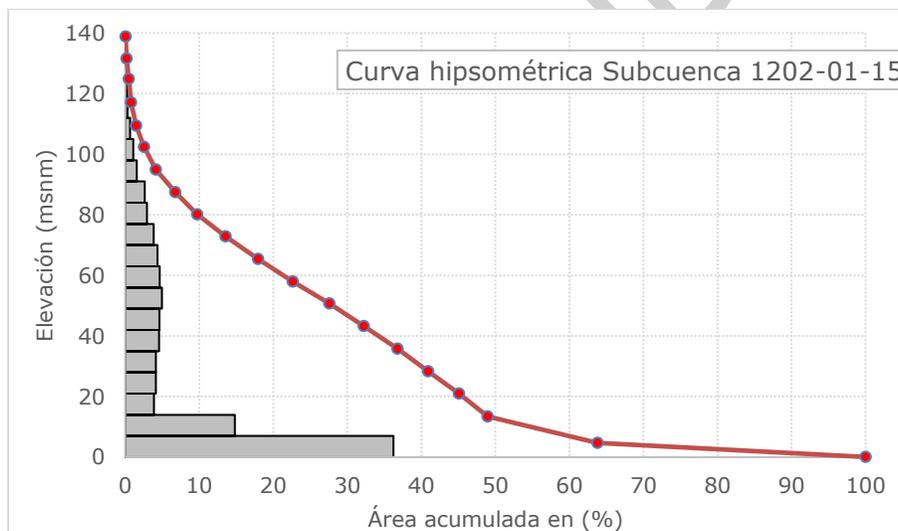


Gráfico 31. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuenca quebrada NN4.
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la forma que expone la curva hipsométrica (Gráfico 31), se define que la cuenca de la quebrada NN4 se encuentra en una fase de vejez (cuenca sedimentaria). Su elevación de frecuencia media (50%) es de 16 msnm.

3.5.2.16 Subcuenca del río Caimán Nuevo (1202-01-16)

En la Tabla 47 se presentan los resultados para la subcuenca del río Caimán Nuevo (1202-01-16).



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

Tabla 47. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-16.

SUBCUENCA 1202-01-16 (río Caimán Nuevo)			
SUPERFICIE			
Área	km ²		97,45
Perímetro	km		52,70
Cota máxima	msnm		544,03
Cota mínima	msnm		0,00
Desnivel altitudinal	m		544
Elevación más frecuente	msnm		37
Elevación de frecuencia media (50%)	msnm		89
Pendiente media ponderada	%		8,56
Longitud Axial (LI)	km		20,79
Ancho (W)	km		4,69
RED HÍDRICA			
Longitud del cauce principal (Lt)	km		34,24
Longitud de drenajes	km		667,54
Elevación media ponderada	msnm		50
Pendiente media ponderada	%		5,67
Número de orden	-		5
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS			
Índice de compacidad (Kc)	-		1,49
Índice de alargamiento (Ia)	-		7,31
Factor de forma (Kf)	-		0,23
Índice de asimetría (Ias)	-		1,07
Tiempo de concentración (Tc)	Horas		4,49
Coefficiente de sinuosidad (Ks)	-		1,65
Densidad de drenajes	km/km ²		6,85
Densidad de corrientes	1/km ²		12,59
Tipo de cuenca según (Kc)			Oval redonda a oval oblonga

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca de orden 5, de acuerdo con el $Kf=0,23$, se trata de una cuenca alargada $Ia=7,31$ y equilibrada en sus vertientes $Ias=1,07$; dada su característica oval redonda a oval oblonga se considera que los picos en sus crecidas sean menos súbitos, el tiempo de concentración es de $Tc=4,49$ h. En el Gráfico 32 se observa un perfil longitudinal con una caída fuerte en los primeros 5 kilómetros del cauce. Luego la pendiente presenta un descenso gradual y regular hacia el Golfo.

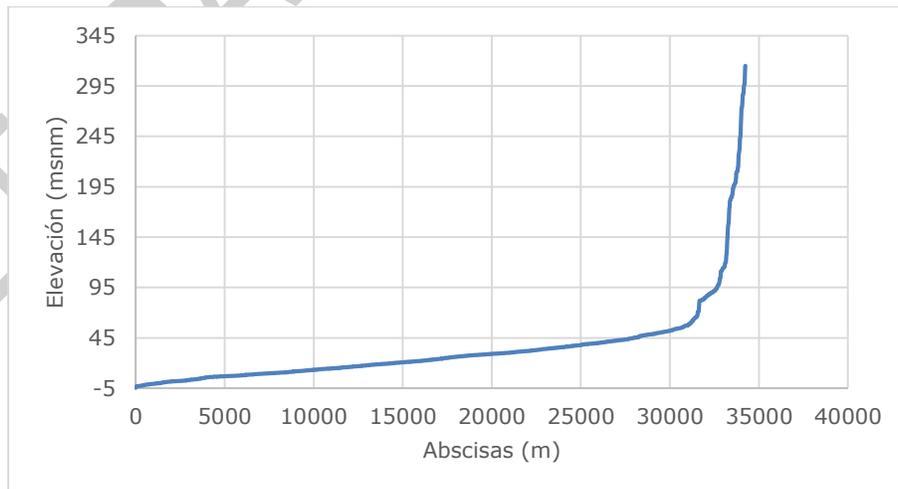


Gráfico 32. Perfil longitudinal del cauce principal río Caimán Nuevo.

Fuente: Elaboración propia.

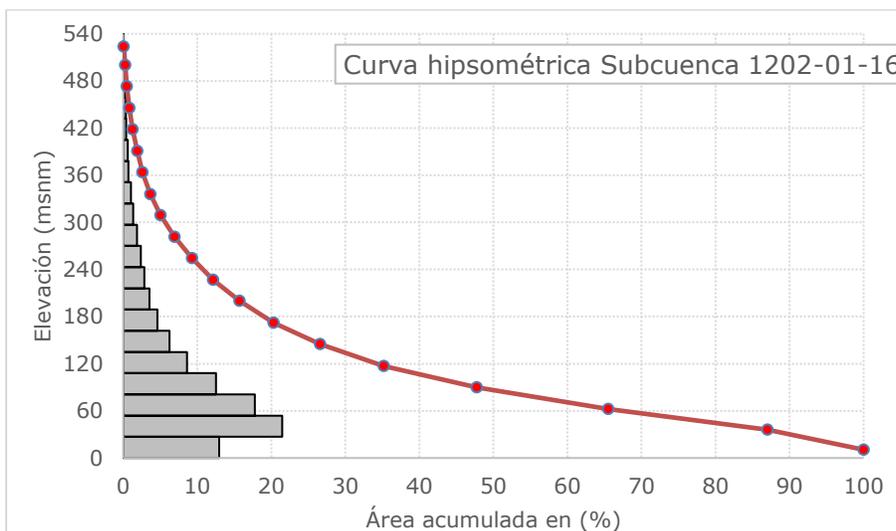


Gráfico 33. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuena río Caimán Nuevo.
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la forma que expone la curva hipsométrica (Gráfico 33), se define que la cuenca del río Caimán Nuevo se encuentra en una fase de vejez (cuenca sedimentaria). Su elevación de frecuencia media (50%) es de 89 msnm.

3.5.2.17 Subcuena quebrada Seca (1202-01-17)

En la Tabla 48 se presentan los resultados para la subcuena quebrada Seca (1202-01-17).

Tabla 48. Resultados morfométricos subcuena 1202-01-17.

SUBCUENA 1202-01-17 (Qda. Seca)			
SUPERFICIE			
Área	km ²		6,45
Perímetro	km		11,92
Cota máxima	msnm		231,47
Cota mínima	msnm		0,00
Desnivel altitudinal	m		231
Elevación más frecuente	msnm		1
Elevación de frecuencia media (50%)	msnm		15
Pendiente media ponderada	%		6,80
Longitud Axial (LI)	km		3,39
Ancho (W)	km		1,90
RED HÍDRICA			
Longitud del cauce principal (Lt)	km		4,16
Longitud de drenajes	km		45,27
Elevación media ponderada	msnm		28
Pendiente media ponderada	%		6,79
Número de orden	-		4
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS			
Índice de compacidad (Kc)	-		1,31
Índice de alargamiento (Ia)	-		2,18
Factor de forma (Kf)	-		0,56
Índice de asimetría (Ias)	-		2,18
Tiempo de concentración (Tc)	Horas		1,30
Coficiente de sinuosidad (Ks)	-		1,23
Densidad de drenajes	km/km ²		7,02



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

Densidad de corrientes	1/km ²	12,09
Tipo de cuenca según (Kc)	Oval redonda a oval oblonga	

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca de orden 4, de acuerdo con el $Kf=0,56$, se trata de una cuenca ligeramente ensanchada $Ia=2,18$, con un porcentaje del área de la vertiente en la margen derecha del cauce $Ias=2,18$; dada su característica oval redonda a oval oblonga se considera que los picos en sus crecidas sean menos súbitos, el tiempo de concentración es de $Tc=1,30$ h. En el Gráfico 34 se observa un perfil longitudinal con una caída fuerte en los primeros 1500 metros del cauce; luego la pendiente presenta un descenso gradual y regular hacia el Golfo.

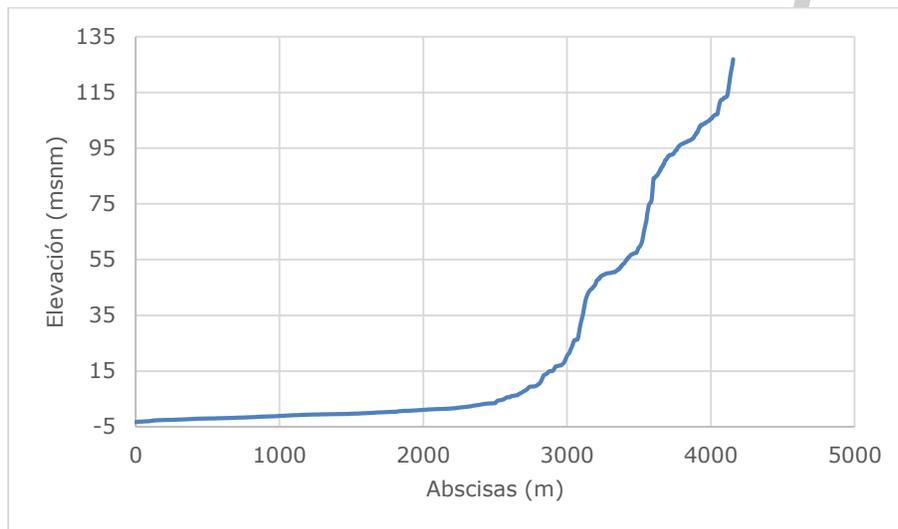


Gráfico 34. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada Seca.
Fuente: Elaboración propia.

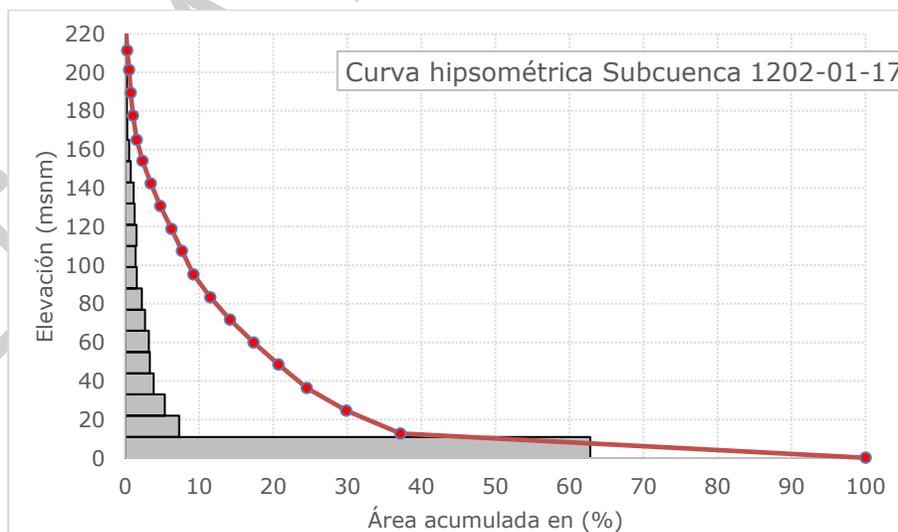


Gráfico 35. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuena quebrada Seca.
Fuente: Elaboración propia.



De acuerdo con la forma que expone la curva hipsométrica (Gráfico 35), se define que la cuenca de la quebrada Seca se encuentra en una fase de vejez (cuenca sedimentaria). Su elevación de frecuencia media (50%) es de 15 msnm.

3.5.2.18 Subcuenca del río Totumo (1202-01-18)

En la Tabla 49 se presentan los resultados para la subcuenca del río Totumo (1202-01-18).

Tabla 49. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-18.

SUBCUENCA 1202-01-18 (río Totumo)			
SUPERFICIE			
Área	km ²		8,91
Perímetro	km		16,19
Cota máxima	msnm		200,59
Cota mínima	msnm		0,00
Desnivel altitudinal	m		201
Elevación más frecuente	msnm		1
Elevación de frecuencia media (50%)	msnm		35
Pendiente media ponderada	%		8,02
Longitud Axial (LI)	km		5,18
Ancho (W)	km		1,72
RED HÍDRICA			
Longitud del cauce principal (Lt)	km		6,22
Longitud de drenajes	km		56,52
Elevación media ponderada	msnm		17
Pendiente media ponderada	%		4,02
Número de orden	-		4
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS			
Índice de compacidad (Kc)	-		1,52
Índice de alargamiento (Ia)	-		3,61
Factor de forma (Kf)	-		0,33
Índice de asimetría (Ias)	-		1,04
Tiempo de concentración (Tc)	Horas		1,82
Coefficiente de sinuosidad (Ks)	-		1,20
Densidad de drenajes	km/km ²		6,34
Densidad de corrientes	1/km ²		12,23
Tipo de cuenca según (Kc)			Oval oblonga a rectangular oblonga

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca de orden 4, de acuerdo con el $Kf=0,33$, se trata de una cuenca ligeramente alargada $Ia=3,61$ en equilibrio de vertientes $Ias=1,04$; dada su característica oval oblonga a rectangular oblonga se considera que los picos en sus crecidas sean súbitos, el tiempo de concentración es de $Tc=1,82$ h.

En el Gráfico 36 se observa un perfil longitudinal con una caída fuerte en el primer kilómetro del cauce; luego la pendiente presenta un descenso gradual y regular hacia el Golfo.

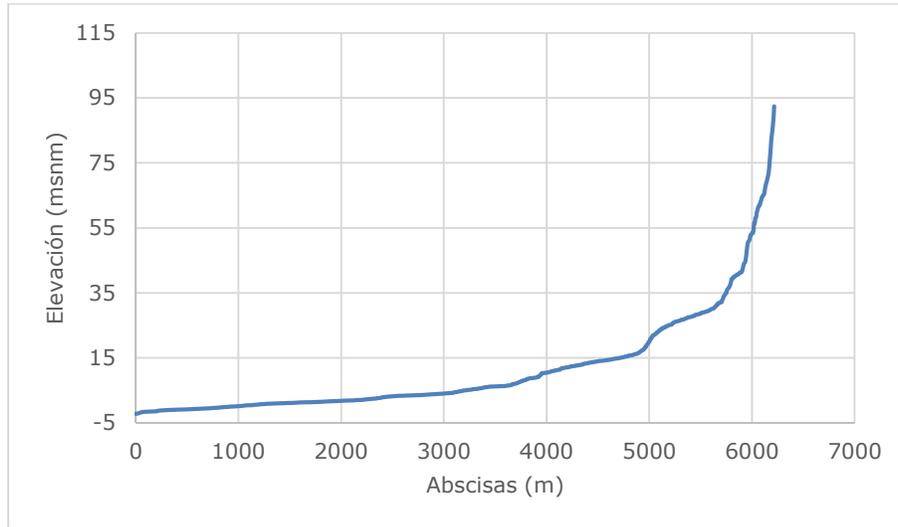


Gráfico 36. Perfil longitudinal del cauce principal río Totumo.
Fuente: Elaboración propia.

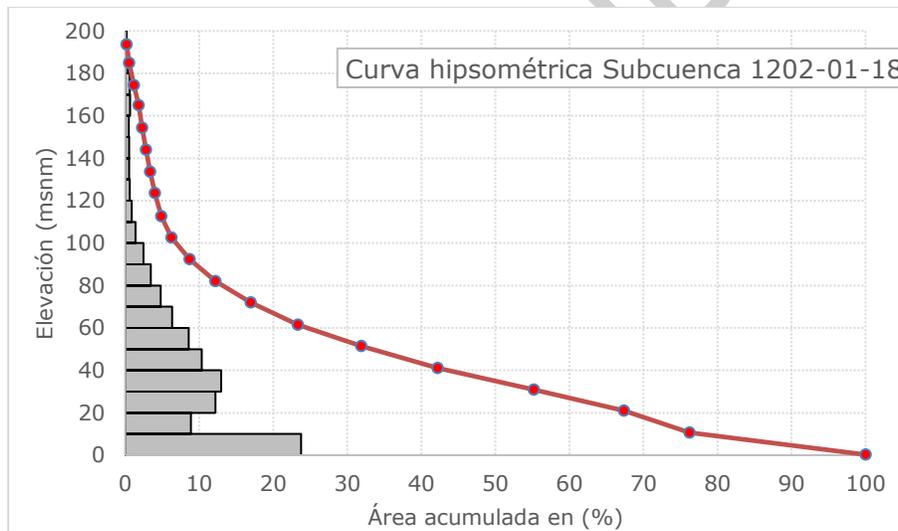


Gráfico 37. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuenca río Totumo.
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la forma que expone la curva hipsométrica (Gráfico 37), se define que la cuenca del río Totumo se encuentra en una fase de vejez (cuenca sedimentaria). Su elevación de frecuencia media (50%) es de 35 msnm.

3.5.2.19 Subcuenca quebrada Manuela (1202-01-19)

En la Tabla 50 se presentan los resultados para la subcuenca quebrada Manuela (1202-01-19).



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

Tabla 50. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-19.

SUBCUENCA 1202-01-19 (Qda. Manuela)			
SUPERFICIE			
Área	km ²		4,10
Perímetro	km		11,70
Cota máxima	msnm		194,13
Cota mínima	msnm		0,00
Desnivel altitudinal	m		194
Elevación más frecuente	msnm		1
Elevación de frecuencia media (50%)	msnm		28
Pendiente media ponderada	%		7,74
Longitud Axial (LI)	km		3,81
Ancho (W)	km		1,08
RED HÍDRICA			
Longitud del cauce principal (Lt)	km		4,33
Longitud de drenajes	km		25,77
Elevación media ponderada	msnm		22
Pendiente media ponderada	%		5,29
Número de orden	-		4
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS			
Índice de compacidad (Kc)	-		1,62
Índice de alargamiento	-		4,03
Factor de forma (Kf)	-		0,28
Índice de asimetría	-		1,07
Tiempo de concentración (Tc)	Horas		1,35
Coefficiente de sinuosidad (Ks)	-		1,14
Densidad de drenajes	km/km ²		6,29
Densidad de corrientes	1/km ²		11,47
Tipo de cuenca según (Kc)			Oval oblonga a rectangular oblonga

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca de orden 4, de acuerdo con el $Kf=0,28$, se trata de una cuenca alargada $Ia=4,03$ en equilibrio de vertientes $Ias=1,07$; dada su característica oval oblonga a rectangular oblonga se considera que los picos en sus crecidas sean súbitos, el tiempo de concentración es de $Tc=1,35$ h. En el Gráfico 38 se observa un perfil longitudinal con una caída fuerte en los primeros 1200 metros del cauce; luego la pendiente presenta un descenso gradual y regular hacia el Golfo.

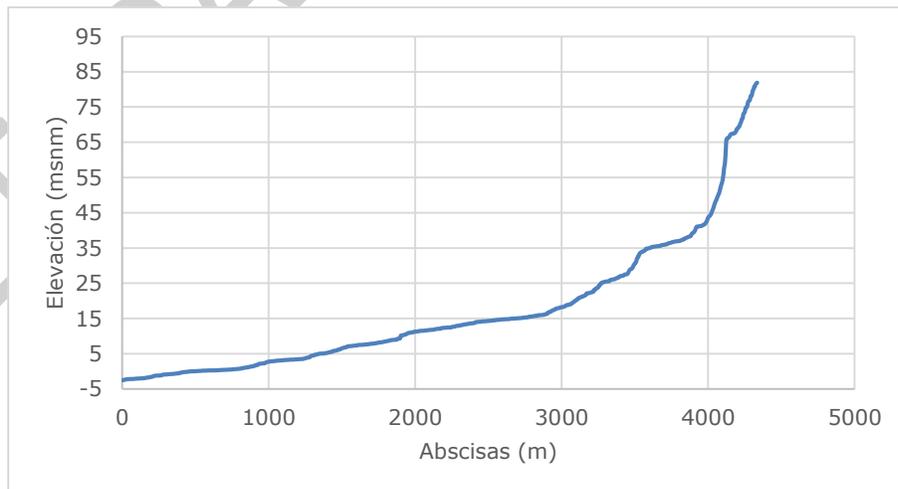


Gráfico 38. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada Manuela.

Fuente: Elaboración propia.

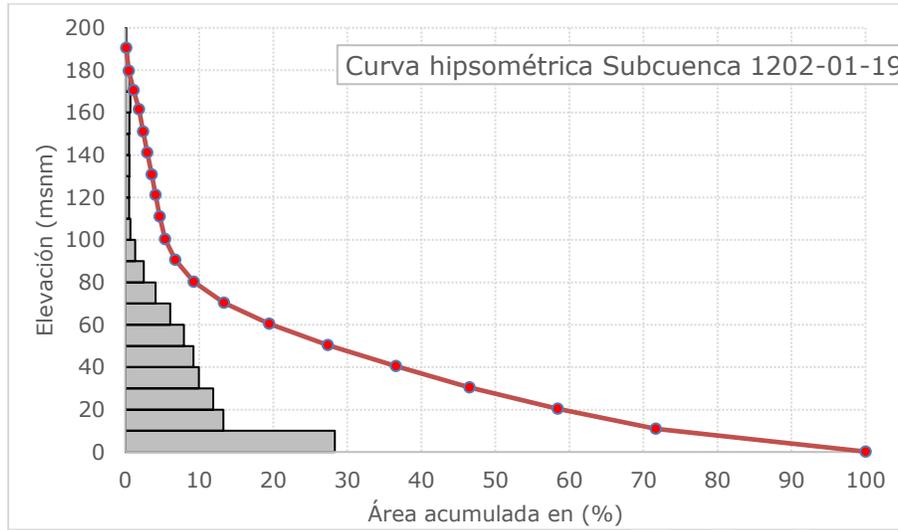


Gráfico 39. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuenca quebrada Manuela.
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la forma que expone la curva hipsométrica (Gráfico 39), se define que la cuenca de la quebrada Manuela se encuentra en una fase de vejez (cuenca sedimentaria). Su elevación de frecuencia media (50%) es de 28 msnm.

3.5.2.20 Subcuenca quebrada La Anguilla (1202-01-20)

En la Tabla 51 se presentan los resultados para la subcuenca quebrada La Anguilla (1202-01-20).

Tabla 51. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-20.

SUBCUENCA 1202-01-20 (Qda. La Anguilla)			
SUPERFICIE			
Área		km ²	4,63
Perímetro		km	13,30
Cota máxima		msnm	194,15
Cota mínima		msnm	0,00
Desnivel altitudinal		m	194
Elevación más frecuente		msnm	0
Elevación de frecuencia media (50%)		msnm	12
Pendiente media ponderada		%	6,04
Longitud Axial (LI)		km	3,47
Ancho (W)		km	1,34
RED HÍDRICA			
Longitud del cauce principal (Lt)		km	4,12
Longitud de drenajes		km	28,45
Elevación media ponderada		msnm	21
Pendiente media ponderada		%	4,15
Número de orden		-	3
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS			
Índice de compacidad (Kc)		-	1,73
Índice de alargamiento		-	3,08
Factor de forma (Kf)		-	0,38
Índice de asimetría		-	3,95
Tiempo de concentración (Tc)		Horas	1,46
Coefficiente de sinuosidad (Ks)		-	1,19
Densidad de drenajes		km/km ²	6,14



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

Densidad de corrientes	1/km ²	11,01
Tipo de cuenca según (Kc)	Oval oblonga a rectangular oblonga	

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca de orden 3, de acuerdo con el $Kf=0,38$ y $Kc =1,73$, se trata de una cuenca en equilibrio en cuanto a su alargamiento y ensanchamiento; presenta mayor área en su margen derecha de la vertiente $Ias=3,95$; dada su característica oval oblonga a rectangular oblonga se considera que los picos en sus crecidas sean súbitos, el tiempo de concentración es de $Tc=1,46$ h. En la Gráfico 40 se observa un perfil longitudinal con una caída fuerte en los primeros 500 metros del cauce; luego la pendiente presenta un descenso gradual y regular hacia el Golfo.

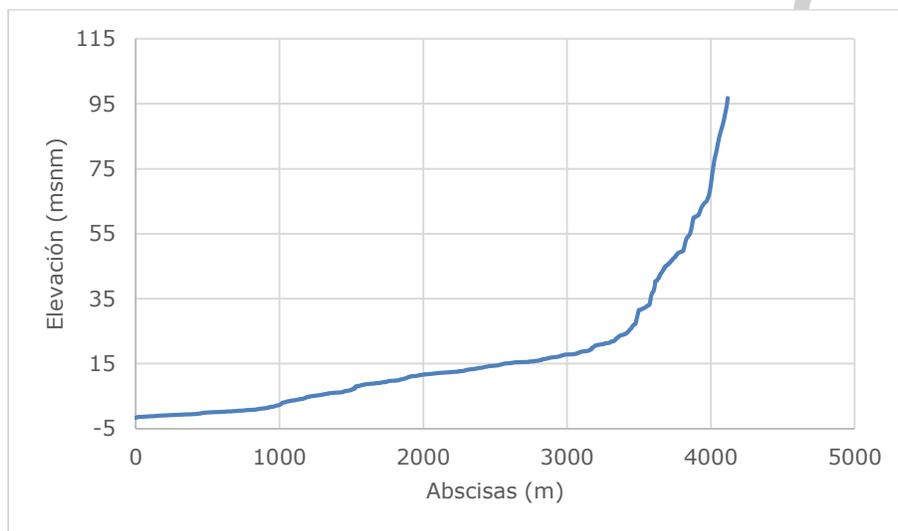


Gráfico 40. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada La Anguilla.
Fuente: Elaboración propia.

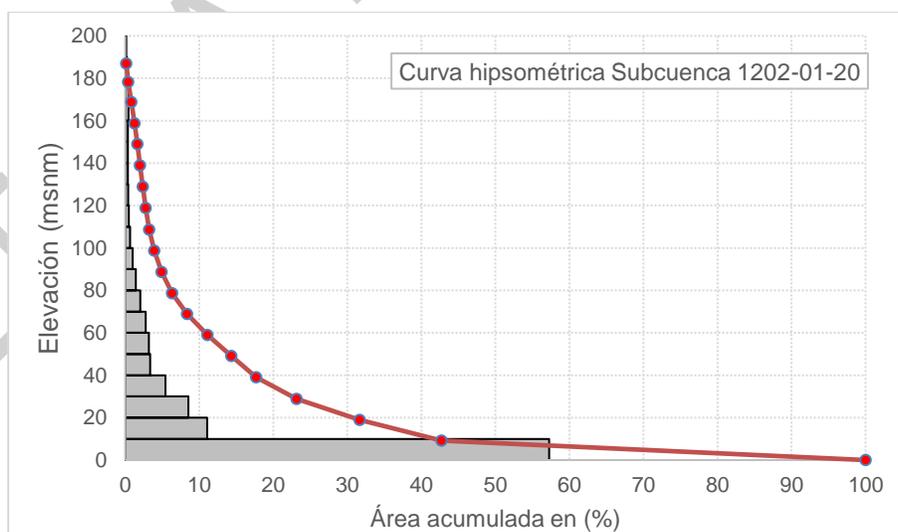


Gráfico 41. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuenca quebrada La Anguilla.
Fuente: Elaboración propia.



De acuerdo con la forma que expone la curva hipsométrica (Gráfico 41), se define que la cuenca de la quebrada La Anguilla se encuentra en una fase de vejez (cuenca sedimentaria). Su elevación de frecuencia media (50%) es de 12 msnm.

3.5.2.21 Río Caimán Viejo (1202-01-21)

En la Tabla 52 se presentan los resultados para la subcuenca río Caimán Viejo (1202-01-21).

Tabla 52. Resultados morfométricos subcuenca 1202-01-21.

SUBCUENCA 1202-01-21 (río Caimán Viejo)			
SUPERFICIE			
Área	km ²		95,56
Perímetro	km		55,47
Cota máxima	msnm		407,08
Cota mínima	msnm		0,00
Desnivel altitudinal	m		407
Elevación más frecuente	msnm		67
Elevación de frecuencia media (50%)	msnm		73
Pendiente media ponderada	%		7,72
Longitud Axial (LI)	km		16,20
Ancho (W)	km		5,90
RED HÍDRICA			
Longitud del cauce principal (Lt)	km		28,29
Longitud de drenajes	km		601,64
Elevación media ponderada	msnm		30
Pendiente media ponderada	%		1,54
Número de orden	-		6
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS			
Índice de compacidad (Kc)	-		1,59
Índice de alargamiento	-		4,80
Factor de forma (Kf)	-		0,36
Índice de asimetría	-		1,75
Tiempo de concentración (Tc)	Horas		4,94
Coefficiente de sinuosidad (Ks)	-		1,75
Densidad de drenajes	km/km ²		6,30
Densidad de corrientes	1/km ²		11,31
Tipo de cuenca según (Kc)			Oval oblonga a rectangular oblonga

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca de orden 6, de acuerdo con el $Kf=0,36$, se trata de una cuenca ligeramente alargada; presenta mayor área en su margen derecha de la vertiente $Ias=1,75$; dada su característica oval oblonga a rectangular oblonga se considera que los picos en sus crecidas sean súbitos, el tiempo de concentración es de $Tc=4,94$ h.

En el Gráfico 42 se observa un perfil longitudinal con una caída fuerte en los primeros 12 kilómetros del cauce; luego la pendiente presenta un descenso gradual y regular hacia el Golfo.

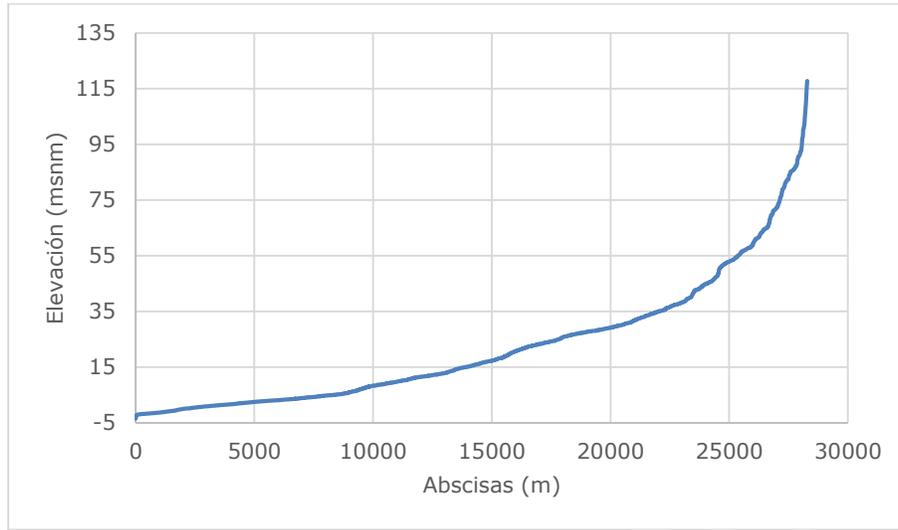


Gráfico 42. Perfil longitudinal del cauce principal río Caimán Viejo.
Fuente: Elaboración propia.

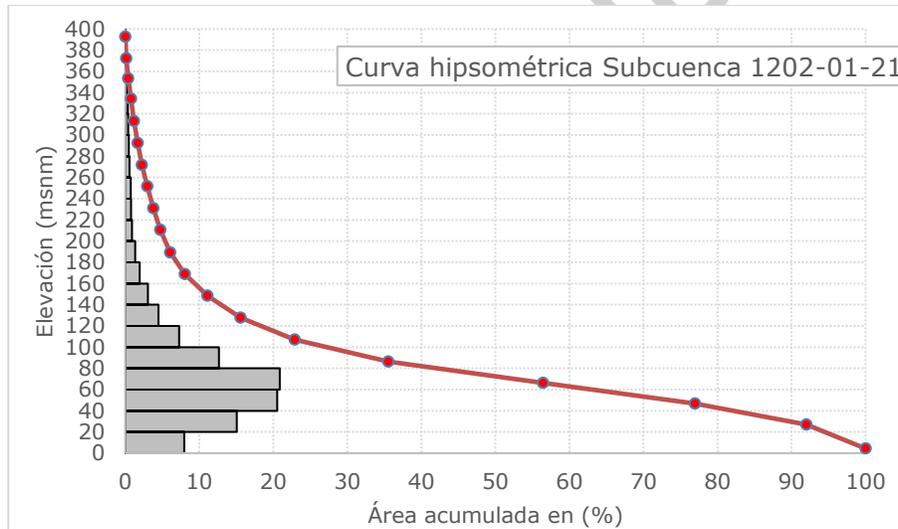


Gráfico 43. Curva hipsométrica e histograma de elevación subcuenca río Caimán Viejo.
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la forma que expone la curva hipsométrica (Gráfico 43), se define que la cuenca del río Caimán Viejo se encuentra en una fase de madurez o de equilibrio sedimentario. Su elevación de frecuencia media (50%) es de 73 msnm.

3.5.3 Análisis morfométrico por Microcuenca abastecedora

3.5.3.1 Microcuenca de la quebrada Caraballo (1202-01-01-01 - subcuenca río Currulao)

En la Tabla 53 se presentan los resultados para la microcuenca de la quebrada Caraballo (1202-01-01-01 - subcuenca río Currulao).



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

Tabla 53. Resultados morfométricos microcuenca 1202-01-01-01.

MICROCUENCA 1202-01-01-01 (Qda. Caraballo)			
SUPERFICIE			
Área	km ²		6,05
Perímetro	km		10,86
Cota máxima	msnm		808,70
Cota mínima	msnm		128,93
Desnivel altitudinal	m		680
Elevación más frecuente	msnm		247
Elevación de frecuencia media (50%)	msnm		318
Pendiente media ponderada	%		11,74
Longitud Axial (LI)	km		3,63
Ancho (W)	km		1,66
RED HÍDRICA			
Longitud del cauce principal (Lt)	km		3,53
Longitud de drenajes	km		44,77
Elevación media ponderada	msnm		300
Pendiente media ponderada	%		18,49
Número de orden	-		4
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS			
Índice de compacidad (Kc)	-		1,24
Índice de alargamiento (Ia)	-		2,12
Factor de forma (Kf)	-		0,46
Índice de asimetría (Ias)	-		1,41
Tiempo de concentración (Tc)	Horas		0,87
Coefficiente de sinuosidad (Ks)	-		0,97
Densidad de drenajes	km/km ²		7,40
Densidad de corrientes	1/km ²		9,09
Tipo de cuenca según (Kc)			Redonda a oval redonda

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca de orden 4, de acuerdo con el $Kf=0,46$, se trata de una cuenca ligeramente ensanchada; presenta mayor área en su margen derecha de la vertiente $Ias=1,41$; dada su característica de redonda a oval redonda se considera que los picos en sus crecidas sean muy súbitos, el tiempo de concentración es de $Tc=0,87$ h. En el Gráfico 44 se observa un perfil longitudinal con una caída fuerte en los primeros 2 kilómetros del cauce; luego la pendiente presenta un descenso gradual y regular hacia el río Currulao.

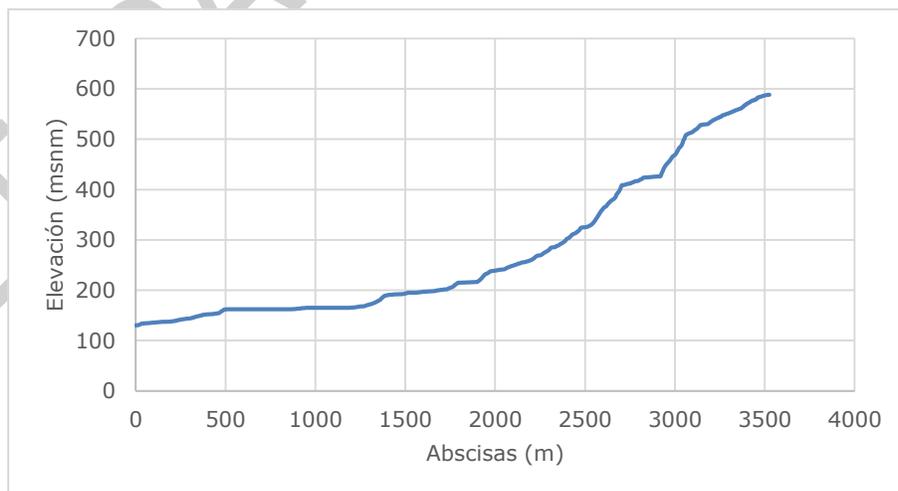


Gráfico 44. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada Caraballo.

Fuente: Elaboración propia.

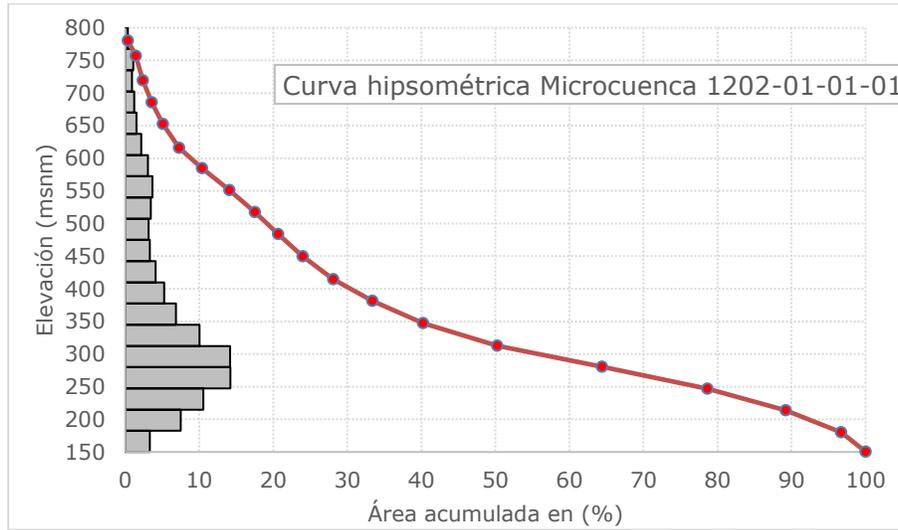


Gráfico 45. Curva hipsométrica e histograma de elevación microcuenca quebrada Caraballo.
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la forma que expone la curva hipsométrica (Gráfico 45), se define que la cuenca de la quebrada Caraballo se encuentra en una fase de madurez o de equilibrio sedimentario. Su elevación de frecuencia media (50%) es de 318 msnm.

3.5.3.2 Microcuenca de la quebrada NN (1202-01-01-02 - subcuenca río Currulao)

En la Tabla 54 se presentan los resultados para la microcuenca de la quebrada NN (1202-01-01-02 - subcuenca río Currulao).

Tabla 54. Resultados morfométricos microcuenca 1202-01-01-02.

MICROCUEENCA 1202-01-01-02 (Qda. NN)			
SUPERFICIE			
Área		km ²	3,61
Perímetro		km	7,81
Cota máxima		msnm	834,98
Cota mínima		msnm	218,97
Desnivel altitudinal		m	616
Elevación más frecuente		msnm	572
Elevación de frecuencia media (50%)		msnm	579
Pendiente media ponderada		%	13,92
Longitud Axial (LI)		km	3,18
Ancho (W)		km	1,14
RED HÍDRICA			
Longitud del cauce principal (Lt)		km	3,86
Longitud de drenajes		km	28,50
Elevación media ponderada		msnm	478
Pendiente media ponderada		%	19,12
Número de orden		-	3
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS			
Índice de compacidad (Kc)		-	1,15
Índice de alargamiento (Ia)		-	3,40
Factor de forma (Kf)		-	0,36
Índice de asimetría (Ias)		-	1,36
Tiempo de concentración (Tc)		Horas	0,84



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

Coficiente de sinuosidad (Ks)	-	1,21
Densidad de drenajes	km/km ²	7,89
Densidad de corrientes	1/km ²	22,42
Tipo de cuenca según (Kc)	Redonda a oval redonda	

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca de orden 3, de acuerdo con el $Kf=0,36$, se trata de una cuenca ligeramente alargada; presenta mayor área en su margen derecha de la vertiente $Ias=1,36$; dada su característica de redonda a oval redonda se considera que los picos en sus crecidas sean muy súbitos, el tiempo de concentración es de $Tc=0,84$ h. En el Gráfico 46 se observa un perfil longitudinal con un descenso gradual y regular hacia el río Currulao.

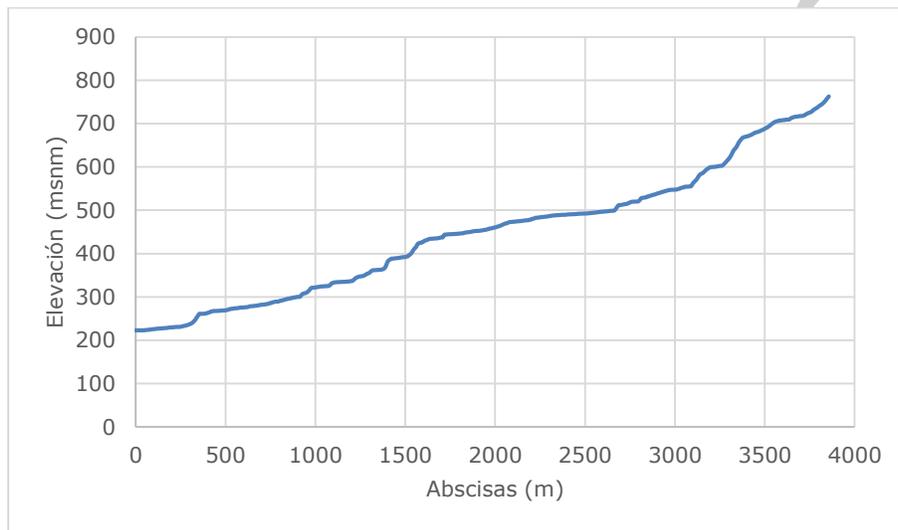


Gráfico 46. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada NN (1202-01-01-02).
 Fuente: Elaboración propia.

