

2015

INFORME RED DE MONITOREO QUEBRADA MANIZALES – I SEMESTRE



CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DE CALDAS
CORPOCALDAS



ONG SERVICIOS AMBIENTALES DE CALDAS



**PRESTACIÓN DE SERVICIOS PROFESIONALES Y TÉCNICOS, PARA
OPERAR LA RED DE MONITOREO DEPARTAMENTAL DEL RECURSO
HÍDRICO, ESTACIONES SUBCUENCA RÍO CHINCHINÁ Y QUEBRADA
MANIZALES EN EL DEPARTAMENTO DE CALDAS**

**INFORME RED DE MONITOREO
QUEBRADA MANIZALES**

**Elaborado por:
O.N.G. SERVICIOS AMBIENTALES DE CALDAS**

**CORPOCALDAS - O.N.G. SERVICIOS AMBIENTALES DE CALDAS
CONTRATO No 171-2014
Manizales, Octubre de 2015**

Contenido

INDICE DE FOTOGRAFÍAS	5
INDICE DE ECUACIONES	5
1. INTRODUCCIÓN	12
2. OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GENERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	15
3. METODOLOGÍA	16
3.1 REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN	16
3.2 PLANIFICACIÓN DE TRABAJO DE CAMPO	17
3.3 VISITA DE CAMPO	18
3.3.1 Ubicación de la zona de estudio Quebrada Manizales	19
3.3.2 Obras encontradas en la Cuenca de la Quebrada Manizales	23
3.3.3 Acontecimientos encontrados	23
3.4 ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA	24
3.4.1 Parámetros analizados	24
4. APLICACIÓN DE INDICES DE CALIDAD Y CONTAMINACIÓN	31
4.1 ICA CETESB	32
4.1.1 Descripción	32
4.1.2 Metodología para el cálculo	33
4.2 ICA IDEAM	35
4.2.1 Descripción	35
4.2.2 ICOMO – Índice de Contaminación por Materia Orgánica	38
5. EJECUCIÓN DE LA CAMPAÑA DE MONITOREO A LAS ESTACIONES SOBRE LA QUEBRADA MANIZALES Y SUS PRINCIPALES AFLUENTES.	40
5.1 ESTACIONES DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA SOBRE LA QUEBRADA MANIZALES	40
5.1.1 Puntos de Monitoreo	40
5.2 FUENTES REPRESENTATIVAS EN CUANTO A CARGA CONTAMINANTE APORTADA A LA QUEBRADA MANIZALES	51

5.2.1 ESTACIONES DE LA QUEBRADA CIMITARRA	51
5.2.2 QUEBRADA TESORITO	52
5.2.3 QUEBRADA CRISTALES.....	53
5.3 PRESERVACIÓN DE LAS MUESTRAS.....	54
5.4 TRANSPORTE DE LAS MUESTRAS	54
6. CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA MANIZALES	55
6.1 PARÁMETROS IN-SITU	55
6.2 RESULTADOS DE LABORATORIO	57
6.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	61
6.3.1 CAUDAL.....	61
6.3.2 TEMPERATURA.....	66
6.3.3 CONDUCTIVIDAD.....	72
6.3.2 POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH).....	77
6.3.3 DUREZA	82
6.3.4 ALCALINIDAD.....	85
6.3.5 Parámetros Indicadores de contaminación: Oxígeno Disuelto (OD), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y Demanda Química de Oxígeno (DQO)	88
6.3.6 Sólidos Totales (STT), Sólidos Suspendedos Totales (SST), Turbiedad y Color	113
6.4 INDICES DE CALIDAD E INDICES DE CONTAMINACIÓN	135
6.4.1 ICA-CETESB.....	136
6.4.2 Índices de contaminación	144
7. COMPARACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA QUEBRADA MANIZALES SEGÚN LO ESTABLECIDO EN EL DECRETO 1594 DE 1984 Y RESOLUCION 469 DE 2014 EMITIDA POR LA CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DE CALDAS	179
10. ANÁLISIS HISTÓRICO DE LA CALIDAD DEL AGUA	188
8. CONCLUSIONES.....	199
9. RECOMENDACIONES	203
10. REFERENCIAS.....	204

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1 Estaciones Marcadas con pintura roja.....	19
Fotografía 2 Antes de la bocatoma acueducto la Enea.....	41
Fotografía 3 Unión Quebrada Manizales con la Quebrada Santa Rita.....	42
Fotografía 4 Estación EC08	42
Fotografía 5 Acceso E01	44
Fotografía 6 Punto de toma de Muestra E01.....	44
Fotografía 7 Acceso E02	44
Fotografía 8 Punto de toma de Muestra E02.....	44
Fotografía 9 Acceso E03	45
Fotografía 10 Punto de toma de Muestra E03.....	45
Fotografía 11 Acceso E04	45
Fotografía 12 Punto de toma de Muestra E04	45
Fotografía 13 Acceso E05	46
Fotografía 14 Punto de toma de Muestra E05	46
Fotografía 15 Acceso E06	47
Fotografía 16 Punto de toma de Muestra E06.....	47
Fotografía 17 Acceso E07	47
Fotografía 18 Punto de toma de Muestra E07.....	47
Fotografía 19 Acceso E08	48
Fotografía 20 Punto de toma de Muestra E08	48
Fotografía 21 Acceso E09	48
Fotografía 22 Punto de toma de Muestra E09.....	48
Fotografía 23 Acceso E10	49
Fotografía 24 Punto de toma de Muestra E10....	49
Fotografía 25 Acceso E11	50
Fotografía 26 Punto de toma de Muestra E11	50
Fotografía 27 Acceso E12	50
Fotografía 28 Punto de toma de Muestra E12	50

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. ICA CETESB	33
Ecuación 2. ICA IDEAM	36
Ecuación 3. ICOMO – Índice de Contaminación de Materia Orgánica	39

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones de monitoreo quebrada Manizales y principales afluentes	21
Tabla 2. Diferencia de coordenadas Corpocaldas Vs Coordenadas identificadas en campo.	23
Tabla 3. Parámetros físicos y Químicos analizados para la evaluación de la calidad del agua de la quebrada Manizales.	25
Tabla 4 Valores de pH.....	28
Tabla 5 Variables y ponderaciones para el cálculo del ICA-CETESB	33
Tabla 6. Calculo de los Parámetros, Fuente: Marcos Von Sperling, 2007.	34
Tabla 7 índices de calidad ICA-CETESB.....	35
Tabla 8 Variables y ponderaciones para el cálculo del ICA-IDEAM con 6 Variables.	37
Tabla 9 Escala índice de Calidad ICA-IDEAM.....	37
Tabla 10 Clasificación de ICOMO.....	39
Tabla 11. Coordenadas Puntos de Muestreo Quebrada Tesorito	53
Tabla 12 Preservación de las muestras In Situ.	54
Tabla 13. Resultados parámetros In-situ Q. Manizales.....	56
Tabla 14. Resultados parámetros In-situ Q. Cimitarra	56
Tabla 15. Resultados parámetros In-situ Q. Tesorito.....	56
Tabla 16. Resultados parámetros In-situ Q. Cristales.....	57
Tabla 17. Resultados parámetros In-situ Q. 2615-002-098-003.....	57
Tabla 18. Resultados del material particulado y disuelto en las estaciones Q Manizales .	58
Tabla 19. Resultados análisis fisicoquímicos y microbiológicos quebrada Cimitarra	59
Tabla 20. Resultados análisis fisicoquímicos y microbiológicos quebrada Tesorito	59
Tabla 21. Resultados análisis fisicoquímicos y microbiológicos quebrada Cristales	60
Tabla 22. Resultados análisis fisicoquímicos y microbiológicos quebrada 2615-002-098-003	60
Tabla 23. Clasificación de la calidad del agua de la quebrada Manizales según el índice de calidad ICA-CETESB.....	137
Tabla 24. Clasificación de la calidad del agua de la quebrada Cimitarra según el índice de calidad ICA-CETESB.....	139
Tabla 25. Clasificación de la calidad del agua de la quebrada Tesorito según el índice de calidad ICA-CETESB.....	141
Tabla 26: Clasificación de la calidad del agua de la quebrada Cristales según el índice de calidad ICA-CETESB.....	143
Tabla 27. ICOMO Clasificación de la calidad del agua de la quebrada Manizales según el índice de contaminación ICOMO	144
Tabla 28. ICOSUS Clasificación de la calidad del agua de la quebrada Manizales según el índice de contaminación ICOSUS.....	147
Tabla 29. ICOMI Clasificación de la calidad del agua de la quebrada Manizales según el índice de contaminación ICOMI	150

Tabla 30. ICOMO Clasificación de la calidad del agua de la quebrada cimitarra según el índice de contaminación ICOMO	152
Tabla 31. ICOSUS Clasificación de la calidad del agua de la quebrada cimitarra según el índice de contaminación ICOSUS.....	155
Tabla 32. ICOMI Clasificación de la calidad del agua de la quebrada cimitarra según el índice de contaminación ICOMI	157
Tabla 33 ICOMO Clasificación de la calidad del agua de la quebrada tesorito según el índice de contaminación ICOMO	160
Tabla 34 ICOSUS Clasificación de la calidad del agua de la quebrada Tesorito según el índice de contaminación ICOSUS.....	162
Tabla 35. ICOMI Clasificación de la calidad del agua de la quebrada Tesorito según el índice de contaminación ICOMI	164
Tabla 36. ICOMO Clasificación de la calidad del agua de la quebrada Cristales según el índice de contaminación ICOMO	166
Tabla 37 ICOSUS Clasificación de la calidad del agua de la quebrada cristales según el índice de contaminación ICOSUS.....	169
Tabla 38. ICOMI Clasificación de la calidad del agua de la quebrada cristales según el índice de contaminación ICOMI	171
Tabla 39 ICOMO Clasificación de la calidad del agua de la quebrada 2515-002-093-003 según el índice de contaminación ICOMO.....	173
Tabla 40 ICOSUS Clasificación de la calidad del agua de la quebrada 2515-002-093-003 según el índice de contaminación ICOSUS	175
Tabla 41. ICOMI Clasificación de la calidad del agua de la quebrada 2515-002-093-003 según el índice de contaminación ICOMI	177
Tabla 42. Comparación de los parámetros de calidad del agua realizados por ONG Servicios Ambientales de Caldas, contrato 171-2015, con lo estipulado en el decreto 1594 de 1984 para el uso del agua en consumo humano y doméstico que para su potabilización se requiere solamente tratamiento convencional	181
Tabla 43. Comparación de los parámetros de calidad del agua realizados por ONG Servicios Ambientales de Caldas, contrato 171-2015, con lo estipulado en el decreto 1594 de 1984 para el uso del agua en consumo humano y doméstico que para su potabilización se requiere solamente tratamiento convencional	181
Tabla 44. Comparación de los parámetros de calidad del agua realizados por ONG Servicios Ambientales de Caldas, contrato 171-2015, con lo estipulado en el decreto 1594 de 1984 para el uso del agua en consumo humano y doméstico que para su potabilización se requiere solamente desinfección.....	181
Tabla 45. Comparación de los parámetros de calidad del agua realizados por ONG Servicios Ambientales de Caldas, contrato 171-2015, con lo estipulado en el decreto 1594 de 1984 para el uso del agua en consumo humano y doméstico que para su potabilización se requiere solamente desinfección.....	182

Tabla 46. Comparación de los parámetros de calidad del agua realizados por ONG Servicios Ambientales de Caldas, contrato 171-2015, con lo estipulado en el decreto 1594 de 1984 para el uso del agua agrícola.....	182
Tabla 47. Comparación de los parámetros de calidad del agua realizados por ONG Servicios Ambientales de Caldas, contrato 171-2015, con lo estipulado en el decreto 1594 de 1984 para el uso agrícola del agua.....	182
Tabla 48. Comparación de los parámetros de calidad del agua realizados por ONG Servicios Ambientales de Caldas, contrato 171-2015, con lo estipulado en el decreto 1594 de 1984 para el uso pecuario del agua.....	183
Tabla 49. Comparación de los parámetros de calidad del agua realizados por ONG Servicios Ambientales de Caldas, contrato 171-2015, con lo estipulado en el decreto 1594 de 1984 para el uso pecuario del agua.....	183
Tabla 50. Comparación de los parámetros de calidad del agua realizados por ONG Servicios Ambientales de Caldas, contrato 171-2015, con lo estipulado en el decreto 1594 de 1984 para el uso recreativo.....	183
Tabla 51. Comparación de los parámetros de calidad del agua realizados por ONG Servicios Ambientales de Caldas, contrato 171-2015, con lo estipulado en el decreto 1594 de 1984 para el uso recreativo del agua.....	184
Tabla 52. Comparación de los parámetros de calidad del agua realizados por ONG Servicios Ambientales de Caldas, contrato 171-2015, con lo estipulado en el decreto 1594 de 1984 para el uso de preservación de flora y fauna del agua.	184
Tabla 53. Comparación de los parámetros de calidad del agua realizados por ONG Servicios Ambientales de Caldas, contrato 171-2015, con lo estipulado en el decreto 1594 de 1984 para el uso de preservación de flora y fauna del agua.	184
Tabla 54. Comparación de los parámetros de calidad del agua realizados por ONG Servicios Ambientales de Caldas, contrato 171-2015, con lo estipulado en la resolución 469 de 2014, en la que se establecen los valores de calidad del agua para los diferentes usos según la Corporación Autónoma Regional de Caldas Corpocaldas.	187
Tabla 55. Comparación de los parámetros de calidad del agua realizados por ONG Servicios Ambientales de Caldas, contrato 171-2015, con lo estipulado en la resolución 469 de 2014, en la que se establecen los valores de calidad del agua para los diferentes usos según la Corporación Autónoma Regional de Caldas Corpocaldas.	187
Tabla 56. <i>Caudales históricos de la quebrada Manizales</i>	189
Tabla 57. <i>Demanda bioquímica de oxígeno histórico de la quebrada Manizales</i>	190
Tabla 58. <i>Coliformes fecales histórico de la quebrada Manizales</i>	190
Tabla 59. <i>Oxígeno Disuelto histórico de la quebrada Manizales</i>	191
Tabla 60. <i>Demanda Química de Oxígeno histórico de la quebrada Manizales</i>	191
Tabla 61. <i>Sólidos Suspendidos Totales histórico de la quebrada Manizales</i>	192

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1 Caudal estaciones Quebrada Manizales.	62
Gráfica 2 Caudal de la Quebrada Cimitarra.	63
Gráfica 3 Caudal Quebrada Tesorito.	64
Gráfica 4 Caudal Quebrada Cristales.	65
Gráfica 5. Caudal Quebrada 2615-002-098-003.	66
Gráfica 6 Temperatura estaciones Quebrada Manizales.	67
Gráfica 7 temperatura Quebrada Cimitarra.	68
Gráfica 8 Temperatura quebrada Tesorito.	69
Gráfica 9 Temperatura Quebrada Cristales.	70
Gráfica 10 Temperatura quebrada 2615-002-098-003.	71
Gráfica 11 Conductividad Quebrada Manizales.	73
Gráfica 12 Conductividad Quebrada Cimitarra.	74
Gráfica 13 Conductividad quebrada Tesorito.	75
Gráfica 14 Conductividad quebrada Cristales.	76
Gráfica 15 Conductividad quebrada 2615-002-098-003.	77
Gráfica 16 pH Quebrada Manizales.	78
Gráfica 17 pH Quebrada Cimitarra.	79
Gráfica 18 pH quebrada Tesorito.	80
Gráfica 19 pH quebrada Cristales.	80
Gráfica 20 pH Quebrada 2615-002-098-003.	81
Gráfica 21. Dureza total quebrada Manizales.	83
Gráfica 22. Dureza Total Quebrada cimitarra.	83
Gráfica 23. Dureza Total quebrada tesorito.	84
Gráfica 24. Dureza Total quebrada tesorito.	84
Gráfica 25. Alcalinidad quebrada Manizales.	86
Gráfica 26. Alcalinidad quebrada Cimitarra.	86
Gráfica 27. Alcalinidad quebrada Tesorito.	87
Gráfica 28. Alcalinidad quebrada Cristales.	87
Gráfica 29. Oxígeno Disuelto Quebrada Manizales.	89
Gráfica 30. DBO Vs DQO Quebrada Manizales.	90
Gráfica 31. DBO5/DQO Quebrada Manizales.	91
Gráfica 32. Concentración de oxígeno disuelto Oxígeno Disuelto Quebrada Cimitarra.	92
Gráfica 33. DBO Vs DQO Quebrada Cimitarra.	93
Gráfica 34. DBO/DQO Quebrada Cimitarra.	94
Gráfica 35. Concentración de oxígeno disuelto Quebrada Tesorito.	95
Gráfica 36. DBO Vs DQO Quebrada Tesorito.	96
Gráfica 37. Concentración de oxígeno disuelto quebrada Critales.	97
Gráfica 38. DBO Vs DQO Quebrada Cristales.	98
Gráfica 39. DBO/DQO Quebrada Cristales.	98

Gráfica 40. Concentraciones de oxígeno disuelto Quebrada 2615-002-098-003.....	99
Gráfica 41. DBO Vs DQO Quebrada 2615-002-098-003.	100
Gráfica 42. Nitrogeno total Quebrada Manizales.....	101
Gráfica 43. Nitrógeno Total Quebrada Cimitarra.	103
Gráfica 44. Nitrógeno Total Quebrada Tesorito.....	104
Gráfica 45. Nitrógeno total Quebrada Cristales.	104
Gráfica 46. Nitrógeno total quebrada 2615-002-098-003.....	105
Gráfica 47. Fosforo total Quebrada Manizales.	106
Gráfica 48. Fosforo Total Quebrada Cimitarra.	107
Gráfica 49. Fosforo Total quebrada Tesorito.	108
Gráfica 50. Fosforo total Quebrada Cristales.	108
Gráfica 51. Fosforo total quebrada 2615-002-098-003.	109
Gráfica 52. Nitratos y nitritos quebrada Manizales	111
Gráfica 53. Nitritos y Nitratos quebrada cimitarra.....	111
Gráfica 54. Nitritos y Nitratos quebrada tesorito.....	112
Gráfica 55. Nitritos y Nitratos quebrada cristales.	112
Gráfica 56. Nitritos y Nitratos quebrada 2615-002-098-003.....	113
Gráfica 57. Sólidos Suspendidos Vs Sólidos Totales.....	114
Gráfica 58. Concentración de SST y STT Quebrada Cimitarra.	116
Gráfica 59. Concentración SST y STT Quebrada Tesorito	116
Gráfica 60. Concentración SST y STT Quebrada Cristales	117
Gráfica 61. Concentración de SST y STT Quebrada 2615-002-093-003.....	117
Gráfica 62. Turbiedad Quebrada Manizales.....	118
Gráfica 63. Turbiedad Quebrada Cimitarra.	119
Gráfica 64. Turbiedad Quebrada Tesorito	120
Gráfica 65. Turbiedad Quebrada Cristales.	120
Gráfica 66. Turbiedad Quebrada 2615-002-093-003.	121
Gráfica 67. Color Quebrada Manizales.....	121
Gráfica 68. Color Quebrada Cimitarra.	122
Gráfica 69. Color Quebrada Tesorito.....	122
Gráfica 70. Color Quebrada Cristales.....	123
Gráfica 71. Color Quebrada 2615-002-093-003.....	123
Gráfica 72. Coliformes Totales y Fecales Quebrada Manizales.	125
Gráfica 73. Coliformes Totales y Fecales Quebrada Cimitarra.....	126
Gráfica 74. Coliformes Totales y Fecales Quebrada Tesorito.	127
Gráfica 75. Coliformes Totales y Fecales Quebrada Cristales.	128
Gráfica 76. Coliformes Totales y Fecales Quebrada 2615-002-093-003.	128
Gráfica 77. Comportamiento de los cloruros y sulfatos en la quebrada Manizales.....	130
Gráfica 78. Comportamiento de los cloruros y sulfatos en la quebrada cimitarra	130
Gráfica 79. Comportamiento de los cloruros y sulfatos en la quebrada Tesorito	131
Gráfica 80. Comportamiento de los cloruros y sulfatos en la quebrada Cristales.	131

Gráfica 81. Comportamiento de los cloruros y sulfatos en la quebrada 2615-002-098-003.	132
Gráfica 82. Comportamiento de los cloruros y sulfatos en la quebrada Manizales.	133
Gráfica 83. Comportamiento de las grasas y aceites en la quebrada cimitarra.	133
Gráfica 84. Comportamiento de las grasas y aceites en la quebrada Tesorito.	134
Gráfica 85. Comportamiento de los grasas y aceites en la quebrada cristales.	134
Gráfica 86. Comportamiento de las grasas y aceites quebrada 2615-002-098-003	135
Gráfica 87. Índices de calidad ICA-CETESB Quebrada Manizales.	137
Gráfica 88. Comparativos índices de calidad ICA-CETESB Quebrada Manizales.	138
Gráfica 89. Índices de calidad Quebrada Cimitarra.	139
Gráfica 90. Comparativo índices de calidad ICA-CETESB Quebrada Cimitarra.	140
Gráfica 91. Índices de calidad Quebrada Tesorito.	141
Gráfica 92. Comparativo índices de calidad ICA-CETESB Quebrada Tesorito.	142
Gráfica 93. Índices de calidad Quebrada Cristales.	143
Gráfica 94. ICOMO Quebrada Manizales	145
Gráfica 95. ICOMO Quebrada Manizales	146
Gráfica 96. ICOSUS Quebrada Manizales	148
Gráfica 97. ICOSUS Quebrada Manizales	149
Gráfica 98. ICOMI Quebrada Manizales	150
Gráfica 99. ICOMI Quebrada Manizales	151
Gráfica 100. ICOMO Quebrada Cimitarra	153
Gráfica 101. ICOMO Quebrada cimitarra	154
Gráfica 102. ICOSUS Quebrada cimitarra	155
Gráfica 103. ICOSUS Quebrada cimitarra.	156
Gráfica 104. ICOMI Quebrada Cimitarra	157
Gráfica 105. ICOMI Quebrada Cimitarra	159
Gráfica 106. ICOMI Quebrada Tesotiro	160
Gráfica 107. Quebrada Tesorito.	161
Gráfica 108. Quebrada Tesorito	162
Gráfica 109. ICOSUS Quebrada tesorito	163
Gráfica 110. ICOMI Quebrada Tesorito	165
Gráfica 111. ICOMI Quebrada Tesorito	166
Gráfica 112. ICOMO Quebrada Cristales	167
Gráfica 113. ICOMO Quebrada cristales	168
Gráfica 114. ICOSUS Quebrada cristales	169
Gráfica 115. ICOSUS Quebrada cristales	170
Gráfica 116. ICOMI Quebrada Cristales	171
Gráfica 117. ICOMI Quebrada Cristales	172
Gráfica 118. ICOMO Quebrada 2515-002-093-003	173
Gráfica 119. ICOMO Quebrada quebrada 2515-002-093-003.	174
Gráfica 120. ICOSUS Quebrada 2515-002-093-003.	175

Gráfica 121. ICOSUS Quebrada 2515-002-093-003.....	176
Gráfica 122. ICOSUS Quebrada 2515-002-093-003.....	177
Gráfica 123. ICOSUS Quebrada 2515-002-093-003.....	178
Gráfica 124. <i>comportamiento histórico del caudal de la quebrada Manizales</i>	192
Gráfica 125. <i>Comportamiento histórico de la Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO₅ de la quebrada Manizales</i>	193
Gráfica 126. <i>comportamiento histórico de los coliformes fecales de la quebrada Manizales</i>	193
Gráfica 127. <i>comportamiento histórico del oxígeno disuelto de la quebrada Manizales..</i>	194
Gráfica 128. <i>comportamiento histórico de la Demanda Química de Oxígeno DQO de la quebrada Manizales</i>	194
Gráfica 129. <i>comportamiento histórico de los Sólidos Suspendidos Totales de la quebrada Manizales.</i>	195

1. INTRODUCCIÓN

La Corporación Autónoma Regional de Caldas - CORPOCALDAS como ente administrador de los recursos naturales y el medio ambiente en el departamento de Caldas, en virtud del cumplimiento de los objetivos de la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, realiza seguimiento y control al Río Chinchiná, la Quebrada Manizales y algunos cuerpos de agua a nivel departamental como corrientes prioritarias en el control de la contaminación hídrica y ordenamiento del recurso en el departamento de Caldas, para lo cual realiza diversas actividades tendientes a optimizar el manejo de las cuencas y subcuencas. Con el fin de obtener herramientas que le permitan apoyar el proceso de planeación de estrategias de intervención para mejorar la calidad del agua en estas corrientes y sus tributarios.