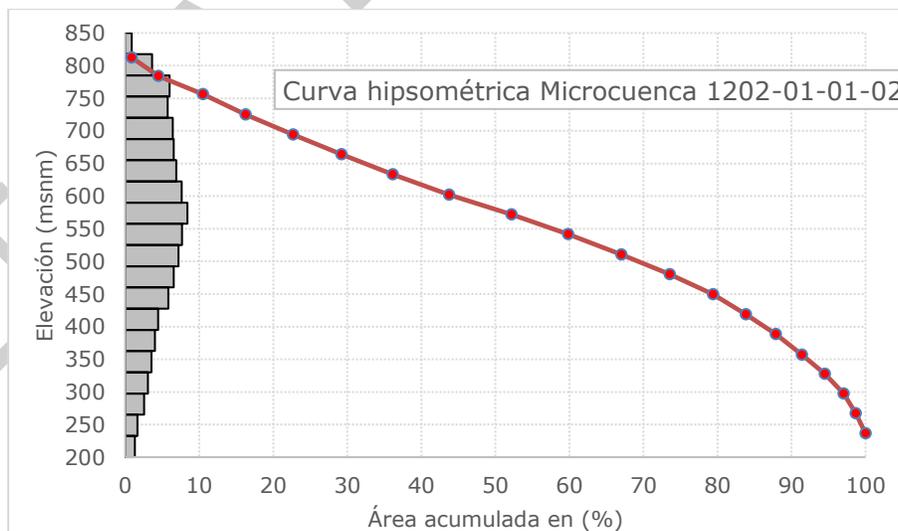


Gráfico 47. Curva hipsométrica e histograma de elevación microcuenca quebrada NN (1202-01-01-02).

Fuente: Elaboración propia.



De acuerdo con la forma que expone la curva hipsométrica (Gráfico 47), se define que la cuenca de la quebrada NN (1202-01-01-02) se encuentra en una fase de juventud, con gran potencial erosivo. Su elevación de frecuencia media (50%) es de 579 msnm.

3.5.3.3 Microcuenca de la quebrada El Limón (1202-01-02-01 - subcuenca río Guadualito)

En la Tabla 55 se presentan los resultados para la microcuenca de la quebrada El Limón (1202-01-02-01 - subcuenca río Guadualito).

Tabla 55. Resultados morfométricos microcuenca 1202-01-02-01.

MICROCUENCA 1202-01-02-01 (Qda. El Limón)			
SUPERFICIE			
Área	km ²		0,46
Perímetro	km		3,44
Cota máxima	msnm		108,48
Cota mínima	msnm		34,56
Desnivel altitudinal	m		74
Elevación más frecuente	msnm		39
Elevación de frecuencia media (50%)	msnm		58
Pendiente media ponderada	%		8,27
Longitud Axial (LI)	km		1,31
Ancho (W)	km		0,35
RED HÍDRICA			
Longitud del cauce principal (Lt)	km		0,95
Longitud de drenajes	km		2,43
Elevación media ponderada	msnm		46
Pendiente media ponderada	%		4,40
Número de orden	-		2
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS			
Índice de compacidad (Kc)	-		1,41
Índice de alargamiento (Ia)	-		2,70
Factor de forma (Kf)	-		0,27
Índice de asimetría (Ias)	-		2,34
Tiempo de concentración (Tc)	Horas		0,48
Coefficiente de sinuosidad (Ks)	-		0,73
Densidad de drenajes	km/km ²		5,23
Densidad de corrientes	1/km ²		8,62
Tipo de cuenca según (Kc)			Oval redonda a oval oblonga

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca de orden 2, de acuerdo con el $Kf=0,27$, se trata de una cuenca alargada $Ia=2,7$, con la mayor parte del área de la vertiente en la margen derecha de la corriente $Ias=2,34$; dada su característica de oval redonda a oval oblonga se considera que los picos en sus crecidas sean poco súbitos, el tiempo de concentración es de $Tc=0,48$ h.

En el Gráfico 48 se observa un perfil longitudinal con una caída gradual y regular hacia el río Guadualito, el cauce principal tiene una longitud de 950 metros.

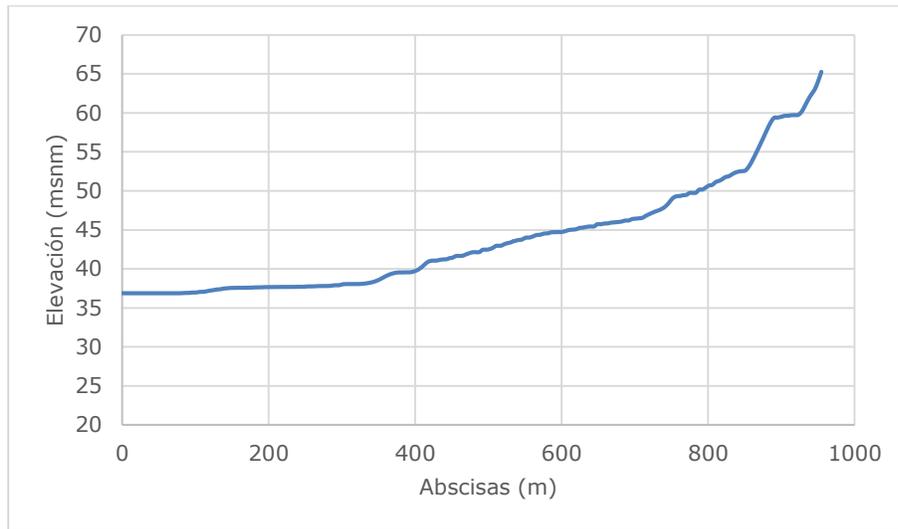


Gráfico 48. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada El Limón.
Fuente: Elaboración propia.

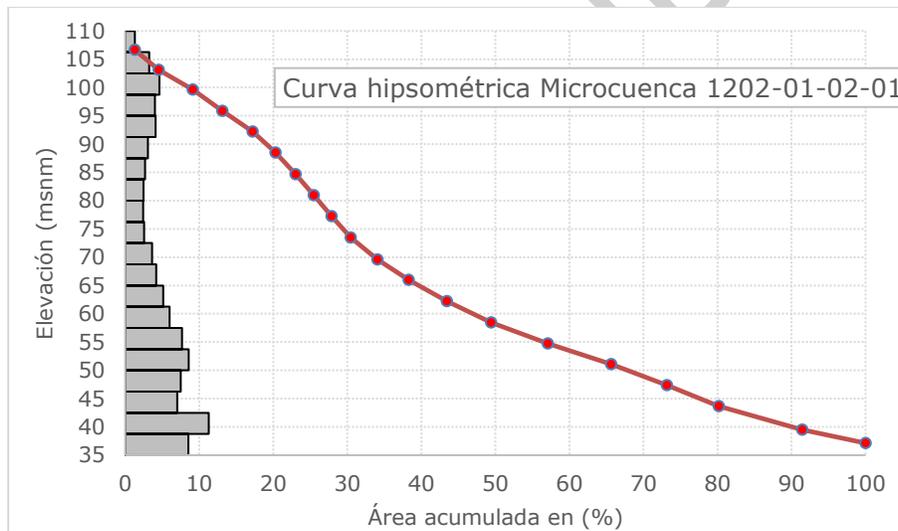


Gráfico 49. Curva hipsométrica e histograma de elevación microcuenca quebrada El Limón.
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la forma que expone la curva hipsométrica (Gráfico 49), se define que la cuenca de la quebrada El Limón se encuentra en una fase de madurez o de equilibrio sedimentario. Su elevación de frecuencia media (50%) es de 58 msnm.

3.5.3.4 Microcuenca de la quebrada Alto Mulatos (1202-01-02-02 - subcuenca río Guadualito)

En la Tabla 56 se presentan los resultados para la microcuenca de la quebrada Alto Mulatos (1202-01-02-02 - subcuenca río Guadualito).



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

Tabla 56. Resultados morfométricos microcuenca 1202-01-02-02.

MICROCUENCA 1202-01-02-02 (Qda. Alto Mulatos)			
SUPERFICIE			
Área	km ²		0,30
Perímetro	km		2,79
Cota máxima	msnm		533,04
Cota mínima	msnm		393,29
Desnivel altitudinal	m		140
Elevación más frecuente	msnm		515
Elevación de frecuencia media (50%)	msnm		492
Pendiente media ponderada	%		6,51
Longitud Axial (LI)	km		1,01
Ancho (W)	km		0,29
RED HÍDRICA			
Longitud del cauce principal (Lt)	km		0,91
Longitud de drenajes	km		3,78
Elevación media ponderada	msnm		461
Pendiente media ponderada	%		14,64
Número de orden	-		1
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS			
Índice de compacidad (Kc)	-		1,43
Índice de alargamiento (Ia)	-		3,07
Factor de forma (Kf)	-		0,29
Índice de asimetría (Ias)	-		1,67
Tiempo de concentración (Tc)	Horas		0,37
Coefficiente de sinuosidad (Ks)	-		0,89
Densidad de drenajes	km/km ²		12,67
Densidad de corrientes	1/km ²		6,69
Tipo de cuenca según (Kc)			Oval redonda a oval oblonga

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca de orden 1, de acuerdo con el $K_f=0,29$, se trata de una cuenca alargada $I_a=3,07$, con la mayor parte del área de la vertiente en la margen derecha de la corriente $I_{as}=1,67$; dada su característica de oval redonda a oval oblonga se considera que los picos en sus crecidas sean poco súbitos, el tiempo de concentración es de $T_c=0,37$ h. En el Gráfico 50 se observa un perfil longitudinal con una caída gradual y regular hacia el río Guadualito, el cauce principal tiene una longitud de 910 metros.

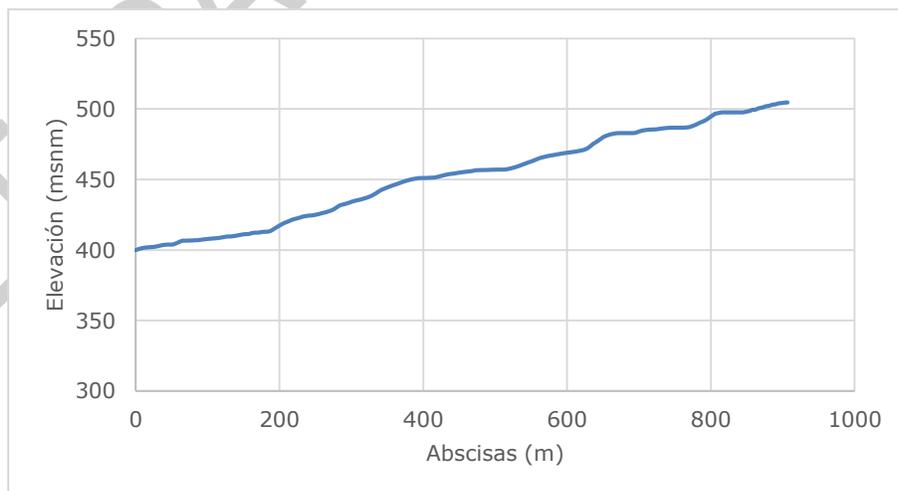


Gráfico 50. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada Alto Mulatos.

Fuente: Elaboración propia.

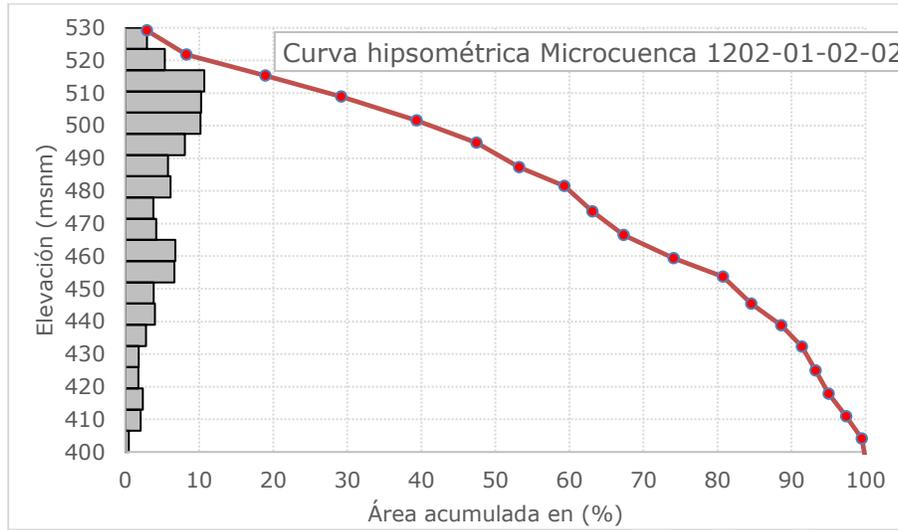


Gráfico 51. Curva hipsométrica e histograma de elevación microcuenca quebrada Alto Mulatos.
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la forma que expone la curva hipsométrica (Gráfico 51), se define que la cuenca de la quebrada Alto Mulatos se encuentra en una fase de juventud, con gran potencial erosivo. Su elevación de frecuencia media (50%) es de 492 msnm.

3.5.3.5 Microcuenca de la quebrada Los Indios (1202-01-02-03 - subcuenca río Guadualito)

En la Tabla 57 se presentan los resultados para la microcuenca de la quebrada Los Indios (1202-01-02-03 - subcuenca río Guadualito).

Tabla 57. Resultados morfométricos microcuenca 1202-01-02-03.

MICROCUENCA 1202-01-02-03 (Qda. Los Indios)			
SUPERFICIE			
Área		km ²	0,81
Perímetro		km	3,45
Cota máxima		msnm	270,50
Cota mínima		msnm	81,25
Desnivel altitudinal		m	189
Elevación más frecuente		msnm	143
Elevación de frecuencia media (50%)		msnm	158
Pendiente media ponderada		%	11,70
Longitud Axial (LI)		km	1,16
Ancho (W)		km	0,70
RED HÍDRICA			
Longitud del cauce principal (Lt)		km	1,16
Longitud de drenajes		km	5,04
Elevación media ponderada		msnm	114
Pendiente media ponderada		%	7,14
Número de orden		-	2
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS			
Índice de compacidad (Kc)		-	1,07
Índice de alargamiento (Ia)		-	1,67
Factor de forma (Kf)		-	0,60
Índice de asimetría (Ias)		-	1,83
Tiempo de concentración (Tc)		Horas	0,50



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

Coefficiente de sinuosidad (Ks)	-	1,00
Densidad de drenajes	km/km ²	6,21
Densidad de corrientes	1/km ²	11,10
Tipo de cuenca según (Kc)	Redonda a oval redonda	

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca de orden 2, de acuerdo con el $Kf=0,60$, se trata de una cuenca ensanchada, con la mayor parte del área de la vertiente en la margen derecha de la corriente $Ias = 1,83$; dada su característica de redonda a oval redonda se considera que los picos en sus crecidas sean muy súbitos, el tiempo de concentración es de $Tc=0,5$ h. En el Gráfico 52 se observa un perfil longitudinal con una caída gradual y regular hacia el río Guadualito, el cauce principal tiene una longitud de 1.160 metros.

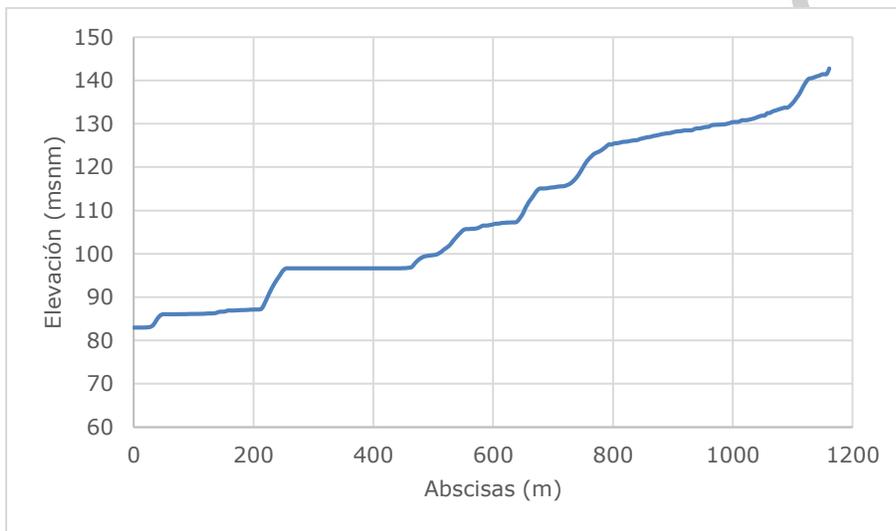


Gráfico 52. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada Los Indios.
 Fuente: Elaboración propia.

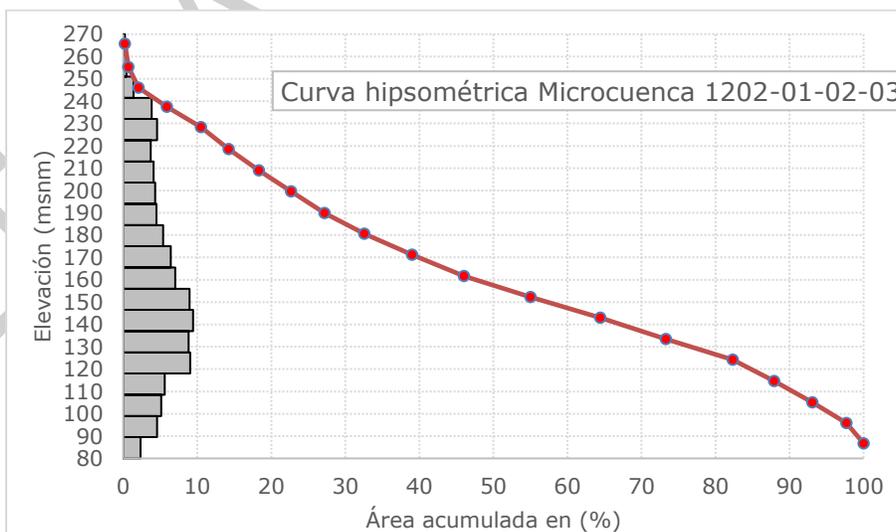


Gráfico 53. Curva hipsométrica e histograma de elevación microcuenca quebrada Los Indios.
 Fuente: Elaboración propia.



De acuerdo con la forma que expone la curva hipsométrica (Gráfico 53), se define que la cuenca de la quebrada Los Indios se encuentra en una fase de madurez o de equilibrio sedimentario. Su elevación de frecuencia media (50%) es de 158 msnm.

3.5.3.6 Microcuenca del río Turbo (1202-01-06-01-subcuenca río Turbo)

En la Tabla 58 se presentan los resultados para la microcuenca del río Turbo (1202-01-06-01 - subcuenca río Turbo).

Tabla 58. Resultados morfométricos microcuenca 1202-01-06-01.

MICROCUENCA 1202-01-06-01 (río Turbo)		
SUPERFICIE		
Área	km ²	150,29
Perímetro	km	60,26
Cota máxima	msnm	704,83
Cota mínima	msnm	4,19
Desnivel altitudinal	m	701
Elevación más frecuente	msnm	56
Elevación de frecuencia media (50%)	msnm	167
Pendiente media ponderada	%	9,90
Longitud Axial (LI)	km	20,83
Ancho (W)	km	7,21
RED HÍDRICA		
Longitud del cauce principal (Lt)	km	32,74
Longitud de drenajes	km	1037,49
Elevación media ponderada	msnm	83
Pendiente media ponderada	%	7,92
Número de orden	-	6
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS		
Índice de compacidad (Kc)	-	1,38
Índice de alargamiento (Ia)	-	4,54
Factor de forma (Kf)	-	0,35
Índice de asimetría (Ias)	-	2,30
Tiempo de concentración (Tc)	Horas	3,96
Coefficiente de sinuosidad (Ks)	-	1,57
Densidad de drenajes	km/km ²	6,90
Densidad de corrientes	1/km ²	7,78
Tipo de cuenca según (Kc)	Oval redonda a oval oblonga	

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca de orden 6, con la mayor parte del área de la vertiente en la margen derecha de la corriente $Ias=2,30$. De acuerdo con el $Kf=0,35$, se trata de una cuenca ligeramente alargada e irregular $Kc=1,38$ con un tiempo de concentración de 3,96 horas; por ser de tipo oval redonda a oval oblonga se considera que los picos en sus crecidas sean menos súbitos.

En el Gráfico 54 se puede consultar el perfil del cauce principal. Se observa una fuerte pendiente en los primeros 20 kilómetros del cauce.

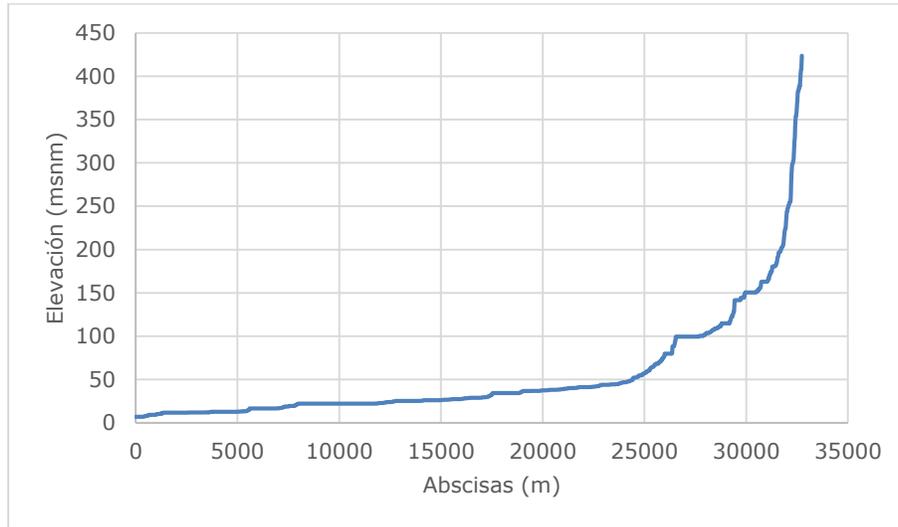


Gráfico 54. Perfil longitudinal del cauce principal río Turbo (microcuenca).
Fuente: Elaboración propia.

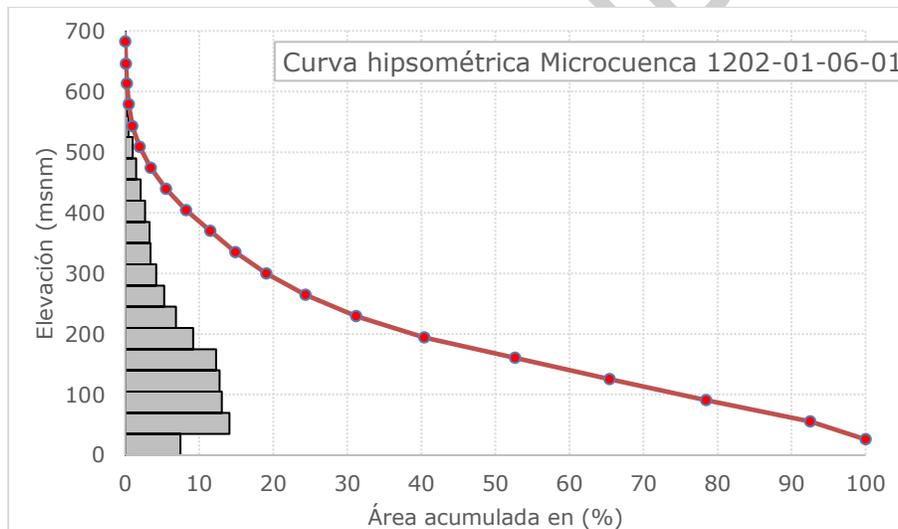


Gráfico 55. Curva hipsométrica e histograma de elevación microcuenca río Turbo.
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la forma que expone la curva hipsométrica (Gráfico 55), se define que la cuenca del río Turbo (microcuenca) se encuentra en una fase de madurez o de equilibrio sedimentario. Su elevación de frecuencia media (50%) es de 167 msnm.

3.5.3.7 Microcuenca quebrada San Felipe (1202-01-06-02 - subcuenca río Turbo)

En la Tabla 59 se presentan los resultados para la microcuenca quebrada San Felipe (1202-01-06-02 - subcuenca río Turbo).



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

Tabla 59. Resultados morfométricos microcuenca 1202-01-06-02.

MICROCUENCA 1202-01-06-02 (Qda. San Felipe)		
SUPERFICIE		
Área	km ²	0,91
Perímetro	km	4,49
Cota máxima	msnm	309,13
Cota mínima	msnm	64,46
Desnivel altitudinal	m	245
Elevación más frecuente	msnm	177
Elevación de frecuencia media (50%)	msnm	171
Pendiente media ponderada	%	12,67
Longitud Axial (LI)	km	1,73
Ancho (W)	km	0,53
RED HÍDRICA		
Longitud del cauce principal (Lt)	km	1,61
Longitud de drenajes	km	6,25
Elevación media ponderada	msnm	117
Pendiente media ponderada	%	10,91
Número de orden	-	3
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS		
Índice de compacidad (Kc)	-	1,32
Índice de alargamiento (Ia)	-	3,04
Factor de forma (Kf)	-	0,31
Índice de asimetría (Ias)	-	1,62
Tiempo de concentración (Tc)	Horas	0,60
Coefficiente de sinuosidad (Ks)	-	0,93
Densidad de drenajes	km/km ²	6,83
Densidad de corrientes	1/km ²	14,22
Tipo de cuenca según (Kc)	Oval redonda a oval oblonga	

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca de orden 3, con más parte del área de la vertiente en la margen derecha de la corriente $Ias=1,62$. De acuerdo con el $Kf=0,31$, se trata de una cuenca ligeramente alargada e irregular $Kc=1,32$ con un tiempo de concentración de 0,60 horas; por ser de tipo oval redonda a oval oblonga se considera que los picos en sus crecidas sean menos súbitos. En el Gráfico 56 se observa un perfil longitudinal con una caída gradual y regular hacia el río Turbo, el cauce principal tiene una longitud de 1610 metros.

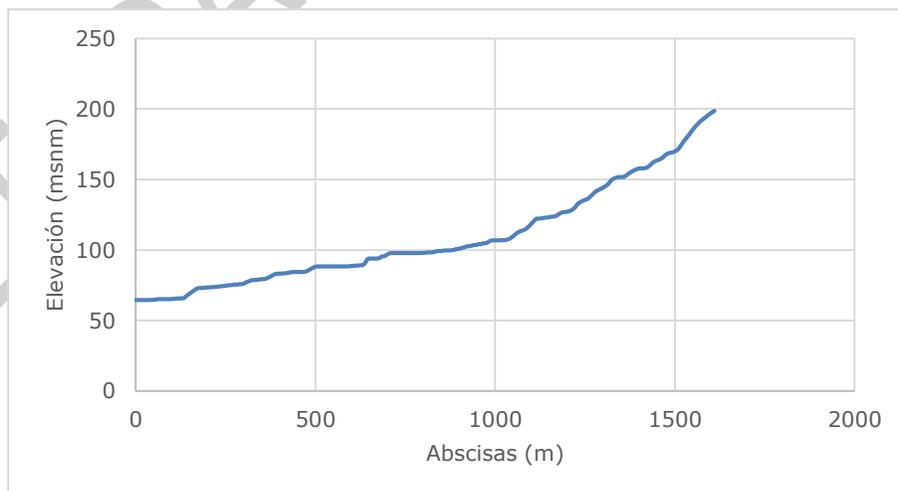


Gráfico 56. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada San Felipe.

Fuente: Elaboración propia.

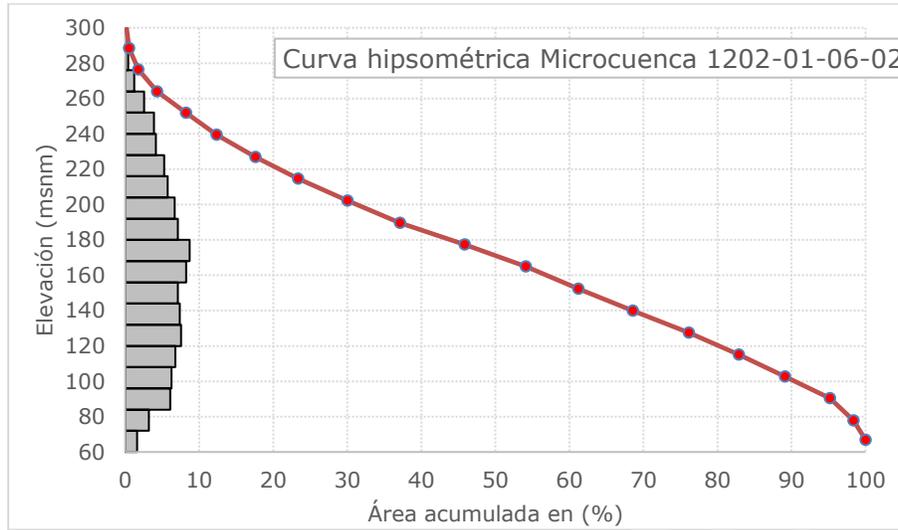


Gráfico 57. Curva hipsométrica e histograma de elevación microcuenca quebrada San Felipe.
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la forma que expone la curva hipsométrica (Gráfico 57), se define que la cuenca de la quebrada San Felipe se encuentra en una fase de madurez o de equilibrio sedimentario. Su elevación de frecuencia media (50%) es de 171 msnm.

3.5.3.8 Microcuenca quebrada La Mina (1202-01-06-03 - subcuenca río Turbo)

En la Tabla 60 se presentan los resultados para la microcuenca quebrada La Mina (1202-01-06-03 - subcuenca río Turbo).

Tabla 60. Resultados morfométricos microcuenca 1202-01-06-03.

MICROCUEENCA 1202-01-06-03 (Qda. La Mina)			
SUPERFICIE			
Área		km ²	1,06
Perímetro		km	4,31
Cota máxima		msnm	356,80
Cota mínima		msnm	76,16
Desnivel altitudinal		m	281
Elevación más frecuente		msnm	167
Elevación de frecuencia media (50%)		msnm	198
Pendiente media ponderada		%	15,43
Longitud Axial (LI)		km	1,49
Ancho (W)		km	0,71
RED HÍDRICA			
Longitud del cauce principal (Lt)		km	1,50
Longitud de drenajes		km	7,26
Elevación media ponderada		msnm	148
Pendiente media ponderada		%	17,26
Número de orden		-	3
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS			
Índice de compacidad (Kc)		-	1,18
Índice de alargamiento (Ia)		-	2,12
Factor de forma (Kf)		-	0,48
Índice de asimetría (Ias)		-	3,80
Tiempo de concentración (Tc)		Horas	0,50



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

MICROCUENCA 1202-01-06-03 (Qda. La Mina)
SUPERFICIE

Coefficiente de sinuosidad (Ks)	-	1,01
Densidad de drenajes	km/km ²	6,89
Densidad de corrientes	1/km ²	10,43
Tipo de cuenca según (Kc)	Redonda a oval redonda	

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca de orden 3, con más parte del área de la vertiente en la margen derecha de la corriente $Ias = 3,80$. De acuerdo con el $Kf = 0,48$, se trata de una cuenca ligeramente ensanchada e irregular $Kc = 1,18$ con un tiempo de concentración de 0,50 horas; por ser de tipo redonda a oval redonda se considera que los picos en sus crecidas sean más súbitos. En el Gráfico 58 se observa un perfil longitudinal con una caída gradual y regular hacia el río Turbo, el cauce principal tiene una longitud de 1.500 metros.

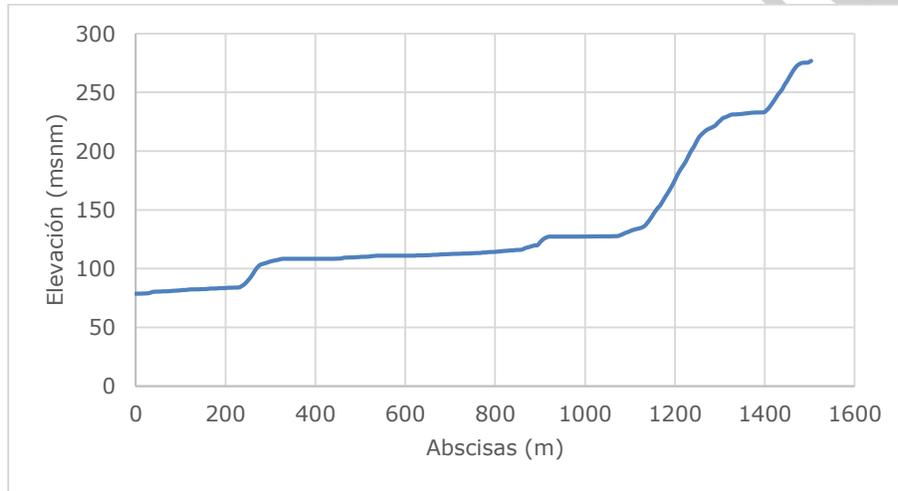


Gráfico 58. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada Las Minas.
Fuente: Elaboración propia.

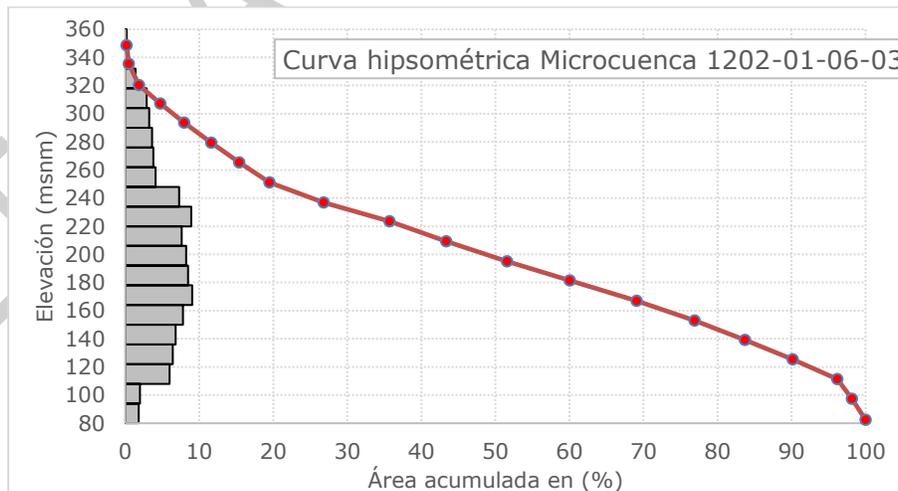


Gráfico 59. Curva hipsométrica e histograma de elevación microcuenca quebrada Las Minas.
Fuente: Elaboración propia.



De acuerdo con la forma que expone la curva hipsométrica (Gráfico 59), se define que la cuenca de la quebrada Las Minas se encuentra en una fase de madurez o de equilibrio sedimentario. Su elevación de frecuencia media (50%) es de 198 msnm.

3.5.3.9 Microcuenca quebrada Copez (1202-01-07-01 - subcuenca quebrada Copez)

En la Tabla 61 se presentan los resultados para la microcuenca quebrada Copez (1202-01-07-01 - subcuenca quebrada Copez).

Tabla 61. Resultados morfométricos microcuenca 1202-01-07-01.

MICROCUEENCA 1202-01-07-01 (Qda. Copez)		
SUPERFICIE		
Área	km ²	1,39
Perímetro	km	5,31
Cota máxima	msnm	324,93
Cota mínima	msnm	83,06
Desnivel altitudinal	m	242
Elevación más frecuente	msnm	234
Elevación de frecuencia media (50%)	msnm	218
Pendiente media ponderada	%	14,58
Longitud Axial (L)	km	2,04
Ancho (W)	km	0,68
RED HÍDRICA		
Longitud del cauce principal (Lt)	km	1,83
Longitud de drenajes	km	8,30
Elevación media ponderada	msnm	148
Pendiente media ponderada	%	11,07
Número de orden	-	2
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS		
Índice de compacidad (Kc)	-	1,26
Índice de alargamiento (Ia)	-	2,68
Factor de forma (Kf)	-	0,34
Índice de asimetría (Ias)	-	1,29
Tiempo de concentración (Tc)	Horas	0,66
Coefficiente de sinuosidad (Ks)	-	0,90
Densidad de drenajes	km/km ²	5,96
Densidad de corrientes	1/km ²	12,21
Tipo de cuenca según (Kc)	Rectangular oblonga	

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca de orden 2, de acuerdo con el $Kf=0,34$, se trata de una cuenca ligeramente alargada; presenta mayor área en su margen derecha de la vertiente $Ias=1,29$; dada su característica de rectangular oblonga se considera que los picos en sus crecidas sean poco súbitos, el tiempo de concentración es de $Tc=0,66$ h.

En el Gráfico 60 se observa un perfil longitudinal con una caída gradual y regular, el cauce principal tiene una longitud de 1.830 metros.

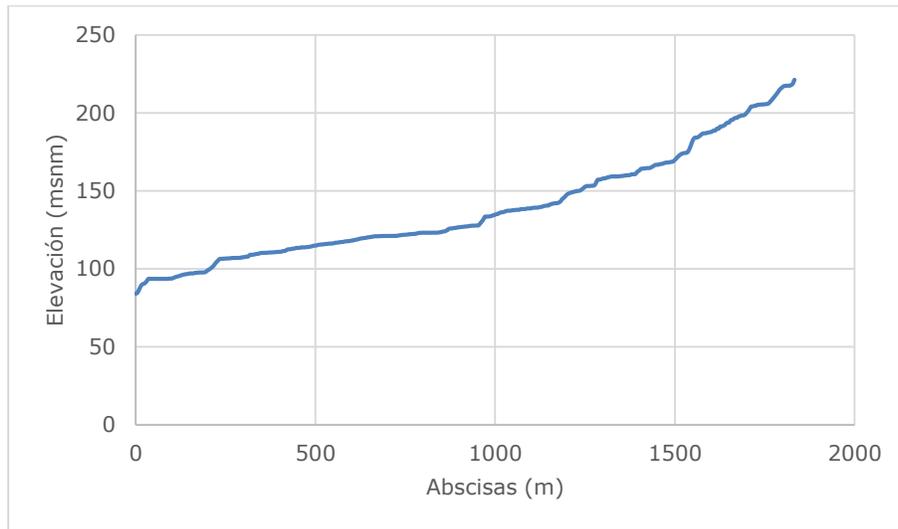


Gráfico 60. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada Copez (microcuenca).
Fuente: Elaboración propia.

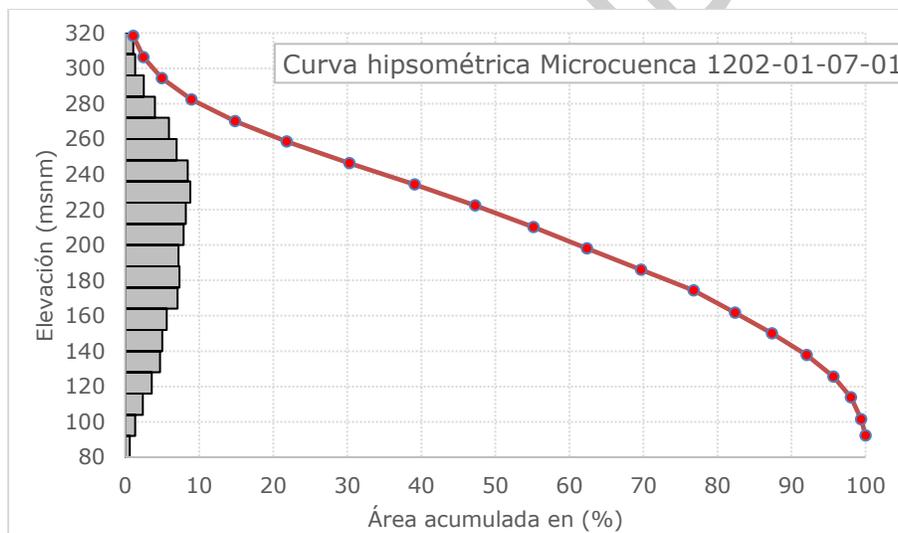


Gráfico 61. Curva hipsométrica e histograma de elevación microcuenca quebrada Copez.
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la forma que expone la curva hipsométrica (Gráfico 61), se define que la cuenca de la quebrada Copez se encuentra en una fase de juventud, con gran potencial erosivo. Su elevación de frecuencia media (50%) es de 218 msnm.

3.5.3.10 Microcuenca río Cirilo (1202-01-12-01 - subcuenca río Cirilo)

En la Tabla 62 se presentan los resultados para la microcuenca río Cirilo (1202-01-12-01 - subcuenca río Cirilo).



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

Tabla 62. Resultados morfométricos microcuenca 1202-01-12-01.

MICROCUENCA 1202-01-12-01 (río Cirilo)		
SUPERFICIE		
Área	km ²	11,01
Perímetro	km	17,11
Cota máxima	msnm	359,66
Cota mínima	msnm	3,30
Desnivel altitudinal	m	356
Elevación más frecuente	msnm	100
Elevación de frecuencia media (50%)	msnm	115
Pendiente media ponderada	%	10,57
Longitud Axial (LI)	km	7,17
Ancho (W)	km	1,54
RED HÍDRICA		
Longitud del cauce principal (Lt)	km	10,00
Longitud de drenajes	km	63,68
Elevación media ponderada	msnm	77
Pendiente media ponderada	%	7,50
Número de orden	-	4
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS		
Índice de compacidad (Kc)	-	1,44
Índice de alargamiento (Ia)	-	6,51
Factor de forma (Kf)	-	0,21
Índice de asimetría (Ias)	-	1,43
Tiempo de concentración (Tc)	Horas	1,77
Coefficiente de sinuosidad (Ks)	-	1,40
Densidad de drenajes	km/km ²	5,78
Densidad de corrientes	1/km ²	11,99
Tipo de cuenca según (Kc)		Oval redonda a oval oblonga

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca de orden 4, de acuerdo con el $Kf=0,21$, se trata de una cuenca muy alargada; presenta mayor área en su margen derecha de la vertiente $Ias=1,43$; dada su característica de oval redonda a oval oblonga se considera que los picos en sus crecidas sean muy súbitos, el tiempo de concentración es de $Tc=1,77$ h. En el Gráfico 62 se observa un perfil longitudinal con una caída fuerte en los primeros 4 kilómetros del cauce. Luego la pendiente presenta un descenso gradual y regular.

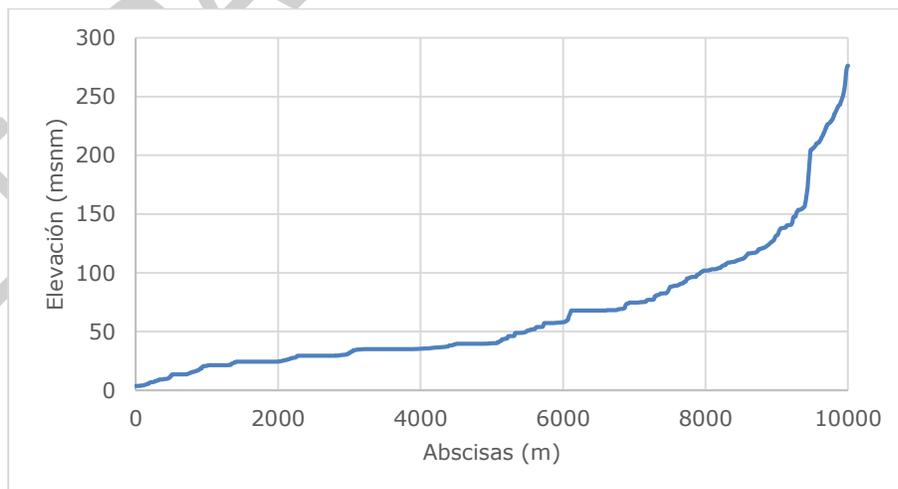


Gráfico 62. Perfil longitudinal del cauce principal río Cirilo (microcuenca).