De acuerdo a lo anterior desde el año 2008, inicialmente bajo el contrato C 119, suscrito con la Fundación– SANEAR, se adelantaron estudios de caracterización para evaluar la calidad del agua de la Quebrada Manizales, además de generar insumos para la implementación, calibración y verificación del modelo de simulación QUAL2Kw y se dio continuidad bajo los contratos C 012-2010 y C 278-2012.

Corpocaldas dentro del programa de Gestión Integral del Recurso Hídrico, cuyo objeto es garantizar la oferta del recurso hídrico en calidad y cantidad para los diferentes usos, está orientado hacia la modernización de los procesos de administración y gestión del recurso hídrico en Caldas, buscando una gestión integral que permita lograr una relación sostenible entre la oferta natural y el aprovechamiento del recurso. El programa contempla el desarrollo de cuatro proyectos dentro de los cuales se encuentra el proyecto denominado: *“Planificación y ordenación del territorio para la administración del patrimonio hídrico”*, cuyo objetivo general es formular y actualizar planes de ordenación y manejo ambiental de cuencas hidrográficas en Caldas, y tiene entre sus metas la operación de la red de monitoreo de la calidad del agua en la subcuenca del río Chinchiná en diversas estaciones del río y algunos de sus principales tributarios y/o vertimientos, con el fin de estudiar la calidad del agua y el comportamiento espacial y temporal de algunos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos y la Ordenación del recurso hídrico en función de la calidad en la microcuenca de la quebrada Manizales.

En el presente informe se presentan los resultados obtenidos de las actividades llevadas a cabo dentro del contrato No. 171 de 2014 el cual tiene como objeto *“Prestación de servicios profesionales y técnicos, para operar La Red de Monitoreo departamental del recurso hídrico, estaciones Subcuenca río Chinchiná y quebrada Manizales en el departamento de Caldas”* realizado entre la Corporación Autónoma Regional del Caldas – CORPOCALDAS y la ONG Servicios Ambientales de Caldas.

Especialmente en este documento se informa lo concerniente a las campañas realizadas sobre las estaciones de la Quebrada Manizales y sus principales afluentes. Es importante considerar que aunque el objetivo del contrato referido contempla un desarrollo conjunto de la Red de Monitoreo Departamental del recurso hídrico, estaciones Subcuenca Río Chinchiná y Quebrada Manizales, se presentó un informe individual para cada una de estas campañas, dado a la cantidad de información recolectada y las particularidades que presenta cada caso en cuanto a su dinámica, zona de influencia y aportes.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Prestación de servicios profesionales y técnicos, para operar La Red de Monitoreo departamental del recurso hídrico, estaciones Subcuenca Río Chinchiná y Quebrada Manizales en el departamento de Caldas.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

1) Realizar campañas de monitoreo de calidad y cantidad del agua en la red de monitoreo de Corpocaldas, para 24 estaciones localizadas en la Quebrada Manizales.

2) Realizar visita de inspección y georeferenciación para elaborar el plan de monitoreo. Realizar inspección inicial detallada de campo, para identificar las estaciones sobre las cuales se realizará el monitoreo de la calidad y cantidad de agua en la red del Río Chinchiná y Quebrada Manizales, con el propósito de garantizar la localización (georeferenciación) de los sitios de monitoreo, los afluentes y vertimientos principales; y la caracterización adecuada del agua de las corrientes objeto de estudio.

3) Ejecutar el programa de monitoreo, caracterización y evaluación de la calidad del agua: a) Evaluar y dar continuidad al seguimiento de las condiciones de la calidad fisicoquímica y microbiológica del Río Chinchiná, de la Quebrada Manizales y las fuentes hídricas receptoras de vertimientos municipales a nivel Departamental, de acuerdo a los criterios de calidad del agua determinados para fuentes superficiales no contaminadas y las normas de vertimiento establecidas en Colombia. b) Caracterizar la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua, mediante la medición de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, necesarios para la aplicación de los Índices de Calidad del Agua (ICA) y de Contaminación (ICO) y, otros parámetros adicionales que indican contaminación industrial y sustancias tóxicas. Los parámetros a incluir en el programa de monitoreo para el río Chinchiná y para la quebrada Manizales.

c) Realizar procesamiento y análisis de información de calidad del agua, orientado a evaluar la magnitud de la contaminación sobre las fuentes hídricas.

- d) Realizar análisis de valores históricos de la calidad de agua de las fuentes objeto de monitoreo.
- e) Sistematizar la información de calidad del agua y migrarla al sistema de Información Ambiental Regional de CORPOCALDAS y actualización de la cartografía asociada.

3. METODOLOGÍA

3.1 REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN

Debido a la importancia que tiene la Quebrada Manizales, como fuente receptora principalmente de las aguas residuales procedente de las actividades industriales y domésticas, ubicadas al nororiente del municipio de Manizales y como mayor fuente tributaria del río Chinchiná, es importante realizar un seguimiento mediante monitoreo de la calidad del agua y de esta manera determinar acciones que ayuden a mejorar las condiciones actuales de dicha Subcuenca.

Se ha revisado la documentación respectiva a cada uno de los estudios realizados entre ellos se tienen:

- “Estudio de Factibilidad para la Recuperación y Mantenimiento de la Calidad de la Cuenca del Río Chinchiná – Fase I”, en 2005. Por medio de este proyecto se planteó el saneamiento ambiental de la ciudad de Manizales y utilizó el modelo QUAL2Kw para simular la calidad del agua de la Quebrada Manizales. Ese mismo año la Fundación profesional para el manejo integral del agua - PROAGUA, realizó la caracterización y evaluación de la calidad del agua del río Chinchiná, en el contexto de este trabajo se caracterizó la calidad del agua de la quebrada Manizales hasta su desembocadura en el río Chinchiná.
- En el año 2008 la Corporación Autónoma Regional de Caldas CORPOCALDAS suscribió contrato C 119-2008, con la Fundación para el Saneamiento Ambiental de los Recursos Naturales – SANEAR, para realizar la caracterización y evaluación de la calidad del agua de la Quebrada Manizales, en este estudio se realizaron tres monitoreos, que permitieron evaluar la calidad del agua en los periodos de febrero, junio y

septiembre, los cuales fundamentaron la base para la calibración y verificación del modelo matemático de simulación de calidad QUAL2Kw.

- Para el año 2010, bajo el contrato C 012-2010, Fundación para el Saneamiento Ambiental de los Recursos Naturales – SANEAR, ejecuto jornada de monitoreo en el mes de febrero a las 12 estaciones, 17 tributarios sobre la quebrada Manizales y sobre las 12 estaciones, 9 vertimientos establecidos sobre la Quebrada Cimitarra, Tesorito, Cristales y 2615-098-003, los cuales dieron continuidad a la calibración y verificación del modelo matemático de simulación de calidad QUAL2Kw.
- En el año 2013 la Fundación profesional para el manejo integral del agua – PROAGUA, realizo una campaña de monitoreo sobre las estaciones de monitoreo establecidas sobre la quebrada Manizales, por CORPOCALDAS: 12 estaciones sobre el cauce principal, 12 sobre sus cuatro principales afluentes y 27 tributarios, entre los que caen directamente a la quebrada Manizales y los que aportan a sus principales tributarios y en cual se optimizo el modelo matemático de simulación de calidad del agua qual2kw en el río Chinchiná y quebrada Manizales.

La revisión de toda esta información facilita la planificación de la campaña de aforo y recolección de muestras, así como la logística ligada a ésta, principalmente lo que concierne al análisis de las muestras tomadas para cada uno de los parámetros a monitorear, buscando la mayor representatividad posible.

3.2 PLANIFICACIÓN DE TRABAJO DE CAMPO

Dentro del programa de planificación establecida para realizar el monitoreo de las estaciones, se tuvo en cuenta la utilización de equipos certificados, la contratación de personal calificado y la identificación de los laboratorios certificados para realizar los análisis de las muestras.

Igualmente, se realizó inducción al equipo de trabajo enfocado al uso de elementos de protección personal, la rotulación, la toma y preservación de las muestras, los cuidados que se deben tener en el momento de tomar los diferentes parámetros insitu, para la adecuada ejecución del trabajo de campo.

Se realizó la correspondiente consulta a los funcionarios de la Corporación del Sistema de Información Geográfica (SIG), referente a la ubicación de los puntos, manejo y calibración de los GPS utilizados.

3.3 VISITA DE CAMPO

Para realizar el monitoreo de calidad del agua en la subcuenca de la Quebrada Manizales, se realizó un recorrido preliminar por esta, con el fin de determinar las estaciones de muestreo, la mejor ruta de acceso para cada una, así como posibles rutas de evacuación dada una emergencia propia de una corriente superficial teniendo en cuenta que de acuerdo a su dinámica presenta problemas como elevación de altura del agua, llenado del lecho, formación de islotes y playones, socavación (desgaste subterráneo) de muros, derrumbes de taludes, acumulación de rocas, que han sido causantes de inundaciones y desbordamientos.

Los recorridos de campo se programaron mediante el diseño de un cronograma actividades, en el cual se precisaron las estaciones de monitoreo para su ubicación sobre la cuenca. Teniendo en cuenta que la zona rural de la cuenca está localizada en la parte oriental, aguas arriba de la quebrada y en zonas de alta pendiente, susceptible a presentar riesgos significativos en cuanto a crecientes súbitas. (Anexo 1. Cronograma de actividades)

Para realizar el trabajo de campo se tomaron medidas estrictas sobre los elementos de protección personal y manejo de reactivos, con el fin de minimizar los riesgos a los cuales se encuentran expuestos a la hora de realizar las diferentes actividades.

Previo a la realización de este recorrido, se revisó información de la zona en informes anteriores, registros fotográficos y las coordenadas de cada punto, de manera que facilitara la ubicación de todas las estaciones de monitoreo; se tomaron las coordenadas que se hallaron durante el recorrido de verificación y se registraron en un GPS (Garmin referencia gps map 62sc) previamente calibrado, por el área de SIG de la Subdirección de Planificación Ambiental de Territorio de la Corporación. (Anexo 2. Fichas Técnicas de las Estaciones)

Es importante mencionar que cada uno de los puntos fue ubicado por coordenadas y posteriormente se utilizó una pintura de aceite de color rojo para

marcar cada uno de estos, con el propósito de ser fácilmente determinado en el momento ejecutar la campaña de aforo y toma de muestras; durante esta actividad se tuvo en cuenta la ubicación de piedras y muros, que permitieran una buena visibilidad y perdurabilidad.



Fotografía 1 Estaciones Marcadas con pintura roja.

3.3.1 Ubicación de la zona de estudio Quebrada Manzales

Figura 2 Estaciones Quebrada Manzales.



A continuación se relacionan las coordenadas Planas y su correspondiente conversión a Geográficas, la cual se realizó mediante el aplicativo GEOCAL, suministrado por CORPOCALDAS, para las 25 estaciones que conforman la Red de Monitoreo de la Quebrada Manzales, con sus principales tributarios Quebrada Cristales, Tesorito, Cimitarra y 2615-098-003 (Tabla 1), adicional a esto se

presentan los ajustes que fueron necesarios realizar teniendo en cuenta que la descripción de cada estación no coincidía con la coordenada relacionada, las cuales en campo se localizaban por fuera de la fuente de agua , hasta un máximo de 2175 metros de la zona de estudio.