Fuente: Elaboración propia.

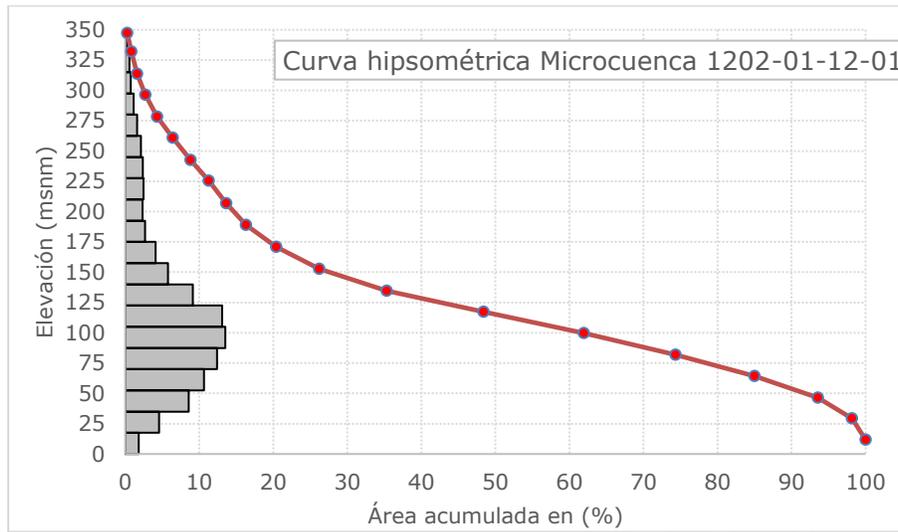


Gráfico 63. Curva hipsométrica e histograma de elevación microcuenca río Cirilo.
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la forma que expone la curva hipsométrica (Gráfico 63), se define que la cuenca de la quebrada Las Minas se encuentra en una fase de madurez o de equilibrio sedimentario. Su elevación de frecuencia media (50%) es de 115 msnm.

3.5.3.11 Microcuenca quebrada NN (1202-01-12-02 - subcuenca río Cirilo)

En la Tabla 63 se presentan los resultados para la microcuenca quebrada NN (1202-01-12-02 - subcuenca río Cirilo).

Tabla 63. Resultados morfométricos microcuenca 1202-01-12-02.

MICROCUEENCA 1202-01-12-02 (Qda. NN)			
SUPERFICIE			
Área	km ²		0,19
Perímetro	km		2,31
Cota máxima	msnm		181,71
Cota mínima	msnm		3,75
Desnivel altitudinal	m		178
Elevación más frecuente	msnm		176
Elevación de frecuencia media (50%)	msnm		119
Pendiente media ponderada	%		15,06
Longitud Axial (LI)	km		1,00
Ancho (W)	km		0,19
RED HÍDRICA			
Longitud del cauce principal (Lt)	km		0,97
Longitud de drenajes	km		1,38
Elevación media ponderada	msnm		127
Pendiente media ponderada	%		23,03
Número de orden	-		1
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS			
Índice de compacidad (Kc)	-		1,50
Índice de alargamiento (Ia)	-		5,19
Factor de forma (Kf)	-		0,19
Índice de asimetría (Ias)	-		1,07
Tiempo de concentración (Tc)	Horas		0,31
Coefficiente de sinuosidad (Ks)	-		0,97
Densidad de drenajes	km/km ²		7,36



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

MICROCUENCA 1202-01-12-02 (Qda. NN)
SUPERFICIE

Densidad de corrientes	1/km ²	5,35
Tipo de cuenca según (Kc)	Oval redonda a oval oblonga	

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca de orden 1, de acuerdo con el $Kf=0,19$, se trata de una cuenca muy alargada y bien equilibrada con respecto a sus vertientes $Ias=1,07$; dada su característica de oval redonda a oval oblonga se considera que los picos en sus crecidas sean muy súbitos, el tiempo de concentración es de $Tc=0,31$ h. En el Gráfico 64 se observa un perfil longitudinal con una caída fuerte en los primeros 600 metros del cauce. Luego la pendiente presenta un descenso gradual y pronunciado al río Cirilo.

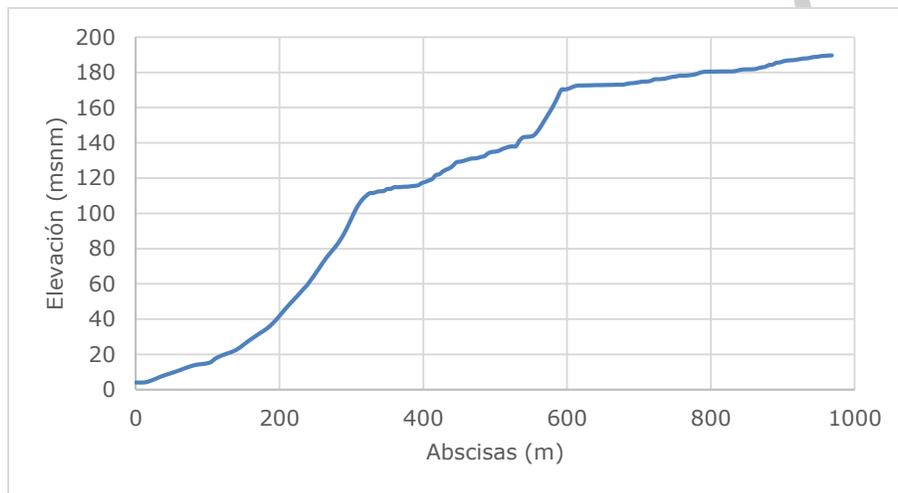


Gráfico 64. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada NN (1202-01-12-02).
Fuente: Elaboración propia.

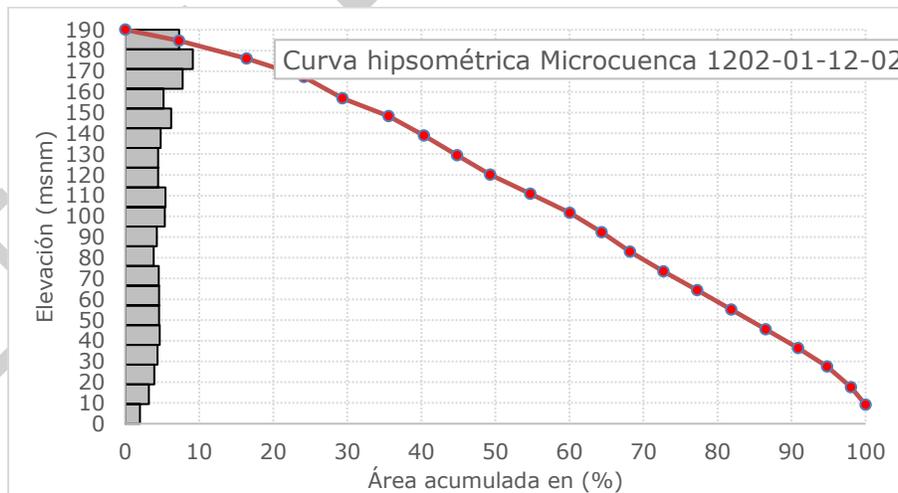


Gráfico 65. Curva hipsométrica e histograma de elevación microcuenca quebrada NN (1202-01-12-02).
Fuente: Elaboración propia.



De acuerdo con la forma que expone la curva hipsométrica (Gráfico 65), se define que la cuenca de la quebrada NN (1202-01-12-02) se encuentra en una fase de juventud, con gran potencial erosivo. Su elevación de frecuencia media (50%) es de 119 msnm.

3.5.3.12 Microcuenca quebrada Tié (1202-01-14-01 - subcuenca quebrada Tié)

En la Tabla 64 se presentan los resultados para la microcuenca quebrada Tié (1202-01-14-01 - subcuenca quebrada Tié).

Tabla 64. Resultados morfométricos microcuenca 1202-01-14-01.

MICROCUENCA 1202-01-14-01 (Qda. Tié)		
SUPERFICIE		
Área	km ²	0,110
Perímetro	km	1,29
Cota máxima	msnm	106,20
Cota mínima	msnm	21,58
Desnivel altitudinal	m	85
Elevación más frecuente	msnm	56
Elevación de frecuencia media (50%)	msnm	62
Pendiente media ponderada	%	10,89
Longitud Axial (LI)	km	0,43
Ancho (W)	km	0,25
RED HÍDRICA		
Longitud del cauce principal (Lt)	km	0,40
Longitud de drenajes	km	0,72
Elevación media ponderada	msnm	48
Pendiente media ponderada	%	14,02
Número de orden	-	1
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS		
Índice de compacidad (Kc)	-	1,09
Índice de alargamiento (Ia)	-	1,57
Factor de forma (Kf)	-	0,59
Índice de asimetría (Ias)	-	1,29
Tiempo de concentración (Tc)	Horas	0,19
Coefficiente de sinuosidad (Ks)	-	0,93
Densidad de drenajes	km/km ²	6,54
Densidad de corrientes	1/km ²	9,11
Tipo de cuenca según (Kc)		Redonda a oval redonda

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca de orden 1, de acuerdo con el $Kf=0,59$, se trata de una cuenca ligeramente ensanchada y equilibrada con respecto a sus vertientes $Ias=1,29$; dada su característica de redonda a oval redonda se considera que los picos en sus crecidas sean muy súbitos, el tiempo de concentración es de $Tc=0,19$ h.

En el Gráfico 66 se observa un perfil longitudinal con un descenso gradual y pronunciado.

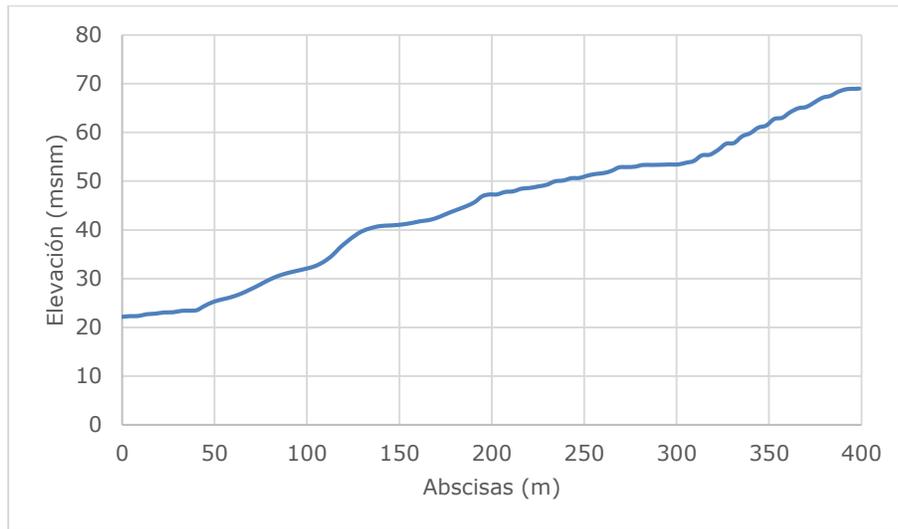


Gráfico 66. Perfil longitudinal del cauce principal quebrada Tié (microcuenca).
Fuente: Elaboración propia.

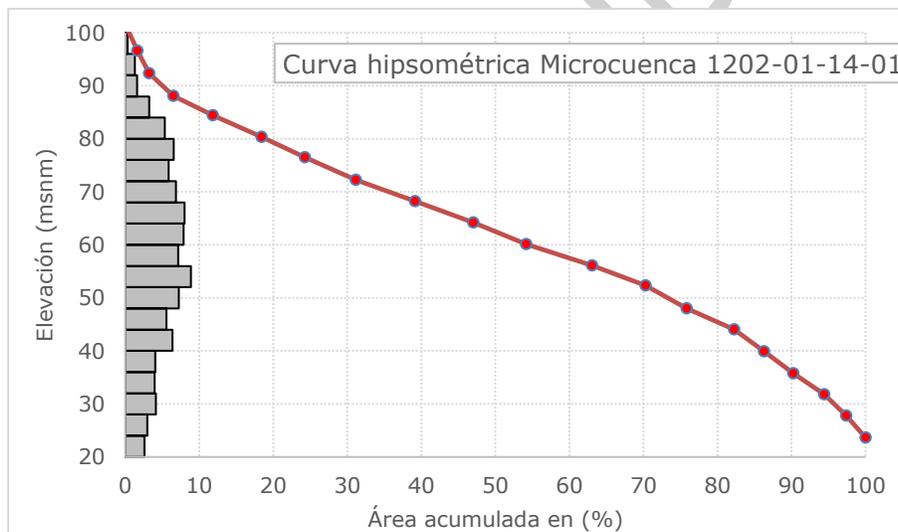


Gráfico 67. Curva hipsométrica e histograma de elevación microcuenca quebrada Tié.
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la forma que expone la curva hipsométrica (Gráfico 67), se define que la cuenca de la quebrada NN (1202-01-12-02) se encuentra en una fase de juventud, con gran potencial erosivo. Su elevación de frecuencia media (50%) es de 62 msnm.

3.5.4 Conclusiones

Luego de conocer las características morfométricas, índices y parámetros físicos de las unidades hidrográficas jerarquizadas en la Cuenca Río Turbo-Currulao, se establecen áreas proclives a desarrollar hidrogramas con picos fuertes de caudal, debido a la forma del relieve, la conformación de la red hídrica y la pendiente del cauce principal.



El desarrollo de esta temática es insumo fundamental para la obtención de áreas susceptibles a eventos amenazantes como las avenidas torrenciales, los movimientos en masa y las inundaciones.

3.6 PENDIENTES

3.6.1 Descripción del rango de pendientes en porcentaje

Del total de la superficie del POMCA del Río Turbo-Currulao correspondiente a 89.748 ha (100%) establecidos en la Tabla 65 y en la siguiente descripción:

- Con un 32,02% y en una superficie de 28.736,77 hectáreas, se localiza la pendiente definida como "Ligeramente escarpada o ligeramente Empinada, 25-50% (e)" siendo la de mayor presencia en el POMCA, debido a la condiciones geomorfológicas y geológicas que reflejan su condición de pendiente.
- El siguiente rango con mayor área en la cuenca, se encuentra el rango de "Fuertemente Inclinada", 12-25% (d), con un subtotal de 20.846,18 hectáreas y correspondiente a un porcentaje de 23,23%.
- En un tercer lugar se encuentra el rango de pendiente "Ligeramente Inclinada", 3-7%, (b) reflejada en una superficie de 11.567,43 hectáreas, que en porcentaje correspondería al 12,89%.

En un rango que está por debajo del 10% en porcentaje de superficie se localizan los siguientes Rangos:

- La pendiente "Ligeramente Plana, 1 – 3%, (a)" se espacializa en 8.836 ha reflejado en un porcentaje de 9,85%; sigue el rango de pendiente "Moderadamente Inclinada, 7 – 12%, (c)" expresado en 8.328,22 hectáreas 9,28%; se observa adicionalmente la pendiente "Moderadamente escarpada o moderadamente empinada", 50-75%, (f) con un porcentaje de 8,47%, en 7.605,23 has.

Con una presencia considerada de poca representatividad en superficie, se localiza el rango de pendiente definida como "A nivel, 0 – 1%, (a)" en 2.000,54 hectáreas (2,23%), continúa la pendiente "Fuertemente Escarpada o Fuertemente Empinada, 75 – 100%, (g)" con 1.445 ha (1,61%); y por último se localiza el rango de pendiente "Totalmente Escarpada, > 100%, (g) en solo 382,53 has y con un porcentaje de 0,43%.

Tabla 65. Datos de superficie en ha y ha en porcentaje para los rangos de pendiente en el POMCA Río Turbo – Currulao.

RANGO DE PENDIENTES (%)	Área en Has	Área en %
A nivel, 0-1% (a)	2.004,57	2,23
Ligeramente plana, 1-3% (a)	8.854,14	9,85
Ligeramente inclinada, 3-7% (b)	11.590,34	12,89
Moderadamente inclinada, 7-12% (c)	8.344,37	9,28
Fuertemente inclinada, 12-25% (d)	20.885,64	23,23
Ligeramente escarpada o ligeramente empinada, 25-50% (e)	28.790,38	32,02



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

RANGO DE PENDIENTES (%)	Área en Has	Área en %
Moderadamente escarpada o moderadamente empinada, 50-75% (f)	7.619,37	8,47
Fuertemente escarpada o fuertemente empinada, 75-100% (g)	1.448,00	1,61
Totalmente escarpada, >100% (g)	383,23	0,43
ÁREA TOTAL PARA CÁLCULO DE PENDIENTES EN PORCENTAJE	89.748,67	100,00

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a la información resultante, se presenta la Figura 42. Comportamiento espacial de los Rangos de pendiente (en porcentaje) en el POMCA Río Turbo – Currulao.

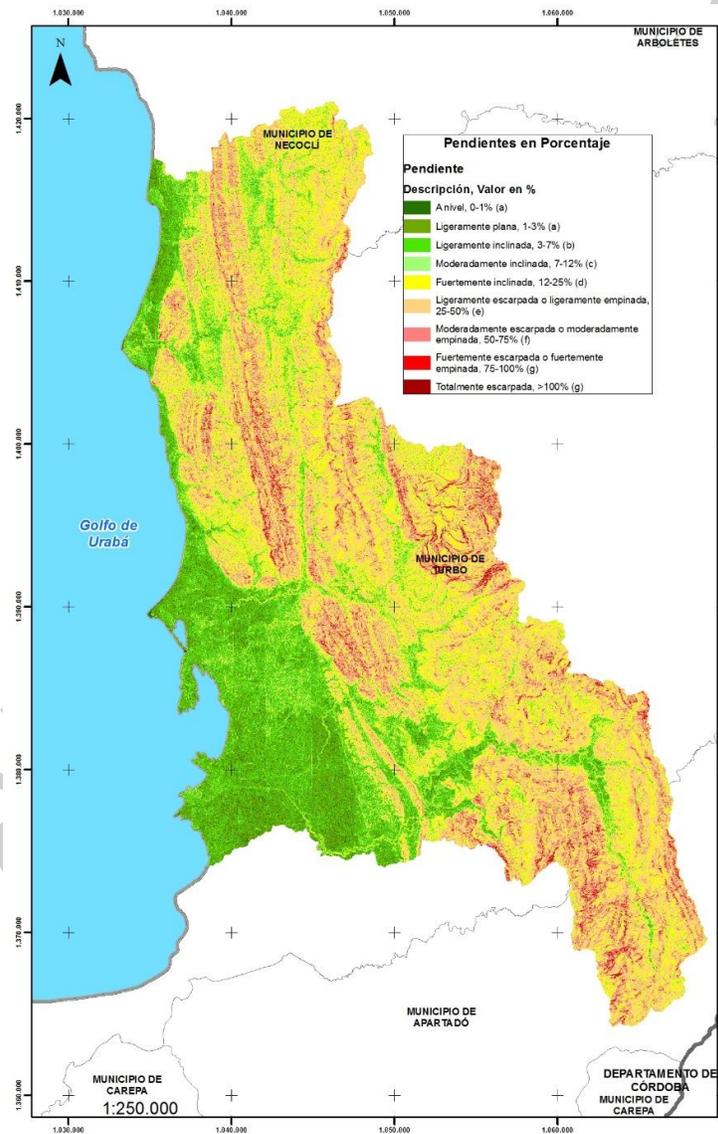


Figura 42. Comportamiento espacial de los Rangos de pendiente (en porcentaje) en el POMCA Río Turbo – Currulao.

Fuente: Elaboración Propia



3.6.2 Descripción de pendientes en grados

La caracterización física del área total de la cuenca bajo los estándares solicitados en los alcances técnicos del proyecto permitió establecer el comportamiento de las pendientes tanto en porcentaje como en grados y así desarrollar una correcta aplicación de éstas para cada una de las temáticas desarrolladas durante la fase de diagnóstico.

El modelo de pendientes para el área de la cuenca se desarrolló en base al modelo digital de terreno disponible de 5 metros de elevación, lo que permitió una excelente aproximación a la representación gráfica del área estudiada en el marco del proyecto. El cálculo de las pendientes se desarrolló bajo análisis espacial de ArcGis, reclasificando los valores obtenidos en siete (7) categorías como se muestra en la Figura 43.



Figura 43. Rango de pendientes en grados y su escala de colores adoptados para el proyecto POMCA Río Turbo – Currulao.
Fuente: Elaboración Propia.

El análisis espacial del modelo digital de elevación para obtener el modelo de pendientes permitió obtener cifras exactas del comportamiento de las pendientes en la cuenca del Río Turbo y Currulao, generando estadísticamente una aproximación al análisis geológico y geomorfológico de las laderas y planicies presentes.

El desarrollo del cálculo de las pendientes en grados permitió obtener las siguientes cifras:

Tabla 66. Estadísticas cálculo de pendientes en grados.

RANGO DE PENDIENTES (º)		Área en Has	Área en %
< 5	Plana a suavemente inclinada	25.569,49	28,49
5-10	Inclinada	13.788,67	15,36
10-15	Muy Inclinada	15.157,02	16,89
15 - 20	Abrupta	13.726,81	15,29
20 - 30	Muy Abrupta	15.861,23	17,67
31 - 45	Escarpada	5.278,59	5,88
> 45	Muy Escarpada	366,17	0,41
TOTAL ÁREA DE LA CUENCA		89.747,98	100,00

Fuente: Elaboración propia.



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

De lo anterior se pueden hacer las siguientes consideraciones:

- La cuenca se encuentra en un rango representativo de pendientes menores a 5 grados de elevación consideradas en la leyenda como “Plana a suavemente inclinada”, con 25.569,49 has en la totalidad de la cuenca y con presencia en los tres municipios. Este tipo de pendientes son claramente identificables en la zona occidental-costera de la cuenca.
- Como segunda instancia, en la cuenca se pueden encontrar pendientes de 20 a 30 grados consideradas como “Muy Abrupta” ubicándose en las partes altas de la cuenca hacia la parte oriental y sur-oriental de la cuenca, también se pueden diferenciar en las elevaciones que toman las unidades geológicas orientándose de igual forma de norte a sur en la parte central de la cuenca.
- En menor medida, se encuentran las pendientes “Escarpada” y “Muy Escarpada”, esta última con más de 45° de inclinación, lo que indica una condición adecuada para prevenir y manejar los movimientos en masa que se puedan presentar en la región (ver Figura 44).



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

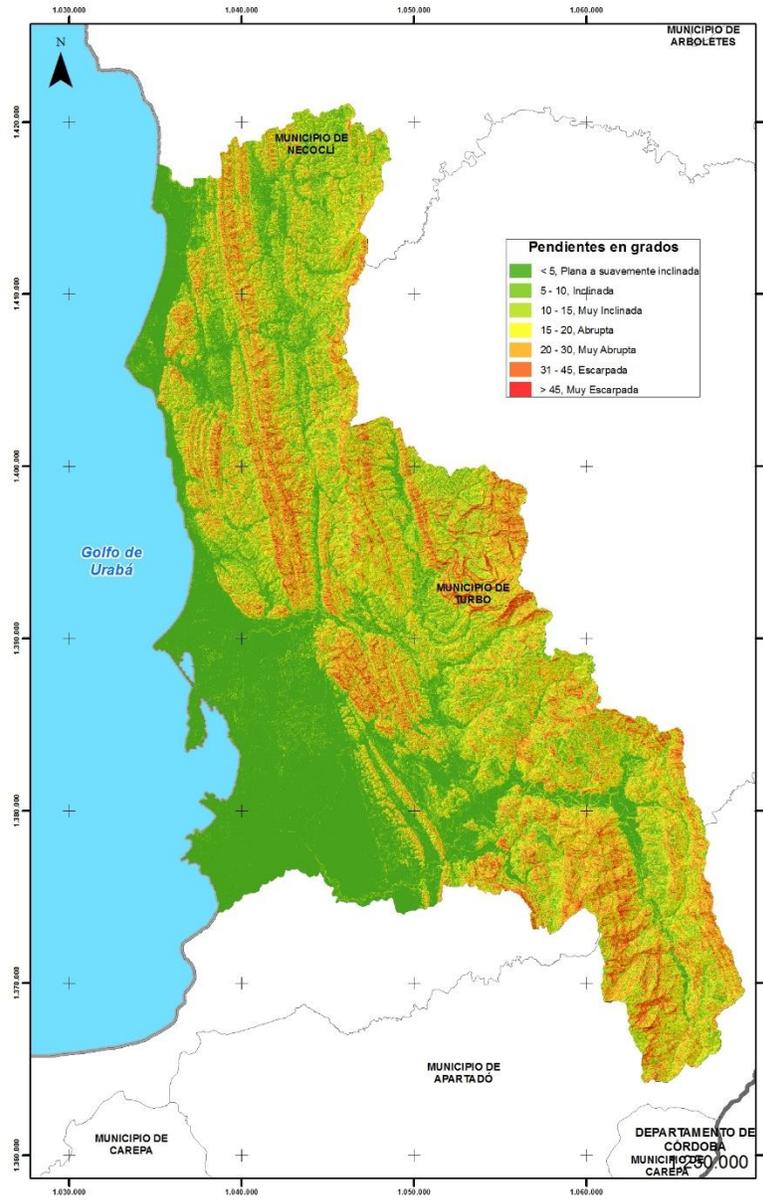


Figura 44. Salida gráfica de modelo de pendientes (calculada en grados) para el área del proyecto POMCA Río Turbo – Currulao.
Fuente: Elaboración propia



3.7 HIDROLOGÍA

El régimen hidrológico de las corrientes que componen el sistema hídrico de la cuenca del río Turbo-Currulao, está claramente determinado tanto espacial como temporalmente, por el uso y tipo del suelo, la cobertura vegetal, la morfometría y básicamente por la ocurrencia de la precipitación a lo largo de su territorio. Este capítulo se ocupa de caracterizar en términos de oferta y demanda, el recurso hídrico disponible en el territorio en ordenación, evaluando los siguientes índices: Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH), Índice de Uso del Agua Superficial (IUA) e Índice de Vulnerabilidad por Desabastecimiento (IVH).

A continuación, se presenta el desarrollo del componente de hidrología según los requerimientos del anexo técnico emitidos por el Fondo de Adaptación y lo establecido por el (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014). Iniciando con la descripción y evaluación de la información hidrológica disponible en la red de estaciones emplazadas en la cuenca y que es operada por el IDEAM.

3.7.1 Descripción y evaluación de la red de estaciones hidrológicas

El análisis de las variables hidrológicas para el POMCA Río Turbo - Currulao, se realizó con información registrada en 3 estaciones hidrológicas operadas por el IDEAM, y son de tipo limnimétricas (LM), cuentan con medición de caudales de las corrientes: Currulao, Guadualito y Turbo. Presentan registros de datos desde el año 1979 al 2010, actualmente estas estaciones se encuentran suspendidas. La estación El Tres presta un 11.9 % faltante de datos, la de Currulao un 22 % y la del Dos un 7.7%. La serie de caudales diarios, los cálculos mensuales y anuales son agregaciones particulares de cada serie.

La **iError! No se encuentra el origen de la referencia.** relaciona el listado de estaciones con información disponible, 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 56](#), se pueden consultar los datos originales a nivel mensual y diario.

Tabla 67. Estaciones hidrológicas utilizadas.

CÓDIGO	NOMBRE	TP	ELEVACIÓN MSNM	CORRIENTE	COORDENADAS		PERIODO DE DATOS
					DATUM SIRGAS OESTE	MAGNAS ORIGEN	
					Este	Norte	
12027030	EL TRES	LM	20	GUADUALITO	1046268	1383634	1979 - 2010
12027040	CURRULAO	LM	51	CURRULAO	1049142	1375828	1979 - 2010
12027060	EL DOS	LM	50	TURBO	1042284	1390429	1987 - 2010

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 45, se presenta la distribución espacial y el área aferente en (km²) de las estaciones hidrológicas con disponibilidad de información. Se destaca que las tres estaciones se encuentran suspendidas. Esta situación se cataloga como una potencial problemática de la cuenca.



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

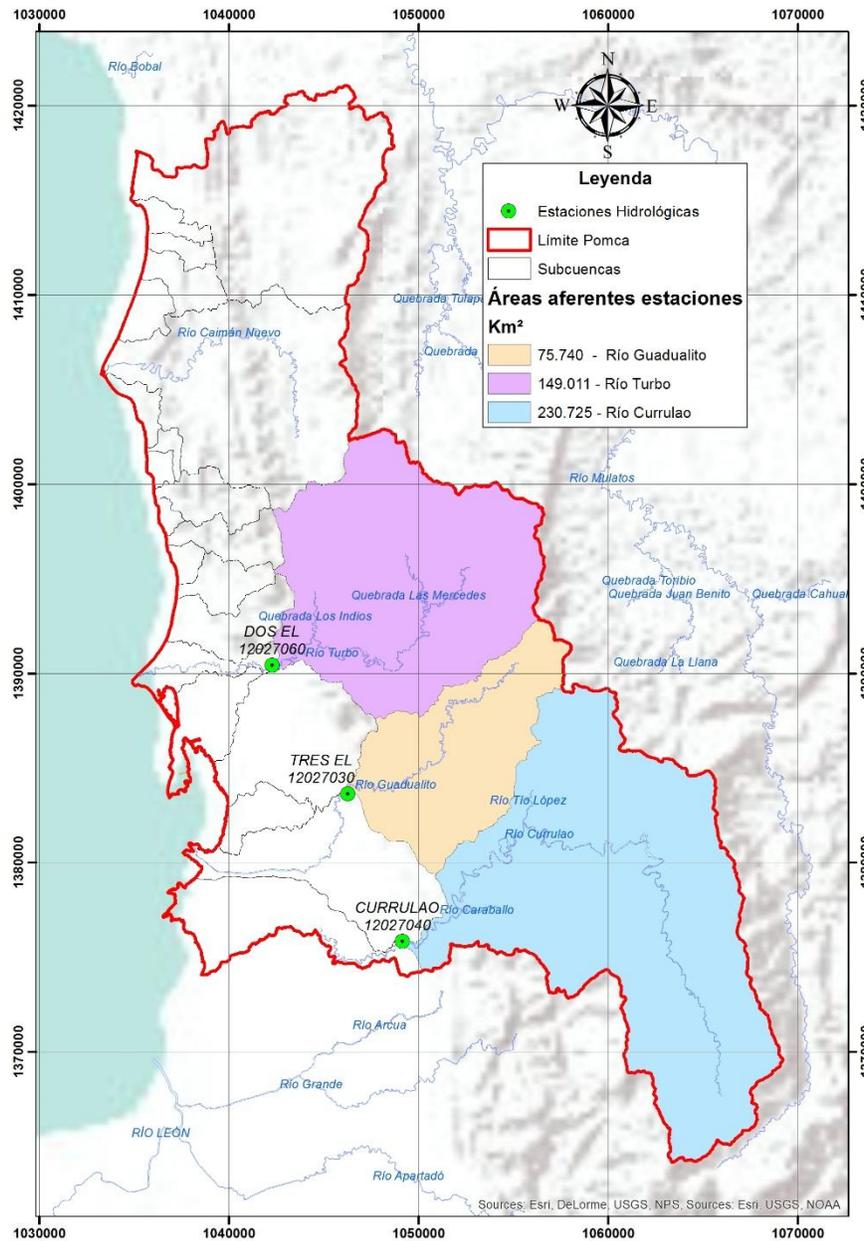


Figura 45. Localización estaciones hidrológicas.
Fuente: Elaboración propia.

3.7.1.1 Tratamiento de datos hidrológicos

El tratamiento de los datos hidrológicos tuvo el mismo procedimiento descrito en el capítulo de clima, se adopta lo establecido por la Guía de Prácticas Climatológicas N° 100 (WMO, 2011). Para el análisis de homogeneidad estadística, se empleó el dominio de rechazo de la hipótesis nula (Haan & Thomas, 2002).



Adicionalmente a las pruebas de homogeneidad, se realizó una fase exploratoria con control de calidad gráfico para detectar tendencias (serie de tiempo) 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 56](#).

A continuación, se presenta el porcentaje de datos faltantes en las estaciones seleccionadas, los análisis se fundamentan en datos diarios, los cálculos mensuales y anuales son agregaciones particulares de cada serie. En la **iError! No se encuentra el origen de la referencia.** se puede consultar el porcentaje de datos faltante para el parámetro caudal.

Tabla 68. Estado de la información hidrológica en cuanto a datos faltantes.

DATOS FALTANTES DIARIOS	CAUDALES		
	12027030	12027040	12027060
Año inicio	1979	1979	1987
Año fin	2010	2010	2010
Total Años	32	32	24
Datos esperados	11688	10846	8766
Días registrados	10299	8456	8087
Datos faltantes	1389	2390	679
% Datos faltantes	11.9%	22.0%	7.7%

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con lo anterior, las estaciones utilizadas para el análisis del componente hidrológico se ajustan a los estándares de cantidad de información requerida.

Los análisis gráficos fueron realizados a la serie de caudales diarios de las estaciones, este proceso ayuda en gran manera a la identificación de tendencias en los registros, así como de comportamientos de valores extremos en la serie histórica.

La estación El Tres (Gráfico 68) monitorea la oferta hídrica del río Guadualito, el registro de caudales se observa muy variante, influenciado por la ocurrencia de avenidas torrenciales particularmente en las décadas de los años 80 y 90, con caudales picos de hasta 140 m³/s, no obstante, la disminución en cuanto a valores promedio y de extremos altos, es evidente desde el año 2000 hasta la salida de operación de la estación a inicios del año 2011.



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

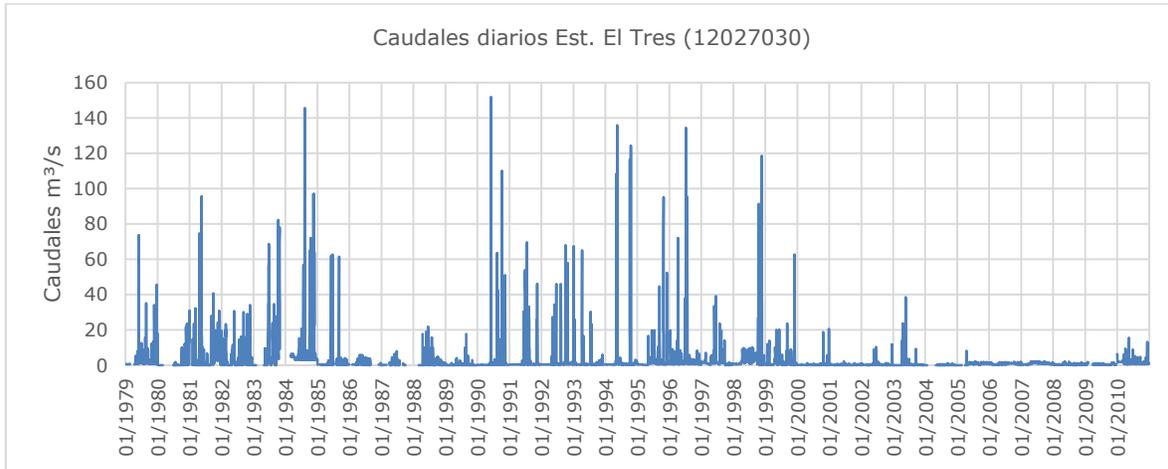


Gráfico 68. Serie de caudales diarios estación El Tres (12027030).
Fuente: Elaboración propia.

Suceso atípico que es replicado en el río Currulao (Gráfico 69), la disminución de caudales pico en periodos decadales es notoria (de 180 m³/s años 80, 60 m³/s años 90 a no más de 10 m³/s época años 2000), sin embargo, su explicación no es atribuible a las técnicas de mediciones o estimación de caudales (se realizó la verificación con el ente emisor, IDEAM), ya que es un evento que se homogeniza en dos cuencas contiguas (Currulao y Guadualito); este comportamiento puede ser producto de la alta intervención antrópica que ha tenido el ecosistema (cambio en patrones de drenaje), la presión sobre el recurso hídrico y los eventos océano atmosféricos recurrentes (variabilidad climática).

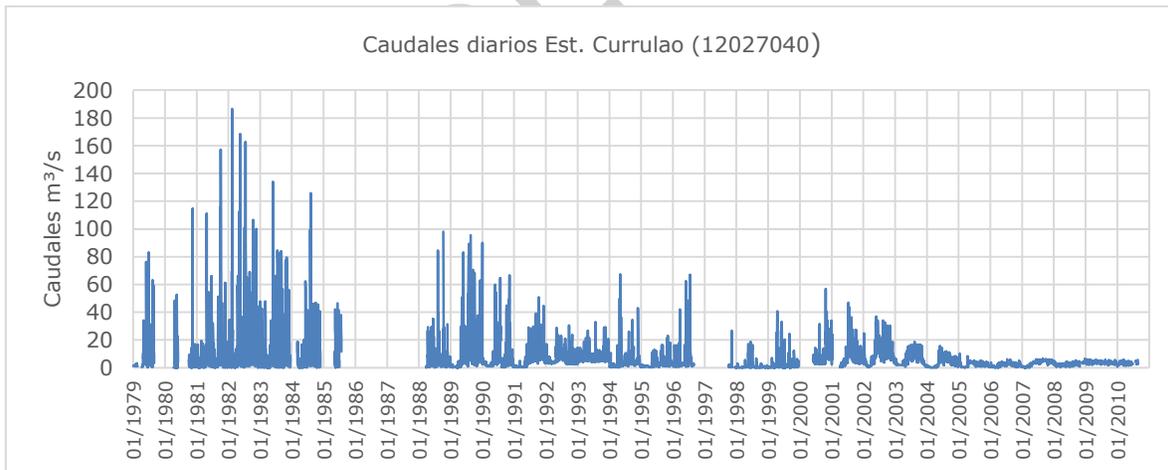


Gráfico 69. Serie de caudales diarios estación Currulao (12027040).
Fuente: Elaboración propia.

Se observa al río Turbo un poco más consistente en cuanto al régimen hídrico que ostenta ese ecosistema, sólo a finales del año 2010 se registró un caudal de 312 m³/s el 15 de diciembre que puede ser considerado como Outlier.



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

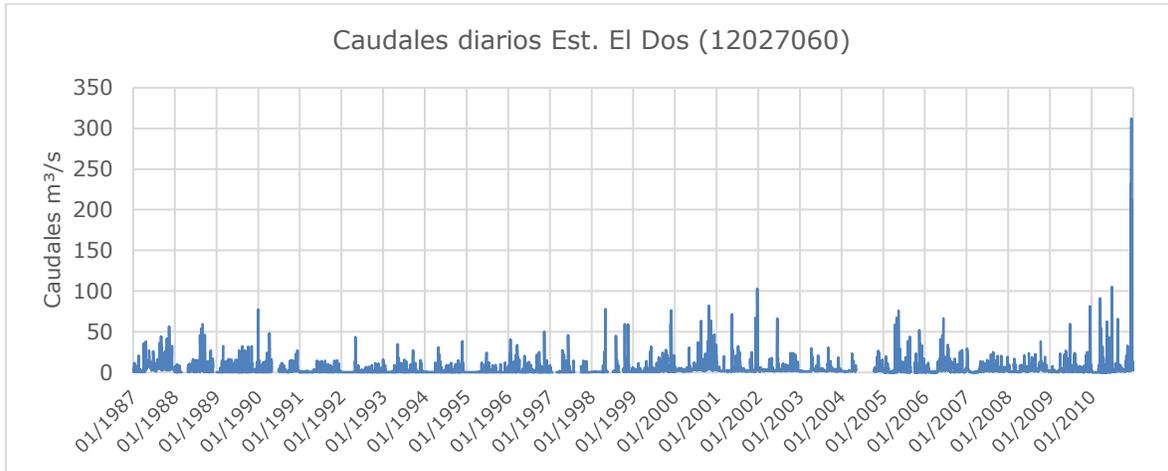


Gráfico 70. Serie de caudales diarios estación El Dos (12027060).
Fuente: Elaboración propia.

Dados estos comportamientos “atípicos” en las series de caudales, se hizo imperante la necesidad de homogenizar un periodo estable de los caudales, en que el valor medio sea concordante con el obtenido en el balance hídrico a largo plazo.

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 **iError! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta el resultado de los test estadísticos que evidencian cambios en media o varianza y tendencias para las series de caudales. Para esta hipótesis se indica si hay tendencia (T) o si no hay tendencia (NT).

Tabla 69. Pruebas de homogeneidad y tendencias series de caudales.

CÓDIGO	ESTACIÓN	PERIODO DE ANÁLISIS		AÑOS CON INFORMACIÓN	PRUEBAS DE TENDENCIA		PRUEBAS DE CAMBIO EN LA MEDIA			PRUEBAS DE CAMBIO EN LA VARIANZA	
		INICIO	FIN		PRUEBA T	HOTELLING-PABST	PRUEBA T SIMPL E	MANN & WHITNEY	AÑO	PRUEBA F SIMPL E	AÑO
12027030	EL TRES	1979	2010	32	NT	T (-)	Aprueba	Aprueba	1991	Aprueba	1998
12027040	CURRULAO	1979	2010	32	NT	T (-)	Aprueba	Aprueba	2002	Aprueba	2002
12027060	EL DOS	1987	2010	24	NT	NT	Aprueba	Aprueba	1997	Recha	za

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos de las pruebas de tendencias, las estaciones El Tres (12027030) y Currulao (12027040) presentan tendencia negativa en los registros y se evidencian cambios en media y varianza. A continuación, se presentan los resultados gráficos del análisis de homogeneidad y consistencia de la información hidrológica de las tres estaciones citadas.



- **Estación El Tres (12027030)**

Estación con 12 % de datos faltantes a resolución diaria; en la Figura 46 se puede observar que el régimen hidrológico presenta un cambio significativo en los valores medios en tres periodos; sin embargo, el más fuerte se presentó en la década de los 90. En cuanto a valores anómalos se identificaron 2 fechas, junio y octubre de 1983. El histograma de caudales promedios mensuales finalmente se elaboró para un periodo homogéneo de datos del 1 de enero 1990 al 31 de agosto 2010.

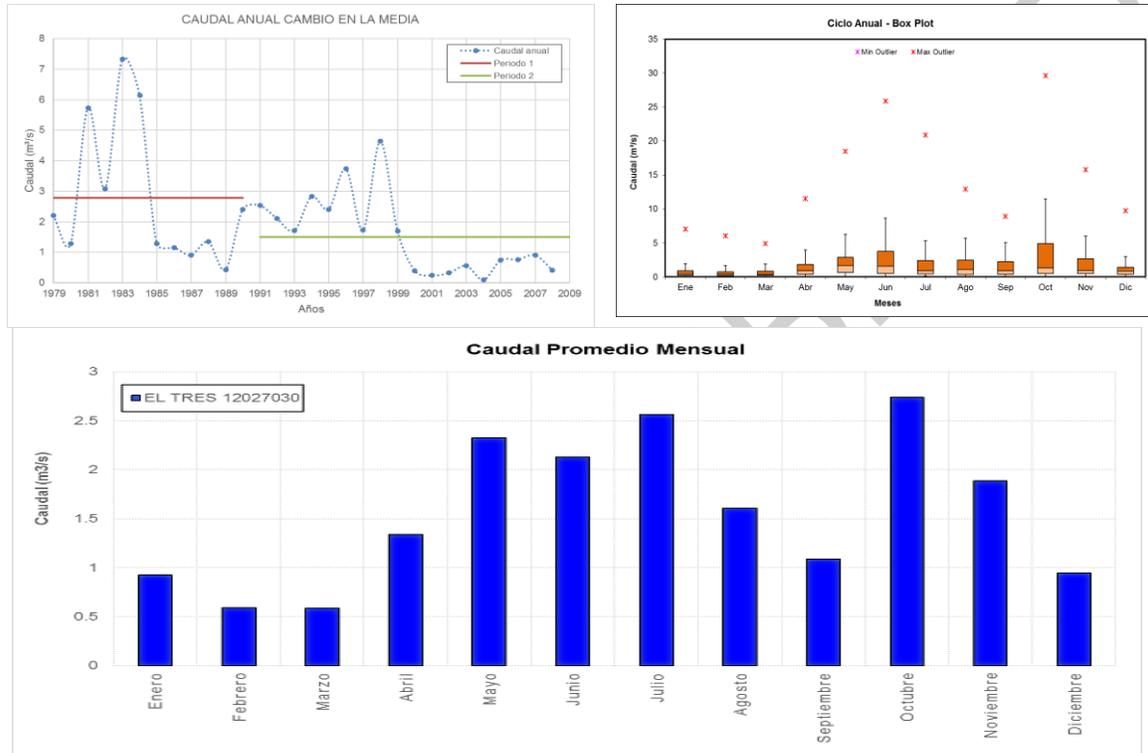


Figura 46. Resultados gráficos análisis de consistencia Estación El Tres (12027030).
Fuente: Elaboración propia.

- **Estación Currulao (12027040)**

Estación con 22 % de datos faltantes a resolución diaria; en la Figura 47 se puede observar que el régimen hidrológico presenta un cambio significativo en los valores medios en la década de los 90. En cuanto a valores anómalos se identificaron 4 fechas, mayo y octubre de 1982, julio y noviembre de 1983. El histograma de caudales promedios mensuales finalmente se elaboró para un periodo homogéneo de datos del 1 de enero 1990 al 31 de agosto 2010.



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

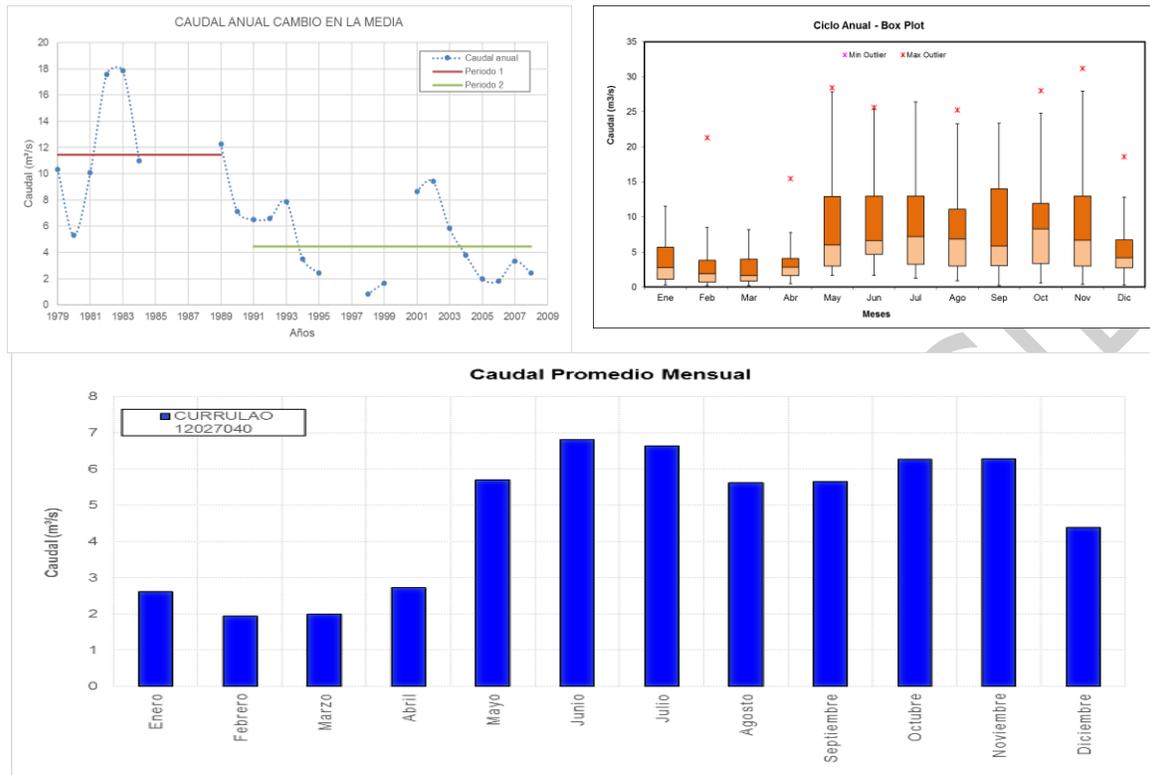


Figura 47. Resultados gráficos análisis de consistencia Estación Currulao (12027040).
Fuente: Elaboración propia.

No se evidencia un régimen definido en el comportamiento temporal de los caudales, caso similar al descrito en la caracterización de la precipitación. Según el IDEAM, este régimen 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.

• **Estación El Dos (12027060)**

Estación con 8 % de datos faltantes a resolución diaria, los test de Hotellin g-Pabst y Prueba T no arrojaron ningún tipo de tendencia estadística; en la Figura 48 se puede observar que el régimen hidrológico no presenta cambios significativos en los valores medios. En cuanto a valores anómalos se identificó solo 1 fecha correspondiente a diciembre de 2010. El histograma de caudales promedios mensuales finalmente se elaboró para un periodo homogéneo de datos del 1 de enero 1990 al 31 de agosto 2010, siendo consistente con las estaciones Currulao y El Tres.

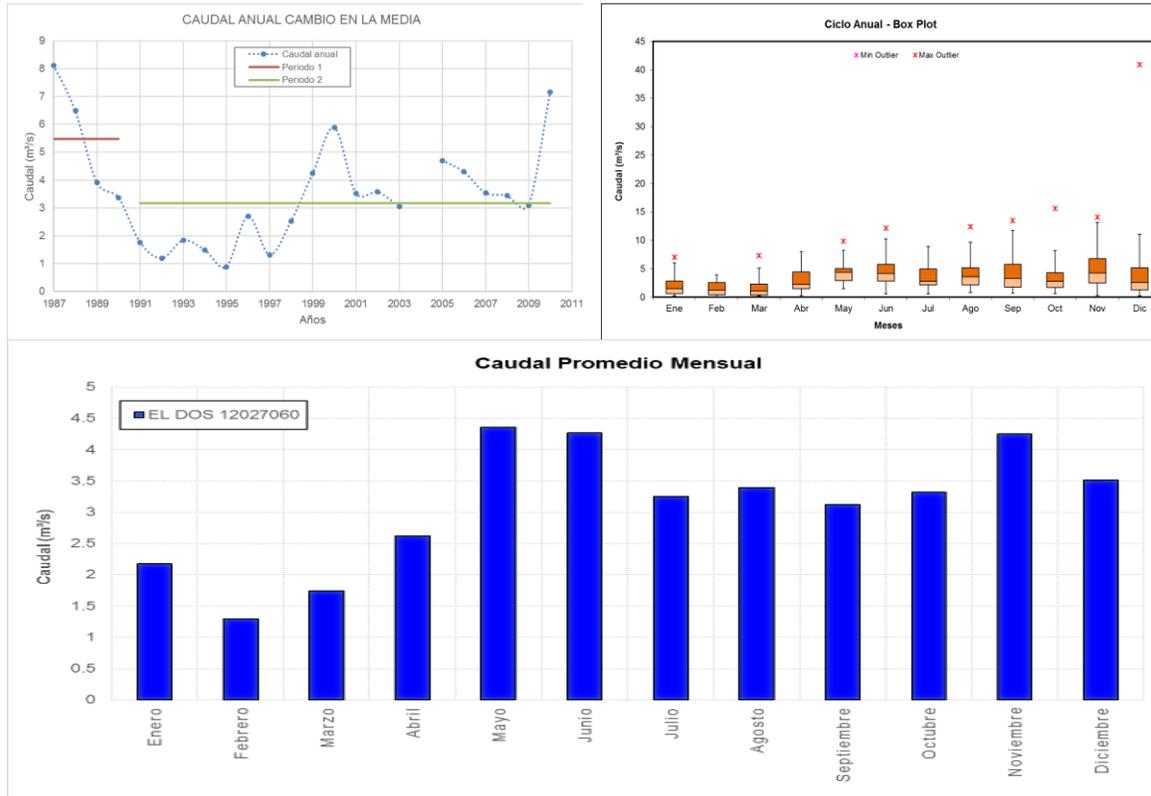


Figura 48. Resultados gráficos análisis de consistencia Estación El Dos (12027060).
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se homogeniza un periodo común para las tres estaciones 1990 a 2010. En él no se presentan tendencias ni variaciones en media y varianza; de acuerdo con estos resultados no es pertinente realizar un tratamiento a las series hidrológicas con técnicas de no estacionariedad para ajustes de funciones de probabilidad, la obtención de caudales extremos (máximos y mínimos) son tratadas con técnicas empíricas de uso común como: distribución Normal, LogNormal, Gumbel, Pearson, LogPearson, entre otras.

3.7.1.2 Correlación Caudal vs Índices Océano Atmosféricos

En la Figura 49 se presenta la correlación lineal de los caudales y los índices océano atmosféricos propuestos y descritos en el capítulo de Clima. 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 56](#) de Hidrología - Correlación QL_IOA.



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

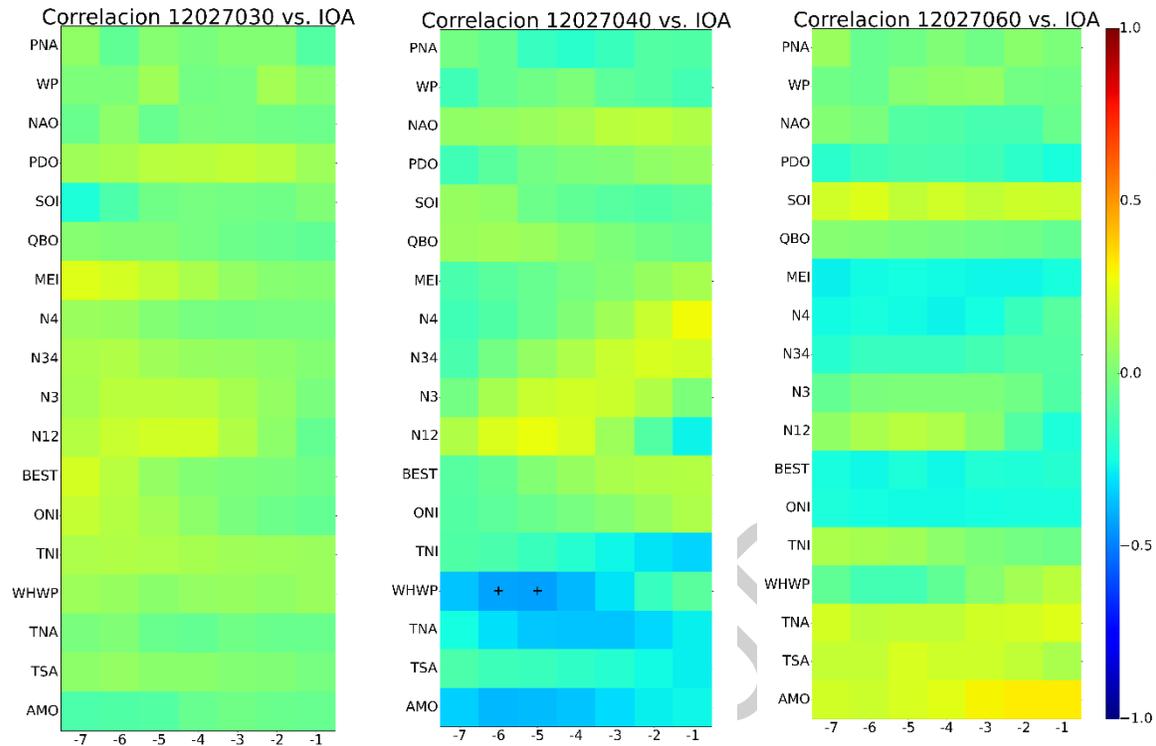


Figura 49. Correlación caudal vs IOA.
Fuente: Elaboración propia.

La significancia estadística de las correlaciones se demarca en la Figura 49 con el símbolo (+). Los resultados de la estación Currulao (12027040) presentan correlaciones por encima del 40% con el índice 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. En la Tabla 70 se puede consultar el mejor IOA que correlaciona con la serie de caudales y los rezagos en meses (Lags), para los que se obtuvo la mejor relación lineal.

Tabla 70. Selección del mejor IOA correlacionado con los caudales.

CÓDIGO	NOMBRE	IOA	LAGS
12027030	EL TRES	MEI	[-7]
12027040	CURRULAO	WHWP	[-5]
12027060	EL DOS	AMO	[-2]

Fuente: Elaboración propia.

El índice AMO (Variabilidad decadal de la TSM en el Atlántico Norte), tiene algún grado de correspondencia con los caudales del río Turbo a nivel decadal. Es importante el monitoreo y seguimiento de este índice como herramienta de planificación del recurso hídrico en un largo plazo.

3.7.2 Inventario de infraestructura hidráulica

El inventario se define como el conocimiento detallado de las obras de infraestructura hidráulicas dentro de la cuenca, referido a su ubicación, usos, funcionamiento, estado y



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

grado de afectación en la misma. La cuenca del río Turbo-Currulao no cuenta actualmente con embalses y/o trasvases construidos.

La ubicación de las bocatomas de acueductos municipales o centros poblados identificadas en la cuenca se presenta en la Tabla 71, se puede identificar el área de aportación de cada unidad hidrográfica, así como los caudales de salida de cada sistema. Estos caudales concesionados serán empleados para el cálculo del IUA (Índice del Uso del Agua Superficial, como parte de la demanda hídrica sectorial (sector consumo doméstico).

Tabla 71. Bocatomas de acueductos en la cuenca del río Turbo-Currulao.

ID	ACUEDUCTO	CORRIENTE	CAUDAL (l/s)	SUBCUENCA	ÁREA km ²
1	Acueducto veredal Caraballo	Río Caraballo	1	Río Currulao	6.05
2	Acueducto veredal Nueva Antioquia	Quebrada NN	7	Río Currulao	3.61
3	Acueducto Alto Mulatos	Quebrada Mulatos	11	Río Guadualito	0.46
4	Acueducto veredal 11 de Noviembre	Quebrada el Limón	1.2	Río Guadualito	0.30
5	Acueducto veredal el Tres	Quebrada Los Indios	4.47	Río Guadualito	0.81
6	Aguas de Urabá S.A E.S.P. Municipio de Turbo	Río Turbo	176	Río Turbo	150.29
7	Acueducto veredal el Dos	Quebrada San Felipe	6	Río Turbo	0.91
8	Acueducto veredal Los Indios	Quebrada La Mina	3	Río Turbo	1.06
9	Acueducto Multiveredal Aguas Claras, Cope, La Martina y Punta de Piedra	Quebrada Copez	7.7	Quebrada Aguas Claras - Estorbo	1.39
10	Club Campestre Acuarium Central	Río Cirilo	6	Río Cirilo	11.01
11	Club Campestre Acuarium Central	Río Cirilo	5.3	Río Cirilo	0.19
12	Acueducto Veredal Tíe	Quebrada Tíe	3.2	Quebrada Tie	0.11

Fuente: (CORPOURABA, 2017).

Otras obras de infraestructura hidráulica tendientes a mitigar las inundaciones en asentamientos urbanos y sectores productivos como el agrícola son los diques de los ríos Currulao, Guadualito y Turbo principalmente. En la Tabla 72 se puede consultar otro tipo de obras y su localización.

Tabla 72. Obras hidráulicas en cauces de ríos.

ID	MUNICIPIO	SITIO	OBRA	RIESGO	LATITUD	LONGITUD
1	Necoclí	El Mellito	Bolsacreto	Erosión fluvial	8.543	-76.672
2	Necoclí	Totumo	Bolsacreto	Erosión fluvial	8.330	-76.745
3	Turbo	Mulatos	Bolsacreto	Erosión fluvial	8.378	-76.489
4	Turbo	Guadualito	Bolsacreto	Erosión fluvial	8.064	-76.663
5	Turbo	Río Grande	Bolsacreto	Erosión fluvial	7.930	-76.624
6	Apartadó	Urbano	Gaviones	Erosión fluvial	7.880	-76.624
7	Apartadó	Vijagual	Limpieza	Erosión fluvial	7.874	-76.722
8	Carepa	Río Carepa	Limpieza	Erosión fluvial	7.764	-76.644
9	Turbo	Río López	Limpieza	Erosión fluvial	8.100	-76.532

Fuente: (CORPOURABA, 2017).



3.7.3 Caracterización del régimen hidrológico

El régimen hidrológico de las fuentes está asociado a una descripción probabilística de la variabilidad de los caudales medios, máximos y mínimos de las corrientes superficiales, en concordancia con las lluvias durante el año hidrológico y sus factores reguladores como la cobertura vegetal, los aportes de las aguas subterráneas y el tipo de suelos (Caicedo, 2008); esta descripción se realizó con el análisis de caudales históricos medidos o modelados (generados) en las fuentes.

Es fácil definir el régimen cuando las cuencas hidrográficas están instrumentadas, es decir, si cuentan con estaciones hidrológicas para medir diariamente el nivel del agua y poder contar con series históricas que determinen el régimen real de la escorrentía que se genera en la cuenca. Sin embargo, la mayoría de las cuencas pequeñas y medianas del país, no cuentan con estaciones hidrológicas, por lo tanto, se debe proceder a estimar los caudales a través de procedimientos indirectos o métodos llamados de lluvia – escorrentía, y con averiguaciones en campo, sobre el estado de las fuentes hídricas especialmente durante la temporada de verano.

En la fase de Aprestamiento del presente estudio se citó el documento: “Estudio de uso combinado de fuentes de agua superficial y subterránea para el suministro de agua potable para el municipio de Turbo, Antioquia”, el modelamiento del comportamiento hidrológico de las cuencas Currulao, Guadualito y Turbo, lo realizaron con un modelo lluvia-escorrentía (Modelo de tanques) agregado a escala diaria. Este insumo se retomó para el desarrollo del POMCA, caracterizando y calibrando nuevamente el modelo con la información homogenizada y preparada previamente para las cuencas.

3.7.3.1 Curvas de diferencias integrales (CDI)

Con el fin de establecer los ciclos de humedad en la región fue necesario construir la **curva de diferencias integrales** (Domínguez, Dawson, & Ramírez, 2011) la cual representa un balance de masa en el tiempo. Es decir, identifica la fase de humedad del régimen hídrico.

Para construir la curva de diferencias integrales se siguen los siguientes pasos:

Se estiman el promedio y el coeficiente de variación C_v de la serie de caudales (observados o simulados).

Ecuación 24. Promedio de caudales.

$$\bar{Q} = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{n}$$

Ecuación 25. Coeficiente de variación.

$$C_v = \frac{\sigma_Q}{\bar{Q}}$$

Se calcula el coeficiente modular



Ecuación 26. Coeficiente modular.

$$k_i = \frac{Q_i}{\bar{Q}}$$

Se evalúan las ordenadas de la curva de diferencia integral ξ_i cómo

Ecuación 27. Diferencia integral.

$$\xi_i = \sum_{i=1}^n \frac{(k_i - 1)}{C_v}$$

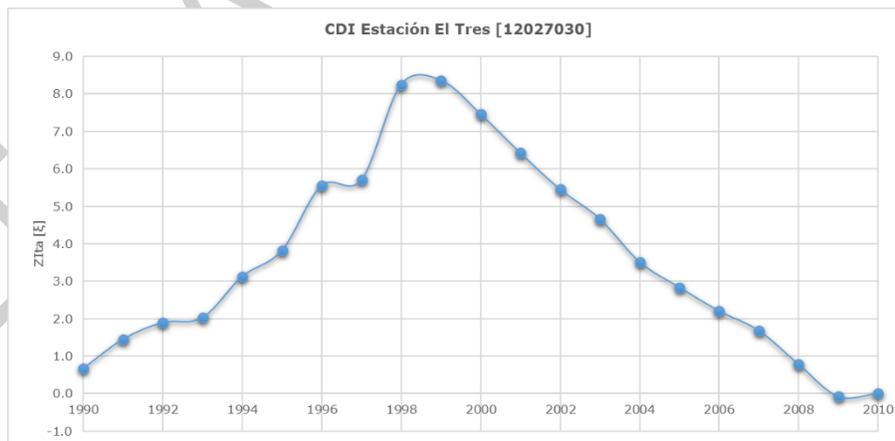
Si la diferencia $\sum_{i=1}^{n_1} (k_i - 1) - \sum_{i=1}^{n_2} (k_i - 1)$ es menor que cero el periodo de tiempo $T_2 - T_1$ comprende una fase de baja humedad, si por el contrario es mayor que cero será una fase de alta humedad. Para que la serie hidrológica sea representativa se requiere que la curva de diferencias integrales contenga igual número de fases de alta y baja humedad. Numéricamente, la representatividad en este sentido se puede establecer calculando el coeficiente modular promedio de n registros:

Ecuación 28. Coeficiente modular promedio.

$$\bar{k} = 1 + \frac{[\sum_{i=1}^{t_2} (k_i - 1)_f - \sum_{i=1}^{t_1} (k_i - 1)_c]}{n}$$

Cuán más cerca esté \bar{k} de 1 cuanto más representativa será la longitud n de la serie de caudales anuales, dado que el promedio de la muestra estará muy cercano al promedio del proceso general.

En la Figura 50 se presentan las Curvas de Diferencias Integrales (CDI), para las estaciones hidrológicas analizadas durante el periodo homogéneo (1990-2010), ver proceso de cálculo en el [Anexo 56](#) de Hidrología – CDI.xlsx.



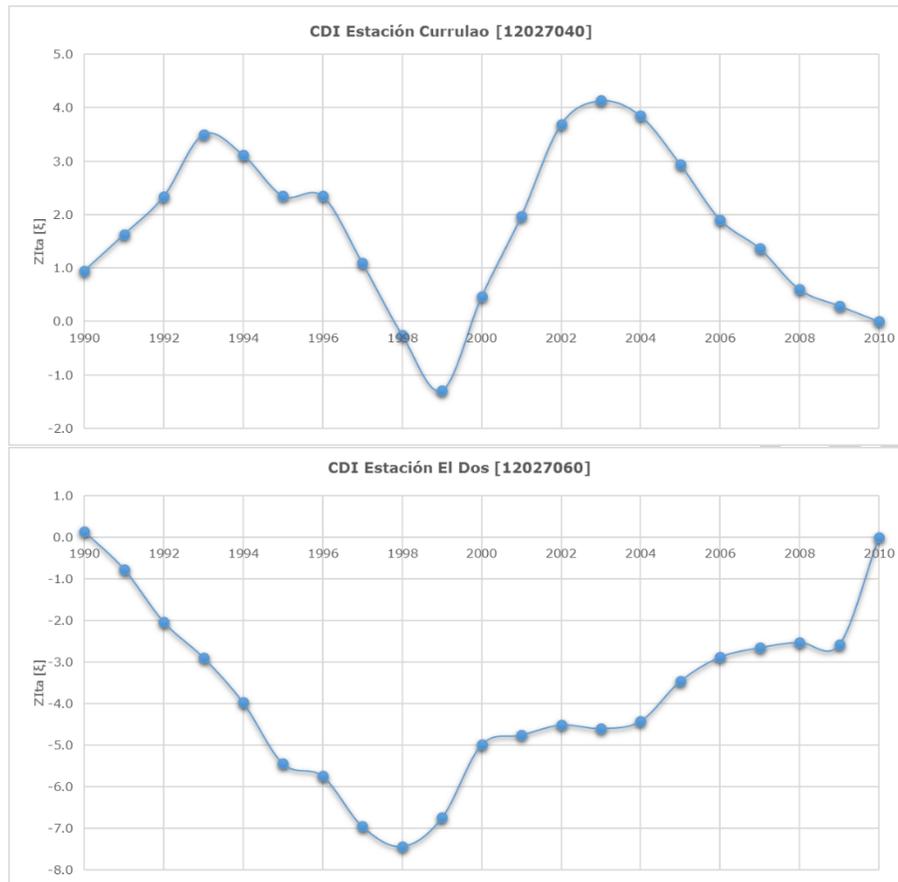


Figura 50. Curvas de diferencias integrales.
Fuente: Elaboración propia.

Lo que se puede evidenciar de las CDI en las cuencas de los ríos Currulao y Guadualito, es que el régimen hidrológico que describen las estaciones presentó importantes cambios en la transición de la década de los 90 a los 2000, pasando de una fase húmeda a una seca; de esta manera se establece que la tendencia que presenta la hidrología es hacia una **Fase Seca**, pendiente negativa en la curva. Caso distinto ocurre con el régimen hidrológico en la cuenca del río Turbo, dado que desde el año 1998, la recuperación en la cuenca en cuanto a humedad ha sido progresivo, este sistema categoriza su régimen como en **Fase Húmeda**, pendiente positiva.

3.7.3.2 Descripción del modelo lluvia escorrentía (modelo de tanques)

En el modelo utilizado, la producción de escorrentía superficial en una cuenca se puede representar por cuatro tanques o niveles de almacenamiento conectados entre sí, como puede observarse en la Figura 51. El modelo representa por medio de un sistema de tanques interconectados entre sí los procesos determinantes de la producción de la escorrentía: interceptación de las plantas, detención de agua en los charcos, infiltración, evapotranspiración, recarga del acuífero, y escorrentía superficial, subsuperficial, y flujo base.



En cada intervalo de tiempo, la precipitación (X_1) se distribuye a los distintos almacenamientos, donde en función del volumen almacenado en cada uno de ellos (H_i), se determina su contribución a la escorrentía (Y_i). El modelo realiza el balance de agua en cada tanque y actualiza los volúmenes almacenados en cada uno.

La cantidad de agua que se deriva en cada nodo (D_i) y la que continua hacia los niveles inferiores (X_i) por el conducto distribuidor depende de la cantidad de agua disponible, el estado del almacenamiento del tanque y de la capacidad del conducto distribuidor aguas abajo del nodo, la cual se puede relacionar con la conductividad hidráulica en el subsuelo.

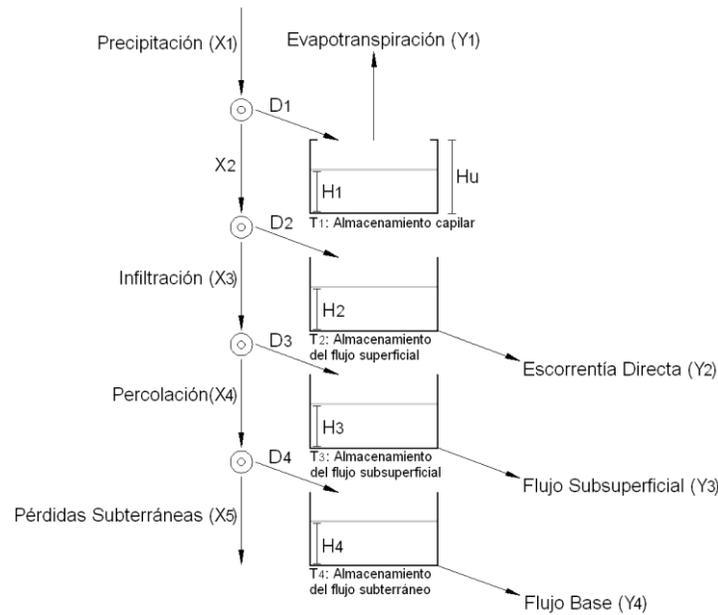


Figura 51. Esquema conceptual del modelo de tanques.
Fuente: (CORPOURABA; UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, 2009).

La descarga (Y_i) en cada uno de los tanques está en función del volumen almacenado y de las características de la cuenca que se pueden asociar con el tiempo de permanencia del agua en un elemento de almacenamiento temporal.

- **Tanque 1 (T1): Tanque de almacenamiento capilar**

Este tanque representa la intercepción de las plantas, la detención del agua en los charcos y el agua que se retiene en el suelo por las fuerzas capilares. De este tanque sólo sale agua producto de la evapotranspiración y no contribuye a la escorrentía superficial.

El valor obtenido de lluvia entra a un conducto del que se deriva una cantidad (D_1) para el tanque (T1). Se supone que este tanque tiene una capacidad máxima (H_u), igual a la suma de la capacidad de almacenamiento de "agua útil" en el suelo y la capacidad de la cobertura de la superficie para almacenar agua.

La evapotranspiración real (Y_1) depende de la cantidad de agua disponible en el tanque (H_1), así cuando hay déficit de agua en el suelo la evapotranspiración es menor que la



evapotranspiración potencial (ETP). Se supone que se conoce la evapotranspiración potencial media diaria en la cuenca y para todo el intervalo de tiempo considerado. Dadas las limitaciones en la estimación de la evapotranspiración potencial, se recomienda el uso de un método que permita estimarla a nivel diario.

- **Tanque 2 (T2): Tanque de almacenamiento del flujo superficial**

En este almacenamiento se representa el agua que fluye por la ladera o escorrentía directa. Se supone que la capa superior del suelo tiene una conductividad hidráulica (K_s) representativa o característica y que se asocia al tipo de suelo y a su estructura, lo cual está relacionando la cobertura vegetal, el uso y el manejo del suelo.

La cantidad de agua que entra al almacenamiento (T2), está relacionada con la capacidad del suelo para dejar pasar el agua a su interior (K_s), una conductividad hidráulica de la capa superior del suelo asociada a la cobertura en condiciones de saturación y con el flujo excedente del almacenamiento capilar (X_2).

La velocidad de respuesta de este tanque es “rápida”, que es representada por el tiempo de residencia (Tr_2) del agua en dicho almacenamiento, el cual es del orden de una fracción de día hasta pocos días, dependiendo de las características propias de la cuenca.

- **Tanque 3 (T3): Tanque de almacenamiento del flujo subsuperficial**

Este almacenamiento representa el agua almacenada en la capa superior del suelo mientras fluye lentamente hacia la red de drenaje, se desarrolla inicialmente sobre una capa delgada que fluye lateralmente hacia abajo por el interior de esta capa hasta que sale a los elementos de la red de drenaje.

De acuerdo con lo propuesto en el modelo, durante el intervalo de tiempo, se tiene una cantidad de agua gravitacional (X_3) que se mueve verticalmente hacia el interior del suelo. De esta cantidad, una parte (X_4), podrá percolar o seguir hacia la zona inferior del suelo, mientras que el resto del agua se deriva al almacenamiento superior del suelo donde se convertirá en flujo subsuperficial.

Se supone igualmente que la capa inferior del suelo tiene una capacidad de percolación representativa (K_p) que se asocia al tipo de subsuelo y su estructura, lo cual está estrechamente relacionado con las características geológicas (litológicas y estructurales) y geomorfológicas de las capas inferiores del suelo. En algunos casos la capacidad de percolación y su variabilidad espacial se pueden inferir por características del relieve, algunos rasgos morfológicos, el desarrollo de la vegetación, el uso y manejo del suelo y la producción de flujo base aguas abajo.

La velocidad de respuesta de este tanque es “intermedia”, que es representada por el tiempo de residencia (Tr_3) del agua en dicho almacenamiento el cual es del orden de días.

- **Tanque 4 (T4): Tanque de almacenamiento del flujo subterráneo**

Se representa por un tanque donde se considera el almacenamiento del agua gravitacional mientras fluye a través del interior del suelo hacia la red de drenaje, en lo que se podría considerar como el acuífero, y donde sale a formar el flujo base.



El volumen de agua que durante el intervalo de tiempo ingresa por percolación (X4) tiene la posibilidad de que una cantidad de agua siga hacia las pérdidas subterráneas (X5) y que el resto sea derivado hacia el almacenamiento subterráneo (T4). La velocidad de respuesta de este tanque es "lenta", que es representada por el tiempo de residencia (Tr_4) del agua en dicho almacenamiento el cual es del orden de decenas de días.

Finalmente, el caudal total en la cuenca para cada intervalo de tiempo es la suma del flujo producido los tanques o almacenamientos de flujo superficial, flujo subsuperficial y flujo subterráneo. Este modelo ha sido utilizado en diferentes cuencas en Colombia, y una descripción más detallada sobre sus ecuaciones constitutivas y metodología de aplicación puede ser encontrada en (Velez & Puricelli, 2009).

El modelo de tanques que se empleó en el presente estudio fue programado en una hoja de cálculo de Microsoft Excel, las series de caudales simuladas incluyen caudales máximos y mínimos, aunque en la realidad las características que poseen los caudales máximos que se presentan de forma instantánea hace que la simulación de estos valores no sea aproximada con simulaciones a nivel diario. Sin embargo, las series sintéticas simuladas fueron objeto de ajuste de funciones de probabilidad para hallar caudales extremos para diversos periodos de retorno. La importancia de la aplicación del modelo de tanques es que permite simular series de caudales en cualquier punto de las tres cuencas, y poder regionalizar parámetros para la generación de series sintéticas en las unidades hidrográficas jerarquizadas (subcuencas y microcuencas).

3.7.3.3 Calibración del modelo hidrológico

Para la calibración del modelo hidrológico, se utilizó la información de series de caudal diaria de las estaciones citadas en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Los datos faltantes fueron complementados mediante técnicas de regresión lineal entre dichas series (ver [Anexo 56](#) de Hidrología – Series.xlsx). Las estaciones de precipitación para cada modelo se eligen considerando cuales pueden representar correctamente la distribución espacial de la lluvia en cada cuenca asociada a una estación de caudal. Para tal fin se construyeron polígonos de Thiessen (Chow, 1994) (Figura 52) obteniendo porcentajes de influencia de cada estación meteorológica en las unidades hidrográficas.



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

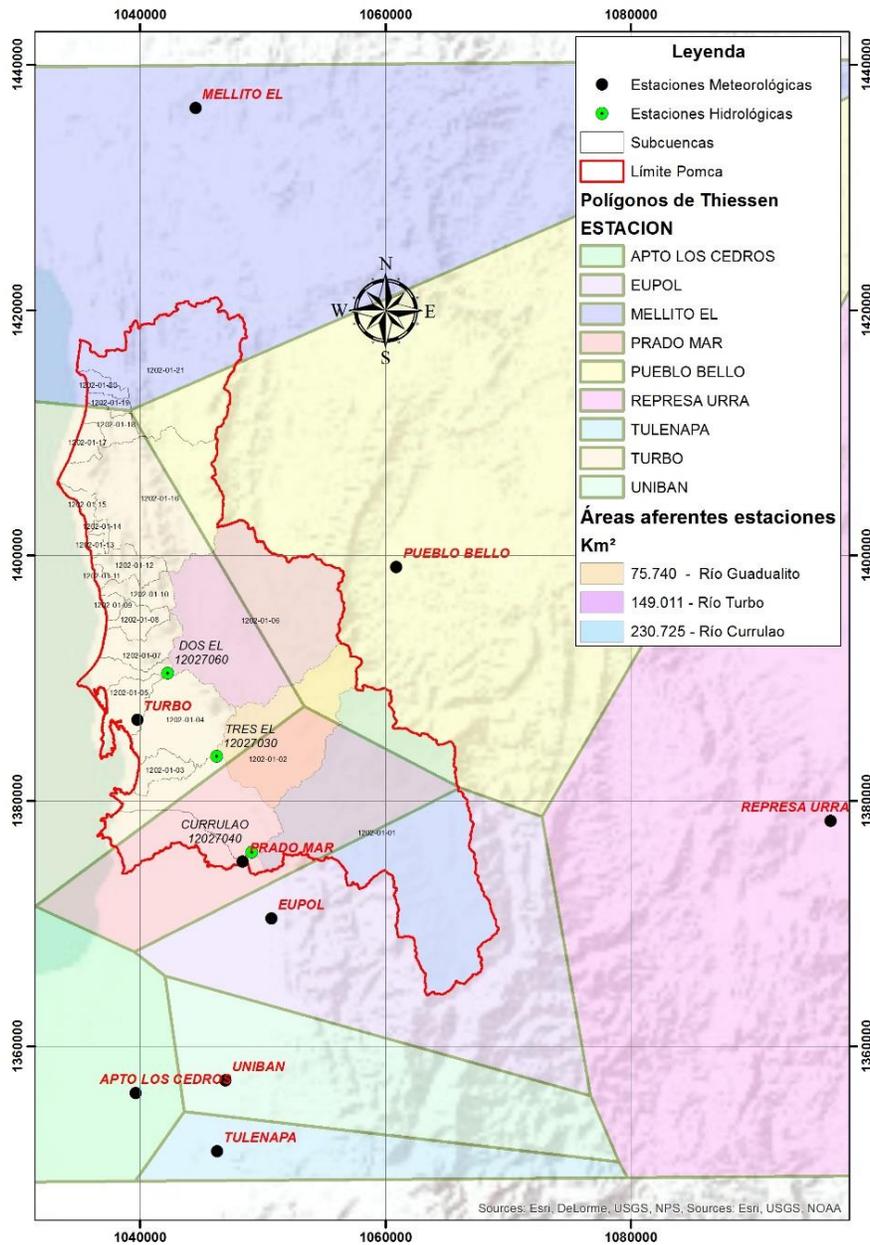


Figura 52. Distribución de polígonos de Thiessen.
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 73 se puede consultar el porcentaje de cobertura de las estaciones meteorológicas para las áreas objeto de calibración: Currulao, Guadualito y Turbo.



Tabla 73. Porcentaje de cobertura estaciones meteorológicas en áreas hidrológicas a calibrar.

CODIGO	ESTACIÓN	TIPO	SUBCUENCA	COD SUB	Área km ²	% COBERTURA
12010100	EUPOL	PM	Río Currulao	1202-01-01	111.693	48%
12020010	PUEBLO BELLO	PM	Río Currulao	1202-01-01	31.042	13%
12010110	PRADO MAR	PM	Río Currulao	1202-01-01	87.990	38%
12025040	TURBO	CO	Río Guadualito	1202-01-02	18.932	25%
12020010	PUEBLO BELLO	PM	Río Guadualito	1202-01-02	18.725	25%
12010110	PRADO MAR	PM	Río Guadualito	1202-01-02	38.083	50%
12025040	TURBO	CO	Río Turbo	1202-01-06	72.428	49%
12020010	PUEBLO BELLO	PM	Río Turbo	1202-01-06	76.583	51%

Fuente: Elaboración Propia.

Como la precipitación es una variable de entrada para el modelo, se pondera el peso de cada una de las estaciones de forma que, en el largo plazo, la precipitación media del modelo en una cuenca o área a calibrar sea igual a la obtenida usando el mapa de precipitación espacial. En la Tabla 74 se establecen rangos para los parámetros del modelo hidrológico.

Tabla 74. Rangos establecidos para los parámetros del modelo hidrológico.

PARÁMETRO	MÍNIMO	MÁXIMO
Almacenamiento Capilar	20	600
Conductividad Capa Superior (mm/día)	1	100
Conductividad Capa Inferior (mm/día)	0,01	10
Perdidas Subterráneas (mm)	0	10
Tiempo Medio de Residencia Flujo Superficial (días)	1	10
Tiempo Medio de Residencia Flujo Subsuperficial (días)	1	10
Tiempo Medio de Residencia Flujo Base (días)	50	200
Exponente Infiltración	1.5	2
Exponente Evaporación	0.1	0.6

Fuente: (CORPOURABA; UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, 2009).

Estos parámetros del modelo se varían manualmente entre los rangos establecidos, ajustándolos a lo que cualitativamente se esperara de cada uno y en este punto se compara la serie gráfica real con la simulada. Además, se construyen las curvas de duración de la serie real y simulada y se comparan.

La calibración se finaliza cuando la serie gráfica simulada represente de forma aceptable la serie real, haciendo especial énfasis en la simulación de las recesiones de los caudales; además, cuando la curva de duración simulada sea similar a la curva real, al menos desde el 5% del porcentaje de tiempo en el que el caudal es excedido.

Para comparar los resultados obtenidos en la calibración del modelo, se calculan además algunos indicadores de error entre la serie simulada y la observada los cuales son:

- **RMSE** (Error Cuadrático Medio).

Ecuación 29. Error Cuadrático Medio.

$$RMSE (m^3 / s) = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^T (Q_{t,obs} - Q_{t,sim})^2}{T}}$$



- $E1$ (coeficiente de eficiencia de Nash tradicional, cuyo óptimo es el 100%).

Ecuación 30. Coeficiente de eficiencia de Nash tradicional

$$E1(\%) = \left(1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_{t,sim} - Q_{t,obs})^2}{\sum_{t=1}^T (Q_{t,obs} - \bar{Q}_{obs})^2} \right) \cdot 100$$

- $E2$ (coeficiente de eficiencia de Nash para la raíz cuadrada de los caudales): minimiza el efecto negativo sobre el indicador de error tradicional dado por las grandes desviaciones que se presentan en los caudales pico.

Ecuación 31. Coeficiente de eficiencia de Nash para la raíz cuadrada de los caudales

$$E2(\%) = \left(1 - \frac{\sum_{t=1}^T (\sqrt{Q_{t,sim}} - \sqrt{Q_{t,obs}})^2}{\sum_{t=1}^T (\sqrt{Q_{t,obs}} - \sqrt{\bar{Q}_{obs}})^2} \right) \cdot 100$$

- BE (error porcentual en el balance, cuyo óptimo es el 0%).

Ecuación 32. Error porcentual en el balance

$$BE(\%) = \frac{\bar{Q}_{sim} - \bar{Q}_{obs}}{\bar{Q}_{obs}} \cdot 100$$

Donde, $Q_{t,obs}$ y $Q_{t,sim}$ son el caudal observado y simulado para el día t respectivamente, \bar{Q}_{obs} y \bar{Q}_{sim} son el caudal medio observado y simulado en el periodo de calibración respectivamente y T es el número total de días del periodo de calibración.