Tabla 1. Estaciones de monitoreo quebrada Manizales y principales afluentes

Código estación de monitoreo	Descripción	ESTACIONES QUEBRADA MANIZALES				Altura	Nombre Estaciones Quebrada Manizales
		Coordenadas Planas		Coordenadas Geográficas			
		Norte	Este	Latitud	Longitud		
MAN-E01	Estación	1050388,85130	852359,13170	5° 3´12.04"	75° 24´43.80"	2697	Blanco
MAN-E02	Estación	1049836,76810	850903,04160	5° 02´43.7"	75° 25´18.9"	2466	Antes de Quebrada Chuscales
MAN-E03	Estación	1049695,11650	850663,68160	5° 02´39.1"	75° 25´26.6"	2434	Antes de Bocatoma Acueducto La Enea
MAN-E04	Estación	1049321,47071	850181,34606	5° 02´26.9"	75° 25´42.3"	2354	Después de Bocatoma Acueducto La Enea
MAN-E05	Estación	1048936,76249	849688,05087	5° 2´14.31"	75° 25´58.26"	2273	Antes de Quebrada Santa Rita
MAN-E06	Estación	1048817,32411	849324,91418	5° 2´10.48"	75° 26´10.04"	2235	Antes de Quebrada Tesorito
MAN-E07	Estación	1048921,14546	849036,62264	5° 2´13.84"	75° 26´19.40"	2210	Antes de ILC
MAN-E08	Estación	1049159,85286	848018,74929	5° 02´21.5"	75° 26´52.4"	2150	Antes de Quebrada Guayabal
MAN-E09	Estación	1048862,95803	847380,63150	5° 2´11.83"	75° 27´13.14"	2102	Puente Verdum
MAN-E10	Estación	1048766,60246	846737,87435	5° 2´8.65"	75° 27´34.00"	2073	Antes de Quebrada Cristales
MAN-E11	Estación	1048559,94502	845784,84166	5° 2´1.86"	75° 28´4.91"	2031	Antes Descole La Enea
MAN-E12	Estación	1048550,60570	844409,37140	5° 02´01.5"	75° 28´49.6"	1961	Antes de la desembocadura Rfo Chinchiná
ESTACIONES QUEBRADA CIMITARRA							
MAN-EC01	Estación	1050256,14890	852297,22840	5° 03´7.72"	75° 24´45.80"	2676	Blanco
MAN-EC02	Estación	1049590,79438	850943,51812	5° 2´45.97"	75° 25´29.69"	2443	Antes de Descafecol
MAN-EC03	Estación	1049462,07274	850544,46030	5° 2´31.55"	75° 25´30.50"	2390	Antes del Acueducto La Enea
MAN-EC04	Estación	1049241,71821	850212,95470	5° 2´34.56"	75° 25´53.38"	2338	Antes descole Progel
MAN-EC05	Estación	1049239,70189	850153,14318	5° 2´24.28"	75° 25´43.19"	2332	Antes desembocadura Quebrada Manizales
ESTACIONES QUEBRADA CRISTALES							
MAN-ECR01	Estación	1049020,36727	847069,61734	5° 2´16.9"	75° 27´23.3"	2117	Antes vertimiento Súper de Alimentos
MAN-ECR02	Estación	1048852,99430	846755,02940	5° 2´11.47"	75° 27´33.45"	2080	Antes descole ARD
MAN-ECR03	Estación	1048792,51780	846698,98260	5° 2´9.49"	75° 27´35.26"	2073	Antes desembocadura Quebrada Manizales
ESTACIONES QUEBRADA TESORITO							
MAN-ET01	Estación	1048545,56509	849935,32259	5°02´1.7"	75°25´50.2"	2309	Blanco
MAN-ET02	Estación	1048708,55133	849767,66351	5°02´17.18"	75°26´77.94"	2266	Antes descole Surtipieles Salvador Giraldo
MAN-ET03	Estación	1048787,87289	849331,10310	5°02´09.3"	75°26´08.8"	2250	Antes desembocadura Quebrada Manizales

ESTACIONES QUEBRADA 2615-002-098-003							
MAN-ETB01	Estación	1048552,05162	847147,72951	5°2'01.17"	75°27'20.7"	2116	Antes del vertimiento Foodex
MAN-ETB02	Estación	1048712,32225	846891,10980	5°2'6.90"	75°27'29.02"	2081	Antes desembocadura Quebrada Manizales

Tabla 2. Diferencia de coordenadas Corpocaldas Vs Coordenadas identificadas en campo.

Código estación de monitoreo	Coordenadas Geográficas entregadas por CORPOCALDAS		Coordenadas Geográficas Obtenidas en el trabajo de campo		Distancia diferencia en Metros	Nombre Estaciones Quebrada Manizales
	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud		
ESTACIONES QUEBRADA MANIZALES						
MAN-E02	5° 2'53.97"	75° 25'31.02"	5° 02'43.7"	075° 25'18.9"	2175	Antes de Quebrada Chuscales
MAN-E03	5° 2'49.34"	75° 25'38.78"	5° 02'39.1"	075° 25'26.6"	487	Antes de Bocatoma Acueducto La Enea
MAN-E04	5° 2'37.15"	75° 25'54.41"	5° 02'26.9"	075° 25'42.3"	472	Después de Bocatoma Acueducto La Enea
MAN-E08	5° 2'31.74"	75° 27'4.58"	5° 02'21.5"	075° 26'52.4"	498	Antes de Quebrada Guayabal
MAN-E12	5° 2'11.67"	75° 29'1.68"	5° 02'01.5"	075° 28'49.6"	486	Antes de la desembocadura Río Chinchiná
ESTACIONES QUEBRADA CRISTALES						
MAN-ECR01	5° 2'27.14"	75° 27'35.37"	5° 2'16.9"	075° 27'23.3"	480	Antes vertimiento Súper de Alimentos
ESTACIONES QUEBRADA TESORITO						
MAN-ET01	5°2'11.89"	75°26'2.34"	5°02'1.7"	075°25'50.2"	481	Blanco
MAN-ET02	5°02'17.18"	75°26'77.94"	5°02'6.9"	075°25'55.7"	347	Antes descole Surtipieles Salvador Giraldo
MAN-ET03	5°2'19.73"	75°26'21.97"	5°02'09.3"	075°26'08.8"	510	Antes desembocadura Quebrada Manizales
ESTACIONES QUEBRADA 2615-002-098-003						
MAN-ETB01	5°2'11.91"	75°27'32.81"	5°2'01.17"	75°27'20.7"	485	Antes del vertimiento Foodex

3.3.2Obras encontradas en la Cuenca de la Quebrada Manizales

Durante la visita de campo en la parte alta de la quebrada Manizales se encontró una infraestructura de acueducto para el barrio Maltería; más abajo existe otra bocatoma sumergida que conduce el agua hasta el acueducto la enea, quien capta un caudal de 98 L/s, correspondiente al 88,88% de la fuente, alterando las condiciones del caudal mínimo de garantía ambiental, necesarios para los factores bióticos y abióticos propios del ecosistema(Empresas Publicas de Medellín, 2004)

Dentro de la quebrada Manizales se encuentran obras civiles, construidas para disipar la energía de las aguas que en temporada de invierno, generan avalanchas causando amenaza en la parte baja de la quebrada.

3.3.3Acontecimientos encontrados

En la realización del trabajo de campo se pudo evidenciar que empresas como FOODEX y SURTIPIELES, han realizado modificaciones en algunos puntos de vertimientos.

En el caso de la empresa SURTIPIELES, se pudo evidenciar que las descargas de las aguas residuales industriales, no son realizadas a la quebrada Tesorito como aparece en los anteriores informes, debido a que la Corporación Autónoma Regional de Caldas CORPOCALDAS, impuso medida preventiva e inició proceso

sancionatorio, mediante auto N° 1042 del 9 de mayo de 2014 y encaminados a reabrir la empresa realizaron la optimización del sistema de tratamiento, el cual contiene la reubicación del vertimiento sobre la quebrada Manizales.

En la empresa FOODEX, se evidencio que tiene cuatro vertimientos distintos y que la coordenada del punto que hace referencia a *ETB01 - Antes del descole de FOODEX*, se encuentra ubicado aguas abajo de dos vertimientos más que realiza. Por lo tanto se recomienda ubicar una estación aguas arriba de cualquier vertimiento que se pueda presentar sobre esta fuente, con el fin de obtener un dato representativo de un blanco. Es importante aclarar que de acuerdo a la resolución número 255 del 17 de abril del 2009, mediante la cual se otorgó permiso de vertimientos por última vez a la empresa Descafecol S.A. Planta Solubles (antes FOODEX), los reportes que se tienen de los vertimientos de las aguas residuales tanto industriales como domésticas dicen ser entregadas en dos puntos a la quebrada 2615-002-098-003; lo que significa que los otros dos puntos de vertimientos encontrados son catalogados como vertimientos ilegales de dicha empresa. En este punto es importante destacar además que la empresa Descafecol S.A. Planta Solubles actualmente no cuenta con permiso de vertimientos, toda vez que éste se encuentra vencido desde el día 18 de abril de 2014 y el trámite de renovación del mismo no ha sido resuelto por falta de impulso del interesado.

3.4 ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA

3.4.1 Parámetros analizados

Las muestras de agua tomadas durante el transcurso de la campaña de monitoreo del recurso hídrico en la microcuenca de la quebrada Manizales fueron llevadas a los laboratorios de calidad de aguas DBO Ingeniería localizado en la ciudad Cali; Analtec en Medellín, Chemilab y Conoser ambos en Bogotá. La selección de estos laboratorios para el análisis de la calidad del agua de las muestras tomadas obedece a la necesidad de ofrecer la máxima representatividad de los resultados obtenidos durante la campaña, lo que requiere la mayor precisión posible en la obtención y reporte de los resultados de los análisis particulares de cada parámetro. En la siguiente tabla se presentan el total de parámetros de calidad del agua a analizar para esta campaña, así como el laboratorio en el cual se llevará a cabo la determinación de cada uno de estos:

Tabla 3. Parámetros físicos y Químicos analizados para la evaluación de la calidad del agua de la quebrada Manizales.

Grupo de parámetros	Parámetro	Laboratorio
Físicos	Caudal	Medidos en campo
	Temperatura	
	Conductividad	
Indicadores de Contaminación	Oxígeno Disuelto (OD)	Corpocaldas
	Demanda bioquímica de oxígeno total (DBO)	DBO Ingeniería-Corpocaldas
	Demanda química de oxígeno total (DQO)	DBO Ingeniería-Corpocaldas
Capacidad Neutralizante	pH	Medido en campo
	Alcalinidad	Corpocaldas
	Dureza	Corpocaldas
Material Particulado y Disuelto	Sólidos Totales (ST)	Corpocaldas
	Sólidos Suspendidos Totales(SST)	Corpocaldas
	Turbiedad	Corpocaldas
	Color	Corpocaldas
Aniones	Cloruros	Corpocaldas
	Sulfatos	Corpocaldas
	Sulfuros	Chemilab
Nutrientes	Nitrógeno Total	Corpocaldas
	Nitratos	Corpocaldas
	Nitritos	Corpocaldas
	Fósforo Total	Analtec
	Fósforo soluble	Analtec
Metales Pesados	Mercurio	Corpocaldas
	Cromo	Conoser
Grasas y Aceites		Corpocaldas
Microbiológicos	Coliformes Fecales	Corpocaldas
	Coliformes Totales	Corpocaldas

En el estudio de la calidad del agua de la quebrada Manizales, se analizaron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, considerando el efecto que pudieron tener sobre la calidad de la quebrada Manizales, las condiciones de calidad y cantidad de los vertimientos y tributarios. Los parámetros de calidad afines entre

ellos fueron agrupados, de manera que se pudiera establecer relaciones relevantes entre las condiciones de calidad que cada parámetro refleja.

3.4.1.1 Parámetros físicos.

Caudal: es el volumen de agua que pasa por unidad de tiempo, por un punto determinado de la corriente. Se determina por el producto del área transversal por la velocidad registrada. El régimen de caudales natural en un río, debe ser una curva creciente, pues la cantidad de agua transportada por un río está en constante aumento, al ser la sumatoria del agua aportada por la cuenca en forma de escorrentía, por el aporte del agua subterránea, las precipitaciones y los tributarios, con la intervención humana, las fuentes de agua tienden a tener un régimen de caudales alterado por la extracción de agua para su uso en diferentes actividades y por el aporte de aguas residuales que además, alteran la calidad del agua.

El caudal base de los ríos se debe a su intercambio con los acuíferos y es el que se presenta después de una larga temporada de verano, durante esta época, los contaminantes se sedimentan pues el flujo es suave. Cuando las precipitaciones aumentan, el nivel freático también y junto a la escorrentía, aumentan el volumen de agua que llega al cauce principal. Este aumento del caudal hace que aumente la velocidad y turbulencia del agua, re-suspendiendo los contaminantes alojados en la zona béntica y diluyendo los aportados por los vertimientos de aguas residuales. Por esto es importante que en el estudio de los parámetros de calidad del agua se determine el caudal que lleva el río al momento de tomar la muestra, pues permite analizar, interpretar y establecer relaciones con las características de calidad.

Temperatura: es la medida de la cantidad de energía calórica en la materia. En los ríos es importante considerarla, porque de ella dependen la densidad del agua, la solubilidad de los gases en el agua, en las reacciones químicas que puedan ocurrir en la columna de agua y el sustrato y por su incidencia sobre procesos biológicos como los niveles trofodinámicos de la biota acuática, tasas metabólicas, conversiones alimenticias, procesos de maduración gonádica, estructura y distribución de las poblaciones, migraciones y procesos de degradación de materia orgánica (Vásquez, 2009).

Conductividad: es la propiedad de las sustancias que les permite el paso de la carga eléctrica. En el agua pura tiene una conductividad asociada, pues al ser una

molécula covalente polar, conduce la electricidad, sin embargo esta conductividad aumenta en la medida que el agua contenga disueltos materiales como sales o sus iones disociados, pues esos, por su carácter iónico facilitan aún más la conducción de la corriente eléctrica.

3.4.1.2 Parámetros indicadores de la contaminación.

Oxígeno disuelto: es la concentración de oxígeno gaseoso disuelto en el agua. Este elemento entra al agua por varios mecanismos como la difusión, en el contacto del agua con el aire y el aporte de las plantas acuáticas al hacer fotosíntesis. La concentración de oxígeno disuelto en el agua disminuye principalmente, al ser consumido por parte de los organismos vivos que lo necesitan para el desarrollo de sus funciones vitales y por el consumo de oxígeno en las reacciones de oxidación, que tienen lugar en el río. En los dos casos el consumo aumenta en la medida que aumenta la contaminación del cuerpo de agua, pues mientras aumente el número de microorganismos, mayor será su demanda de oxígeno y en la medida que el agua contenga más moléculas susceptibles de ser oxidadas (grasas, proteínas y hormonas entre otros), mayor será el consumo de oxígeno.

Demanda biológica de oxígeno (DBO₅): este parámetro cuantifica el oxígeno que necesitan los microorganismos presentes en el agua para realizar los procesos de oxidación bioquímica o degradación de la materia orgánica. Al ser el resultado de la actividad biológica depende de la clase de microorganismos presentes, su cantidad y la temperatura del agua. Mientras mayor sea el contenido de materia orgánica, mayor será la concentración de DBO₅.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): es la cantidad de oxígeno demandada por el agua para oxidar las sustancias orgánicas e inorgánicas que contiene. Mientras mayor sea esta concentración, mayor es la cantidad de sustancias oxidables en el agua.

Por consiguiente la DBO es parte de la DQO, así que cuando la diferencia entre las dos es muy grande la presencia de sustancias inorgánicas en el agua es mayor a la de sustancias orgánicas y mientras más cercanas sean las dos concentraciones, mayor será el contenido de sustancias orgánicas y organismos vivos en el agua, en comparación con los inorgánicos. Las demandas de DBO₅ y DQO son suplidas con el oxígeno disuelto presente en el agua. Este se agota al ser usado como agente oxidante y su concentración tiende a aumentar

nuevamente por la diferencia de concentraciones que se crea entre el oxígeno del aire y el del agua, favoreciendo el proceso de autodepuración. Si la fuente de agua esta tan poluída como para consumir este oxígeno o recibe nuevas descargas la concentración de OD no aumenta y la DBO y DQO se mantienen altas.

3.4.1.3 Capacidad neutralizante

pH: o potencial de hidrogeno, es la concentración de iones hidrógeno presentes en el agua, se define como el opuesto del logaritmo en base 10 (o el logaritmo del inverso) de la actividad de los iones hidrógeno. En el análisis de calidad de aguas, se puede determinar su origen como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4 Valores de pH.

Valores de pH	Origen
Inferiores a 4.5	acidez mineral, presencia de hierro, cobre, aluminio y azufre
Entre 4.5 y 6.25	incidencia del CO ₂ , de mayor a menor concentración respectivamente
Cercanos a 7.0	Sistema “buffer” (HCO ₃ ⁻)
Entre 7.0 y 9.3	presencia de iones que determinan la alcalinidad (CO ₃ ²⁻)
Superiores a 9.3	presencia de bases fuertes (OH ⁻)

Fuente: de Boyd, 1992

Alcalinidad: es una medida de la capacidad del agua para neutralizar ácidos. Indica la presencia de iones bicarbonato y carbonato, su análisis es importante para determinar la capacidad de mantener procesos biológicos y una productividad sostenida y permanente. La mayoría de las aguas naturales y en especial, aquellas que poseen valores altos de alcalinidad total, resisten mejor los cambios drásticos de pH y, por consiguiente, son propicias para el desarrollo de la biota acuática (Boyd, 1992; Vásquez, 2012).

Dureza: es la concentración de todos los cationes metálicos no alcalinos presentes en el agua (calcio, estroncio y magnesio), en formas de carbonatos y bicarbonatos. La dureza representa una medida de la cantidad de metales alcalinotérreos en el agua, fundamentalmente Calcio (Ca) y Magnesio (Mg), provenientes de la disolución de rocas y minerales que será tanto mayor cuanto más elevada sea la acidez del agua. Es una medida, por tanto, del estado de mineralización del agua. Se suele expresar como mg/L de CaCO₃.

3.4.1.4 Material particulado en suspensión y disuelto

Sólidos Totales (ST): Los sólidos totales en el agua son toda la materia que queda como residuo al someter la muestra de agua a un proceso de evaporación entre 103 y 105°C. Entre los sólidos totales se encuentran los filtrables y suspendidos, en primer grupo se encuentran la materia sólida disuelta y coloidal, mientras que el segundo grupo se describe a continuación.

Sólidos Suspendidos Totales (SST): constituidos por los sólidos sedimentables y no sedimentables, ya sea de naturaleza orgánica o mineral.

Turbiedad: es el grado de opacidad que presenta un cuerpo de agua, causada por la presencia de un material suspendido en el agua (Roldan, 1992).

Color aparente: el agua pura carece de color, sin embargo en su contacto con el medio, adquiere sólidos sedimentables, coloidales y disuelto, que aportan color al líquido.

Considerando que los SST indican la concentración de partículas en suspensión, como arcillas, coloides y microorganismos, y que turbiedad es la medida de la dificultad que tiene la luz para pasar a través del agua, se entiende que en la medida que se presente mayor número de SST en el agua mayor será la turbiedad, pues la luz tendrá más obstáculos para atravesar la columna de agua.

3.4.1.5 Aniones

Cloruros (Cl^-): estos iones llegan al agua de los ríos naturalmente como residuo del metabolismo de la biota animal, vía excreción; también por la dilución de sales presentes en el suelo y las rocas. Se presentan como sales de sodio, potasio y calcio. Pero las actividades humanas también contribuyen con el aumento de la concentración de aniones cloruros, por el aporte de las aguas residuales industriales, domésticas y las procedentes de la irrigación (Metcalf, 2007).

Fosfatos (PO_4^{3-}): los fosfatos son la forma más común del fósforo en el agua, puede tener origen natural, pero cuando su concentración es elevada, suele estar relacionada con el aporte de fósforo que realizan las aguas residuales domésticas, por el uso de productos de limpieza y como subproductos de los agroquímicos que son esparcidos en las áreas de producción agrícola.

Cianuros (CN^-): esta molécula con carga negativa, producida por microorganismos, se puede encontrar en alimentos y plantas en muy bajas concentraciones. Cuando la concentración de cianuro es alta, este anión resulta

tóxico para plantas y animales. En el agua de los ríos se encuentra por el aporte de aguas residuales principalmente industriales que la contienen.

Sulfatos (SO_4^{2-}): es la forma más común de azufre en el agua de los ríos y es indispensable como aporte de azufre de los procesos de biológicos que se desarrollan en la fauna acuática. Entre las principales fuentes de sulfatos están las lluvias ácidas y los vertimientos de la producción agroquímica.

3.4.1.6 Nutrientes

Los nutrientes del ecosistema acuático están principalmente representados por el nitrógeno y el fósforo. La principal fuente de nitrógeno es el aire atmosférico y su importancia en el agua se fundamenta en que es el compuesto principal de las proteínas y, éstas a su vez, están constituidas por cadenas de aminoácidos que se estructuran sobre la base de un grupo amino (NH_2) y un grupo carboxilo (COOH).

El nitrógeno puede estar presente en el agua en las siguientes formas: nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), amoníaco (NH_3), amonio (NH_4^+), óxido nitroso (N_2O), nitrógeno molecular (N_2), nitrógeno orgánico disuelto, péptidos, purinas, aminas, aminoácidos, nitrógeno orgánico particulado, bacterias, phytoplankton, zooplankton y detritus. De estas formas y con base en el ciclo del nitrógeno, son de gran importancia para el análisis de la calidad de aguas el amonio, los nitritos y nitratos, pues los dos primeros son también considerados como indicadores químicos de procesos de degradación de materia orgánica (Boyd, 1992; Hutchinson, 1975. Citados por Vásquez, 2009).

3.4.1.7 Patógenos

La biota acuática es tan amplia que se encuentra toda clase de organismos que podrían considerarse patógenos para los humanos, sin embargo se ha usado tradicionalmente la presencia de coliformes totales y fecales como indicadores de riesgo microbiológico a la salud. El grupo coliformes está comprendido por gran número de especies de bacterias, de las cuales las coliformes fecales son típicas de aguas residuales de origen fecal, por lo cual son ampliamente usadas como indicador de la contaminación de un cuerpo de agua con materia de origen fecal.

En el análisis de calidad se usó la revisión de literatura sobre calidad del agua, como apoyo en la interpretación de los resultados y su correlación con las actividades naturales y humanas desarrolladas en la microcuenca de la quebrada Manizales.

3.4.1.8 Metales pesados

Son considerados metales pesados, los elementos metálicos de la tabla periódica, cuyo peso específico es mayor a 5 g/cm³, estos elementos suelen encontrarse de forma natural en las fuentes de agua, por el arrastre que realiza el agua de las partículas presentes en las rocas y el lecho del río, pero también llegan a los ríos por los vertimientos de aguas residuales de origen minero e industrial, donde se usan estos metales en actividades procesamiento y producción. Cuando las concentraciones de metales pesados exceden ciertos valores en el agua, pueden causar grave afectación a las comunidades acuáticas como humanas asociadas, a ellas, pues muchos de los metales suelen introducirse en la cadena trófica, bioacumulándose hasta expresar su presencia por medio de enfermedades mutanogénicas. Entre los metales de mayor interés se encuentran el cromo, plomo, cianuro y mercurio.

3.4.1.9 Grasas y aceites

Los glicéridos de ácidos líquidos a temperatura normal, son conocidos como aceites, mientras que los que se encuentran como sólidos a temperatura normal, son las grasas. Las aguas residuales suelen tener importantes cantidades cuando son de origen doméstico o de la industria de los alimentos, pues las grasas animales y los aceites son uno de los principales componentes de los alimentos. Estas moléculas orgánicas son degradadas por bacterias a moléculas más sencillas y estables como el CO₂ y agua, pero si en la fuente encuentran presencia de sustancias alcalinas como el hidróxido de sodio, pueden reaccionar con el produciendo sales alcalinas, conocidas como jabón.