Se calibró el modelo hidrológico descrito en las tres cuencas instrumentadas presentadas en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** La precipitación se ingresó siguiendo la metodología descrita, conservando los valores de precipitación media multianual, presentados en el capítulo de Clima y calculando la evapotranspiración potencial media en cada cuenca con el método de Cenicafé. Los periodos considerados para el proceso de calibración fueron:

- Periodo de calibración estación Currulao: 1 enero 1990 a 31 diciembre de 2003
- Periodo de calibración estación El Dos (río Turbo): 1 enero 1990 a 31 diciembre de 2004.
- Periodo de calibración estación El Tres (río Guadualito): 1 enero 1990 a 31 diciembre de 2007.

En la Tabla 75, se presentan los parámetros obtenidos en el proceso de calibración de las tres cuencas consideradas.



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

Tabla 75. Parámetros calibrados en estaciones hidrológicas.

PARÁMETROS	ESTACIÓN		
	EL DOS	EL TRES	CURRULAO
Capacidad máxima de almacenamiento capilar, H_u (mm/día)	90	350	480
Conductividad hidráulica de la capa superior, K_s (mm/día)	20	50	50
Conductividad hidráulica de la capa inferior, K_p (mm/día)	4	4	5
Pérdidas subterráneas	2	1	2
Tiempo de residencia flujo superficial, Tr_2 (días)	2	2	3
Tiempo de residencia flujo subsuperficial, Tr_3 (días)	5	5	4
Tiempo de residencia flujo subterráneo, Tr_4 (días)	150	100	100
Exponente Infiltración	1.5	3	1.91
Exponente Evaporación	0.2	0.5	0.13
Altura media (msnm)	180	180	359

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 76 se presentan los indicadores de error de las calibraciones realizadas.

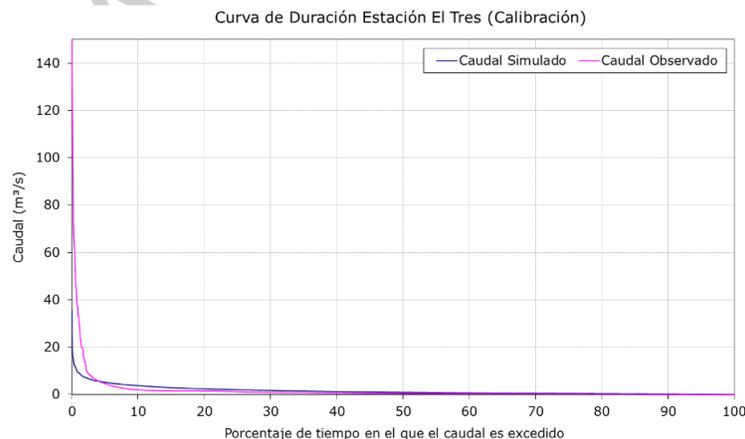
Tabla 76. Criterios de desempeño del modelo de tanques diario calibrado.

ESTACIÓN	CÓDIGO	Q_{obs} (m ³ /s)	Q_{sim} (m ³ /s)	BE (%)	RMSE (m ³ /s)	E1 (%)	E2 (%)
El Tres	12027030	1.730	1.634	5.56	7.238	-0.96	-4.71
Currulao	12027040	5.431	4.897	9.83	7.670	-43.82	-29.29
El Dos	12027060	2.727	2.813	3.13	6.336	-39.61	-22.78

Fuente: Elaboración propia.

El proceso de calibración se considera satisfactorio para las estaciones hidrológicas calibradas, el error del balance (BE) porcentualmente es menor al 10%. En la Figura 53 se pueden observar las curvas de duración construidas en este proceso y se interpreta una muy buena correspondencia para caudales medios a bajos.

Para una mejor interpretación del proceso de calibración, puede consultarse el [Anexo 56](#) de Hidrología – Modelo hidrológico.





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

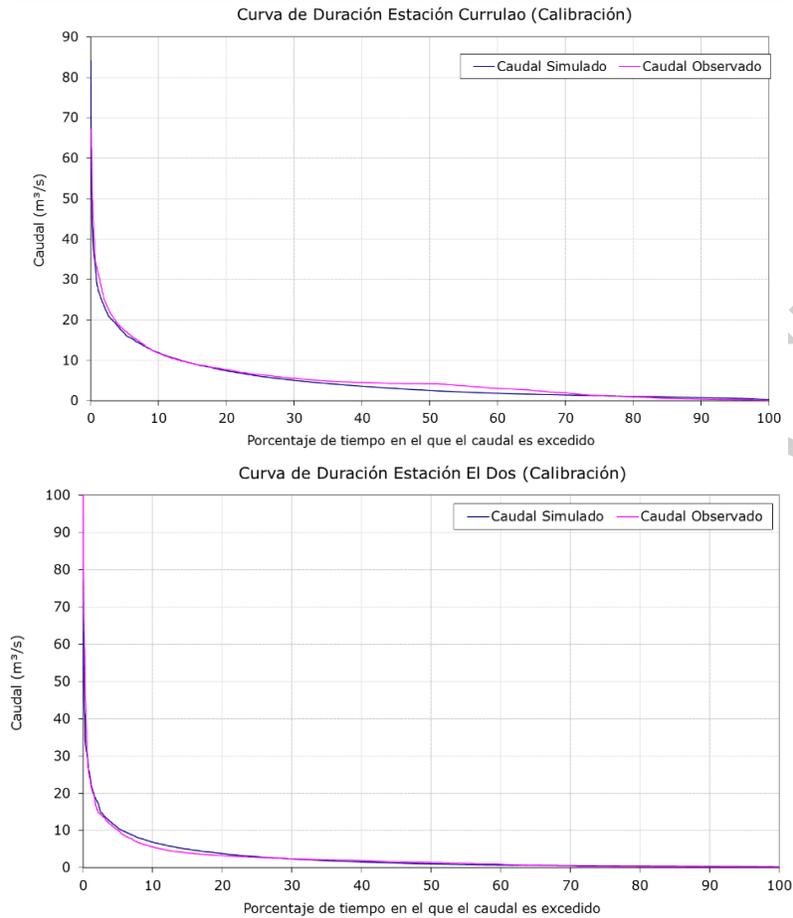


Figura 53. Curvas de duración de las series del modelo de tanques calibrado en las estaciones El Tres-12027030, Currulao-12027040 y El Dos-12027060.
Fuente: Elaboración propia.

3.7.3.4 Validación del modelo hidrológico

Empleando los parámetros del modelo hidrológico calibrado en las estaciones con disponibilidad de información hidrométrica, se procede a validar dicho conjunto de parámetros en periodos de tiempo diferentes al calibrado. Los periodos considerados para el proceso de validación fueron:

- Periodo de validación estación Currulao: 1 enero 2004 a 31 marzo de 2006.
- Periodo de validación estación El Dos (río Turbo): 1 enero 2005 a 31 agosto de 2010.
- Periodo de validación estación El Tres (río Guadualito): 1 enero 2008 a 31 agosto de 2010.

En la Tabla 77 se presentan los indicadores de error de las validaciones realizadas.



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

Tabla 77. Criterios de desempeño del modelo de tanques diario validado.

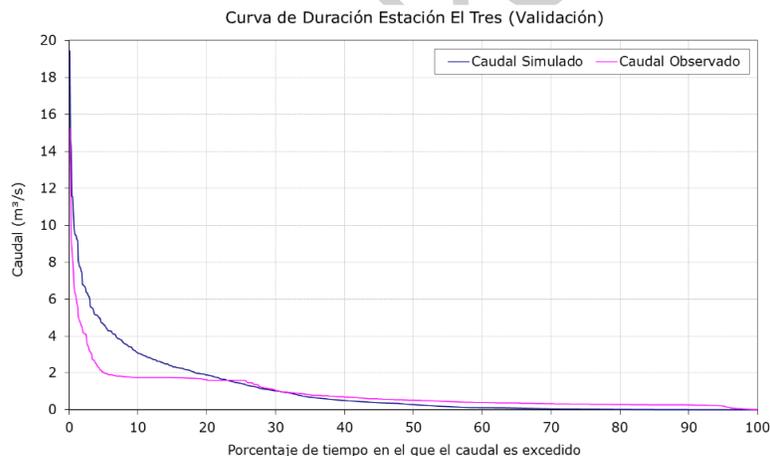
ESTACIÓN	CÓDIGO	Qobs (m ³ /s)	Qsim (m ³ /s)	BE (%)	RMSE (m ³ /s)	E1 (%)	E2 (%)
El Tres	12027030	0.938	1.089	16.14	1.913	-170.99	-149.77
Currulao	12027040	3.043	3.037	0.22	3.281	-30.33	14.96
El Dos	12027060	3.710	3.752	1.12	9.652	-80.87	-47.89

Fuente: Elaboración propia.

El proceso de validación se considera satisfactorio para las estaciones hidrológicas Currulao y El Dos, con errores del balance (BE) porcentualmente menores al 2%. Sin embargo, la estación El Tres (río Guadualito) no tuvo un buen desempeño, los indicadores no son satisfactorios, no obstante, se debe tener en cuenta que la información de precipitación no corresponde en gran parte con los pulsos hidrológicos registrados. Esto limita la regionalización de estos parámetros al resto de la cuenca, solo se consideran simulaciones para ese sistema hidrológico.

En la Figura 54 se pueden observar las curvas de duración construidas en este proceso de validación y se interpreta una muy buena correspondencia para caudales medios a bajos especialmente para el río Turbo en la estación El Dos (12027060), este desempeño está directamente relacionado con la buena calidad de la serie hidrológica de la estación.

Para una mejor interpretación del proceso de calibración, puede consultarse el [Anexo 56](#) de Hidrología – Modelo hidrológico.



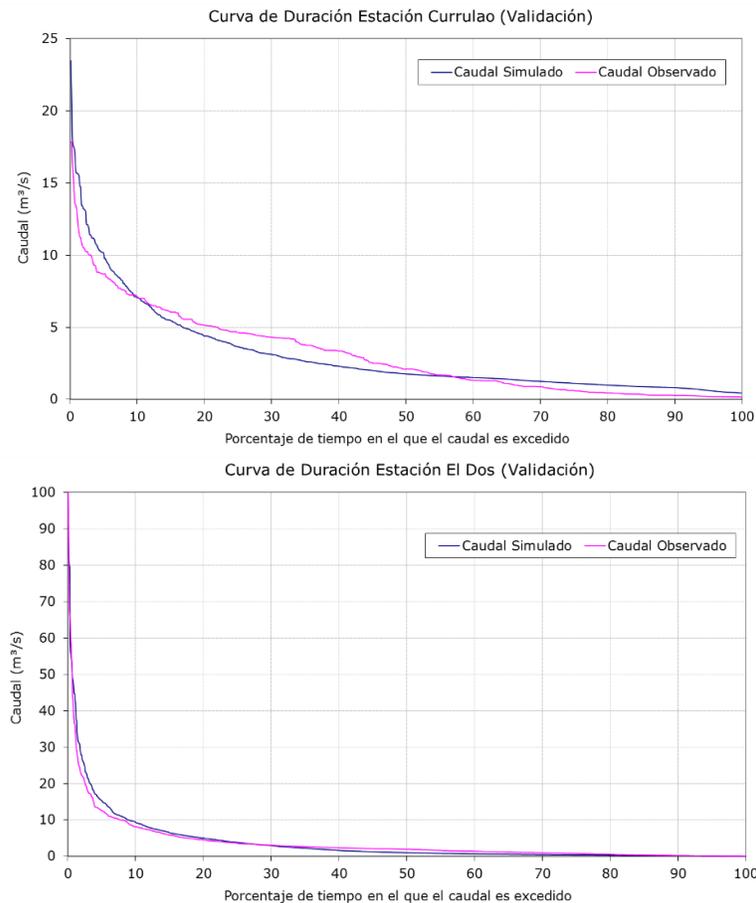


Figura 54. Curvas de duración de las series del modelo de tanques validado en las estaciones El Tres-12027030, Currulao-12027040 y El Dos-12027060.
Fuente: Elaboración propia.

3.7.3.5 Simulación de caudales

Finalizado el proceso de calibración y validación de los modelos hidrológicos, se puede proceder a simular caudales en diferentes puntos sobre la red de drenaje de estas tres cuencas hidrográficas para lo cual, dada la ausencia de información, es necesario suponer que los parámetros del modelo hidrológico en una subcuenca de la región son iguales a algunos de los estimados en el proceso de calibración y validación debe ingresarse la precipitación y evaporación diaria propias de cada cuenca al modelo de la misma forma que se ingresó en el proceso de calibración.

En la Tabla 78 se puede consultar cuales son los parámetros empleados y que series de precipitación fueron usadas, para la generación de caudales diarios sintéticos en las 21 subcuencas y 12 microcuencas jerarquizadas.



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

Tabla 78. Parámetros y entradas regionalizados para las unidades hidrográficas jerarquizadas.

UNIDAD HIDROGRÁFICA	CÓDIGO	PARÁMETROS HIDROLÓGICAS		EST. EI DOS	EST. METEOROLÓGICAS				
		EL TRES	CURRU LAO		EUP OL	PUEBLO BELLO	PRADO MAR	TUR BO	EL MELLIT O
Río Currulao	1202-01-01		X		X	X	X		
Río Guadualito	1202-01-02	X				X	X	X	
Quebrada Guadualito	1202-01-03	X				X	X	X	
Quebrada El Cuna	1202-01-04	X				X	X	X	
Zona Urbana Turbo	1202-01-05	X				X	X	X	
Río Turbo	1202-01-06			X		X	X	X	
Quebrada Aguas Claras - Estorbo	1202-01-07			X		X	X	X	
Quebrada Cope	1202-01-08			X		X	X	X	
Quebrada NN1	1202-01-09			X		X	X	X	
Río Punta de Piedra	1202-01-10			X		X	X	X	
Quebrada NN2	1202-01-11			X		X	X	X	
Río Cirilo	1202-01-12			X		X	X	X	
Quebrada NN3	1202-01-13			X		X	X	X	
Quebrada Tie	1202-01-14			X		X	X	X	
Quebrada NN4	1202-01-15			X		X	X	X	
Río Caiman Nuevo	1202-01-16			X		X	X	X	
Quebrada Sea	1202-01-17			X		X	X	X	
Río Totumo	1202-01-18			X		X		X	X
Quebrada Manuela	1202-01-19			X		X		X	X
Quebrada Anguilla La	1202-01-20			X		X		X	X
Río Caimán Viejo - Tigre	1202-01-21			X		X		X	X
Río Caraballo	1202-01-01-01		X		X	X	X		
Quebrada NN	1202-01-01-02		X		X	X	X		
Quebrada El Limón	1202-01-02-01	X				X	X	X	



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

UNIDAD HIDROGRÁFICA	CÓDIGO	PARÁMETROS HIDROLÓGICAS		EST. EI DOS	EST. METEOROLÓGICAS				
		EL TRES	CURRU LAO		EUP OL	PUEBLO BELLO	PRADO MAR	TUR BO	EL MELLIT O
Quebrada Mulatos	Alto 1202-01-02-02	X				X	X	X	
Quebrada Los Indios	1202-01-02-03	X				X	X	X	
Río Turbo	1202-01-06-01			X		X	X	X	
Quebrada Felipe	San 1202-01-06-02			X		X	X	X	
Quebrada La Mina	1202-01-06-03			X		X	X	X	
Quebrada Copez	1202-01-07-01			X		X	X	X	
Río Cirilo	1202-01-12-01			X		X	X	X	
Quebrada NN	1202-01-12-02			X		X	X	X	
Quebrada Tié	1202-01-14-01			X		X	X	X	

Fuente: Elaboración propia.

• **Simulación de caudales diarios**

Con los parámetros de calibración de las series de caudal de cada una de cuencas de los ríos estudiados y reportados en la Tabla 75, se simulan caudales a resolución diaria para las unidades hidrográficas jerarquizadas (subcuencas y microcuencas), empleando las series meteorológicas correspondientes según el análisis por Thiessen (Tabla 78). El periodo de simulación es de 26 años (1990 – 2015), dada la longitud de los registros de precipitación.

Los resultados de simulación pueden ser consultados en el [Anexo 58](#) de Hidrología – Simulación en subcuencas y Simulación en microcuencas. En la Tabla 79 se presentan los caudales medios, mínimos y máximos agregados a nivel mensual para las 21 subcuencas jerarquizadas, de la misma manera en la Tabla 80 se presentan dichos caudales para las 12 microcuencas delimitadas.



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

Tabla 79. Caudales medios, mínimos y máximos promedios simulados para las subcuencas jerarquizadas.

SUBCUENCAS	Caudal m ³ /s	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1202-01-01	Q_mín	1.000	0.755	0.553	0.409	0.367	0.345	0.305	0.355	0.759	1.380	1.606	1.367	0.305
	Q_med	3.848	1.894	1.515	2.055	5.567	6.073	6.394	7.310	6.834	7.884	8.107	7.134	5.385
	Q_máx	48.039	15.688	14.574	26.641	64.335	40.944	78.963	47.393	57.445	95.961	57.696	144.132	144.132
1202-01-02	Q_mín	0.034	0.026	0.019	0.014	0.010	0.009	0.093	0.079	0.058	0.054	0.047	0.040	0.009
	Q_med	0.770	0.333	0.315	2.186	5.244	3.666	2.967	3.403	2.945	2.277	3.260	2.910	2.523
	Q_máx	45.800	11.275	16.089	86.128	143.310	86.189	126.741	82.965	121.454	114.919	87.706	154.376	154.376
1202-01-03	Q_mín	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.007	0.006	0.004	0.004	0.004	0.003	0.001
	Q_med	0.058	0.025	0.024	0.166	0.399	0.278	0.225	0.258	0.223	0.172	0.247	0.221	0.191
	Q_máx	3.471	0.847	1.141	6.601	11.024	6.613	9.746	6.358	9.327	8.788	6.749	11.883	11.883
1202-01-04	Q_mín	0.012	0.009	0.006	0.005	0.003	0.003	0.031	0.027	0.020	0.019	0.016	0.014	0.003
	Q_med	0.262	0.114	0.107	0.747	1.795	1.252	1.013	1.161	1.005	0.774	1.111	0.994	0.861
	Q_máx	15.622	3.818	5.228	29.624	49.426	29.670	43.701	28.534	41.835	39.461	30.258	53.267	53.267
1202-01-05	Q_mín	0.004	0.003	0.002	0.002	0.001	0.001	0.011	0.010	0.007	0.007	0.006	0.005	0.001
	Q_med	0.095	0.041	0.039	0.272	0.655	0.456	0.369	0.423	0.366	0.282	0.405	0.362	0.314
	Q_máx	5.689	1.387	1.871	10.818	18.067	10.839	15.973	10.420	15.286	14.403	11.062	19.475	19.475
1202-01-06	Q_mín	0.097	0.080	0.065	0.053	0.043	0.038	0.119	0.149	0.122	0.118	0.147	0.119	0.038
	Q_med	1.006	0.566	0.664	2.168	6.526	3.942	3.362	4.305	3.711	2.554	3.306	3.247	2.947
	Q_máx	24.008	5.546	11.733	52.857	92.824	69.157	56.528	66.510	110.086	53.933	48.260	129.575	129.575
1202-01-07	Q_mín	0.010	0.008	0.007	0.005	0.004	0.004	0.012	0.015	0.012	0.012	0.015	0.012	0.004
	Q_med	0.100	0.057	0.066	0.217	0.657	0.394	0.335	0.431	0.371	0.254	0.329	0.326	0.295
	Q_máx	2.360	0.551	1.170	5.359	9.493	7.060	5.760	6.787	11.218	5.483	4.907	13.272	13.272
1202-01-08	Q_mín	0.006	0.005	0.004	0.003	0.002	0.002	0.007	0.009	0.007	0.007	0.008	0.007	0.002
	Q_med	0.057	0.033	0.038	0.124	0.377	0.226	0.192	0.247	0.213	0.146	0.189	0.187	0.169
	Q_máx	1.352	0.316	0.671	3.073	5.446	4.049	3.304	3.893	6.434	3.145	2.814	7.613	7.613
1202-01-09	Q_mín	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.003	0.002	0.002	0.003	0.002	0.001
	Q_med	0.018	0.010	0.012	0.039	0.119	0.071	0.061	0.078	0.067	0.046	0.059	0.059	0.053
	Q_máx	0.426	0.100	0.212	0.973	1.727	1.284	1.047	1.234	2.039	0.996	0.892	2.415	2.415
1202-01-10	Q_mín	0.007	0.005	0.004	0.004	0.003	0.003	0.008	0.010	0.008	0.008	0.010	0.008	0.003
	Q_med	0.068	0.038	0.045	0.146	0.441	0.266	0.226	0.290	0.250	0.172	0.222	0.219	0.199
	Q_máx	1.606	0.373	0.789	3.584	6.319	4.704	3.842	4.523	7.482	3.662	3.277	8.826	8.826



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

SUBCUENCAS	Caudal m ³ /s	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1202-01-11	Q_mín	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001	0.000
	Q_med	0.010	0.006	0.007	0.022	0.068	0.041	0.034	0.044	0.038	0.026	0.034	0.034	0.030
	Q_máx	0.242	0.057	0.121	0.553	0.982	0.730	0.595	0.701	1.159	0.566	0.507	1.373	1.373
1202-01-12	Q_mín	0.007	0.006	0.005	0.004	0.003	0.003	0.009	0.011	0.009	0.009	0.011	0.009	0.003
	Q_med	0.074	0.042	0.049	0.160	0.482	0.290	0.247	0.317	0.273	0.188	0.243	0.239	0.217
	Q_máx	1.756	0.407	0.862	3.912	6.894	5.132	4.192	4.935	8.164	3.996	3.576	9.629	9.629
1202-01-13	Q_mín	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001
	Q_med	0.014	0.008	0.009	0.030	0.090	0.054	0.046	0.059	0.051	0.035	0.045	0.045	0.041
	Q_máx	0.323	0.076	0.161	0.739	1.311	0.975	0.795	0.937	1.548	0.756	0.677	1.833	1.833
1202-01-14	Q_mín	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001
	Q_med	0.014	0.008	0.009	0.029	0.089	0.053	0.045	0.058	0.050	0.034	0.044	0.044	0.040
	Q_máx	0.319	0.075	0.158	0.722	1.278	0.951	0.776	0.914	1.511	0.739	0.661	1.787	1.787
1202-01-15	Q_mín	0.003	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.003	0.004	0.003	0.003	0.004	0.003	0.001
	Q_med	0.027	0.015	0.018	0.058	0.176	0.105	0.090	0.115	0.099	0.068	0.088	0.087	0.079
	Q_máx	0.629	0.147	0.314	1.438	2.553	1.898	1.548	1.824	3.014	1.473	1.318	3.570	3.570
1202-01-16	Q_mín	0.058	0.048	0.039	0.032	0.026	0.023	0.071	0.090	0.073	0.071	0.088	0.072	0.023
	Q_med	0.602	0.340	0.398	1.301	3.932	2.365	2.013	2.584	2.227	1.529	1.978	1.952	1.769
	Q_máx	14.264	3.317	7.022	31.980	56.449	42.011	34.301	40.396	66.804	32.685	29.249	78.869	78.869
1202-01-17	Q_mín	0.004	0.003	0.003	0.002	0.002	0.001	0.005	0.006	0.005	0.005	0.006	0.005	0.001
	Q_med	0.039	0.022	0.026	0.085	0.257	0.154	0.131	0.168	0.145	0.099	0.128	0.127	0.115
	Q_máx	0.918	0.215	0.458	2.099	3.725	2.769	2.258	2.662	4.398	2.149	1.923	5.210	5.210
1202-01-18	Q_mín	0.012	0.010	0.008	0.006	0.006	0.014	0.019	0.015	0.014	0.021	0.016	0.014	0.006
	Q_med	0.068	0.038	0.041	0.176	0.344	0.247	0.202	0.237	0.209	0.158	0.246	0.247	0.184
	Q_máx	2.180	0.181	0.825	3.229	4.031	3.853	2.991	2.257	4.115	2.279	3.608	8.385	8.385
1202-01-19	Q_mín	0.005	0.004	0.004	0.003	0.003	0.006	0.009	0.007	0.007	0.010	0.008	0.007	0.003
	Q_med	0.031	0.017	0.019	0.081	0.158	0.113	0.093	0.109	0.096	0.073	0.113	0.113	0.085
	Q_máx	1.002	0.083	0.379	1.485	1.854	1.772	1.375	1.038	1.893	1.047	1.659	3.858	3.858
1202-01-20	Q_mín	0.006	0.005	0.004	0.003	0.003	0.007	0.010	0.008	0.007	0.011	0.008	0.007	0.003
	Q_med	0.035	0.019	0.021	0.091	0.178	0.128	0.105	0.122	0.108	0.082	0.127	0.128	0.095
	Q_máx	1.128	0.092	0.426	1.676	2.090	1.999	1.551	1.170	2.134	1.179	1.870	4.355	4.355
1202-01-21	Q_mín	0.126	0.104	0.085	0.069	0.064	0.154	0.200	0.163	0.154	0.233	0.177	0.155	0.064



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

SUBCUENCAS	Caudal m ³ /s	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
	Q_med	0.735	0.406	0.440	1.899	3.716	2.672	2.190	2.565	2.264	1.719	2.659	2.664	1.994
	Q_máx	23.531	1.999	8.960	34.711	43.411	41.442	32.163	24.314	44.285	24.622	38.840	90.013	90.013

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 80. Caudales medios, mínimos y máximos promedios simulados para las microcuencas jerarquizadas.

MICROCUENCAS	Caudal m ³ /s	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1202-01-01-01	Q_mín	0.023	0.017	0.013	0.009	0.008	0.008	0.007	0.008	0.017	0.032	0.037	0.031	0.007
	Q_med	0.088	0.043	0.035	0.047	0.127	0.139	0.146	0.167	0.156	0.180	0.185	0.163	0.123
	Q_máx	1.098	0.359	0.334	0.609	1.470	0.936	1.803	1.083	1.313	2.192	1.318	3.290	3.290
1202-01-01-02	Q_mín	0.015	0.011	0.008	0.006	0.005	0.005	0.005	0.007	0.013	0.022	0.023	0.020	0.005
	Q_med	0.056	0.028	0.022	0.032	0.085	0.091	0.095	0.109	0.100	0.116	0.119	0.104	0.080
	Q_máx	0.695	0.232	0.227	0.392	0.921	0.602	1.111	0.681	0.827	1.363	0.812	2.000	2.000
1202-01-02-01	Q_mín	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Q_med	0.003	0.001	0.001	0.008	0.019	0.013	0.011	0.013	0.011	0.008	0.012	0.011	0.009
	Q_máx	0.169	0.041	0.059	0.317	0.528	0.318	0.467	0.306	0.448	0.423	0.323	0.569	0.569
1202-01-02-02	Q_mín	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Q_med	0.002	0.001	0.001	0.006	0.014	0.010	0.008	0.009	0.008	0.006	0.009	0.008	0.007
	Q_máx	0.122	0.032	0.059	0.214	0.348	0.215	0.308	0.206	0.298	0.285	0.212	0.373	0.373
1202-01-02-03	Q_mín	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Q_med	0.005	0.002	0.002	0.014	0.035	0.024	0.020	0.023	0.020	0.015	0.022	0.019	0.017
	Q_máx	0.304	0.076	0.117	0.563	0.933	0.563	0.825	0.543	0.792	0.754	0.570	1.004	1.004
1202-01-06-01	Q_mín	0.091	0.076	0.062	0.050	0.041	0.035	0.113	0.140	0.114	0.111	0.138	0.112	0.035
	Q_med	0.948	0.534	0.626	2.043	6.146	3.714	3.169	4.057	3.497	2.407	3.116	3.059	2.776
	Q_máx	22.645	5.227	11.058	49.756	87.327	65.070	53.194	62.580	103.592	50.760	45.419	121.890	121.890
1202-01-06-02	Q_mín	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000
	Q_med	0.006	0.003	0.004	0.012	0.037	0.023	0.019	0.025	0.021	0.015	0.019	0.019	0.017
	Q_máx	0.137	0.032	0.067	0.301	0.529	0.394	0.322	0.379	0.627	0.307	0.275	0.738	0.738
1202-01-06-03	Q_mín	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000
	Q_med	0.007	0.004	0.004	0.015	0.044	0.026	0.023	0.029	0.025	0.017	0.022	0.022	0.020
	Q_máx	0.162	0.037	0.079	0.352	0.617	0.460	0.376	0.442	0.732	0.359	0.321	0.860	0.860



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

MICROCUENCAS	Caudal m ³ /s	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1202-01-07-01	Q_mín	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000
	Q_med	0.009	0.005	0.006	0.019	0.057	0.035	0.030	0.038	0.033	0.023	0.029	0.029	0.026
	Q_máx	0.213	0.049	0.104	0.463	0.809	0.603	0.494	0.580	0.961	0.472	0.422	1.129	1.129
1202-01-12-01	Q_mín	0.007	0.005	0.004	0.004	0.003	0.003	0.008	0.010	0.008	0.008	0.010	0.008	0.003
	Q_med	0.069	0.039	0.045	0.148	0.446	0.269	0.229	0.294	0.253	0.174	0.225	0.222	0.201
	Q_máx	1.627	0.377	0.799	3.624	6.384	4.753	3.883	4.571	7.561	3.701	3.312	8.917	8.917
1202-01-12-02	Q_mín	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Q_med	0.001	0.001	0.001	0.003	0.008	0.005	0.004	0.005	0.004	0.003	0.004	0.004	0.003
	Q_máx	0.028	0.007	0.014	0.063	0.110	0.082	0.067	0.079	0.131	0.064	0.057	0.154	0.154
1202-01-14-01	Q_mín	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Q_med	0.001	0.000	0.000	0.001	0.004	0.003	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
	Q_máx	0.016	0.004	0.008	0.036	0.064	0.047	0.039	0.046	0.075	0.037	0.033	0.089	0.089

Fuente: Elaboración propia.



3.7.3.6 Análisis de variabilidad espacial de caudales

El indicador con el que se debe determinar la variabilidad espacial del régimen de caudales de una cuenca a nivel intranual, es el rendimiento hídrico. El cual fue evaluado y expresado en litros/seg-km² a nivel mensual y anual para condiciones, medias, mínimas y máximas en cada unidad hidrográficas (ver Tabla 81 y Tabla 82).

De manera espacial se presenta la variabilidad de este indicador a nivel mensual con referencia porcentual con el valor medio anual del rendimiento. Es decir, en el gráfico por subcuenca se presenta el centroide de cada unidad con un tamaño y color que indica la diferencia porcentual con respecto al valor medio anual.

El rendimiento hídrico en la cuenca del río Turbo Currulao para condiciones promedio oscila entre los 17 y 21 l/s-km².

De la Figura 55 a la Figura 57, se puede consultar la variabilidad espacial del rendimiento hídrico, expresado en porcentaje. Esta representación se puede interpretar de la siguiente manera: para el mes de enero el valor del rendimiento hídrico de la subcuenca del río Currulao (1202-01-01) representa el 70% del valor anual, por su parte en la zona norte de la cuenca solo la representación para este mes es del 30%.

La mayor variabilidad del rendimiento hídrico se obtiene para el mes de mayo, en este periodo la variación es del 123 % con respecto al valor anual promedio.



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

Tabla 81. Rendimiento hídrico subcuencas.

SUBCUENCAS	Rend. Hídrico l/s-km ²	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1202-01-01	RH_mín	3.77	2.85	2.08	1.54	1.39	1.30	1.15	1.34	2.86	5.20	6.06	5.15	1.15
	RH_med	14.51	7.14	5.71	7.75	20.99	22.90	24.11	27.57	25.77	29.73	30.57	26.90	20.31
	RH_máx	181.17	59.16	54.96	100.47	242.62	154.41	297.79	178.73	216.64	361.89	217.58	543.55	543.55
1202-01-02	RH_mín	0.28	0.21	0.15	0.11	0.08	0.07	0.74	0.63	0.47	0.44	0.38	0.32	0.07
	RH_med	6.17	2.67	2.52	17.52	42.04	29.39	23.79	27.28	23.61	18.25	26.14	23.33	20.23
	RH_máx	367.17	90.39	128.98	690.46	1148.87	690.95	1016.04	665.10	973.66	921.26	703.11	1237.58	1237.58
1202-01-03	RH_mín	0.27	0.20	0.15	0.11	0.08	0.07	0.73	0.63	0.46	0.43	0.37	0.31	0.07
	RH_med	6.06	2.63	2.47	17.28	41.56	28.95	23.42	26.83	23.24	17.88	25.69	23.00	19.92
	RH_máx	361.13	88.07	118.75	686.75	1146.90	688.03	1013.97	661.48	970.33	914.29	702.18	1236.23	1236.23
1202-01-04	RH_mín	0.27	0.20	0.15	0.11	0.08	0.07	0.73	0.63	0.46	0.43	0.37	0.31	0.07
	RH_med	6.09	2.64	2.49	17.34	41.68	29.06	23.52	26.95	23.33	17.98	25.80	23.08	20.00
	RH_máx	362.69	88.64	121.36	687.74	1147.46	688.82	1014.56	662.44	971.23	916.13	702.46	1236.64	1236.64
1202-01-05	RH_mín	0.27	0.20	0.15	0.11	0.08	0.07	0.73	0.63	0.46	0.43	0.37	0.31	0.07
	RH_med	6.06	2.63	2.47	17.28	41.56	28.95	23.42	26.83	23.24	17.89	25.69	23.00	19.92
	RH_máx	361.13	88.07	118.75	686.75	1146.90	688.04	1013.98	661.48	970.34	914.30	702.18	1236.24	1236.24
1202-01-06	RH_mín	0.61	0.50	0.41	0.33	0.27	0.23	0.75	0.93	0.76	0.74	0.92	0.75	0.23
	RH_med	6.29	3.54	4.15	13.57	40.84	24.67	21.04	26.94	23.23	15.98	20.69	20.32	18.44
	RH_máx	150.24	34.70	73.42	330.77	580.87	432.77	353.74	416.21	688.89	337.50	302.00	810.85	810.85
1202-01-07	RH_mín	0.59	0.49	0.40	0.33	0.26	0.23	0.72	0.91	0.75	0.72	0.89	0.73	0.23
	RH_med	6.11	3.46	4.04	13.21	40.01	24.00	20.40	26.22	22.59	15.49	20.03	19.83	17.95
	RH_máx	143.72	33.58	71.27	326.35	578.13	429.92	350.76	413.34	683.16	333.93	298.85	808.24	808.24
1202-01-08	RH_mín	0.59	0.49	0.40	0.33	0.26	0.23	0.72	0.91	0.75	0.72	0.89	0.73	0.23
	RH_med	6.10	3.46	4.03	13.19	39.97	23.97	20.38	26.19	22.56	15.47	20.01	19.81	17.93
	RH_máx	143.49	33.53	71.20	326.09	577.79	429.65	350.53	413.07	682.70	333.69	298.63	807.80	807.80
1202-01-09	RH_mín	0.59	0.49	0.40	0.32	0.26	0.23	0.71	0.91	0.74	0.72	0.89	0.72	0.23
	RH_med	6.07	3.44	4.02	13.15	39.88	23.88	20.29	26.10	22.48	15.40	19.91	19.75	17.87
	RH_máx	142.50	33.37	71.05	325.77	578.19	429.80	350.52	413.18	682.70	333.55	298.51	808.58	808.58
1202-01-10	RH_mín	0.60	0.50	0.40	0.33	0.27	0.23	0.73	0.92	0.75	0.73	0.91	0.74	0.23
	RH_med	6.21	3.51	4.10	13.41	40.47	24.37	20.76	26.63	22.95	15.77	20.40	20.10	18.22



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

SUBCUENCAS	Rend. Hídrico l/s-km ²	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1202-01-11	RH_máx	147.37	34.21	72.41	328.83	579.67	431.52	352.43	414.95	686.38	335.93	300.62	809.71	809.71
	RH_mín	0.59	0.49	0.39	0.32	0.26	0.23	0.71	0.91	0.74	0.72	0.89	0.72	0.23
	RH_med	6.05	3.43	4.00	13.11	39.76	23.81	20.22	26.01	22.41	15.35	19.85	19.69	17.81
1202-01-12	RH_máx	141.95	33.26	70.84	324.86	576.76	428.70	349.61	412.13	680.92	332.66	297.71	806.62	806.62
	RH_mín	0.60	0.50	0.40	0.33	0.27	0.23	0.73	0.92	0.76	0.73	0.91	0.74	0.23
	RH_med	6.22	3.51	4.11	13.42	40.51	24.40	20.79	26.66	22.97	15.79	20.43	20.13	18.25
1202-01-13	RH_máx	147.66	34.26	72.51	329.05	579.84	431.69	352.59	415.12	686.69	336.12	300.78	809.90	809.90
	RH_mín	0.59	0.49	0.39	0.32	0.26	0.23	0.71	0.91	0.74	0.72	0.89	0.72	0.23
	RH_med	6.05	3.43	4.01	13.11	39.75	23.81	20.23	26.01	22.41	15.35	19.85	19.68	17.81
1202-01-14	RH_máx	142.02	33.26	70.83	324.75	576.43	428.48	349.44	411.92	680.60	332.52	297.58	806.14	806.14
	RH_mín	0.59	0.49	0.40	0.33	0.26	0.23	0.72	0.91	0.75	0.72	0.89	0.73	0.23
	RH_med	6.11	3.46	4.04	13.22	40.02	24.03	20.43	26.25	22.62	15.51	20.07	19.84	17.97
1202-01-15	RH_máx	144.17	33.64	71.27	326.17	577.20	429.33	350.36	412.78	682.36	333.63	298.57	806.79	806.79
	RH_mín	0.59	0.49	0.39	0.32	0.26	0.23	0.71	0.91	0.74	0.72	0.89	0.72	0.23
	RH_med	6.06	3.44	4.01	13.12	39.79	23.83	20.25	26.04	22.43	15.37	19.87	19.70	17.83
1202-01-16	RH_máx	142.19	33.30	70.90	325.05	576.92	428.85	349.75	412.28	681.20	332.82	297.85	806.81	806.81
	RH_mín	0.60	0.49	0.40	0.33	0.27	0.23	0.73	0.92	0.75	0.73	0.90	0.73	0.23
	RH_med	6.18	3.49	4.09	13.35	40.35	24.27	20.66	26.52	22.85	15.69	20.30	20.03	18.15
1202-01-17	RH_máx	146.37	34.04	72.06	328.16	579.26	431.09	351.98	414.52	685.52	335.39	300.14	809.32	809.32
	RH_mín	0.59	0.49	0.40	0.32	0.26	0.23	0.71	0.91	0.74	0.72	0.89	0.72	0.23
	RH_med	6.06	3.44	4.01	13.13	39.82	23.85	20.26	26.06	22.44	15.38	19.88	19.72	17.84
1202-01-18	RH_máx	142.25	33.32	70.94	325.29	577.38	429.19	350.02	412.60	681.72	333.07	298.07	807.46	807.46
	RH_mín	1.30	1.08	0.88	0.72	0.66	1.55	2.08	1.69	1.60	2.39	1.84	1.60	0.66
	RH_med	7.63	4.21	4.57	19.73	38.60	27.69	22.69	26.58	23.44	17.78	27.57	27.68	20.68
1202-01-19	RH_máx	244.51	20.32	92.57	362.26	452.23	432.27	335.48	253.24	461.68	255.67	404.72	940.66	940.66
	RH_mín	1.30	1.08	0.88	0.72	0.66	1.54	2.07	1.68	1.60	2.38	1.84	1.60	0.66
	RH_med	7.62	4.21	4.57	19.72	38.57	27.67	22.67	26.55	23.41	17.75	27.54	27.67	20.66
1202-01-20	RH_máx	244.38	20.22	92.42	362.38	452.21	432.36	335.55	253.22	461.73	255.51	404.72	941.18	941.18
	RH_mín	1.29	1.07	0.87	0.71	0.66	1.52	2.06	1.68	1.59	2.36	1.83	1.59	0.66
	RH_med	7.59	4.19	4.55	19.66	38.43	27.54	22.56	26.43	23.30	17.66	27.42	27.57	20.58



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

SUBCUENCAS	Rend. Hídrico l/s-km ²	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
	RH_máx	243.53	19.96	91.87	361.79	451.14	431.57	334.94	252.59	460.77	254.54	403.81	940.20	940.20
	RH_mín	1.32	1.09	0.89	0.73	0.67	1.61	2.09	1.70	1.61	2.44	1.86	1.62	0.67
1202-01-21	RH_med	7.69	4.25	4.60	19.87	38.89	27.96	22.91	26.84	23.69	17.99	27.83	27.88	20.87
	RH_máx	246.25	20.92	93.77	363.26	454.30	433.70	336.59	254.45	463.45	257.67	406.46	941.99	941.99

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 82. Rendimiento hídrico microcuencas.