4. APLICACIÓN DE INDICES DE CALIDAD Y CONTAMINACIÓN

Los índices de calidad (ICA) y contaminación (ICO) del recurso hídrico, son una herramienta que facilita la valoración de la calidad del agua, ya que un índice es un único número que expresa la calidad de la fuente, integrando los valores de ciertos parámetros en una expresión simple, cuyo resultado permite clasificar la condición de la fuente. La clasificación de los ICA va de excelente (100) a muy mala calidad (0) para el ICA CETESB, y de buena (1) a muy mala calidad (0) para el ICA IDEAM; de manera semejante, la clasificación para los ICO va de muy bajo nivel de contaminación (0) a muy alto nivel contaminación (1).

Como parte del análisis de la calidad del agua de la quebrada Manizales, se usaron los resultados de la caracterización fisicoquímica y microbiológica, para calcular los índices de calidad (ICA CETESB e ICA IDEAM) y contaminación (ICOMO e ICOSUS). Estos se calcularon para cada una de las 12 estaciones de monitoreo establecidas sobre el cauce de la quebrada Manizales y las 13 estaciones sobre el cauce de sus principales afluentes.

4.1 ICA CETESB

4.1.1 Descripción

Es una adaptación del ICA-NSF para ríos de condiciones tropicales, que fue realizada por la Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental de Brasil – CETESB (2002), la cual propuso una modificación al ICA multiplicativo de la NSF, ajustado a las condiciones específicas de los ríos del Estado de Sao Paulo. Dicha modificación consistió en el cambio de los parámetros Nitratos y Fosfatos por Nitrógeno Total y Fósforo Total respectivamente, manteniendo las mismas funciones de los subíndices y las ponderaciones específicas de cada parámetro establecido en el ICA-NSF. Adicionalmente el CETESB modificó la clasificación de la calidad del agua de los ríos de acuerdo con el valor del índice obtenido, considerando la destinación del recurso para el abastecimiento humano.

Este indicador de estado permite definir el estado de calidad de una corriente o de un tramo de ésta, aunque no permite evaluar todos los riesgos presentes en el agua asociados a las variables que no contempla en su cálculo. Resume en un vistazo las condiciones de la calidad del agua en un intervalo de tiempo específico, permite reconocer problemas de contaminación en un cuerpo de agua, además, permite evaluar cómo ha evolucionado la calidad del cuerpo de agua al realizar monitoreos con una cierta periodicidad. Es un indicador que puede ser fácilmente interpretado por todo tipo de público. Su calificación se realiza usando un rango que varía desde 0 a 100, de manera que el valor más bajo corresponde a una pésima calidad hasta un valor de excelente calidad. Valores bajos del ICA-CETESB, sugieren que existen fuentes de contaminación que causan la variabilidad de los parámetros usados para el análisis.

4.1.2 Metodología para el cálculo

Para determinar el valor del ICA-CETESB se utiliza la ecuación de cálculo del ICA multiplicativo, el cual se calcula multiplicando los subíndices (q_i) de cada parámetro, colocando los pesos (w_i) como exponentes en cada uno de ellos:

Ecuación 1. ICA CETESB

$$ICA\ CETESB = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

Dónde:

i: Parámetros de calidad

q: Subíndices de cada parámetro

w: Peso asignado a cada variable o parámetro según su importancia

Las variables tenidas en cuenta según esta metodología de cálculo de índice de calidad son las que se muestran en la siguiente tabla, con su respectiva ponderación o peso asignado (w) según el método.

Tabla 5 Variables y ponderaciones para el cálculo del ICA-CETESB

VARIABLES Y PONDERACIONES PARA EL CALCULO DEL ICA-CETESB	
VARIABLE	PONDERACIÓN
Oxígeno Disuelto (OD) expresado en % Saturación	0,17
Coliformes Fecales (C.F.) expresado en UFC/100mL	0,15
pH	0,12
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) expresada en mg/L	0,1
Nitrógeno Total (NT) expresado en mg/L	0,1
Fósforo Total (PT) expresado en mg/L	0,1
Temperatura expresada como la diferencia de entre la temperatura de la superficie y del seno de la corriente en °C	0,1
Turbiedad expresada UNT	0,08
Sólidos Totales expresados en mg/L	0,08

El cálculo de los subíndices “q” se realizó mediante las ecuaciones ofrecidas por Marcos Von Sperling en el 2007.

Tabla 6. Calculo de los Parámetros, Fuente: Marcos Von Sperling, 2007.

Parámetro	Forma de cálculo
Oxígeno Disuelto (Porcentaje de Saturación de OD)	<p>Inicialmente se calcula el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto:</p> $\% \text{ Saturación OD} = \frac{OD_{\text{campo}}}{OD_{\text{saturación}}} * 100$ <p>Donde:</p> <p>OD_{campo}: Es el oxígeno disuelto medido en campo (mg/L)</p> <p>OD_{saturación}: Es la concentración de equilibrio de oxígeno (mg/L), a la presión no estándar.</p> <p>El OD_{saturación} se determina a partir de la temperatura del agua y se corrige por la altitud del sitio de muestreo de la siguiente manera:</p> $ODS = e^{\left(\frac{-13934411 + \frac{157570.1}{T+273.15} + \frac{66423080}{(T+273.15)^2} + \frac{12438000000}{(T+273.15)^3} + \frac{8621949000000}{(T+273.15)^4} \right)}$ $OD_{\text{saturación}} = ODS * \left(1 - 0.1148 * \frac{\text{Altitud(m.s.n.m)}}{1000} \right)$ <p>Donde: T: Temperatura del agua en °C</p> <p>Altitud: Altura en metros sobre el nivel del mar del sitio de muestreo.</p> <p>Una vez calculado el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, el subíndice para este parámetro se calcula así:</p> <p>Si % Saturación OD ≤ 140 entonces:</p> $q = -0,000152529 * (\% \text{ Saturación OD})^3 + 0,02531 * (\% \text{ Saturación OD})^2 - 0,06278 * \% \text{ Saturación OD} + 6,09897$ <p>Si % Saturación OD > 140 entonces: q=47</p>
pH (Unidades)	<p>Si pH < 2 entonces: q=2</p> <p>Si pH ≤ 4 entonces: q=0,398*(pH)^{2,317}</p> <p>Si pH ≤ 7 entonces: q=4,732*(pH)²-25,16*pH+34,92</p> <p>Si pH ≤ 7,5 entonces: q=91</p> <p>Si pH ≤ 10 entonces: q=-32,5*pH+345,5</p> <p>Si pH ≤ 12 entonces: q=8</p> <p>Si pH ≥ 12 entonces: q=3</p>
Parámetro	Forma de cálculo
Sólidos totales (ST, mg/L)	<p>Si ST ≤ 90 entonces: q=90</p> <p>Si 90 < ST < 500 entonces: q=93,1833-0,0674*ST-0,000110606*ST²</p> <p>Si ST ≥ 500 entonces: q=32</p>
Nitrógeno total (mg N/L)	<p>Si NT ≤ 100 entonces:</p> $q = -2,57714 + 63,43298 * 2,72^{(-NT / 33,769)} + 41,0099 * 2,72^{(-NT / 5,89537)}$ <p>Si NT > 100 entonces: q=1</p>
Fósforo total (mg P/L)	<p>Si PT=0 entonces: q=100</p> <p>Si PT ≤ 10 entonces:</p> $q = 3,70941 + 37,29288 * 2,72^{(-PT / 3,27594)} + 62,143 * 2,27^{(-PT / 0,5235)}$ <p>Si PT > 10 entonces: q=1</p>
DBO ₅ (mg O ₂ /L)	<p>Si DBO₅ = 0 entonces: q=100</p> <p>Si DBO₅ ≤ 30 entonces:</p> $q = -0,14977 + 103,18358 * 2,72^{(-DBO5 / 9,094443)}$ <p>Si DBO₅ > 30 entonces: q=2</p>
Coliformes fecales (UFC/100 mL)	<p>Si CF ≤ 100 entonces: q=101,8*CF^(-0,2)</p> <p>Si CF < 100000 entonces: q=218,5*CF^(-0,361)</p> <p>Si CF ≥ 100000 entonces: q=3</p>
Turbiedad (NTU)	<p>Si turbiedad = 0 entonces: q=100</p> <p>Si turbiedad ≤ 100 entonces:</p> $q = -4,97632 + 85,73879 * 2,72^{(-turbiedad / 77,03562)} + 19,23923 * 2,72^{(-turbiedad / 7,02527)}$ <p>Si turbiedad > 100 entonces: q=5</p>
Diferencia temperatura (ΔT)	<p>Esta diferencia de temperatura expresa la desviación entre la temperatura del agua superficial y la temperatura del agua; se considera que esta variación no es significativa por lo cual se asume que ΔT=0 y se calcula el subíndice así:</p> $q = -0,0028 * (\Delta T^4) + 0,133 * (\Delta T^3) - 1,4286 * (\Delta T^2) - 3,1148 * \Delta T + 86,956$

Una vez obtenidos los valores para los respectivos índices de calidad se procede a clasificar el cuerpo de agua en el tramo según el rango donde se encuentre, siendo identificado además con un color característico de cada clasificación, como se muestre en el cuadro:

Tabla 7 índices de calidad ICA-CETESB

ESCALA INDICE DE CALIDAD ICA-CETESB	
Índice de Calidad	Clasificación
79 – 100	Excelente Calidad
51-79	Buena Calidad
36-51	Regular Calidad
19-36	Mala Calidad
0-19	Pésima Calidad

4.2 ICA IDEAM

4.2.1 Descripción

Para el caso específico del presente indicador, el índice de calidad del agua en corrientes superficiales, corresponde a una expresión numérica agregada y simplificada surgida de la sumatoria aritmética equiponderada de los valores que se obtienen al medir la concentración de cinco o seis variables fisicoquímicas básicas en las estaciones de monitoreo que hacen parte de la Red Básica de Monitoreo de Calidad de Agua y que evalúan la calidad del agua en las corrientes superficiales.

El Índice de calidad del agua es el valor numérico que califica en una de cinco categorías, la calidad del agua de una corriente superficial, con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de cinco o seis variables, registradas en una estación de monitoreo j en el tiempo t .

Los valores calculados del indicador se comparan con los establecidos en tablas de interpretación permitiéndose clasificar la calidad del agua de forma descriptiva en una de cinco categorías (buena, aceptable, regular, mala ó muy mala) que a su vez se asocian a un determinado color (azul, verde, amarillo, naranja y rojo, respectivamente). La comparación temporal de la calidad del agua calificada mediante las cinco categorías y colores simplifica la interpretación, la identificación

de tendencias (deterioro, estabilidad o recuperación) y la toma de decisiones por cuenta de las diferentes autoridades.

El indicador se puede calcular con un diferente conjunto de variables medidas, cuya cantidad y tipo depende de la disponibilidad de datos, de las diferentes presiones contaminantes a las cuales están sometidos los diferentes cuerpos de agua y del tipo de cuerpo de agua. Para el caso colombiano, se ha medido desde 2005, en las corrientes superficiales, un conjunto de cinco variables, a saber: oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno, conductividad eléctrica y pH total. A partir de 2009, se ha tenido en cuenta además la relación entre nitrógeno total y fósforo total.

4.2.1.1 Metodología de cálculo

El indicador se calcula a partir de los datos de concentración de un conjunto de seis variables que determinan, en gran parte, la calidad de las aguas corrientes superficiales.

Ecuación 2. ICA IDEAM

$$ICA IDEAM = \sum_{i=1}^n W_i \cdot I_i$$

Dónde:

i: Parámetros de calidad

I: Subíndices de cada parámetro

W: Peso asignado a cada variable o parámetro según su importancia

Las variables tenidas en cuenta según esta metodología de cálculo de índice de calidad son las que se muestran en la siguiente tabla, con su respectiva ponderación o peso asignado (W) según el método.

Tabla 8 Variables y ponderaciones para el cálculo del ICA-IDEAM con 6 Variables.

VARIABLES Y PONDERACIONES PARA EL CALCULO DEL ICA-IDEAM CON 6 VARIABLES	
VARIABLE	PONDERACIÓN
Oxígeno Disuelto (OD) expresado en % de saturación	0,17
Sólidos Suspendidos Totales (SST) expresados en mg/L	0,17
Demanda Química de Oxígeno (DQO) expresada en mg/L	0,17
Relación Nitrógeno-Fósforo $\left(\frac{NT}{PT}\right)$	0,17
Conductividad Eléctrica (C.E.) expresada en $\mu\text{S/cm}$	0,17
pH	0,15

El cálculo de cada uno de los índices para cada parámetro se realiza según lo indica el Instituto de Estudios Ambientales IDEAM, en su documento “*Formato Común Hoja Metodológica: Índice de Calidad del Agua en Corrientes Superficiales*”.

A diferencia del índice de calidad calculado mediante la metodología establecida por el CETESB en la cual se obtienen valores entre 0 y 100, el ICA IDEAM presenta valores entre 0 y 1. La clasificación según los rangos de valores obtenidos se muestra en la tabla, así como el color que caracteriza cada clasificado.

Tabla 9 Escala índice de Calidad ICA-IDEAM.

ESCALA INDICE DE CALIDAD ICA-IDEAM	
Índice de Calidad	Clasificación
0,91 - 1,00	Buena
0,71 - 0,90	Aceptable
0,51 - 0,70	Regular
0,26 - 0,50	Mala
0,00 - 0,25	Muy Mala

4.2.2 ICOMO – Índice de Contaminación por Materia Orgánica

4.2.2.1 Descripción

Este indicador de estado evalúa las variables como oxígeno disuelto, DBO₅, y coliformes totales y fecales. Algunas otras variables cuya medición es menos frecuente como materia orgánica, dióxido de carbono, metano y ácido sulfhídrico, también pertenecen a este grupo. Se seleccionaron DBO₅ y coliformes totales, ya que estas reflejan fuentes diferentes de contaminación por materia orgánica, así como el porcentaje de saturación de oxígeno que indica la respuesta o capacidad ambiental del sistema ante este tipo de polución. Este indicador permite evaluar la contaminación de un cuerpo de agua en relación al grado de contaminación por materia orgánica. Permite evaluar cómo afectan ciertas actividades y procesos específicos a un cuerpo de agua en relación al contenido de materia orgánica y es un indicador que puede ser fácilmente interpretado por todo tipo de público. Éste indicador es utilizado por el IDEAM.

El indicador permite inferir solamente la presencia de ciertas fuentes de contaminación, como en este caso, las que aumentan la cantidad de materia orgánica comprendido como el aporte de contaminantes orgánicos incluyendo la materia fecal. Grado de contaminación por materia orgánica en una corriente o tramo específico de un cuerpo de agua. Refleja contaminación por fuentes agroindustriales, mataderos, aguas residuales domésticas y otros.

El ICOMO es un índice de contaminación por mineralización, el cual permite evaluar el grado de contaminación por materia orgánica de una corriente o tramo de un cuerpo de agua. El rango varía desde 0 a 1, de manera que el valor más bajo corresponde a una contaminación más baja hasta un valor alto de muy alta contaminación. Valores bajos del ICOMO, sugieren que existen fuentes de contaminación que causan la variabilidad de los parámetros usados para el análisis como lo son Oxígeno disuelto, DBO₅ coliformes fecales y totales.

4.2.2.2 Metodología de cálculo

El índice de contaminación por materia orgánica ICOMO requiere los siguientes parámetros:

- ✓ Oxígeno disuelto, expresado como % de saturación de OD.
- ✓ DBO₅ expresado en mg/L.

- ✓ Coliformes totales expresadas en UFC/100mL.

Este índice se calcula mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 3. ICOMO – Índice de Contaminación de Materia Orgánica

$$ICOMO = \frac{1}{3}(I_{DBO5} + I_{C.T.} + I_{OD})$$

Dónde:

$$I_{DBO5} = -0.05 + 0.70 * \log(DBO_5)$$

Sí $DBO_5 > 30$ mg/L, entonces $I_{DBO5} = 1$

Sí $DBO_5 < 2$ mg/L, entonces $I_{DBO5} = 0$

$$I_{C.T.} = -1.44 + 0.56 * \log(C.T.)$$

Sí Coliformes Totales > 20000 UFC/100mL, entonces $I_{C.T.} = 1$

Sí Coliformes Totales < 500 UFC/100mL, entonces $I_{C.T.} = 0$

$$I_{OD} = 1 - 0.01 * \% \text{Saturación OD}$$

Sí % Saturación de OD $> 100\%$, entonces $I_{OD} = 0$

De manera semejante a los índices de calidad, los índices de contaminación también presentan una clasificación según unos rangos de valores determinados, caracterizados con unos colores que alertan sobre el resultado, como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 10 Clasificación de ICOMO.

Valor del ICO	Clasificación de la contaminación
0 - 0,20	Muy baja
0,20 - 0,40	Baja
0,40 - 0,60	Media
0,60 - 0,80	Alta
0,80 - 1,00	Muy Alta

5. EJECUCIÓN DE LA CAMPAÑA DE MONITOREO A LAS ESTACIONES SOBRE LA QUEBRADA MANIZALES Y SUS PRINCIPALES AFLUENTES.

Dentro de los aspectos tenidos en cuenta para realizar los diferentes monitoreos está el acceso al punto y dentro del cauce, la sección de mezcla completa que proporciona confiabilidad para la medición y representatividad que es el objetivo del muestreo.

En total se realizaron 25monitoreos de la calidad del agua, correspondientes a 12 estaciones a lo largo de la quebrada Manizales, 5 estaciones sobre la quebrada Cimitarra, 3 estaciones sobre la quebrada Tesorito, 3 más sobre la quebrada Cristales y 2 estaciones ubicadas sobre la quebrada 2615-002-098-003. Estas estaciones han sido determinadas con el propósito de conocer el impacto generado por la disposición de aguas residuales de tipo doméstico e industrial en la microcuenca de la quebrada Manizales.

5.1 ESTACIONES DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA SOBRE LA QUEBRADA MANIZALES

5.1.1 Puntos de Monitoreo

Para determinar las características y caudal de la Quebrada Manizales, se hace necesario realizar un Monitoreo de dichas aguas desde un punto inicial ubicado en la parte alta del recorrido de la masa de agua en la subcuenca. Es importante aclarar que unos metros más abajo del punto denominado como blanco se encuentra, la unión de la Quebrada Manizales con la Quebrada Chuscales, la cual recibe las aguas residuales de las minas de oro ubicadas en el sector (La Cascada, La Coqueta y La Ríos).

Es por esta razón que se toma un caudal y parámetros iniciales en el punto **E01**denominado blanco y se continúa bajando hasta encontrar nuevas fuentes aferentes; en este caso la quebrada que se encuentra aguas abajo es la quebrada Chuscales, punto denominado **E02**, se toma una muestra de agua y se afora sobre la Quebrada Manizales 30 metros antes que se una con la quebrada

Chuscales; con el fin de conocer las características del agua antes de la unión con las aguas de la quebrada referida.

Posteriormente, se tomó muestras aguas abajo, específicamente 30 metros antes que el acueducto la Enea realice la captación de aproximadamente el 88% de la fuente para potabilización, Estación **E03**.



Fotografía 2 Antes de la bocatoma acueducto la Enea.

Teniendo en cuenta el porcentaje agua captada en la estación anterior, la red establece la estación **E04**, aguas abajo de la misma, para verificar como ha sido la afectación en la quebrada. Se continúa por el cauce de la Quebrada Manizales, hasta la unión de la Quebrada Manizales con la Quebrada Cimitarra la cual recibe los vertimientos de la Empresa DESCAFECOL y PROGEL.

Se continúa por la subcuenca hasta llegar a la estación **E05**, 30 metros antes que la quebrada Santa Rita se una con la Quebrada Manizales. En este punto se mide el impacto de los vertimientos de las empresas DESCAFECOL y PROGEL.



Fotografía 3 Unión Quebrada Manizales con la Quebrada Santa Rita.

Unos metros más abajo se encuentra la unión de la Quebrada Manizales con la Quebrada Tesorito y se denomina **E06**, por lo que se toma el punto sobre la Quebrada Manizales, 30 metros antes de dicha unión.

Para monitorear la estación denominada como **E07** se tuvo como referencia el vertimiento de la Industria Licorera de Caldas (ILC), en este punto se puede determinar las características de la masa de agua luego que le ha entrado varios tributarios mencionados anteriormente, cabe resaltar que actualmente la planta de destilación de la ILC no se encuentra operando, por tal motivo no se generan vertimientos industriales.

En el punto denominado como **E08** se tomó antes de la desembocadura de la Quebrada Guayabal unos metros más abajo de la entrada al recinto del pensamiento.



Fotografía 4 Estación EC08

La estación **E09** se tomó debajo del puente Verdum, ubicado en la vía principal Panamericana (Manizales a Bogotá), antes del desvío para el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA).

Aguas abajo le tributa la Quebrada Cristales la cual recibe los vertimientos industriales y domésticos de las empresas Súper de Alimentos, Madeal y las aguas residuales de Cerros de la Alhambra. Este punto es denominado como **E10** y se toma en la Quebrada Manizales, 30 metros antes de la unión de con la Cristales.

El punto denominado como **E11** se toma 30 metros antes del descole de Aguas Residuales Domesticas (ARD) del barrio la Enea, ubicado diagonalmente a la estación de servicio San Marcel.

La última estación de la Quebrada Manizales se toma 30 metros antes de unirse con el Río Chinchiná, este punto se denomina **E12** y para llegar a él, se debe ingresar por el Bosque Popular el Prado y bajar hasta la pista de bicigrós.

5.1.1.1 Ruta de acceso a las estaciones de muestreo Quebrada Manizales

A continuación se describe la ruta de entrada y se muestran las imágenes de cada estación.

✓ Nombre de Estación: **E01Blanco Q. Manizales.**

Ruta de acceso: Para llegar hasta este punto se debe ingresar por la empresa PROGEL ubicada en Maltería; vía a margen izquierda (Manizales a Letras) como se muestra en la fotografía. Esta ruta se sigue hasta llegar a las minas de oro (Mina la Cascada), en coordenadas N 05 03 12.04 W 075 24 43.80 Altura 2827 m.s.n.m.



Fotografía 5 Acceso E01



Fotografía 6 Punto de toma de Muestra E01

✓ Nombre de Estación: **E02 Antes de unirse con la Q. Chuscales.**

Ruta de acceso: Para llegar hasta este punto se debe ingresar por la empresa PROGEL ubicada en Maltería; hasta la empresa DESCAFECOL, de allí se realiza el desplazamiento por un potrero cruzando el puente sobre la Q. Cimitarra hasta el acueducto la Enea. Luego del acueducto la Enea se asciende por la Quebrada Manizales aproximadamente 330 metros hasta encontrarse 30 metros arriba sobre las coordenadas N 05° 2' 43.7" W 075° 25' 18.9" Altura 2466 m.s.n.m.



Fotografía 7 Acceso E02



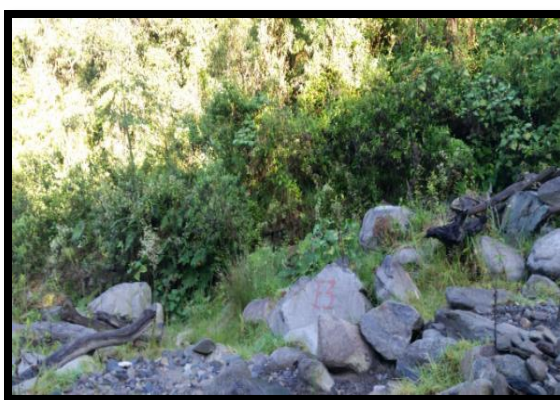
Fotografía 8 Punto de toma de Muestra E02.