MICROCUENCAS	Rend. Hídrico l/s-km ²	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1202-01-01-01	RH_mín	3.78	2.85	2.09	1.54	1.39	1.31	1.16	1.35	2.88	5.24	6.07	5.16	1.16
	RH_med	14.54	7.16	5.72	7.78	21.06	22.96	24.17	27.63	25.83	29.80	30.64	26.95	20.35
	RH_máx	181.47	59.30	55.12	100.69	242.95	154.71	298.05	178.99	216.97	362.31	217.78	543.83	543.83
1202-01-01-02	RH_mín	4.08	3.08	2.25	1.67	1.52	1.48	1.40	1.86	3.65	6.09	6.49	5.58	1.40
	RH_med	15.42	7.67	6.18	8.83	23.54	25.21	26.32	30.04	27.81	32.11	32.91	28.72	22.06
	RH_máx	192.44	64.33	62.92	108.53	254.85	166.62	307.37	188.45	228.90	377.30	224.64	553.47	553.47
1202-01-02-01	RH_mín	0.27	0.21	0.15	0.11	0.08	0.07	0.74	0.63	0.46	0.43	0.37	0.31	0.07
	RH_med	6.11	2.64	2.50	17.36	41.65	29.10	23.55	27.01	23.38	18.06	25.88	23.10	20.03
	RH_máx	363.53	89.38	126.81	684.45	1139.33	685.02	1007.57	659.31	965.39	913.03	697.30	1227.39	1227.39
1202-01-02-02	RH_mín	0.33	0.25	0.19	0.14	0.10	0.09	0.87	0.67	0.49	0.46	0.41	0.35	0.09
	RH_med	7.00	2.98	2.87	19.27	45.36	32.43	26.34	30.37	26.22	20.83	29.25	25.65	22.38
	RH_máx	407.08	107.87	196.05	716.07	1164.50	718.28	1032.21	690.24	997.75	953.73	710.91	1249.64	1249.64
1202-01-02-03	RH_mín	0.29	0.22	0.16	0.12	0.09	0.08	0.77	0.64	0.47	0.44	0.38	0.32	0.08
	RH_med	6.34	2.73	2.59	17.87	42.70	30.00	24.30	27.91	24.13	18.78	26.77	23.79	20.66
	RH_máx	375.47	94.01	143.72	694.98	1150.28	694.81	1017.78	669.53	977.27	930.13	703.58	1238.00	1238.00
1202-01-06-01	RH_mín	0.61	0.50	0.41	0.34	0.27	0.24	0.75	0.93	0.76	0.74	0.92	0.75	0.24
	RH_med	6.31	3.55	4.16	13.59	40.89	24.71	21.08	26.99	23.27	16.02	20.74	20.35	18.47
	RH_máx	150.67	34.78	73.58	331.06	581.05	432.95	353.93	416.39	689.26	337.74	302.20	811.01	811.01
1202-01-06-02	RH_mín	0.61	0.50	0.41	0.33	0.27	0.23	0.75	0.93	0.76	0.73	0.92	0.74	0.23
	RH_med	6.28	3.54	4.15	13.54	40.72	24.61	21.00	26.88	23.17	15.96	20.66	20.27	18.40
	RH_máx	150.15	34.65	73.29	329.58	578.28	430.92	352.29	414.44	686.07	336.20	300.82	807.11	807.11



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

MICROCUENCAS	Rend. Hídrico l/s-km ²	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1202-01-06-03	RH_mín	0.62	0.51	0.41	0.34	0.28	0.24	0.76	0.94	0.77	0.74	0.93	0.76	0.24
	RH_med	6.38	3.59	4.21	13.75	41.30	25.01	21.35	27.31	23.54	16.22	21.01	20.58	18.69
	RH_máx	153.09	35.24	74.53	333.78	584.51	435.75	356.38	419.10	694.02	340.27	304.45	815.53	815.53
1202-01-07-01	RH_mín	0.61	0.51	0.41	0.34	0.28	0.24	0.76	0.94	0.77	0.74	0.93	0.76	0.24
	RH_med	6.38	3.58	4.20	13.73	41.18	24.96	21.33	27.26	23.50	16.21	20.99	20.54	18.65
	RH_máx	153.20	35.20	74.44	332.38	581.25	433.44	354.61	416.91	690.55	338.70	303.04	810.78	810.78
1202-01-12-01	RH_mín	0.60	0.50	0.40	0.33	0.27	0.23	0.74	0.92	0.76	0.73	0.91	0.74	0.23
	RH_med	6.22	3.51	4.11	13.43	40.52	24.41	20.80	26.67	22.98	15.79	20.44	20.13	18.25
	RH_máx	147.77	34.27	72.54	329.03	579.68	431.58	352.53	415.02	686.56	336.07	300.74	809.64	809.64
1202-01-12-02	RH_mín	0.61	0.51	0.41	0.34	0.27	0.24	0.75	0.94	0.77	0.74	0.93	0.75	0.24
	RH_med	6.33	3.57	4.18	13.66	41.21	24.84	21.16	27.13	23.38	16.07	20.80	20.48	18.57
	RH_máx	150.43	34.88	73.82	334.61	589.33	438.80	358.44	421.96	698.08	341.74	305.81	823.08	823.08
1202-01-14-01	RH_mín	0.59	0.49	0.40	0.33	0.27	0.23	0.72	0.92	0.75	0.73	0.90	0.73	0.23
	RH_med	6.15	3.48	4.07	13.31	40.27	24.18	20.57	26.42	22.76	15.62	20.20	19.97	18.08
	RH_máx	145.25	33.87	71.71	328.01	580.16	431.58	352.23	414.96	686.01	335.46	300.21	810.86	810.86

Fuente: Elaboración propia.



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

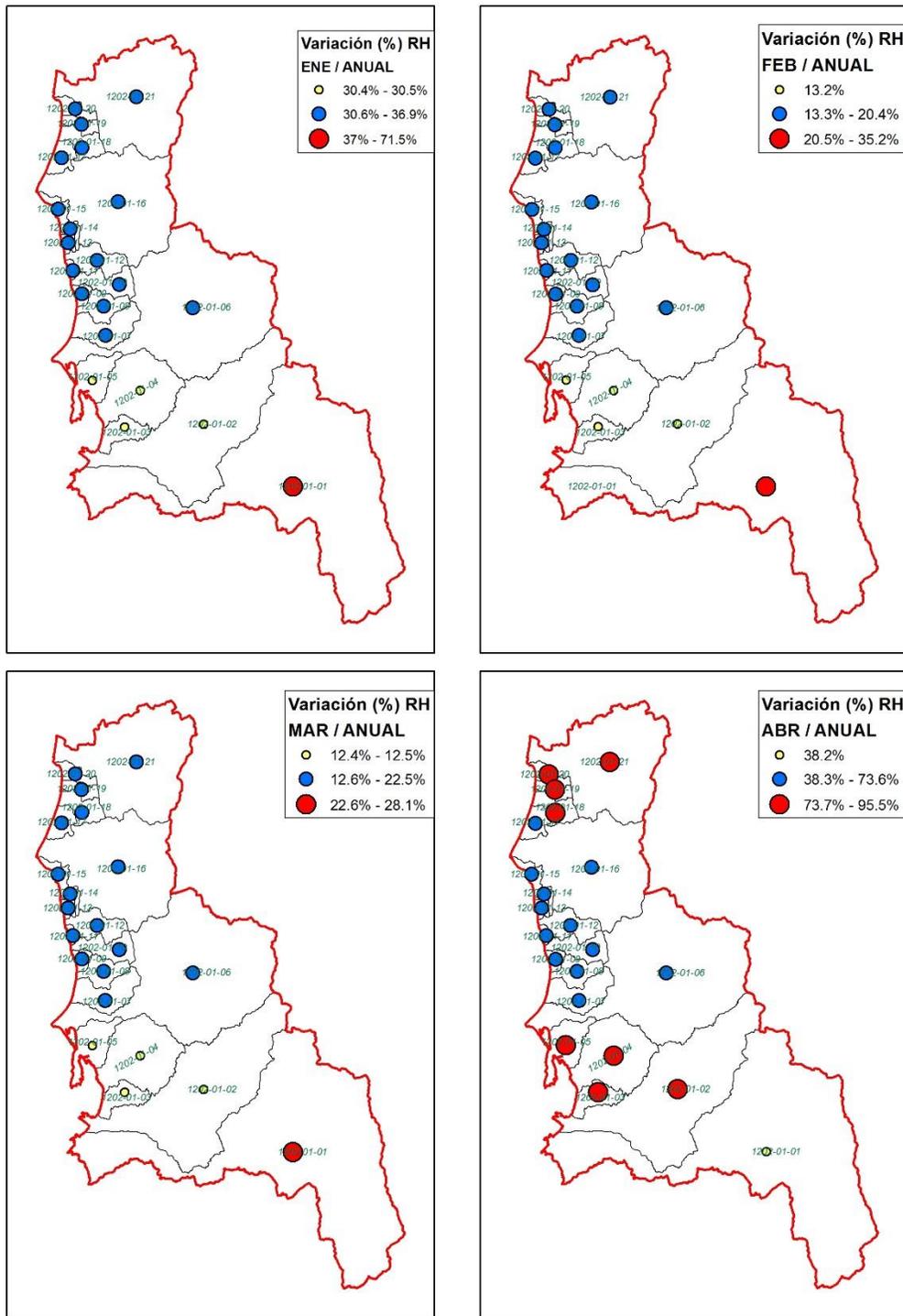


Figura 55. Variación porcentual del rendimiento hídrico anual con respecto al primer cuatrimestre del año hidrológico.

Fuente: Elaboración propia.



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

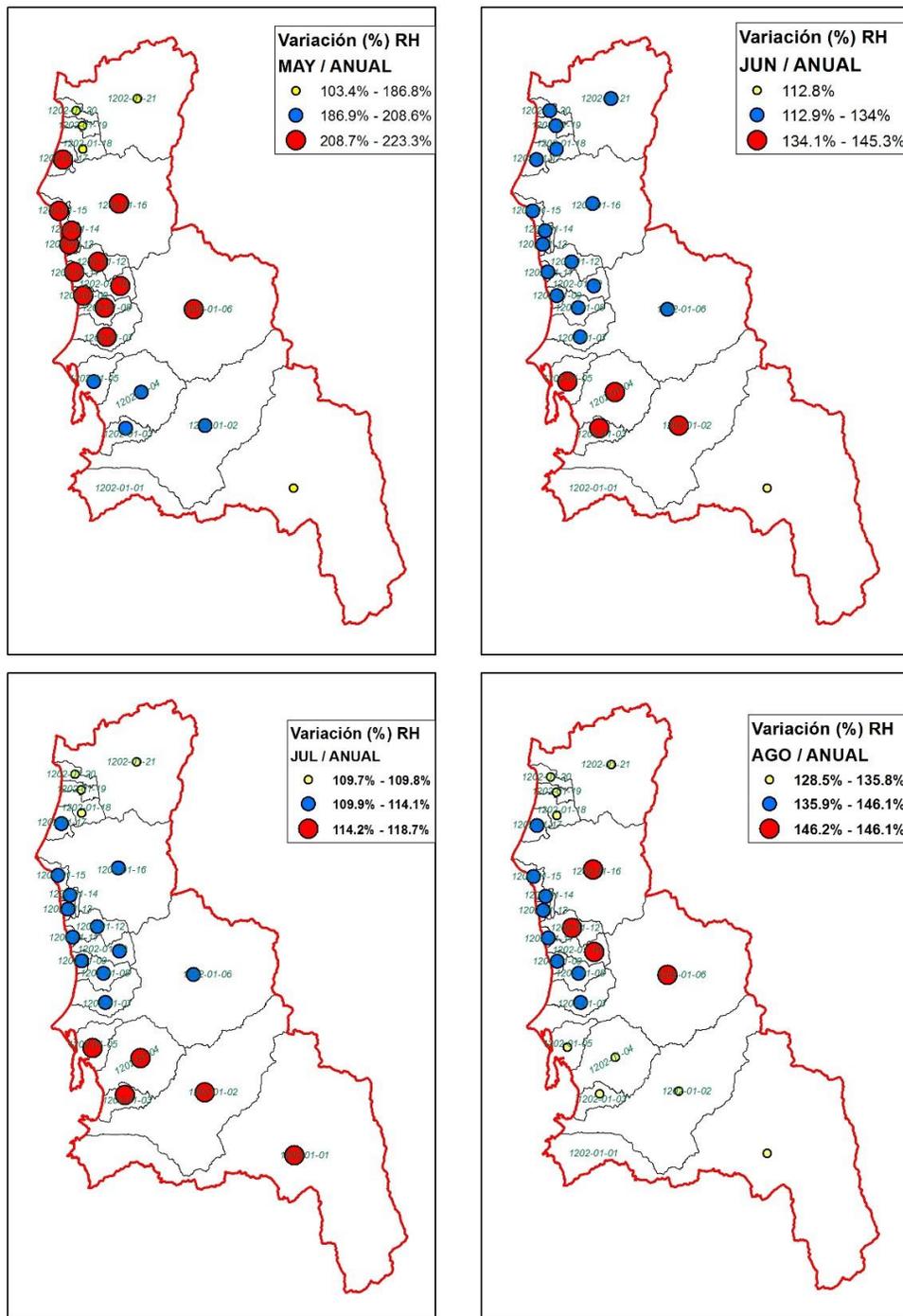


Figura 56. Variación porcentual del rendimiento hídrico anual con respecto al segundo cuatrimestre del año hidrológico.
Fuente: Elaboración propia.



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

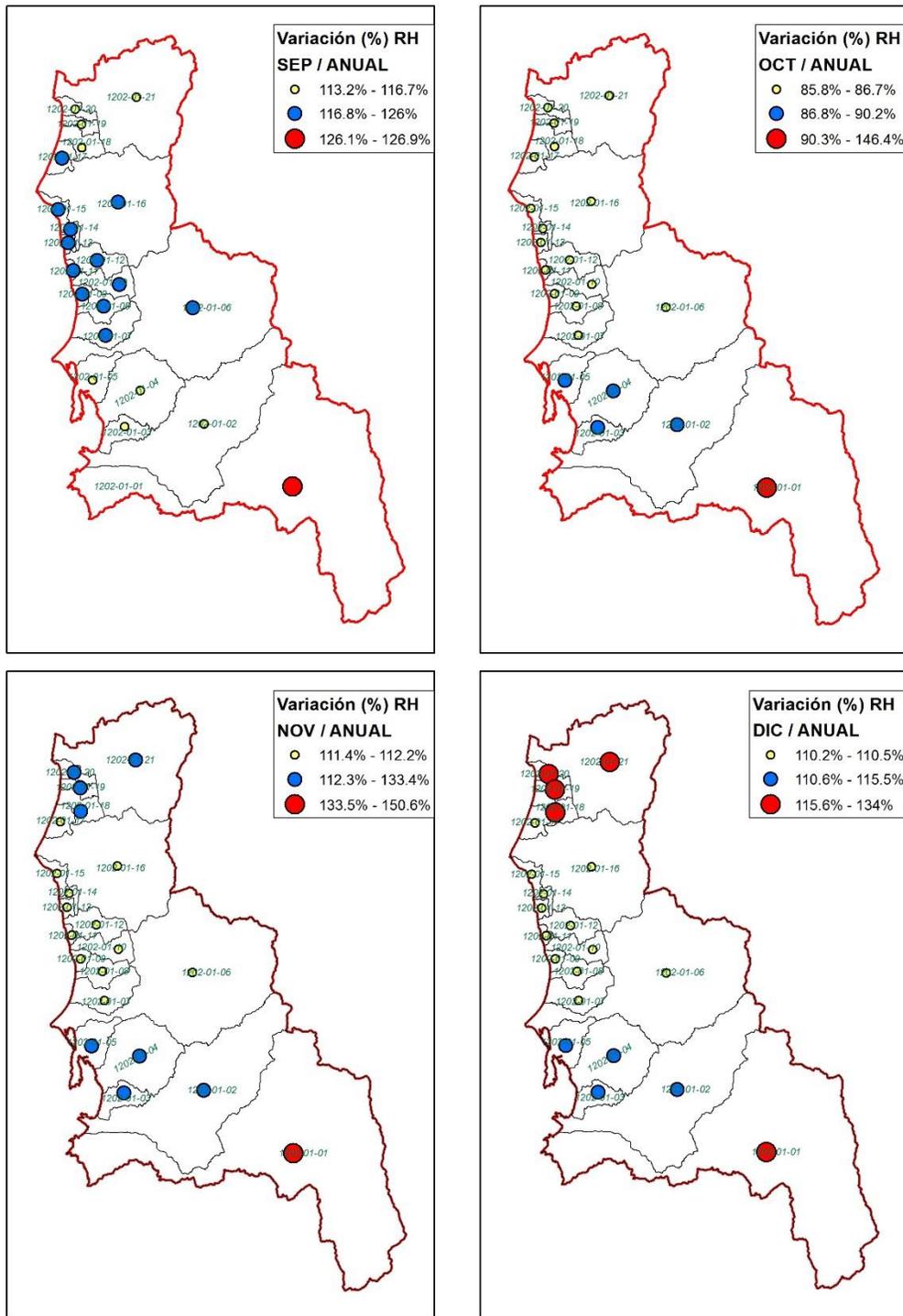


Figura 57. Variación porcentual del rendimiento hídrico anual con respecto al tercer cuatrimestre del año hidrológico.

Fuente: Elaboración propia.



3.7.3.7 Análisis de frecuencias caudales mínimos

La obtención de caudales para diversos periodos de retorno en particular los mínimos, se realizó con el fin de determinar los posibles conflictos actuales o potenciales sobre la disponibilidad y uso del agua en las diversas unidades hidrográficas jerarquizadas.

La técnica empleada, es el ajuste de diversas funciones de probabilidad a los caudales mínimos diarios multianuales simulados con el modelo de tanques. Existen varias funciones de distribución, que ya han sido aplicadas en hidrología y dentro de las cuales se debe escoger la que mejor representa a la probabilidad de excedencia definida empíricamente. Entre los modelos teóricos de distribución probabilística se encuentran:

Distribución normal: Una variable aleatoria Q está distribuida normalmente, con media \bar{Q} y varianza σ_Q^2 si tiene una densidad de distribución probabilística del tipo:

Ecuación 33. Distribución normal.

$$p(Q) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{Q-\bar{Q}}{\sigma}\right]^2} ; (-\infty < Q < \infty)$$

Dado que el teorema central del límite establece que la suma de n variables aleatorias independientes se distribuye normalmente, es factible que en algunos casos el caudal promedio anual (que representa la suma de los caudales medios diarios divididos por el número de días del año) resulte distribuido en forma normal.

Distribución Log-normal: Una variable aleatoria Q está distribuida de forma Log-normal si $Y = \text{Log}(Q)$ sigue una distribución normal con media μ_Y y desviación estándar σ_Y ; si se ajusta a la expresión:

Ecuación 34. Distribución Log-normal.

$$p(Q) = \frac{1}{Q\sigma_Y\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{\ln Q - \mu_Y}{\sigma_Y}\right]^2} \quad \forall Q > 0$$

$$p(Q) = 0; \quad \forall Q \leq 0.$$

El valor esperado para esta distribución es: $E(X) = \mu_X = e^{\mu_Y + (1/2)\sigma_Y^2}$ y su varianza se obtiene cómo: $V(X) = \sigma_X^2 = e^{2\mu_Y + 2\sigma_Y^2} (e^{\sigma_Y^2} - 1)$. Esta distribución tiene como ventaja sobre la distribución normal que sus valores están restringidos a los valores positivos y que su forma no es simétrica, dos características que le permiten representar mejor a las series de caudales anuales.



Distribución Gumbel con sesgo a la izquierda: Una variable aleatoria Q sigue una distribución Gumbel con sesgo a la izquierda si su función de densidad probabilística es:

Ecuación 35. Distribución Gumbel con sesgo a la izquierda.

$$p(Q) = e^{-(Q+e^{-Q})}$$

Entre otras funciones como Pearson, LogPearson y Valores extremos tipo III (EV3). Para validar el ajuste de la distribución teórica a los datos empíricos se deben tomar en cuenta los siguientes criterios:

- Análisis visual
- Error medio absoluto de ajuste
- Validación de hipótesis de concordancia (Chi cuadrado – χ^2), la que represente el menor valor de χ^2 será seleccionada.

En la Tabla 83 se presentan los caudales mínimos estimados para diversos periodos de retorno en las corrientes jerarquizadas como subcuencas.

Tabla 83. Caudales mínimos evaluados para diversos periodos de retorno en subcuencas.

CÓDIGO SUBCUENCA	Tr años (Caudales mínimos m ³ /s)									
	2	5	10	15	20	25	30	50	100	500
1202-01-01	0.801	0.567	0.502	0.481	0.471	0.464	0.460	0.451	0.444	0.438
1202-01-02	0.156	0.093	0.063	0.049	0.041	0.035	0.030	0.019	0.007	0.000
1202-01-03	0.012	0.007	0.005	0.004	0.003	0.003	0.002	0.001	0.001	0.000
1202-01-04	0.053	0.032	0.021	0.017	0.014	0.012	0.010	0.006	0.002	0.000
1202-01-05	0.019	0.012	0.008	0.006	0.005	0.004	0.004	0.002	0.001	0.000
1202-01-06	0.343	0.222	0.168	0.144	0.130	0.120	0.113	0.096	0.077	0.051
1202-01-07	0.034	0.022	0.017	0.014	0.013	0.012	0.011	0.010	0.008	0.005
1202-01-08	0.020	0.013	0.010	0.008	0.007	0.007	0.006	0.005	0.004	0.003
1202-01-09	0.006	0.004	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001
1202-01-10	0.023	0.015	0.011	0.010	0.009	0.008	0.008	0.006	0.005	0.003
1202-01-11	0.004	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
1202-01-12	0.025	0.016	0.012	0.011	0.010	0.009	0.008	0.007	0.006	0.004
1202-01-13	0.005	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001
1202-01-14	0.005	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001
1202-01-15	0.009	0.006	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.001
1202-01-16	0.206	0.133	0.101	0.086	0.078	0.072	0.068	0.057	0.046	0.031
1202-01-17	0.013	0.009	0.007	0.006	0.005	0.005	0.004	0.004	0.003	0.002
1202-01-18	0.023	0.016	0.014	0.013	0.012	0.012	0.011	0.011	0.010	0.009
1202-01-19	0.011	0.008	0.006	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005	0.004
1202-01-20	0.012	0.008	0.007	0.007	0.006	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005
1202-01-21	0.249	0.177	0.149	0.137	0.130	0.125	0.122	0.114	0.106	0.096

Fuente: Elaboración propia.

Los caudales mínimos para microcuencas abastecedoras son presentados en unidades de litros/seg, debido a la poca magnitud de sus valores (ver Tabla 84).



Tabla 84. Caudales mínimos evaluados para diversos periodos de retorno en microcuencas abastecedoras.

CÓDIGO MICROCUENCA	Tr años (Caudales mínimos l/s)									
	2	5	10	15	20	25	30	50	100	500
1202-01-01-01	18.33 1	12.96 2	11.48 4	11.00 0	10.75 7	10.60 9	10.50 9	10.3 06	10.1 46	10.0 08
1202-01-01-02	11.99 9	8.452	7.419	7.069	6.889	6.779	6.703	6.54 6	6.41 8	6.30 1
1202-01-02-01	0.574	0.341	0.231	0.181	0.149	0.128	0.111	0.07 0	0.02 6	0
1202-01-02-02	0.403	0.243	0.167	0.131	0.110	0.094	0.083	0.05 4	0.02 2	0
1202-01-02-03	1.030	0.615	0.418	0.327	0.271	0.232	0.202	0.12 8	0.04 8	0
1202-01-06-01	323.3 64	209.0 13	158.4 15	136.1 97	122.8 42	113.6 37	106.7 76	90.2 66	73.0 10	48.1 46
1202-01-06-02	1.960	1.267	0.960	0.825	0.744	0.689	0.647	0.54 7	0.44 2	0.29 1
1202-01-06-03	2.296	1.485	1.126	0.968	0.873	0.808	0.759	0.64 1	0.51 8	0.34 1
1202-01-07-01	3.023	1.957	1.484	1.276	1.151	1.064	1.000	0.84 5	0.68 2	0.44 7
1202-01-12-01	23.43 0	15.11 7	11.44 7	9.838	8.872	8.207	7.711	6.51 9	5.27 5	3.48 7
1202-01-12-02	0.405	0.261	0.198	0.170	0.153	0.142	0.133	0.11 3	0.09 1	0.06 0
1202-01-14-01	0.231	0.149	0.113	0.097	0.087	0.081	0.076	0.06 4	0.05 2	0.03 5

Fuente: Elaboración propia.

3.7.3.8 Análisis de frecuencias caudales máximos

Para el cálculo de caudales máximos en las subcuencas y microcuencas se empleó la técnica de escalamiento de caudales máximos. De acuerdo con los resultados obtenidos por Poveda et. Al (2007), el caudal máximo (Q_{Tr} en m^3/s) para un periodo de retorno (Tr en años) pueden estimarse con la ecuación:

Ecuación 36. Caudal para un periodo de retorno Tr en años.

$$Q_{Tr} = \mu_{Qmax} + K_{Tr} \cdot \sigma_{Qmax}$$

Dónde:

Q_{Tr} es el caudal para un periodo de retorno Tr en años,

μ_{Qmax} y σ_{Qmax} son la media y desviación estándar de los caudales máximos respectivamente

K_{Tr} es el factor de frecuencia que depende de la función de distribución de probabilidad y del periodo de retorno

La media (μ_{Qmax}) y desviación estándar (σ_{Qmax}) de los caudales máximos pueden estimarse como:

Ecuación 37. Media de caudales máximos.

$$\mu_{Qmax} = \alpha_{\mu} \cdot \hat{Q}^{\beta_{\mu}}$$

Ecuación 38. Desviación estándar de caudales máximos.



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

$$\sigma_{Qmax} = \alpha_{\sigma} \cdot \hat{Q}^{\beta_{\sigma}}$$

Dónde:

α_{μ} , β_{μ} , α_{σ} y β_{σ} , son parámetros de ajuste

\hat{Q} es el caudal medio de la subcuenca o microcuenca en m³/s.

Es requerido contar con los caudales máximos instantáneos de estaciones hidrológicas cercanas a la cuenca en ordenación para realizar el escalamiento por esta metodología. En la Tabla 85, se presentan los caudales máximos instantáneos de las estaciones Pueblo Nuevo (12027050), Pueblo Bello (12027010), río Grande (12017040), Apartadó (12017060), Puente Carretera (12017050) y Currulao (12027040), operadas por el IDEAM y localizadas en inmediaciones de la cuenca en ordenación.

Tabla 85. Caudales máximos instantáneos registrados en las estaciones hidrológicas.

Año	12027050	12027010	12017040	12017060	12017050	12027040
1977		44.7			19.21	
1978	145	11	108		25.61	
1979	94.9	90.5	66.6		19.21	
1980	51.83	18.4	53.08		22.9	
1981	196.5	98.7	50.84		32.8	
1982	115	104.1	58.97		37.7	
1983	216.2	72.9	58.95		10.88	
1984	142.2	93.2	37.55	22.64	8.89	
1985	300.7	88.91	34.85	43.4	18.8	
1986	149.9	18.87	33.11	17	18.5	
1987	292	37.25	55.16	23.89	17.61	
1988	153.9	40.6	39.3	20.82	14.17	
1989	339.1	38.95	5.15	22.32	19.1	
1990	234.6	210	41.59	49.15	19.25	66.75
1991	196.2	146.5	26.4	49.9	21.64	50.53
1992	168.1	58.98	15.2	25.58	22.35	30.39
1993	175.7	50.95	13.88	52.56	23.35	32.7
1994	210.8	129.3	41.26	79.57	20.78	67.19
1995	134.9	40.25	43.53	62.75	20.5	23.12
1996	280.3	13.6	29.41	90.24	32.58	67.19
1997	256.8	183.5	24.68	89.6	21.4	26.75
1998	82.48	47.58	19.01	76.8	18.08	18.43
1999	390	129.3	26	65.79	13.36	40.83
2000	324.4	158	23.03	75.41	15.01	56.5
2001	249.8	197.1	14.18	39.92	7.37	46.88
2002	266.5	139	18.7	67	16.7	36.94
2003	242	197.1	15.25	55.88	11.88	18.67
2004	285.1	142.2	2.33	17.66	4.975	15.45
2005	78.94	109.5	3.15	24.93	5.3	10.25
2006	100.6	169.9	3.25	28.69	2.6	6.01
2007	102.3	202.5	3.45	27.16	2.6	6.345
2008	188.5	165.5	21.59	27.04	10.49	6.402
2009	107	115.4	27.04	44.82	2.56	6.131
2010	331.4	58.11	28.03	57.24	71.53	6.402
2011	302.4	68.3	23.5	48.59	0.715	
2012	200	64.38	50.35	45.9		
2013	100.8	50.49	12.92			



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

Año	12027050	12027010	12017040	12017060	12017050	12027040
2014	73.1	48.01	13.38			
2015	32.39					

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 86, se muestran los estadísticos de las estaciones de caudal usadas en el proceso de regionalización de caudales máximos.

Tabla 86. Estadísticos de las estaciones de caudal usadas en el proceso de regionalización de caudales máximos.

ESTADÍSTICOS	ESTACIONES HIDROLÓGICAS					
	12027050	12027010	12017040	12017060	12017050	12027040
Media (m ³ /s)	192.43	96.15	30.88	46.63	18.01	30.47
Desviación estándar (m ³ /s)	91.54	59.59	21.88	22.35	12.82	21.72
CV	0.48	0.62	0.71	0.48	0.71	0.71
Caudal medio (m ³ /s)	13.68	4.54	2.47	5.20	2.25	4.61

Fuente: Elaboración propia.

El factor de frecuencia fue evaluado para la distribución de Valor Extremo Tipo I. En la Figura 58, se muestra el ajuste potencial para los promedios de los caudales máximos, mientras que en la Figura 59, se presenta el ajuste potencial de las desviaciones estándar de los caudales máximos a los caudales medios de las estaciones hidrológicas.

Ecuación 39. Media de caudales máximos

$$\mu_{Qmax} = \alpha_{\mu} \cdot \hat{Q}^{\beta_{\mu}}$$

Ecuación 40. Desviación estándar de caudales máximos

$$\sigma_{Qmax} = \alpha_{\sigma} \cdot \hat{Q}^{\beta_{\sigma}}$$

De este modo se tienen las siguientes ecuaciones para la media y la desviación estándar de los caudales máximos en cualquier región de la cuenca del río Turbo y Currulao, de acuerdo al caudal medio en el sitio:

$$\mu_{Qmax} = 8.3688 \cdot \hat{Q}^{1.1815}, \sigma_{Qmax} = 7.3084 \cdot \hat{Q}^{0.9413}$$

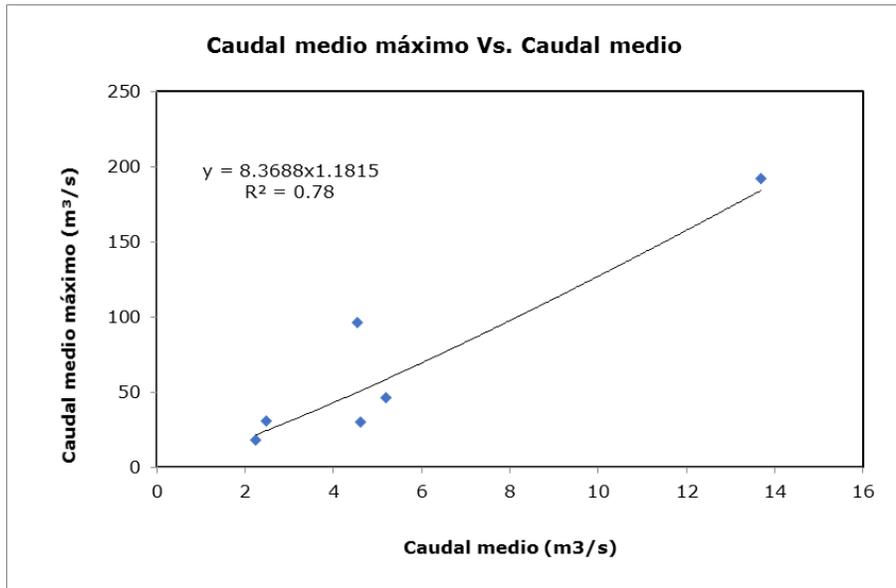


Figura 58. Ajuste potencial de los caudales medios máximos con los caudales medios de las estaciones.

Fuente: Elaboración propia.

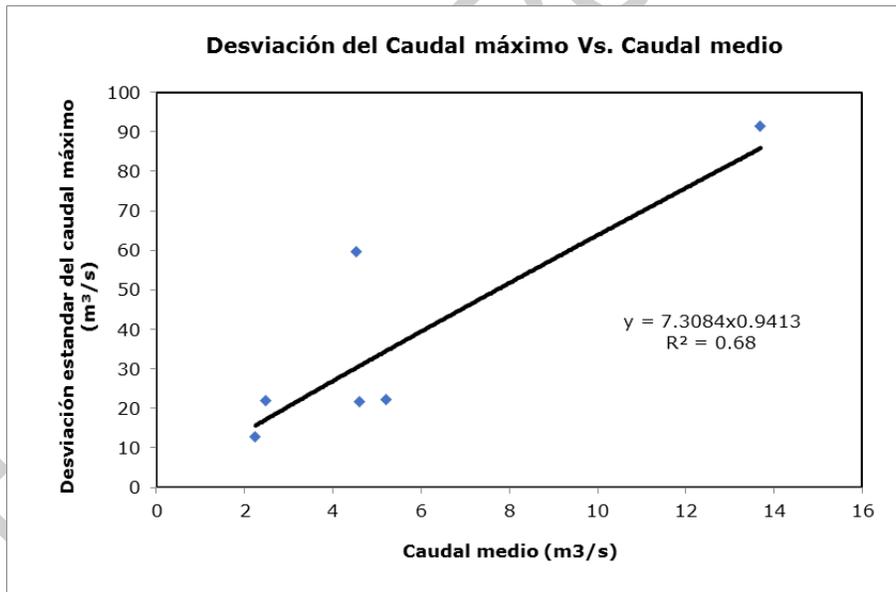


Figura 59. Ajuste potencial de las desviaciones estándar de los caudales máximos a los caudales medios de largo plazo en cada una de las estaciones.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 87, se presentan los caudales máximos estimados para diversos periodos de retorno, en las corrientes jerarquizadas como subcuencas. En la Tabla 88 puede consultarse los caudales máximos para las microcuencas abastecedoras.



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

Tabla 87. Caudales máximos evaluados para diversos periodos de retorno en subcuencas.

SUBCUENCA	Tr (Caudales máximos)								
	2.33	5	10	15	20	30	50	100	500
1202-01-01	52.88	77.98	107.00	127.92	144.95	172.60	214.70	288.19	569.02
1202-01-02	20.48	32.23	46.62	57.41	66.43	81.44	105.05	148.10	327.53
1202-01-03	0.72	1.48	2.65	3.68	4.63	6.38	9.53	16.37	57.20
1202-01-04	5.21	9.07	14.27	18.42	22.03	28.28	38.64	58.88	155.82
1202-01-05	1.39	2.70	4.63	6.27	7.75	10.44	15.13	24.96	79.41
1202-01-06	24.90	38.64	55.27	67.64	77.91	94.92	121.50	169.51	365.93
1202-01-07	1.28	2.50	4.31	5.86	7.27	9.81	14.27	23.67	76.18
1202-01-08	0.61	1.27	2.30	3.21	4.06	5.63	8.47	14.71	52.63
1202-01-09	0.13	0.30	0.61	0.90	1.19	1.75	2.82	5.40	24.10
1202-01-10	0.76	1.55	2.76	3.83	4.81	6.62	9.87	16.90	58.62
1202-01-11	0.06	0.15	0.31	0.48	0.64	0.97	1.63	3.26	16.22
1202-01-12	0.86	1.72	3.05	4.21	5.28	7.23	10.72	18.22	62.16
1202-01-13	0.09	0.22	0.44	0.66	0.88	1.31	2.16	4.22	19.89
1202-01-14	0.09	0.21	0.43	0.65	0.87	1.29	2.12	4.16	19.65
1202-01-15	0.22	0.50	0.96	1.39	1.81	2.61	4.11	7.61	31.51
1202-01-16	13.07	21.24	31.56	39.45	46.12	57.38	75.39	108.94	255.08
1202-01-17	0.37	0.79	1.48	2.11	2.71	3.82	5.90	10.57	40.69
1202-01-18	0.69	1.41	2.54	3.53	4.45	6.14	9.20	15.85	55.78
1202-01-19	0.24	0.54	1.04	1.51	1.95	2.80	4.40	8.10	33.08
1202-01-20	0.28	0.63	1.19	1.72	2.21	3.16	4.93	8.97	35.83
1202-01-21	15.22	24.46	36.00	44.78	52.17	64.58	84.31	120.81	277.40

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 88. Caudales máximos evaluados para diversos periodos de retorno en microcuencas abastecedoras.

MICROCUENCAS	Tr (Caudales máximos)								
	2.33	5	10	15	20	30	50	100	500
1202-01-01	0.40	0.86	1.60	2.27	2.91	4.10	6.29	11.20	42.59
1202-01-02	0.22	0.50	0.97	1.41	1.83	2.64	4.15	7.68	31.74
1202-01-03	0.01	0.03	0.08	0.12	0.17	0.28	0.50	1.10	6.83
1202-01-04	0.01	0.02	0.05	0.08	0.12	0.19	0.36	0.81	5.32
1202-01-05	0.03	0.07	0.16	0.24	0.34	0.52	0.90	1.90	10.58
1202-01-06	23.10	36.04	51.77	63.51	73.28	89.50	114.90	160.94	350.64
1202-01-07	0.03	0.07	0.16	0.25	0.34	0.52	0.91	1.91	10.62
1202-01-08	0.03	0.09	0.19	0.29	0.40	0.62	1.06	2.21	11.92
1202-01-09	0.05	0.12	0.26	0.40	0.54	0.83	1.40	2.83	14.53
1202-01-10	0.77	1.57	2.80	3.88	4.87	6.70	9.98	17.07	59.08
1202-01-11	0.00	0.01	0.02	0.04	0.06	0.10	0.18	0.43	3.19
1202-01-12	0.001	0.004	0.01	0.02	0.03	0.05	0.10	0.25	2.04

Fuente: Elaboración propia.

El procedimiento de cálculo puede revisarse en mayor detalle en el [Anexo 56](#) de Hidrología – Análisis de frecuencia.



3.7.3.9 Ciclo anual de sedimentos

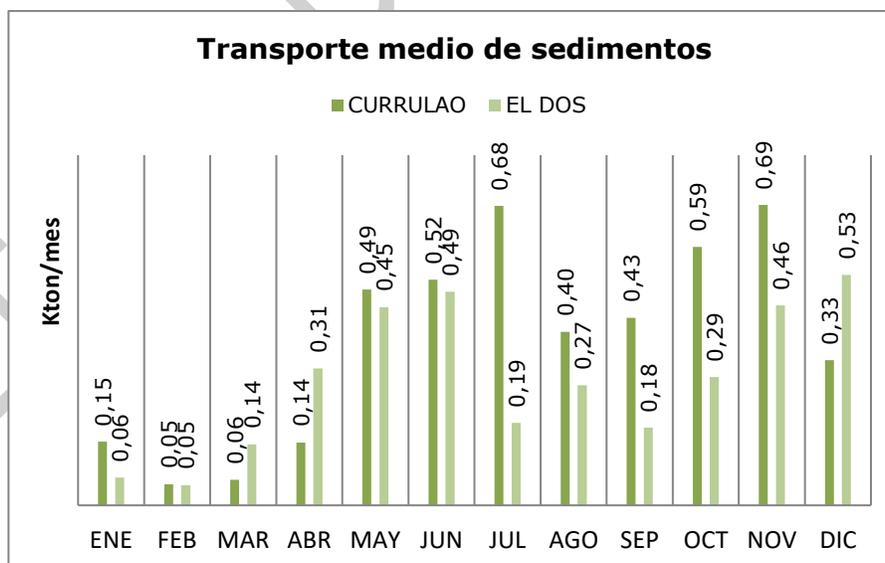
La capacidad de transporte y depositación de sedimentos en los sistemas hídricos se relaciona con el volumen de agua y la morfometría, morfología y dinámica de los sistemas hídricos, que puede ser afectada o modificada por procesos morfodinámicos e hidrológicos (IDEAM, 2015).

El transporte de sedimentos en la cuenca del río Turbo-Currulao, es monitoreado en las estaciones hidrológicas Currulao (12027040) y El Dos (12027060). El periodo de información disponible se limita de 1990 a 2010 (actualmente suspendidas). Según los registros del IDEAM, el valor promedio anual de transporte de material en suspensión para el río Currulao es de 0.38 Kton/año, los registros indican un valor máximo de 3.67 Kton/año. En lo referente al río Turbo a la altura de la estación El Dos, se estimó un valor promedio anual de 0.28 Kton/año y uno máximo de 3.32 Kton/año.

Retomando el área de drenaje de la cuenca del río Currulao hasta la estación hidrológica 230.725 km², se estimó una tasa de denudación del suelo promedio anual multianual de 1.633 Ton/año*km². Empleando el valor máximo de transporte se tendría una tasa máxima de denudación del suelo de 15.927 Ton/año*km².

Para la cuenca del río Turbo en la estación El Dos (12027060) con un área de 149.01 km², la tasa denudacional del suelo promedio anual es de 1.911 Ton/año*km², el máximo anual es de 22.267 Ton/año*km².

En el Gráfico 71 se presenta el régimen promedio y máximo mensual de sedimentos en los ríos Currulao y Turbo a la altura de las estaciones hidrológicas. El procedimiento de cálculo puede revisarse en mayor detalle en el [Anexo 56](#) de Hidrología – Transporte de sedimentos.xlsx.



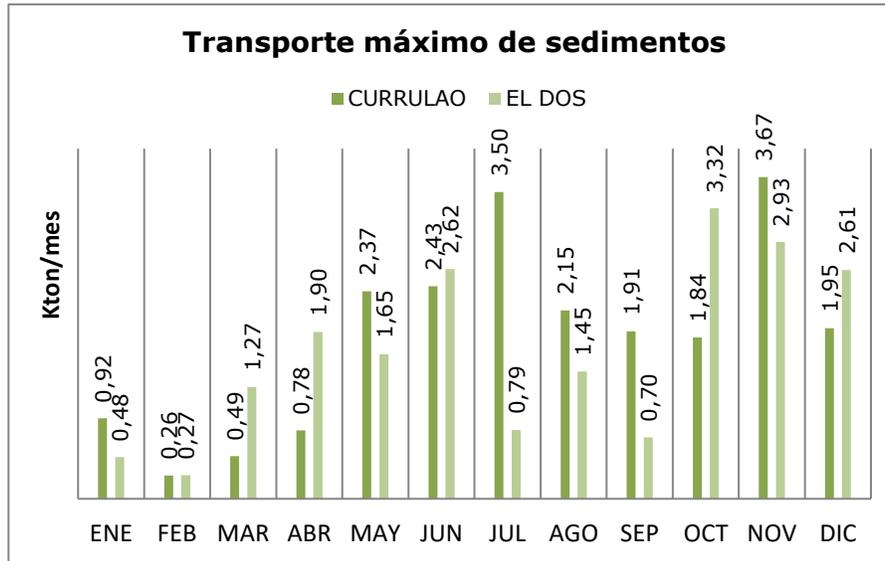


Gráfico 71. Transporte promedio y máximo mensual multianual de sedimentos.
Fuente: Elaboración propia.

Se observa una correspondencia con el régimen de caudales de las cuencas, el aporte máximo de sedimentos se presenta en los meses con mayor humedad junio y julio – octubre y noviembre.

Conociendo la tasa de denudación para las subcuencas monitoreadas, se infiere un aporte de sedimentos en toneladas anuales para la unidad jerarquizada. Subcuenca del río Currulao (1202-01-01) aporte medio anual de 433 Ton/año, aporte máximo 4223 Ton/año. Subcuenca del río Turbo (1202-01-06) aporte medio anual de 305 Ton/año, aporte máximo 3558 Ton/año.

3.7.4 Estimación de caudales ambientales

De acuerdo con el Decreto 1076 de 2015, el caudal ambiental se define como:

“Volumen de agua necesario en términos de calidad, cantidad, duración y estacionalidad para el sostenimiento de los ecosistemas acuáticos y para el desarrollo de las actividades socioeconómicas de los usuarios aguas abajo de la fuente de la cual dependen tales ecosistemas”.

El concepto de oferta hídrica para condiciones de año normal y año seco tuvo la siguiente connotación según la información disponible:

De acuerdo con lo citado por el IDEAM en el Estudio Nacional del Agua 2014, la oferta hídrica para el año normal se puede estimar por el método de balance hídrico, no obstante, la metodología empleada en este estudio para la generación de caudales medios diarios es análoga a la propuesta por la entidad, por tal motivo y para el año hidrológico normal se utilizan los caudales medios mensuales multianuales obtenidos del modelo hidrológico de Tanques para cada subcuenca y microcuenca jerarquizada.



Con relación a la oferta hídrica para el año seco, el IDEAM define que el año seco es netamente estadístico y el valor asociado a cada estación no necesariamente tiene correspondencia temporal entre las diferentes estaciones de monitoreo. En este sentido la aplicación de la ecuación de balance no resulta conveniente y la oferta total para año seco correspondería a una representación espacial a través de interpolación de valores mínimos en estaciones hidrológicas.

Dado lo anterior, para este estudio se aborda otro enfoque metodológico para la definición de año hidrológico seco, que ha sido empleado en estudios de POMCAS, tanto por entidades oficiales como CORNARE - 2011, CORANTIOQUIA y la Universidad Nacional de Colombia 2004 y otras entidades privadas.

Para estimar la oferta en condiciones de año hidrológico seco se utiliza como caudal base de oferta hídrica natural, el caudal mínimo para un periodo de retorno de 10 años, con el que se puede evaluar la oferta hídrica en un periodo crítico de disponibilidad hídrica y de una probabilidad de ocurrencia alta. Esta información se formuló en el acápite 1.3.7 Análisis de frecuencia caudales mínimos.

Para la estimación del caudal ambiental se emplearon 2 metodologías, esto con el fin de tener en cuenta las condiciones de año hidrológico normal y año hidrológico seco para las series de caudales sintéticas construidas en cada unidad hidrográfica jerarquizada.

- **Metodología 1: Método basado en el índice de retención y regulación hídrica (IRH)**

Este método tiene en cuenta lo dispuesto en el Estudio Nacional del Agua – ENA 2010, en lo que corresponde al 85% o 75% según el valor del Índice de Retención y Regulación Hidráulica –IRH, obtenido de la curva de duración de caudales medios y su intersección con la recta de caudal promedio multianual.

Cuando el IRH obtenido sea inferior a 0,7, el caudal ambiental será el 75% del caudal medio diario multianual, pero para valores de IRH superiores a 0,7 el caudal ambiental será el 85% del caudal medio diario multianual. (En el ítem Indicadores del estado del recurso hídrico se presenta en mayor detalle el IRH).

- **Metodología 2: Resolución 865 de 2004**

De acuerdo con lo dispuesto en la Resolución 865 de 2004, la cual propone considerar como caudal ambiental el valor máximo de caudal ecológico obtenido mediante la aplicación de los siguientes tres métodos, estos procesos permiten tener en cuenta las condiciones más secas del hidrosistema:

- Mínimo histórico: corresponde al caudal promedio multianual que permanece el 97.5% del tiempo, obtenido de la curva de duración de la serie de caudales medios diarios, para el periodo de análisis, por medio de la aplicación del percentil 0.975.
- Porcentaje de descuento: este representa el 25% del caudal mensual multianual más bajo de la corriente de estudio (IDEAM, 2010).
- Reducción por caudal ambiental: esta aproximación corresponde al 25% del caudal medio multianual en condiciones de oferta media.



Consideraciones:

- La escogencia del valor de caudal ambiental para condiciones de año hidrológico normal será el mayor valor obtenido por cada método propuesto.
- Para estimar el caudal ambiental en condiciones de año hidrológico seco, se utiliza como caudal base de oferta hídrica natural mínima correspondiente a el caudal para un periodo de retorno de 10 años, con el que se puede evaluar la oferta hídrica en un periodo crítico de disponibilidad hídrica y de una probabilidad de ocurrencia alta.
- Dado el criterio adoptado anteriormente, el cálculo de la oferta hídrica disponible para un año hidrológico seco, será igual a la oferta hídrica total para las mismas condiciones hidrológicas.

Una vez desarrolladas las metodologías y consideraciones expuestas, se obtienen los caudales ambientales para las subcuencas y microcuencas jerarquizadas, los cuales se pueden consultar en la Tabla 89 y Tabla 90.

Tabla 89. Caudales ambientales para subcuencas años hidrológicos seco y normal (litros/seg).

ID	SUBCUENCA	CÓDIGO	CAUDALES EN l/s			
			Caudal Ambiental Año Seco	Caudal Ambiental Metodología 1	Caudal Ambiental Metodología 2	Caudal Ambiental Año normal
1	Río Currulao	1202-01-01	502.216	1552.84	1346.15	1552.84
2	Río Guadualito	1202-01-02	62.768	303.20	630.77	630.77
3	Quebrada Guadualito	1202-01-03	4.761	23.05	47.86	47.86
4	Quebrada El Cuna	1202-01-04	21.426	103.70	215.33	215.33
5	Zona Urbana Turbo	1202-01-05	7.803	37.78	78.44	78.44
6	Río Turbo	1202-01-06	168.062	537.26	736.65	736.65
7	Quebrada Aguas Claras - Estorbo	1202-01-07	16.743	53.75	73.68	73.68
8	Quebrada Cope	1202-01-08	9.597	30.81	42.24	42.24
9	Quebrada NN1	1202-01-09	3.028	9.73	13.34	13.34
10	Río Punta de Piedra	1202-01-10	11.31	36.21	49.66	49.66
11	Quebrada NN2	1202-01-11	1.72	5.53	7.58	7.58
12	Río Cirilo	1202-01-12	12.35	39.54	54.23	54.23
13	Quebrada NN3	1202-01-13	2.30	7.38	10.13	10.13
14	Quebrada Tie	1202-01-14	2.26	7.26	9.95	9.95
15	Quebrada NN4	1202-01-15	4.48	14.38	19.72	19.72
16	Río Caiman Nuevo	1202-01-16	100.63	322.33	442.14	442.14
17	Quebrada Seca	1202-01-17	6.53	20.98	28.77	28.77
18	Río Totumo	1202-01-18	13.75	37.29	46.09	46.09
19	Quebrada Manuela	1202-01-19	6.32	17.13	21.18	21.18
20	Quebrada La Anguilla	1202-01-20	7.11	19.29	23.83	23.83
21	Río Caimán Viejo - Tigre	1202-01-21	148.60	403.12	498.52	498.52

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 90. Caudales ambientales para microcuencas años hidrológicos seco y normal (litros/seg).

ID	MICROCUENCAS	CÓDIGO	CAUDALES EN l/s			
			Caudal Ambiental Año Seco	Caudal Ambiental Metodología 1	Caudal Ambiental Metodología 2	Caudal Ambiental Año normal
1	Río Caraballo	1202-01-01-01	11.484	35.51	30.78	35.51
2	Quebrada NN	1202-01-01-02	7.419	23.07	19.93	23.07
3	Quebrada El Limón	1202-01-02-01	0.231	1.12	2.32	2.32
4	Quebrada Alto Mulatos	1202-01-02-02	0.167	0.80	1.67	1.67
5	Quebrada Los Indios	1202-01-02-03	0.418	2.01	4.19	4.19
6	Río Turbo	1202-01-06-01	158.415	506.23	694.06	694.06
7	Quebrada San Felipe	1202-01-06-02	0.960	3.07	4.21	4.21
8	Quebrada La Mina	1202-01-06-03	1.126	3.59	4.93	4.93
9	Quebrada Copez	1202-01-07-01	1.484	4.73	6.49	6.49
10	Río Cirilo	1202-01-12-01	11.45	36.63	50.25	50.25
11	Quebrada NN	1202-01-12-02	0.20	0.63	0.87	0.87
12	Quebrada Tie	1202-01-14-01	0.11	0.36	0.50	0.50

Fuente: Elaboración propia

En términos generales la metodología 2 (propuesta en la resolución 865 de 2004) resulta ser la más conservadora en cuanto a cantidad del recurso para la estimación del caudal ambiental.

3.7.5 Estimación de la oferta hídrica total y disponible

La oferta hídrica total superficial (OHTS) es definida por (IDEAM, 2015) como el agua que fluye por la superficie del suelo que no se infiltra o se evapora y se concentra en los cauces de los ríos o en los cuerpos de agua lénticos. Por su parte la oferta hídrica disponible (OHD) se define como el volumen de agua promedio que resulta de sustraer a la oferta hídrica total superficial (OHTS) el volumen de agua que garantizaría el uso para el funcionamiento de los ecosistemas y de los sistemas fluviales, y en alguna medida un caudal mínimo para usuarios que dependen de las fuentes hídricas asociadas a estos ecosistemas (caudal ambiental).

La unidad de medida con la que se cuantifica la oferta hídrica es el volumen expresado en (millones de metros cúbicos – Mm³). Para esto se debe obtener el valor de la lámina de escorrentía para el dominio espacial de la subcuenca o microcuenca, siguiendo la ecuación:

Ecuación 41. Escorrentía superficial expresada en términos de lámina de agua [mm].

$$Y_0 = \frac{Q_0 \times T}{A \times 10^3}$$

Donde:

Y_0 : Escorrentía superficial expresada en términos de lámina de agua [mm].

Q_0 : Caudal medio de la serie de caudales anuales [m³/s].

T : Cantidad de segundos en el periodo de agregación de la oferta, anual en este caso [s].



A : Área aferente al nodo de mediciones [km²].

Los volúmenes de oferta anual (V_0) se definieron como se muestra a continuación:

Ecuación 42. Volúmenes de oferta anual.

$$V_0 = A \times 10^3 \times Y_0$$

Aplicando los procedimientos descritos anteriormente se obtiene la oferta hídrica total y disponible en [Mm³] para las subcuencas y microcuencas jerarquizadas en el POMCA.

En la Tabla 91 se puede consultar la OHTS y OHD para las subcuencas, como se había estipulado anteriormente, para el año hidrológico seco la condición de OHTS y OHD es la misma, ya que al caudal definido para un periodo de retorno de 10 años al sustraerle el caudal ambiental calculado quedaría en condiciones negativas, perdiendo el sentido físico del cálculo.

Tabla 91. Oferta hídrica total y disponible año hidrológico normal y seco, subcuencas.

ID	SUBCUENCA	CÓDIGO	OFERTA HÍDRICA (Mm ³)			
			OHTS Año normal	OHTS Año Seco	OHD Año normal	OHD Año Seco
1	Río Currulao	1202-01-01	169.81	15.84	120.84	15.84
2	Río Guadualito	1202-01-02	79.57	1.98	59.68	1.98
3	Quebrada Guadualito	1202-01-03	6.04	0.15	4.53	0.15
4	Quebrada El Cuna	1202-01-04	27.16	0.68	20.37	0.68
5	Zona Urbana Turbo	1202-01-05	9.89	0.25	7.42	0.25
6	Río Turbo	1202-01-06	92.92	5.30	69.69	5.30
7	Quebrada Aguas Claras - Estorbo	1202-01-07	9.29	0.53	6.97	0.53
8	Quebrada Cope	1202-01-08	5.33	0.30	4.00	0.30
9	Quebrada NN1	1202-01-09	1.68	0.10	1.26	0.10
10	Río Punta de Piedra	1202-01-10	6.26	0.36	4.70	0.36
11	Quebrada NN2	1202-01-11	0.96	0.05	0.72	0.05
12	Río Cirilo	1202-01-12	6.84	0.39	5.13	0.39
13	Quebrada NN3	1202-01-13	1.28	0.07	0.96	0.07
14	Quebrada Tie	1202-01-14	1.26	0.07	0.94	0.07
15	Quebrada NN4	1202-01-15	2.49	0.14	1.87	0.14
16	Río Caiman Nuevo	1202-01-16	55.77	3.17	41.83	3.17
17	Quebrada Seca	1202-01-17	3.63	0.21	2.72	0.21
18	Río Totumo	1202-01-18	5.81	0.43	4.36	0.43
19	Quebrada Manuela	1202-01-19	2.67	0.20	2.00	0.20
20	Quebrada La Anguilla	1202-01-20	3.01	0.22	2.25	0.22
21	Río Caimán Viejo - Tigre	1202-01-21	62.88	4.69	47.16	4.69

Oferta hídrica total superficial (OHTS) – Oferta hídrica disponible (OHD).

Fuente: Elaboración propia.

Realizando una sumatoria de lo que aporta cada una de las subcuencas en un año hidrológico normal, se puede inferir que la cuenca del río Turbo Currulao ostenta una oferta hídrica total de 554.56 Mm³ de los cuales su disponibilidad es de un 74%, quedando una OHD de 409 Mm³.

Con relación a un año hidrológico seco, la OHTS es de 35 Mm³ solo el 6% de lo OHTS de un año normal.

Tabla 92 Oferta hídrica total y disponible año hidrológico normal y seco, microcuencas



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

abastecedoras

ID	MICROCUENCAS	CÓDIGO	OFERTA HÍDRICA (Mm ³)			
			OHTS Año normal	OHTS Año Seco	OHD Año normal	OHD Año Seco
1	Río Caraballo	1202-01-01-01	3.88	0.36	2.76	0.36
2	Quebrada NN	1202-01-01-02	2.51	0.23	1.79	0.23
3	Quebrada El Limón	1202-01-02-01	0.29	0.01	0.22	0.01
4	Quebrada Alto Mulatos	1202-01-02-02	0.21	0.01	0.16	0.01
5	Quebrada Los Indios	1202-01-02-03	0.53	0.01	0.40	0.01
6	Río Turbo	1202-01-06-01	87.55	5.00	65.66	5.00
7	Quebrada San Felipe	1202-01-06-02	0.53	0.03	0.40	0.03
8	Quebrada La Mina	1202-01-06-03	0.62	0.04	0.47	0.04
9	Quebrada Copez	1202-01-07-01	0.82	0.05	0.61	0.05
10	Río Cirilo	1202-01-12-01	6.34	0.36	4.75	0.36
11	Quebrada NN	1202-01-12-02	0.11	0.01	0.08	0.01
12	Quebrada Tie	1202-01-14-01	0.06	0.004	0.05	0.004

Oferta hídrica total superficial (OHTS) – Oferta hídrica disponible (OHD)

Fuente: Elaboración propia.

El potencial de la OHTS para las microcuencas abastecedoras de acueductos rurales y urbanos es de 103 Mm³ para un año hidrológico normal, y para un año hidrológico seco corresponde a 6.1 Mm³.

En el cálculo de la oferta hídrica total disponible (Figura 60), se hizo uso de varias herramientas hidrológicas, en particular el software InVEST, a través del cual se analizó el modelo hidrológico teniendo en cuenta los usos y cobertura presentes en el área, además del Kc para un ciclo anual, en la Figura 60 se presentan los parámetros que se tuvieron en cuenta para correr el modelo.



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

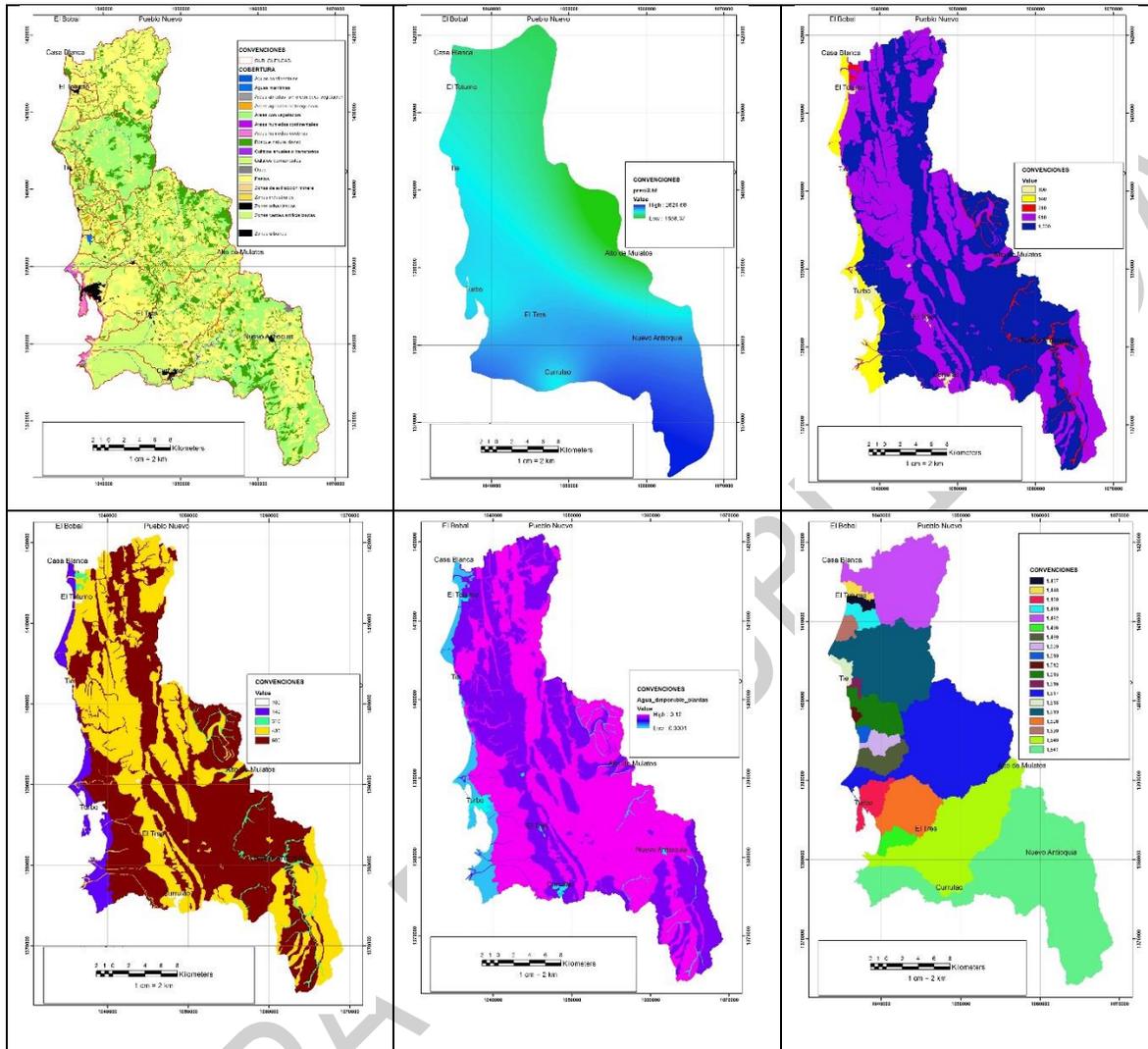


Figura 60. Datos utilizados en el cálculo del balance hídrico de largo plazo para la Cuenca Río Turbo-Currulao.

Fuente: Elaboración propia.

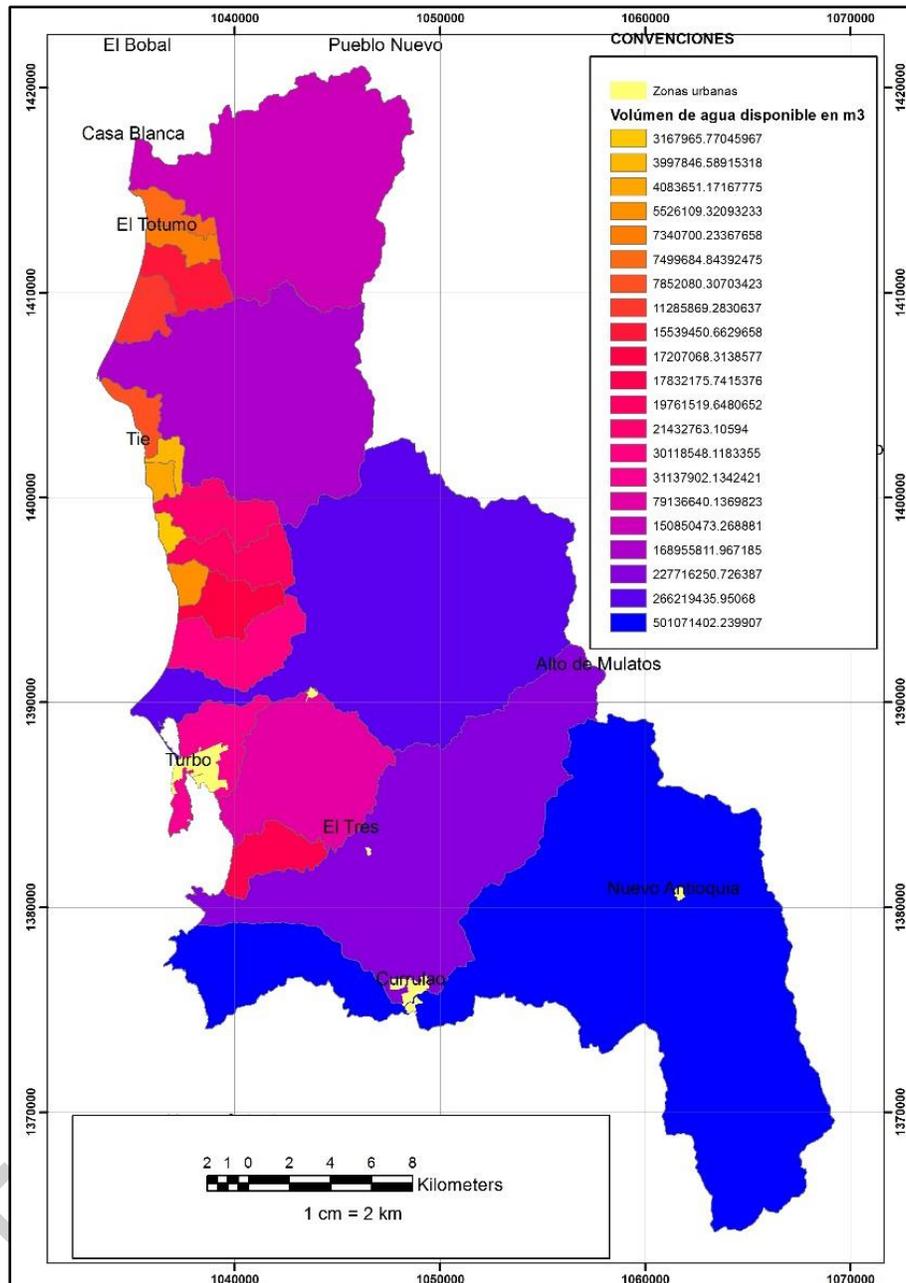


Figura 61. Espacialización de la disponibilidad de agua en las subcuencas de los ríos Turbo-Currulao.

Fuente: Elaboración propia.

3.7.6 Estimación de la demanda hídrica sectorial y total

La demanda hídrica sectorial más representativa en la cuenca del río Turbo-Currulao corresponde a los sectores: Agrícola, Pecuario y doméstico (consumo humano). La manera como se abordó la estimación de la demanda para estos sectores partió de bases de datos de concesiones de agua por parte de la corporación, mapa de coberturas y usos



de la tierra y del anuario estadístico de la Gobernación de Antioquia (2015), para la determinación del uso pecuario. La demanda para los sectores agrícola y pecuario se estimó de manera potencial, siguiendo los lineamientos propuestos en el decreto 865/04 para escenarios cuando no existe información.

3.7.6.1 Estimación de la demanda hídrica consumo humano (CH)

Esta demanda se expresa en millones de metros cúbicos (Mm³) partiendo de los datos de concesiones realizadas por CORPOURABA (Tabla 93), la información se asocia a la subcuenca correspondiente.

Tabla 93. Demanda hídrica para consumo humano (CH).

ID	ACUEDUCTO	CORRIENTE/MICROCUENCA	DEMANDA (l/s)	SUBCUENCA	ÁREA km ²	CH Mm ³
1	Acueducto veredal Caraballo	Río Caraballo	1	Río Currulao	6.05	0.032
2	Acueducto veredal Nueva Antioquia	Quebrada NN	7		3.61	0.221
3	Acueducto Alto Mulatos	Quebrada Alto Mulatos	11	Río Guadualito	0.46	0.347
4	Acueducto veredal 11 de Noviembre	Quebrada El Limón	1.2		0.30	0.038
5	Acueducto veredal el Tres	Quebrada Los Indios	4.47		0.81	0.141
6	Aguas de S.A E.S.P. Municipio de Turbo	Río Turbo	176	Río Turbo	150.29	5.550
7	Acueducto veredal el Dos	Quebrada San Felipe	6		0.91	0.189
8	Acueducto veredal Los Indios	Quebrada la Mina	3		1.06	0.095
9	Acueducto Multiveredal Aguas Claras, Cope, La Martina y Punta de Piedra	Quebrada Copez	7.7	Quebrada Aguas Claras - Estorbo	1.39	0.243
10	Club Campestre Acuarium Central	Río Cirilo	6	Río Cirilo	11.01	0.189
11	Club Campestre Acuarium Central	Río Cirilo	5.3		0.19	0.167
12	Acueducto Veredal Tíe	Quebrada Tíe	3.2	Quebrada Tie	0.11	0.101
13	La Laguna	Cuerpo Léntico	10	Quebrada Manuela	0.00	0.315

Fuente: (CORPOURABA, 2017).

3.7.6.2 Estimación de la demanda hídrica consumo sector agrícola (CSA)

La demanda hídrica del sector agrícola se entiende como extracción de agua destinada a suplir el requerimiento hídrico de los cultivos y los pastos, se calcula de manera



detallada con los requerimientos específicos de cada cultivo en cada uno de los polígonos definidos como agroclimáticamente homogéneos.

En cada polígono se halla el valor de ETC para cada cultivo. El cálculo tiene en cuenta las siguientes consideraciones: 1) las áreas sembradas de los cultivos permanentes no presentan variaciones en el año, (2) las áreas sembradas de pastos se consideran constantes en todo el año.

3.7.6.2.1 Evapotranspiración real del cultivo (ETc)

Los métodos directos proporcionan directamente el valor del consumo total del agua requerida por las plantas. La ETc puede determinarse a partir de la evapotranspiración potencial, ETp (o evapotranspiración del cultivo de referencia), según la expresión.

$$ETc = ETp * Kc$$

En donde Kc, es un coeficiente de cultivo adimensional que varía con el cultivo y su desarrollo vegetativo y ETp es la evapotranspiración potencial.

Las unidades comunes de medida de ETc y ETp suelen ser mm/día, mm/mes o mm/temporada.

Los coeficientes de desarrollo de los cultivos dependen fundamentalmente de las características propias de cada cultivo, por lo tanto, son específicos para cada uno de ellos y dependen de su estado de desarrollo y de sus etapas fenológicas; por ello, son variables a lo largo del tiempo. Los valores de Kc comienzan siendo pequeños y aumentan a medida que la planta cubre más el suelo (Figura 62). Los valores máximos de Kc se alcanzan en la floración, se mantienen durante la fase media y finalmente decrecen durante la maduración. Bajo el método de la FAO, el Kc está representado por líneas rectas conectando 4 etapas de desarrollo, como se indica en la Figura 62.

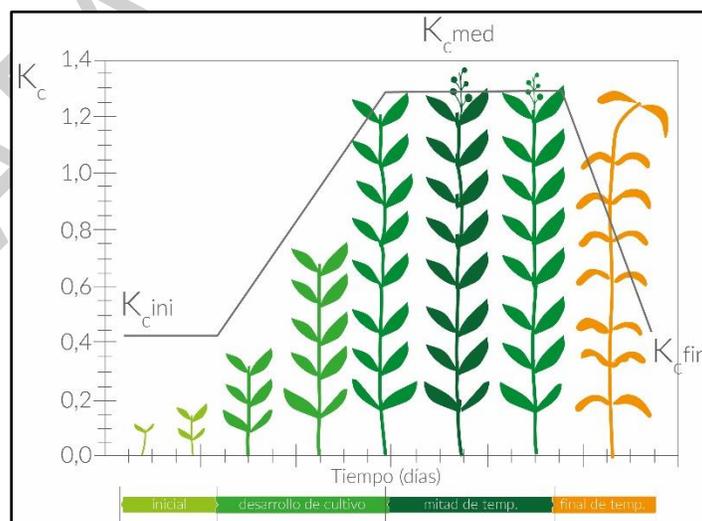


Figura 62. Curva del coeficiente del cultivo.

Fuente: FAO (2006)



Para calcular de manera simple la evapotranspiración del cultivo es necesario identificar las etapas de crecimiento, la duración en días de cada una de ellas y seleccionar el correspondiente Kc para cada etapa.

El primer cálculo que se necesita es la cantidad de agua que requiere el cultivo o uso consuntivo del cultivo. Este se obtiene aplicando el enfoque del coeficiente del cultivo, conforme a la metodología propuesta por la FAO, para determinar el valor total del agua requerida para las plantas, se requiere calcular la ETc a partir de la evapotranspiración potencial, ETp (o evapotranspiración del cultivo de referencia). Para el cálculo de ETc se parte del método de Penman-Monteith (Serie de Riego y Drenaje de la FAO, Nro. 56); en este, los efectos del tiempo atmosférico son incorporados en la ETp, y las características del cultivo y los efectos promedio de la evaporación del suelo en el coeficiente Kc. Para lo cual se tiene la siguiente expresión.

$$ETc = Kc \times ETp$$

Donde

ETc: evapotranspiración del cultivo [mm d-1]

Kc: coeficiente del cultivo [adimensional]

ETp: evapotranspiración del cultivo de referencia [mm d-1]

El Kc es básicamente el cociente entre la evapotranspiración del cultivo (ETc) y la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETp); representa el efecto integrado de cuatro características principales que diferencian a un cultivo en particular del cultivo de referencia.

La mayoría de los efectos de los diferentes factores meteorológicos se encuentran incorporados en la estimación de ETp (cantidad máxima de agua capaz de ser evaporada en un clima dado, por una cubierta vegetal continua y bien alimentada de agua; por lo tanto, incluye la evaporación del suelo y la transpiración vegetal, en una región específica, en un intervalo de tiempo dado). Así, mientras la ETp representa un indicador de la demanda climática, el valor de Kc cambia principalmente en función de las características particulares del cultivo, variando solo en una pequeña proporción en función del clima. Esto permite la transferencia de valores estándar del coeficiente del cultivo entre distintas áreas geográficas y climas.

La variación del coeficiente Kc a lo largo del crecimiento del cultivo está representada por la curva del coeficiente del cultivo. Para describir y construir la curva, es necesario conocer tres valores de Kc: 1) los correspondientes a la etapa inicial (Kc ini), 2) la etapa de mediados de temporada (Kc med) y 3) la etapa final (Kc fin). La forma gráfica de la curva se ilustra en la Figura 62.

A partir de la curva del coeficiente del cultivo se puede determinar el valor de Kc para cualquier periodo, en forma gráfica o numérica. Una vez determinados los valores de Kc, la evapotranspiración del cultivo (ETc) puede ser calculada multiplicando los valores de Kc por los valores correspondientes de ETp.

El valor del coeficiente Kc para un periodo definido de la temporada de crecimiento se puede determinar considerando que el valor de Kc durante la etapa inicial y la etapa de



mediados de temporada es constante e igual al valor de Kc durante la etapa considerada. Durante las etapas de desarrollo y final, el valor de Kc varía en forma lineal entre el valor de Kc correspondiente a la etapa previa (Kc prev) y el valor de Kc al comienzo de la próxima etapa (Kc prox), el cual corresponde al Kc fin en el caso de la etapa final:

$$Kc_i = Kc_{prev} + (i - \sum(L_{prev}) | L_{etapa}) \times (Kc_{prox} - Kc_{prev})$$

Donde

- Kci : coeficiente del cultivo para el día i
- i: número del día dentro de la etapa de crecimiento [1-duración de la etapa de crecimiento]
- Letapa : duración de la etapa considerada [días]
- Σ(Lprev): suma de las duraciones de las etapas previas [días]

Las variables utilizadas para el cálculo de la demanda de agua para uso agrícola son:

- Área del cultivo y producción.
- Kc por tipo de cultivo asociado a cada una de las fases de crecimiento de los cultivos Tabla 94 y Tabla 95.

Tabla 94. Volumen de agua consumida en el beneficio del banano (2008).

Cultivo	Kc inicial	Kc medio	Kc desarrollo	Kc final	Kc promedio	Kc ENA
Banano	0.65	0.60	0.83	1.00	0.77	1.00

Tabla 95. Coeficientes de cultivo y ciclo de siembra para pastos manejados.

Cultivo	Kc inicial	Kc medio	Kc desarrollo	Kc fina	Kc ini cial	Kc me dio	Kc desar rollo	Kc fi na	Kc prom edio
Pastos manejados					0,8	0,9	1,10	0,	0,888
					8	7		60	

La fórmula de cálculo de la demanda agrícola es como sigue:

$$Da = 10 \sum_{d=1}^{lp} \left[\frac{(Kc \times ETp) - \frac{(P \times Ke)}{100}}{Kr} \right] \times A$$

Donde

- Da: requerimiento de agua del cultivo (m3/ha)
- 10: es el factor que aplica para convertir a m3/ ha
- lp: duración del periodo de crecimiento
- Kc: coeficiente cultivo
- ETp: evapotranspiración de referencia potencial
- P: precipitación en mm decadal
- Ke: coeficiente de escorrentía
- Kr: coeficiente de eficiencia de riego



A: área sembrada

Los cultivos más representativos cartografiados en el mapa de Coberturas de la tierra son Plátano y Banano que abarcan un área de 104 Km² de la cuenca en ordenación. La estimación de la demanda potencial de dichos cultivos se realizó calculando las necesidades de riego de los diferentes tipos de cultivos, multiplicado por el número de hectáreas sembradas durante el año de evaluación y un coeficiente de cultivo que para el efecto fue Kc=1.

Para calcular las necesidades de riego se utilizó la oferta de agua disponible para cada subcuenca obtenida para cada uno de los periodos definidos (normal y seco), esto es la precipitación promedio anual para condiciones secas y promedio multianuales (Ecuación 43), multiplicada por el área de cultivo.

En consecuencia, las equivalencias de la formula son:

Kc: coeficiente cultivo =1

ETp: evapotranspiración de referencia potencial=1541 (mm)

P: precipitación en mm

Ke: coeficiente de escorrentía = Yo=0.88, calculada en la Ecuación 44

Kr: coeficiente de eficiencia de riego = 74%

A: área sembrada = Área del cultivo

En la Tabla 96 se puede consultar el volumen anual de agua disponible calculado para periodos de año normal y año seco, de la misma manera se interpreta el cálculo de la demanda para el sector agrícola en Mm³ por las subcuencas en las que se identificó este uso.

Tabla 96. Demanda hídrica consumo sector agrícola subcuencas (CSA).

SUBCUENCAS	ÁREA AGRÍCOLA Km ²	P. Año normal	P Año Seco	VOLUMEN ANUAL (mm) Normal	VOLUMEN ANUAL (mm) Seco	CSA (Mm ³) Normal	CSA (Mm ³) Seco
Río Currulao	37.391	120.84	15.84	640.39	59.73	23.94	2.23
Río Guadualito	29.193	59.68	1.98	637.87	15.87	18.62	0.46
Quebrada Guadualito	5.815	4.53	0.15	628.09	15.62	3.65	0.09
Quebrada El Cuna	8.233	20.37	0.68	630.61	15.69	5.19	0.13
Zona Urbana Turbo	4.781	7.42	0.25	628.09	15.62	3.00	0.07
Río Turbo	6.455	69.69	5.30	581.50	33.17	3.75	0.21
Quebrada Aguas Claras - Estorbo	3.917	6.97	0.53	566.03	32.16	2.22	0.13
Quebrada Cope	1.087	4.00	0.30	565.38	32.11	0.61	0.03
Quebrada NN1	0.475	1.26	0.10	563.40	31.98	0.27	0.02
Río Punta de Piedra	0.041	4.70	0.36	574.67	32.72	0.02	0.00
Quebrada NN2	0.442	0.72	0.05	561.58	31.87	0.25	0.01
Río Cirilo	0.092	5.13	0.39	575.38	32.77	0.05	0.00
Quebrada NN3	0.826	0.96	0.07	561.58	31.87	0.46	0.03
Quebrada Tie	0.001	0.94	0.07	566.63	32.20	0.00	0.00
Quebrada NN4	0.819	1.87	0.14	562.16	31.91	0.46	0.03
Río Caiman Nuevo	1.777	41.83	3.17	572.32	32.56	1.02	0.06
Quebrada Seca	2.048	2.72	0.21	562.50	31.92	1.15	0.07



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

SUBCUENCAS	ÁREA AGRÍCOLA Km ²	P. Año normal	P Año Seco	VOLUMEN ANUAL (mm) Normal	VOLUMEN ANUAL (mm) Seco	CSA (Mm ³) Normal	CSA (Mm ³) Seco
Río Totumo	0.146	4.36	0.43	652.21	48.64	0.10	0.01

Consumo agrícola =CSA.
Fuente: Elaboración propia.

Las subcuencas de los ríos Currulao y Guadualito son las de mayor área sembrada de estas plantaciones. En la Tabla 97 se puede consultar las microcuencas que tienen destinada alguna porción de su área a este sector.

Tabla 97. Demanda hídrica consumo sector agrícola microcuencas (CSA).

ID	MICROCUENCAS	CÓDIGO	ÁREA AGRÍCOLA Km ²	Y(mm) Normal	Y(mm) Seco	CSA (Mm ³) Normal	CSA (Mm ³) Seco
1	Río Turbo	1202-01-06-01	2.410	582.53	33.24	1.40	0.08
2	Río Cirilo	1202-01-12-01	0.000	575.54	32.78	0.0002	0.00001

Escorrentía o lámina de agua = Y(mm), Consumo agrícola =CSA.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 63 se puede observar la distribución espacial de los territorios agrícolas con el uso actual de Plantaciones de Plátano y Banano.

Una de las variables de las cuales depende la demanda hídrica del sector agrícola es la oferta hídrica total que para año hidrológico normal es de 554,56 Mm³ de los cuales su disponibilidad es de un 74%, quedando una OHD de 409 Mm³. Con relación a un año hidrológico seco, la OHTS es de 35 Mm³ solo el 6% de lo OHTS de un año normal, lo cual guarda relación con la baja retención hídrica que presenta la cuenca.

La significativa reducción de la oferta hídrica para año seco, influye en el cálculo de la demanda hídrica del sector agrícola, por lo cual los valores de demanda agrícola para año seco disminuyen en la proporción que disminuye la oferta hídrica. Se consultó con Augura y Fedepian, asociación de cultivadores de Platano y Banano, sobre el comportamiento de este cultivo en año seco, acerca de la disminución de la demanda agrícola en año seco con respecto al año normal, lo que se informó por estas organizaciones es que la planta de plátano y banano en año hidrológico normal demanda mayor cantidad de recurso hídrico debido a que genera reservas en su sistema vegetativo, el cual utiliza dichas reservas en épocas de bajas lluvias como es el caso de un año seco, para este último tipo de año la planta disminuye sus procesos fisiológicos por lo cual no envía recursos al fruto disminuyendo significativamente la producción.

La asociación de cultivadores informa que para el año 2015, en donde se presentó el fenómeno del niño, considerado como un año seco, se presentaron grandes pérdidas debido a la baja productividad del cultivo de plátano y banano. Por lo anterior los datos son concordantes con la realidad de este tipo de plantación de la cuenca.



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

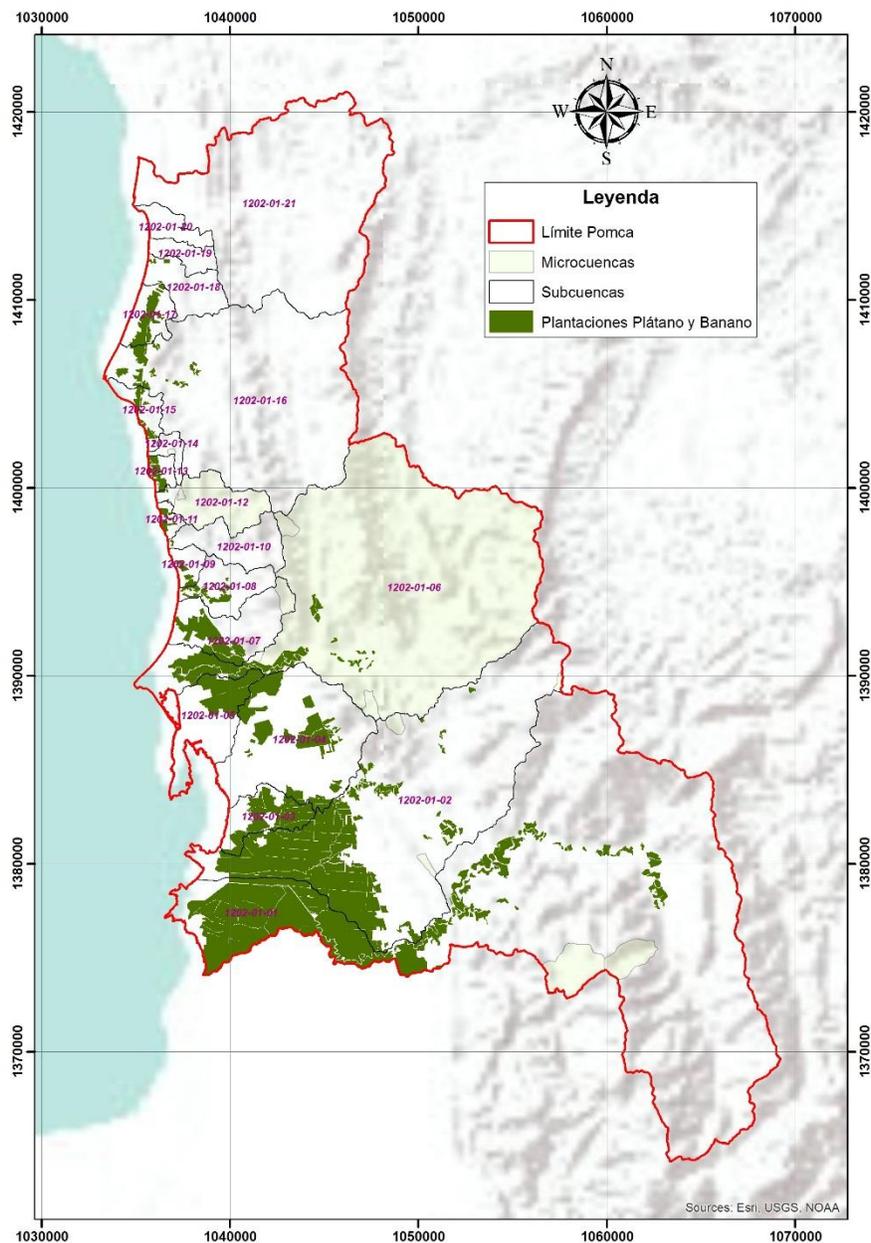


Figura 63. Distribución espacial de territorios agrícolas (uso actual Plátano y Banano).
Fuente: Elaboración propia.



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

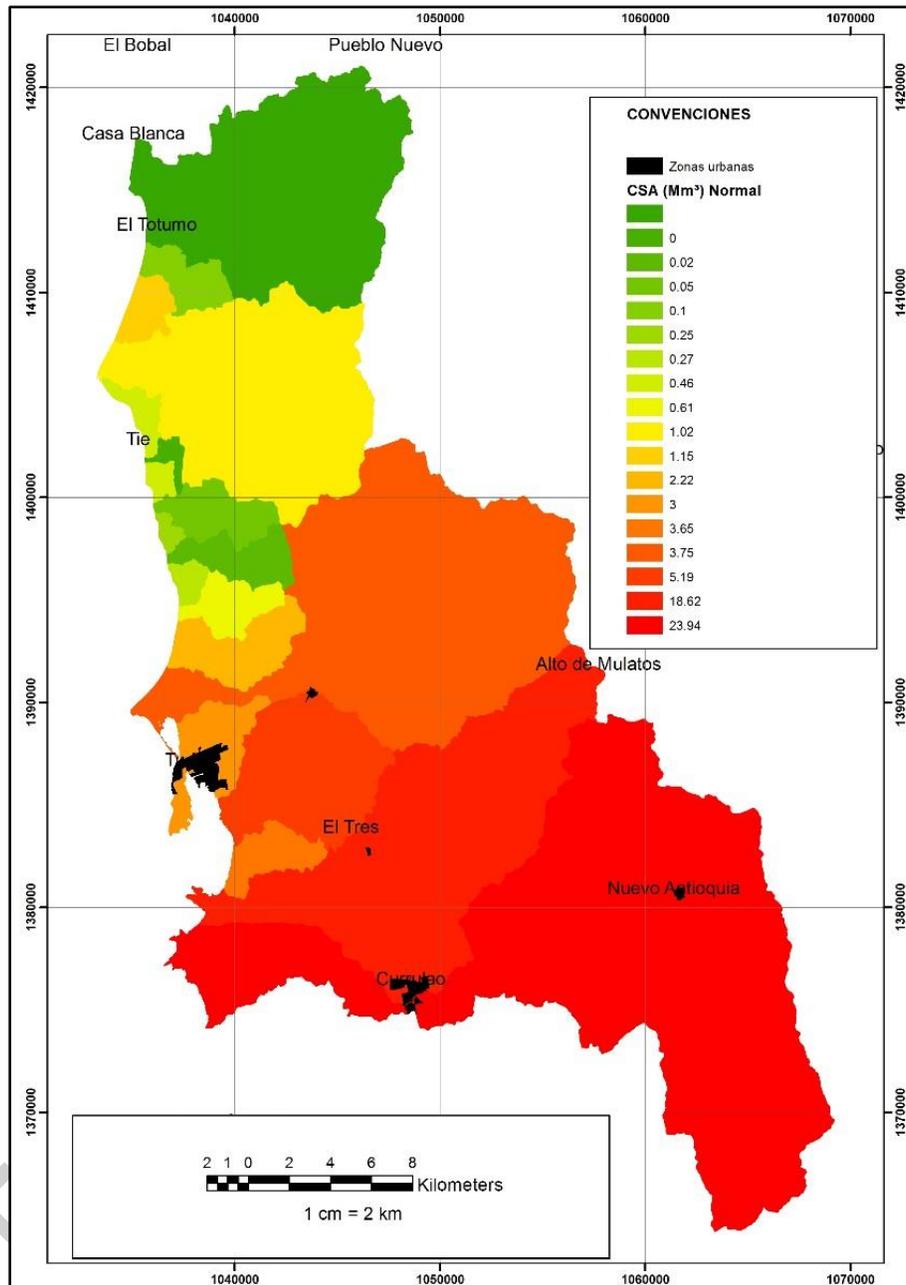


Ilustración 1. Espacialización del consumo de agua en el sector agrícola.
Fuente: Elaboración propia

Conforme a lo expuesto, es de esperar que, en el mediano plazo, se presenten aumentos importantes en el uso del recurso hídrico, teniendo en cuenta la tendencia en el esto aumento de la productividad y por los incrementos en el área de producción y en el nivel de producto (Capítulo Socioeconómico).



3.7.6.3 Estimación de la demanda hídrica consumo sector pecuario (CSP)

Dada la ausencia de información puntual referente a la cantidad de cabezas por grupo etario y la orientación de ganado bovino (leche, carne o doble propósito) y número animales para otras ganaderías o actividades pecuarias, se planteó el siguiente procedimiento: obtener del mapa de coberturas de la tierra el uso correspondiente a Pastoreo extensivo (PEX), de bases secundarias de información regional se obtuvo que para el municipio de Turbo la densidad de Bovinos es de 1.45 /ha y finalmente en el [Anexo 59](#) de hidrología- Animales, del decreto 865/04 se presenta la siguiente tabla.

Tabla 98. Consumo aproximado de agua diaria por bovinos (l/día).

BOVINO	Rango de peso (Kg)	Consumo l/día Temp =26.6°C
Crecimiento	182 – 364	33
Vaca lechera	600 – 1000	46
Vaca preñada	900 – 1000	nd
Vaca lactando	900	67.8
Toro adulto	1400 - 1600	53

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 98 se obtiene un valor promedio de consumo de agua al día por bovinos correspondiente a 49.95 L/día. Con estos datos se pudo calcular la demanda por uso pecuario para las diversas subcuencas jerarquizadas (Tabla 99).

Tabla 99. Demanda hídrica consumo sector pecuario subcuencas (CSP).

ID	SUBCUENCAS	CÓDIGO	Área Pastos (ha)	Bovinos/ha	Nº Bovinos	CSP (Mm ³)
1	Río Currulao	1202-01-01	6280.32	1.45	9106	0.166
2	Río Guadualito	1202-01-02	5126.24	1.45	7433	0.136
3	Quebrada Guadualito	1202-01-03	333.91	1.45	484	0.009
4	Quebrada El Cuna	1202-01-04	2714.67	1.45	3936	0.072
5	Zona Urbana Turbo	1202-01-05	340.64	1.45	494	0.009
6	Río Turbo	1202-01-06	6807.30	1.45	9871	0.180
7	Quebrada Aguas Claras - Estorbo	1202-01-07	767.80	1.45	1113	0.020
8	Quebrada Cope	1202-01-08	481.54	1.45	698	0.013
9	Quebrada NN1	1202-01-09	98.55	1.45	143	0.003
10	Río Punta de Piedra	1202-01-10	508.15	1.45	737	0.013
11	Quebrada NN2	1202-01-11	33.44	1.45	48	0.001
12	Río Cirilo	1202-01-12	366.81	1.45	532	0.010
13	Quebrada NN3	1202-01-13	51.35	1.45	74	0.001
14	Quebrada Tie	1202-01-14	113.41	1.45	164	0.003
15	Quebrada NN4	1202-01-15	85.94	1.45	125	0.002
16	Río Caiman Nuevo	1202-01-16	1058.26	1.45	1534	0.028
17	Quebrada Seca	1202-01-17	226.89	1.45	329	0.006
18	Río Totumo	1202-01-18	550.08	1.45	798	0.015
19	Quebrada Manuela	1202-01-19	284.25	1.45	412	0.008
20	Quebrada La Anguilla	1202-01-20	324.12	1.45	470	0.009
21	Río Caimán Viejo - Tigre	1202-01-21	5998.75	1.45	8698	0.159

Consumo sector pecuario (CSP).

Fuente: Elaboración propia.



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

Las subcuencas de los ríos Currulao, Guadualito, Turbo y Caimán Viejo son las de mayor área de pastoreo extensivo; en la Figura 64 se puede observar la distribución espacial de este grupo de uso (Ganadería).

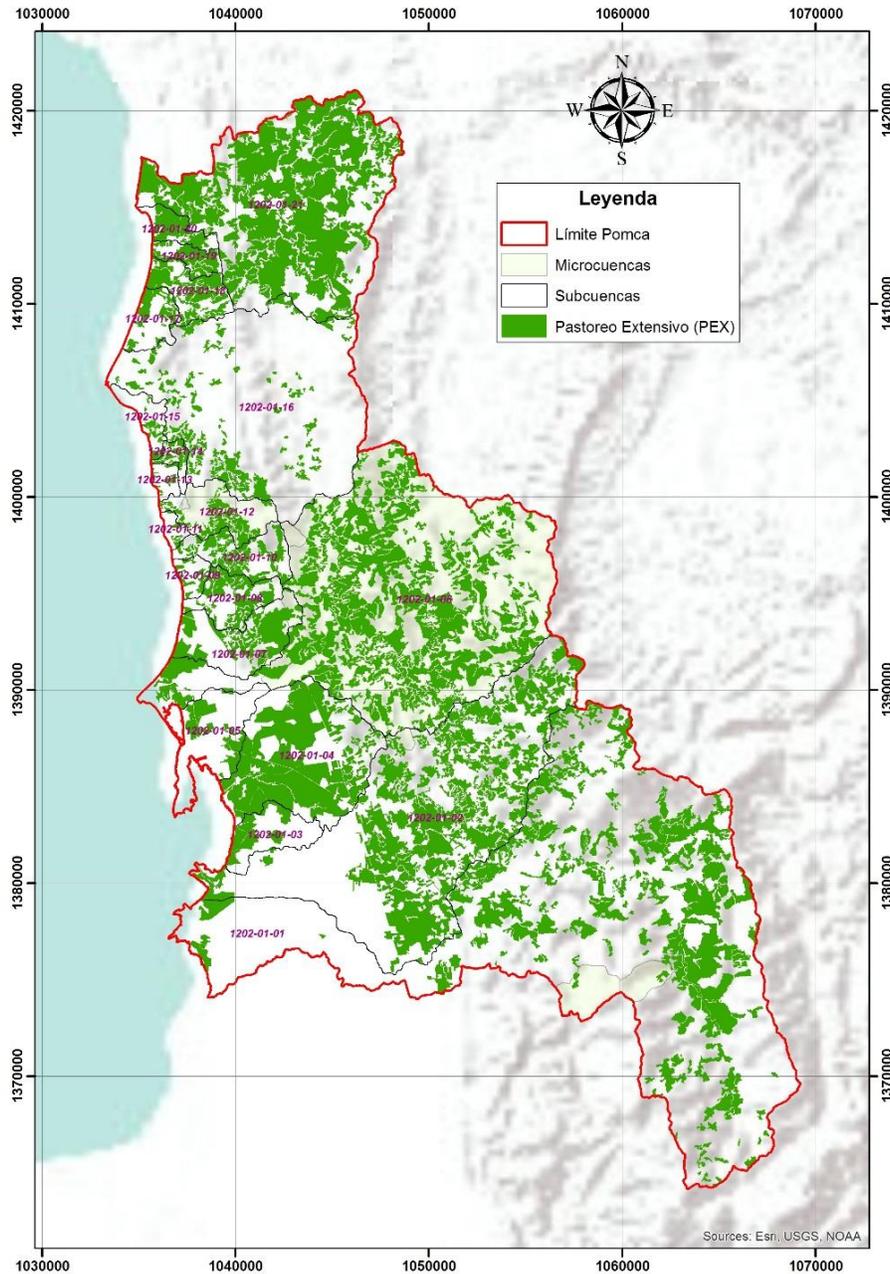


Figura 64. Distribución espacial de áreas destinadas a pastoreo extensivo.
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 100 se puede consultar la demanda por uso pecuario en las microcuencas jerarquizadas.



Tabla 100 Demanda hídrica consumo sector pecuario microcuencas (CSP).

ID	MICROCUENCAS	CÓDIGO	Área Pastos (ha)	Bovinos/ha	Nº Bovinos	CSP (Mm ³)
1	Río Caraballo	1202-01-01-01	16.43	1.45	24	0.000
2	Quebrada NN	1202-01-01-02	23.51	1.45	34	0.001
3	Quebrada El Limón	1202-01-02-01	20.50	1.45	30	0.001
4	Quebrada Alto Mulatos	1202-01-02-02	9.51	1.45	14	0.000
5	Quebrada Los Indios	1202-01-02-03	6.06	1.45	9	0.000
6	Río Turbo	1202-01-06-01	6487.46	1.45	9407	0.172
7	Quebrada San Felipe	1202-01-06-02	44.16	1.45	64	0.001
8	Quebrada La Mina	1202-01-06-03	0.36	1.45	1	0.000
9	Quebrada Copez	1202-01-07-01	46.57	1.45	68	0.001
10	Río Cirilo	1202-01-12-01	342.33	1.45	496	0.009
11	Quebrada NN	1202-01-12-02				
12	Quebrada Tie	1202-01-14-01	3.18	1.45	5	0.000

Consumo sector pecuario (CSP).

Fuente: Elaboración propia.

La quebrada NN (1202-01-12-02) correspondiente al río Cirilo, es la única microcuenca en la que no se presenta el uso de pastos para pastoreo.

3.7.6.4 Estimación de la demanda hídrica total

La demanda hídrica total correspondiente a estos tres sectores para condiciones de año normal y seco puede ser consultada en la Tabla 101 para las unidades hidrográficas subcuencas.

Tabla 101. Demanda hídrica total en las subcuencas (DHT).

ID	SUBCUENCAS	CÓDIGO	DHT (Mm ³) Año Normal	DHT (Mm ³) Año Seco
1	Río Currulao	1202-01-01	24.36	2.65
2	Río Guadualito	1202-01-02	19.28	1.12
3	Quebrada Guadualito	1202-01-03	3.66	0.10
4	Quebrada El Cuna	1202-01-04	5.26	0.20
5	Zona Urbana Turbo	1202-01-05	3.01	0.08
6	Río Turbo	1202-01-06	9.67	6.13
7	Quebrada Aguas Claras - Estorbo	1202-01-07	2.48	0.39
8	Quebrada Cope	1202-01-08	0.63	0.05
9	Quebrada NN1	1202-01-09	0.27	0.02
10	Río Punta de Piedra	1202-01-10	0.04	0.01
11	Quebrada NN2	1202-01-11	0.25	0.01
12	Río Cirilo	1202-01-12	0.42	0.37
13	Quebrada NN3	1202-01-13	0.47	0.03
14	Quebrada Tie	1202-01-14	0.10	0.10
15	Quebrada NN4	1202-01-15	0.46	0.03
16	Río Caiman Nuevo	1202-01-16	1.04	0.09
17	Quebrada Seca	1202-01-17	1.16	0.07
18	Río Totumo	1202-01-18	0.11	0.02
19	Quebrada Manuela	1202-01-19	0.32	0.32
20	Quebrada La Anguilla	1202-01-20	0.01	0.01
21	Río Caimán Viejo - Tigre	1202-01-21	0.16	0.16

Fuente: Elaboración propia.



Los volúmenes de agua estimados para la demanda hídrica en un año promedio en la cuenca del río Turbo-Currulao es de 73 Mm³ y para un año seco se estima en 12 Mm³.

En la Tabla 102 se puede consultar la demanda hídrica total para las microcuencas abastecedoras.

Tabla 102. Demanda hídrica total en las microcuencas abastecedoras (DHT).

ID	MICROCUENCAS	CÓDIGO	DHT (Mm ³) Año Normal	DHT (Mm ³) Año Normal
1	Río Caraballo	1202-01-01-01	0.03	0.03
2	Quebrada NN	1202-01-01-02	0.22	0.22
3	Quebrada El Limón	1202-01-02-01	0.04	0.04
4	Quebrada Alto Mulatos	1202-01-02-02	0.35	0.35
5	Quebrada Los Indios	1202-01-02-03	0.14	0.14
6	Río Turbo	1202-01-06-01	7.13	5.80
7	Quebrada San Felipe	1202-01-06-02	0.19	0.19
8	Quebrada La Mina	1202-01-06-03	0.09	0.09
9	Quebrada Copez	1202-01-07-01	0.24	0.24
10	Río Cirilo	1202-01-12-01	0.20	0.20
11	Quebrada NN	1202-01-12-02	0.17	0.17
12	Quebrada Tie	1202-01-14-01	0.10	0.10

Demanda hídrica total (DHT).

Fuente: Elaboración propia.

3.7.7 Indicadores del estado del recurso hídrico

A continuación, se presenta la definición y cálculo del Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH), Índice de Uso de Agua Superficial (IUA) y el Índice de Vulnerabilidad por Desabastecimiento Hídrico (IVH), de acuerdo con los criterios establecidos por el IDEAM a escala de subcuenca hidrográfica.

3.7.7.1 Índice de retención y regulación hídrica – IRH

El IRH mide la capacidad de retención de humedad de las cuencas con base en la distribución de las series de frecuencias acumuladas (curvas de duración) de los caudales diarios. Este índice se mueve en el rango entre 0 y 1, siendo los valores más bajos los que se interpretan como de menor regulación (IDEAM, 2010). A continuación, se presenta su proceso de cálculo.

Ecuación 45. Índice de retención y regulación hídrica.

$$IRH = VP/Vt$$

Dónde:

IRH: Índice de retención y regulación hídrica

VP: Volumen representado por el área que se encuentra por debajo del caudal medio

Vt: Volumen total representado por el área bajo la curva de duración de caudales diarios

Los valores obtenidos con la estimación del IRH se agrupan en rangos para facilitar las comparaciones, a cada rango se le asigna una calificación cualitativa, que corresponde a la descripción que se refleja en la siguiente tabla.



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

Tabla 103. Calificación de los rangos de valores IRH.

RANGOS DE VALORES DEL INDICADOR	CALIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
> 0.85	Muy alta	Muy alta retención y regulación de humedad
0.75 – 0.85	Alta	Alta retención y regulación de humedad
0.65 – 0.75	Moderada	Media retención y regulación de humedad media
0.50 – 0.65	Baja	Baja retención y regulación de humedad
< 0.50	Muy Baja	Muy baja retención y regulación de humedad

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 104 y Tabla 105 se muestran los resultados y categorización del IRH, para las subcuencas y microcuencas abastecedoras de centros poblados. Los valores de caudal bajo la curva, el caudal medio (Vp) y el volumen total (Vt), se obtuvieron de las curvas de duración, tal como lo establece la guía del IDEAM. En el [Anexo 58](#) de Hidrología – IRH y QAmbiental, se presentan las curvas de duración de caudales medios diarios simulados las cuales son obtenidas del modelo hidrológico empleado para cada una de las subcuencas y microcuencas abastecedoras de centros poblados.

Tabla 104. Resultados del Índice de retención y regulación hídrica en las subcuencas.

ID	SUBCUENCA	CÓDIGO	IRH	Descripción
1	Río Currulao	1202-01-01	0.60	Baja retención y regulación de humedad
2	Río Guadualito	1202-01-02	0.39	Muy baja retención y regulación de humedad
3	Quebrada Guadualito	1202-01-03	0.39	Muy baja retención y regulación de humedad
4	Quebrada El Cuna	1202-01-04	0.39	Muy baja retención y regulación de humedad
5	Zona Urbana Turbo	1202-01-05	0.39	Muy baja retención y regulación de humedad
6	Río Turbo	1202-01-06	0.50	Baja retención y regulación de humedad
7	Quebrada Aguas Claras - Estorbo	1202-01-07	0.49	Muy baja retención y regulación de humedad
8	Quebrada Cope	1202-01-08	0.49	Muy baja retención y regulación de humedad
9	Quebrada NN1	1202-01-09	0.49	Muy baja retención y regulación de humedad
10	Río Punta de Piedra	1202-01-10	0.49	Muy baja retención y regulación de humedad
11	Quebrada NN2	1202-01-11	0.49	Muy baja retención y regulación de humedad
12	Río Cirilo	1202-01-12	0.49	Muy baja retención y regulación de humedad
13	Quebrada NN3	1202-01-13	0.49	Muy baja retención y regulación de humedad
14	Quebrada Tie	1202-01-14	0.49	Muy baja retención y regulación de humedad
15	Quebrada NN4	1202-01-15	0.49	Muy baja retención y regulación de humedad



ID	SUBCUENCA	CÓDIGO	IRH	Descripción
16	Río Caiman Nuevo	1202-01-16	0.49	Muy baja retención y regulación de humedad
17	Quebrada Seca	1202-01-17	0.49	Muy baja retención y regulación de humedad
18	Río Totumo	1202-01-18	0.53	Baja retención y regulación de humedad
19	Quebrada Manuela	1202-01-19	0.53	Baja retención y regulación de humedad
20	Quebrada La Anguilla	1202-01-20	0.53	Baja retención y regulación de humedad
21	Río Caimán Viejo - Tigre	1202-01-21	0.53	Baja retención y regulación de humedad

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 105. Resultados del Índice de retención y regulación hídrica en las microcuencas.

ID	MICROCUENCAS	CÓDIGO	IRH	DESCRIPCIÓN
1	Río Caraballo	1202-01-01-01	0.60	Baja retención y regulación de humedad
2	Quebrada NN	1202-01-01-02	0.61	Baja retención y regulación de humedad
3	Quebrada El Limón	1202-01-02-01	0.39	Muy baja retención y regulación de humedad
4	Quebrada Alto Mulatos	1202-01-02-02	0.39	Muy baja retención y regulación de humedad
5	Quebrada Los Indios	1202-01-02-03	0.39	Muy baja retención y regulación de humedad
6	Río Turbo	1202-01-06-01	0.50	Baja retención y regulación de humedad
7	Quebrada San Felipe	1202-01-06-02	0.50	Baja retención y regulación de humedad
8	Quebrada La Mina	1202-01-06-03	0.50	Baja retención y regulación de humedad
9	Quebrada Copez	1202-01-07-01	0.50	Baja retención y regulación de humedad
10	Río Cirilo	1202-01-12-01	0.49	Muy baja retención y regulación de humedad
11	Quebrada NN	1202-01-12-02	0.49	Muy baja retención y regulación de humedad
12	Quebrada Tie	1202-01-14-01	0.49	Muy baja retención y regulación de humedad

Fuente: Elaboración propia.

La cuenca del río Turbo-Currulao se cataloga como un área hidrológica de baja a muy baja retención y regulación de humedad.

3.7.7.2 Índice de uso de agua superficial – IUA

Cantidad de agua utilizada por los diferentes sectores usuarios, en un período determinado (anual, mensual) y unidad espacial de análisis (área, zona, subzona, etc.) en relación con la oferta hídrica superficial disponible para las mismas unidades de tiempo y espacio. En sentido estricto el indicador debería considerar la oferta hídrica superficial y subterránea en forma unitaria. Sin embargo, mientras se tienen avances en la conceptualización sobre la oferta de agua subterránea, se debe seguir considerando solamente la oferta hídrica superficial.

Relación porcentual de la demanda de agua en relación con la oferta hídrica disponible.

Ecuación 46. Índice de uso de agua superficial.

$$IUA = \left(\frac{Dh}{Oh} \right) * 100$$

Dónde:



D_h : Demanda hídrica sectorial

O_h : Oferta hídrica superficial disponible (esta última resulta de la cuantificación de la oferta hídrica natural sustrayendo la oferta correspondiente al caudal ambiental).

$D_h = \Sigma$ (volumen de agua extraída para usos sectoriales en un período determinado)

Ecuación 47. Demanda hídrica sectorial.

$$D_h = Ch + C_{sa} + C_{sp} + C_{sm} + C_{ss} + C_{ea} + C_e + C_a + A_{enc}$$

Donde

D_h : Demanda hídrica

Ch : Consumo humano o doméstico

C_{sa} : Consumo del sector agrícola

C_{sp} : Consumo del sector pecuario

C_{sm} : Consumo del sector industrial

C_{ss} : Consumo del sector de servicios

C_e : Consumo del sector energía

C_a : Consumo del sector acuícola

A_{enc} : Agua extraída no consumida

Ecuación 48. Oferta hídrica superficial disponible.

$$O_h = O_{htotal} - O_{Qamb}$$

Dónde:

O_{htotal} : es el volumen total de agua superficial en una unidad de análisis espacial y temporal determinada.

O_{Qamb} : es el volumen de agua correspondiente al caudal ambiental en la misma unidad de análisis espacial y de tiempo de la oferta total.

En la Tabla 106, se representan los rangos y categorías del índice de uso del agua.

Tabla 106. Rangos y categorías del Índice de uso del agua (IUA).

RANGO (D_h/O_h) *100 IUA	CATEGORÍA IUA	SIGNIFICADO
>50	Muy alta	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
20,01 – 50	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
10,01 – 20	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible
1 – 10	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible
≤ 1	Muy bajo	La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible

Fuente: (IDEAM, 2010).

Este indicador se calculó para las subcuencas que fueron jerarquizadas, para condiciones hidrológicas normales y secas ver Tabla 107 y Tabla 108.

Tabla 107. Índice de uso del agua superficial condición hidrológica normal subcuencas.



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

ID	SUBCUENCAS	CÓDIGO	IUA (Año Normal)	CATEGORÍA	SIGNIFICADO
1	Río Currulao	1202-01-01	20.2%	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
2	Río Guadualito	1202-01-02	32.3%	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
3	Quebrada Guadualito	1202-01-03	80.9%	Muy Alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
4	Quebrada El Cuna	1202-01-04	25.8%	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
5	Zona Urbana Turbo	1202-01-05	40.6%	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
6	Río Turbo	1202-01-06	13.9%	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible
7	Quebrada Aguas Claras - Estorbo	1202-01-07	35.6%	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
8	Quebrada Cope	1202-01-08	15.7%	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible
9	Quebrada NN1	1202-01-09	21.4%	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
10	Río Punta de Piedra	1202-01-10	0.8%	Muy bajo	La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible
11	Quebrada NN2	1202-01-11	34.8%	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
12	Río Cirilo	1202-01-12	8.2%	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible
13	Quebrada NN3	1202-01-13	48.6%	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
14	Quebrada Tie	1202-01-14	11.1%	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible
15	Quebrada NN4	1202-01-15	24.8%	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
16	Río Caiman Nuevo	1202-01-16	2.5%	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible
17	Quebrada Seca	1202-01-17	42.5%	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
18	Río Totumo	1202-01-18	2.5%	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible
19	Quebrada Manuela	1202-01-19	16.1%	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible
20	Quebrada La Anguilla	1202-01-20	0.4%	Muy bajo	La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible
21	Río Caimán Viejo - Tigre	1202-01-21	0.3%	Muy bajo	La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 108. Índice de uso del agua superficial condición hidrológica seca.

ID	SUBCUENCAS	CÓDIGO	IUA (Año Seco)	CATEGORÍA	SIGNIFICADO
1	Río Currulao	1202-01-01	17%	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible
2	Río Guadualito	1202-01-02	57%	Muy Alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
3	Quebrada Guadualito	1202-01-03	66%	Muy Alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
4	Quebrada El Cuna	1202-01-04	30%	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible



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

I D	SUBCUENCAS	CÓDIGO	IUA (Año Seco)	CATEGORÍA	SIGNIFICADO
5	Zona Urbana Turbo	1202-01-05	34%	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
6	Río Turbo	1202-01-06	116%	Muy Alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
7	Quebrada Aguas Claras - Estorbo	1202-01-07	74%	Muy Alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
8	Quebrada Cope	1202-01-08	16%	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible
9	Quebrada NN1	1202-01-09	19%	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible
10	Río Punta de Piedra	1202-01-10	4%	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible
11	Quebrada NN2	1202-01-11	28%	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
12	Río Cirilo	1202-01-12	95%	Muy Alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
13	Quebrada NN3	1202-01-13	38%	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
14	Quebrada Tie	1202-01-14	146%	Muy Alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
15	Quebrada NN4	1202-01-15	20%	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible
16	Río Caiman Nuevo	1202-01-16	3%	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible
17	Quebrada Seca	1202-01-17	35%	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
18	Río Totumo	1202-01-18	5%	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible
19	Quebrada Manuela	1202-01-19	162%	Muy Alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
20	Quebrada La Anguilla	1202-01-20	4%	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible
21	Río Caimán Viejo - Tigre	1202-01-21	3%	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible

Fuente: Elaboración propia.

En el [Anexo 59](#) de Hidrología – IUA, se presentan el cálculo de este indicador ambiental. El 50 % de las subcuencas jerarquizadas en la Cuenca del río Turbo-Currulao para condiciones de año hidrológico normal, presentan de Alta a Muy Alta presión sobre el recurso hídrico. La subcuenca de la quebrada Guadualito (1202-01-03) con un porcentaje de 81% del IUA es la que se categoriza como la de mayor impacto. En condiciones de año hidrológico seco, las subcuencas con Muy Alta presión de la demanda en relación con la oferta hídrica son: río Guadualito (1202-01-02), quebrada Guadualito (1202-01-03), río Turbo (1202-01-06), quebrada Aguas Claras – El Estorbo (1202-01-07), río Cirilo (1202-01-12), quebrada Tié (1202-01-14) y quebrada Manuela (1202-01-19).

En la Tabla 109 y Tabla 110 se pueden consultar los resultados del IUA para las microcuencas abastecedoras.

Tabla 109. Índice de uso del agua superficial condición hidrológica normal microcuencas



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

abastecedoras.

I D	MICROCUENCA S	CÓDIGO	IUA (año normal)	CATEGORÍA	SIGNIFICADO
1	Río Caraballo	1202-01-01-01	1.2%	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible
2	Quebrada NN	1202-01-01-02	12.4%	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible
3	Quebrada El Limón	1202-01-02-01	17.5%	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible
4	Quebrada Alto Mulatos	1202-01-02-02	219.5%	Muy Alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
5	Quebrada Los Indios	1202-01-02-03	35.6%	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
6	Río Turbo	1202-01-06-01	10.9%	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible
7	Quebrada San Felipe	1202-01-06-02	47.8%	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
8	Quebrada La Miña	1202-01-06-03	20.3%	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
9	Quebrada Copez	1202-01-07-01	39.7%	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
10	Río Cirilo	1202-01-12-01	4.2%	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible
11	Quebrada NN	1202-01-12-02	203.5%	Muy Alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
12	Quebrada Tie	1202-01-14-01	215.2%	Muy Alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 110. Índice de uso del agua superficial condición hidrológica seca microcuencas abastecedoras.

I D	MICROCUENCA S	CÓDIGO	IUA (Año seco)	CATEGORÍA	SIGNIFICADO
1	Río Caraballo	1202-01-01-01	8.8%	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible
2	Quebrada NN	1202-01-01-02	94.6%	Muy Alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
3	Quebrada El Limón	1202-01-02-01	526.8%	Muy Alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
4	Quebrada Alto Mulatos	1202-01-02-02	6604.1%	Muy Alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
5	Quebrada Los Indios	1202-01-02-03	1071.5%	Muy Alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
6	Río Turbo	1202-01-06-01	116.1%	Muy Alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
7	Quebrada San Felipe	1202-01-06-02	628.8%	Muy Alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
8	Quebrada La Miña	1202-01-06-03	266.4%	Muy Alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
9	Quebrada Copez	1202-01-07-01	521.4%	Muy Alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
10	Río Cirilo	1202-01-12-01	54.9%	Muy Alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
11	Quebrada NN	1202-01-12-02	2679.8%	Muy Alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
12	Quebrada Tie	1202-01-14-01	2839.6%	Muy Alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible

Fuente: Elaboración propia.

Es muy crítico el estado de las cuencas abastecedoras de los centros poblados, ya que la presión sobre el recurso se evaluó en Muy Alto, en condiciones de año hidrológico seco.



Esta condición es una debilidad fuerte en cuanto a la disponibilidad y conflictos de uso del recurso hídrico en la cuenca del río Turbo-Currulao.

3.7.7.3 Índice de vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento - IVH

El índice de vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento refiere el grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta para el abastecimiento de agua, que ante amenazas, como periodos largos de estiaje o eventos como el Fenómeno cálido del Pacífico, podría generar riesgos de desabastecimiento.

El índice de vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento se determina a través de una matriz de relación de rangos del Índice de regulación hídrica (IRH) y el Índice de uso de agua (IUA). Las categorías de este índice se presentan en la Tabla 111.

Tabla 111. Matriz de relación para caracterizar el índice de vulnerabilidad al desabastecimiento (IVH).

CATEGORÍAS ÍNDICES DE VULNERABILIDAD DE DESABASTECIMIENTO (IVH)		
ÍNDICE DE USO DE AGUA	ÍNDICE DE REGULACIÓN	CATEGORÍA VULNERABILIDAD
Muy bajo	Alto	Muy bajo
Muy bajo	Moderado	Bajo
Muy bajo	Bajo	Medio
Muy bajo	Muy bajo	Medio
Bajo	Alto	Bajo
Bajo	Moderado	Bajo
Bajo	Bajo	Medio
Bajo	Muy bajo	Medio
Medio	Alto	Medio
Medio	Moderado	Medio
Medio	Bajo	Alto
Medio	Muy bajo	Alto
Alto	Alto	Medio
Alto	Moderado	Alto
Alto	Bajo	Alto
Alto	Muy bajo	Muy alto
Muy alto	Alto	Medio
Muy alto	Moderado	Alto
Muy alto	Bajo	Alto
Muy alto	Muy bajo	Muy alto

Fuente: (IDEAM, 2010).

Este indicador se calculó para las unidades hidrográficas (subcuencas), a partir de los resultados de los índices de retención y regulación hídrica y del índice del uso del agua, en diversas condiciones hidrológicas.

Tabla 112. Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico para las subcuencas condición hidrológica normal.

ID	SUBCUENCA	CÓDIGO	IUA	IRH	IVH
1	Río Currulao	1202-01-01	Alto	Bajo	Alto
2	Río Guadualito	1202-01-02	Alto	Muy Bajo	Muy Alto
3	Quebrada Guadualito	1202-01-03	Muy Alto	Muy Bajo	Muy Alto
4	Quebrada El Cuna	1202-01-04	Alto	Muy Bajo	Muy Alto
5	Zona Urbana Turbo	1202-01-05	Alto	Muy Bajo	Muy Alto
6	Río Turbo	1202-01-06	Moderado	Bajo	Alto
7	Quebrada Aguas Claras - Estorbo	1202-01-07	Alto	Muy Bajo	Muy Alto



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

ID	SUBCUENCA	CÓDIGO	IUA	IRH	IVH
8	Quebrada Cope	1202-01-08	Moderado	Muy Bajo	Alto
9	Quebrada NN1	1202-01-09	Alto	Muy Bajo	Muy Alto
10	Río Punta de Piedra	1202-01-10	Muy bajo	Muy Bajo	Medio
11	Quebrada NN2	1202-01-11	Alto	Muy Bajo	Muy Alto
12	Río Cirilo	1202-01-12	Bajo	Muy Bajo	Medio
13	Quebrada NN3	1202-01-13	Alto	Muy Bajo	Muy alto
14	Quebrada Tie	1202-01-14	Moderado	Muy Bajo	Alto
15	Quebrada NN4	1202-01-15	Alto	Muy Bajo	Muy alto
16	Río Caiman Nuevo	1202-01-16	Bajo	Muy Bajo	Medio
17	Quebrada Seca	1202-01-17	Alto	Muy Bajo	Muy alto
18	Río Totumo	1202-01-18	Bajo	Bajo	Medio
19	Quebrada Manuela	1202-01-19	Moderado	Bajo	Alto
20	Quebrada La Anguilla	1202-01-20	Muy bajo	Bajo	Medio
21	Río Caimán Viejo - Tigre	1202-01-21	Muy bajo	Bajo	Medio

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 113. Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico para las subcuencas condición hidrológica seca.

ID	SUBCUENCA	CÓDIGO	IUA	IRH	IVH
1	Río Currulao	1202-01-01	Moderado	Bajo	Alto
2	Río Guadualito	1202-01-02	Muy Alto	Muy Bajo	Muy alto
3	Quebrada Guadualito	1202-01-03	Muy Alto	Muy Bajo	Muy alto
4	Quebrada El Cuna	1202-01-04	Alto	Muy Bajo	Muy alto
5	Zona Urbana Turbo	1202-01-05	Alto	Muy Bajo	Muy alto
6	Río Turbo	1202-01-06	Muy Alto	Bajo	Alto
7	Quebrada Aguas Claras - Estorbo	1202-01-07	Muy Alto	Muy Bajo	Muy alto
8	Quebrada Cope	1202-01-08	Moderado	Muy Bajo	Alto
9	Quebrada NN1	1202-01-09	Moderado	Muy Bajo	Alto
10	Río Punta de Piedra	1202-01-10	Bajo	Muy Bajo	Medio
11	Quebrada NN2	1202-01-11	Alto	Muy Bajo	Muy alto
12	Río Cirilo	1202-01-12	Muy Alto	Muy Bajo	Muy alto
13	Quebrada NN3	1202-01-13	Alto	Muy Bajo	Muy alto
14	Quebrada Tie	1202-01-14	Muy Alto	Muy Bajo	Muy alto
15	Quebrada NN4	1202-01-15	Moderado	Muy Bajo	Alto
16	Río Caiman Nuevo	1202-01-16	Bajo	Muy Bajo	Medio
17	Quebrada Seca	1202-01-17	Alto	Muy Bajo	Muy alto
18	Río Totumo	1202-01-18	Bajo	Bajo	Medio
19	Quebrada Manuela	1202-01-19	Muy Alto	Bajo	Alto
20	Quebrada La Anguilla	1202-01-20	Bajo	Bajo	Medio
21	Río Caimán Viejo - Tigre	1202-01-21	Bajo	Bajo	Medio

Fuente: Elaboración propia.

El análisis para las microcuencas abastecedoras se puede consultar en las siguientes tablas.

Tabla 114. Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico para las microcuencas abastecedoras condición hidrológica normal.

ID	MICROCUENCA	CÓDIGO	IUA	IRH	IVH
1	Río Caraballo	1202-01-01-01	Bajo	Bajo	Medio
2	Quebrada NN	1202-01-01-02	Moderado	Bajo	Alto



ID	MICROCUENCA	CÓDIGO	IUA	IRH	IVH
3	Quebrada El Limón	1202-01-02-01	Moderado	Muy Bajo	Alto
4	Quebrada Alto Mulatos	1202-01-02-02	Muy Alto	Muy Bajo	Muy Alto
5	Quebrada Los Indios	1202-01-02-03	Alto	Muy Bajo	Muy Alto
6	Río Turbo	1202-01-06-01	Moderado	Bajo	Alto
7	Quebrada San Felipe	1202-01-06-02	Alto	Bajo	Alto
8	Quebrada La Mina	1202-01-06-03	Alto	Bajo	Alto
9	Quebrada Copez	1202-01-07-01	Alto	Bajo	Alto
10	Río Cirilo	1202-01-12-01	Bajo	Muy Bajo	Medio
11	Quebrada NN	1202-01-12-02	Muy Alto	Muy Bajo	Muy Alto
12	Quebrada Tie	1202-01-14-01	Muy Alto	Muy Bajo	Muy Alto

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 115. Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico para las microcuencas abastecedoras condición hidrológica seca.

ID	MICROCUENCA	CÓDIGO	IUA	IRH	IVH
1	Río Caraballo	1202-01-01-01	Bajo	Bajo	Medio
2	Quebrada NN	1202-01-01-02	Muy Alto	Bajo	Alto
3	Quebrada El Limón	1202-01-02-01	Muy Alto	Muy Bajo	Muy Alto
4	Quebrada Alto Mulatos	1202-01-02-02	Muy Alto	Muy Bajo	Muy Alto
5	Quebrada Los Indios	1202-01-02-03	Muy Alto	Muy Bajo	Muy Alto
6	Río Turbo	1202-01-06-01	Muy Alto	Bajo	Alto
7	Quebrada San Felipe	1202-01-06-02	Muy Alto	Bajo	Alto
8	Quebrada La Mina	1202-01-06-03	Muy Alto	Bajo	Alto
9	Quebrada Copez	1202-01-07-01	Muy Alto	Bajo	Alto
10	Río Cirilo	1202-01-12-01	Muy Alto	Muy Bajo	Muy Alto
11	Quebrada NN	1202-01-12-02	Muy Alto	Muy Bajo	Muy Alto
12	Quebrada Tie	1202-01-14-01	Muy Alto	Muy Bajo	Muy Alto

Fuente: Elaboración propia.

Sin importar la condición hidrológica del año (seco o normal), la vulnerabilidad de todo el sistema hídrico de la cuenca del río Turbo-Currulao a presentar un desabastecimiento de agua se cataloga como de medio, alto a muy alto, siendo el muy alto el de mayor frecuencia. Este índice da cuenta de la fragilidad que tiene la cuenca ante diversas condiciones, como variabilidad climática, intensificación de amenazas, aumento en la demanda de agua o degradación de la cuenca.

3.7.8 Necesidades de información

La caracterización hidrológica, la estimación de caudales ambientales, así como la oferta hídrica total y disponible, la demanda sectorial y total para el posterior cálculo de índices del estado del recurso hídrico, fueron los temas generales que se abordaron en este acápite de hidrología para la cuenca del río Turbo-Currulao.

Cada una de las temáticas requiere de insumos como: conjunto de datos hidrometeorológicos, coberturas temáticas, censos de usos y usuarios, inventarios de infraestructura y su caracterización física, entre otros insumos necesarios para consolidar una línea base consistente y robusta; sin embargo, mucha de esta información clave para el proceso del POMCA, no existe, no está completa, es inconsistente o por algún motivo no se logró obtener. A continuación, se lista una serie de necesidades identificadas en el proceso.



- **Red de estaciones hidrológicas:** Se identificaron solo 3 estaciones hidrológicas que desde el año 2010 se encuentran suspendidas. Adicionalmente la calidad de sus registros es muy dudosa. Luego del análisis de homogeneidad se logró establecer un periodo de registros consistente de 1990 a 2010, sin embargo, el comportamiento de los registros posteriores a esta fecha no pudo ser explicado y da lugar a muchas especulaciones, como por ejemplo la ocurrencia de una gran intervención en la cuenca, regulando los grandes aportes que se registraban en la década de los 70s y 80s, con valores por encima de los 150 m³/s, y que en la actualidad no superan los 20 m³/s o la influencia de variabilidad y cambio climático fuerte en la región. Esta correspondencia solo se logra con un buen monitoreo hidrometeorológico en toda la cuenca, no solo en sus 3 ríos principales (Currulao, Guadualito y Turbo).

Se requiere entonces de una red óptima de estaciones hidrometeorológicas que monitoree el clima y la oferta hídrica en las subcuencas categorizada como de orden 5 y 6 del sistema.

- **Censos:** Se debe realizar un censo de usuarios que permita establecer en la cuenca del río Turbo-Currulao cuales son las demandas reales por sus usos respectivos (Preservación de flora y fauna, recreativo, industrial, estético, pesca, agrícola y acuícola, navegación y transporte acuático, además de considerar sectores específicos como la minería y la generación hidroeléctrica), incluyendo las concesiones de agua legales e ilegales.
- **Inventario de infraestructura:** son muchas las obras de protección de orillas, desvío de cauces, canalizaciones, diques entre otras, que pueden existir en la cuenca, sin embargo, no se contó con dicha información completa y verificada. Se debe realizar una caracterización detallada de estas obras que causan alteraciones al comportamiento natural de los ríos y quebradas.



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 (AFCEA)*.
- 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 Necolí. Obtenido de <https://idespinosa.wordpress.com/2012/10/28/diagnostico-cultural-necoli/>
- 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).
- Garcia, 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.
- Higueta 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.
- Higueta, 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 Lorica, 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 SARROLLO%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 Embera, 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.
- 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.banrepcultural.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.colombiaaprende.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 Mecoacán 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%20-TURBO.pdf>
- Unión Temporal Plan Estratégico de las Macrocuenas Magdalena Cauca y Caribe. (2015). PLAN ESTRATÉGICO MACROCUEENCA 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, Antioquía, 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
- 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.



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

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