✓ Nombre de Estación: **E03 Antes de la Bocatoma Acueducto la Enea.**

Ruta de acceso: Para llegar hasta este punto se debe ingresar por la empresa PROGEL ubicada en Maltería; hasta llegar a la empresa DESCAFECOL, posteriormente se realiza el desplazamiento por un potrero cruzando el puente sobre la Q. Cimitarra hasta el acueducto la Enea. Luego del acueducto la Enea se asciende por la quebrada Manizales aproximadamente 30 metros hasta en las coordenadas N 05 02 39.1 W 075 25 26.6 Altura 2434 m.s.n.m.



Fotografía 9 Acceso E03



Fotografía 10 Punto de toma de Muestra E03

✓ Nombre de Estación: **E04 Después de la Bocatoma Acueducto la Enea.**

Ruta de acceso: Para llegar hasta este punto se debe ingresar por el barrio Maltería; Luego de la empresa COLOMBIT, por la margen izquierda tal como se muestra en la fotografía; se continua a pie por un camino hasta ubicar una infraestructura grande en las coordenadas N 05° 02' 26.9" W 075° 25' 42.3" Altura 2354 m.s.n.m.



Fotografía 11 Acceso E04



Fotografía 12 Punto de toma de Muestra E04

- ✓ Nombre de Estación: **E05 Antes que la quebrada Manizales se une con la quebrada Santa Rita.**

Ruta de acceso: Para llegar hasta este punto se debe ingresar por la estación de policía de Maltería; vía destapada a margen izquierda (Manizales a Letras) como se muestra en la fotografía. Posteriormente se cruza un puente (quebrada Santa Rita), se continua aproximadamente 109.14 km hasta llegar a una “ye” en la cual se debe girar hacia la izquierda, ubicando en el GPS las coordenadas N 05° 02’ 14.9” W 075° 25’ 59.4” Altura 2294 m.s.n.m.



Fotografía 13 Acceso E05



Fotografía 14 Punto de toma de Muestra E05

- ✓ Nombre de Estación: **E06 Antes de la Q. Tesorito.**

Ruta de acceso: Para llegar hasta este punto se debe ingresar por un cerco ubicado al frente de la entrada al parque industrial JUANCHITO sobre la vía Manizales a Letras, como se muestra en fotografía. En este punto se deja el vehículo y se procede a bajar hasta la quebrada Tesorito, se asciende aproximadamente 30 metros ubicando en el GPS las coordenadas N 05° 02’ 10.4” W 075° 26’ 09.0” Altura 2249 m.s.n.m.



Fotografía 15 Acceso E06



Fotografía 16 Punto de toma de Muestra E06

✓ Nombre de Estación: **E07 Antes de la Industria Licorera de Caldas (ILC).**

Ruta de acceso: Para llegar hasta este punto se debe ingresar por una vía destapada (Margen izquierda) que se encuentra unos metros más arriba de la bodega de Coca-Cola ubicada sobre la vía Manizales - Letras como se muestra en fotografía, en las coordenadas N 05° 02' 21.5" W 075° 26' 52.4" Altura 2229 m.s.n.m.



Fotografía 17 Acceso E07



Fotografía 18 Punto de toma de Muestra E07

✓ Nombre de Estación: **E08 Antes de la Q. Guayabal.**

Ruta de acceso: Para llegar hasta este punto se debe ingresar por una vía destapada (Margen izquierda) que se encuentra unos metros más arriba de la bodega de Coca-Cola ubicada sobre la vía Manizales - Letras como se muestra en fotografía, coordenadas N 05° 02' 21.5" W 075° 26' 52.4" Altura 2228 m.s.n.m.



Fotografía 19 Acceso E08



Fotografía 20 Punto de toma de Muestra E08

✓ Nombre de Estación: **E09 Puente Verdum.**

Ruta de acceso: Para llegar hasta este punto se toma la vía Manizales - Letras, luego de pasar la empresa Súper de Alimentos se encuentra con el puente VERDUM, el cual esta antes del desvío para el SENA como se muestra en fotografía, en coordenadas N 05° 02' 12.0" W 075° 27' 13.2" Altura 2159 m.s.n.m



Fotografía 21 Acceso E09



Fotografía 22 Punto de toma de Muestra E09

✓ Nombre de Estación: **E10 Antes de la Q. Cristales.**

Ruta de acceso: Para llegar hasta esta estación, se toma la vía Manizales - Letras, antes de llegar a la empresa MADEAL, ingresando a la ladrillera ubicada en la margen. Como se muestra en fotografía. La estación está ubicada diagonal a la Urbanización Cerros de la Alhambra y las bodegas de POSTOBON. En coordenadas son N 05° 02' 08.9" W 075° 27' 34.0" Altura 2159 m.s.n.m.



Fotografía 23 Acceso E10



Fotografía 24 Punto de toma de Muestra E10

✓ Nombre de Estación: **E11 Antes del descole Aguas Residuales Domesticas de la Enea.**

Ruta de acceso: Para llegar hasta esta estación, se toma la vía Panamericana Manizales - Letras, al frente de la Estación de Servicio San Marcel, como se muestra en fotografía. En coordenadas son N 05° 02' 01.6" W 075° 28' 05.2" Altura 2057 m.s.n.m.



Fotografía 25 Acceso E11



Fotografía 26 Punto de toma de Muestra E11

✓ Nombre de Estación: **E12 Antes de desembocar al río Chinchiná.**

Ruta de acceso: Para llegar hasta esta estación, se debe ingresar al Centro Recreativo Bosque Popular el Prado (CONFAMILIARES), y se baja hasta la pista de Bicicrós, en este lugar existe un parqueadero y desde ahí se ubica en el GPS las coordenadas son N 05° 02' 01.5" W 075° 28' 49.6" Altura 1957 m.s.n.m.



Fotografía 27 Acceso E12



Fotografía 28 Punto de toma de Muestra E12

5.2 FUENTES REPRESENTATIVAS EN CUANTO A CARGA CONTAMINANTE APORTADA A LA QUEBRADA MANIZALES

A lo largo de la cuenca de la quebrada Manizales se encuentran varios afluentes que se incorporan desde ambos lados de las montañas; es de aclarar que las características de dichas aguas en general son muy buenas; lo anterior debido a que nacen en la parte altas de las montañas y su topografía hace que estén en constante oxigenación.

La Quebrada Manizales tiene once quebradas tributarias de las cuales en este momento cuatro son de gran importancia debido a su carga contaminante como lo son la quebrada la Elvira (no se le realiza monitoreo), la cual recoge las aguas residuales de los procesos de las minas de oro, la Cascada y la Coqueta, ubicadas en la parte alta de la montaña a los lados de la estación E01, la quebrada Cimitarra, la quebrada Tesorito y la quebrada la Cristales.

5.2.1 ESTACIONES DE LA QUEBRADA CIMITARRA

La quebrada Cimitarra nace en la margen izquierda de la quebrada Manizales, exactamente a un costado de la estación E01, a los 2076 msnm, y en su recorrido son vertidas la Aguas Residuales de las empresas de DESCAFECOL y PROGEL.

A pesar que la quebrada Cimitarra atraviesa la mina la Coqueta, casi en su nacimiento se puede afirmar que no posee ningún tipo de vertimiento con aguas contaminadas por parte de esta; pero aguas abajo a los 2427 msnm empieza a recibir efluentes de aguas residuales de las empresas antes mencionadas.

Por lo anterior se hace necesario tomar las estaciones **EC01** como blanco y punto base para determinar el grado de la contaminación emitida por cada empresa, posteriormente se toma la estación **EC02**, la cual está ubicada antes que la quebrada Cimitarra reciba las aguas residuales de la empresa DESCAFECOL y que sirve como base para determinar las condiciones del cuerpo de agua antes y después de que se mezcle con los vertimientos de dicha empresa. La estación **EC03** se toma después de que son vertidas las aguas residuales de la empresa DESCAFECOL; esta estación es fundamental al momento de determinar las características de los contaminantes diluidos. La estación **EC04** se encuentra ubicada aguas abajo, 30 metros antes del descole de la empresa PROGEL y la

estación **EC05** es el último punto y está ubicada antes que la quebrada Cimitarra se una con la quebrada Manizales.

5.2.2 QUEBRADA TESORITO

La quebrada tesorito se encuentra ubicada a la margen izquierda de la quebrada Manizales y sobre esta anteriormente se realizaba el vertimiento de las aguas residuales domesticas e industriales de la empresa SURTIPIELES. Luego de realizar la caracterización de este cuerpo de agua se pudo evidenciar que dentro de las actividades inherentes a labores de mejoramiento al interior de la empresa SURTIPIELES se llevó a cabo el cambio en los descoles de las aguas residuales que generan, siendo actualmente vertidas sobre la quebrada Manizales.

En esta fuente se tiene tres estaciones de monitoreo las cuales están distribuidas sobre la fuente como **ET01**, esta estación fue tomada como punto blanco o de referencia de la calidad del agua; la estación **ET02** se toma aguas arriba de donde la empresa SURTIPIELES realizaba la descarga de sus aguas residuales e industriales y la estación **ET03** se encuentra ubicada 30 metros antes que se una la quebrada Tesorito con la quebrada Manizales.

El objetivo de la estación **ET01**, dentro de la Red de Monitoreo establecida para la Quebrada Manizales, es establecer las condiciones iniciales de la Quebrada Tesorito antes de recibir vertimientos, sin embargo esta condición no se cumple, ya que la estación en mención se encuentra ubicada en una zona donde ya se encuentra intervenida por vertimientos especialmente generados en el proceso de beneficio de oro, dicha situación se estableció mediante recorrido a la zona encontrando que la fuente tributaria quebrada Volcanes realiza aportes significativos en la quebrada en estudio, sobre las coordenadas 851399,81 1048379,7, por tal motivo se recomienda ajustar la estación **ET01**, antes de dicha ubicación, garantizando la representatividad del muestreo y su posterior análisis refleje el verdadero impacto y las condiciones cambiantes, el blanco propuesto para la Quebrada Tesorito se recomienda ubicarlo en 851453,38 1048332. Para mayor claridad en la **tabla 11**. Se relacionan las coordenadas de unión de la quebrada Volcanes y la Tesorito, la coordenada propuesta y el punto de acceso, igualmente se ubican sobre mapa (Anexo 3. Mapa Ubicación Blanco Quebrada Tesorito).

Tabla 11. Coordenadas Puntos de Muestreo Quebrada Tesorito

COORDENADAS		DESCRIPCIÓN
X	Y	
851445	1048490	Coordenada Vía de acceso ET01
851399,81	1048379,7	Unión de la Q. Volcanes a la Q. Tesorito
851453,38	1048332	Blanco Propuesto Quebrada Tesorito

5.2.3 QUEBRADA CRISTALES

La quebrada Cristales nace a la margen derecha de la quebrada Manizales y recibe las aguas residuales, tanto domésticas como industriales, de la empresa SÚPER DE ALIMENTOS, así como las aguas residuales domesticas del conjunto Cerros de la Alhambra.

En esta quebrada se encuentran 3 estaciones, una es la **ECR01** punto ubicado antes del vertimiento de Súper de Alimentos, **ECR02** antes del descole de las aguas residuales del conjunto cerrado la Alhambra y **ECR03** fue tomado 30 metros antes de desembocar a la quebrada Manizales.

7.2.4 Quebrada 2615-002-098-003.

Esta quebrada nace en la margen izquierda de la quebrada Manizales, y su importancia radicó en la recepción de las aguas residuales domésticas e industriales provenientes de la empresa Descafecol Planta Solubles, antes FOODEX. Es importante destacar que actualmente el vertimiento de dicha empresa ha sido trasladado directamente sobre el cauce de la quebrada Manizales, sin embargo durante la jornada de monitoreo se identificaron pequeños caudales vertidos sobre la quebrada a través de las antiguas estructuras de conducción. Para este cauce se tienen establecidas dos estaciones de monitoreo, de nombre **MAN-ETB01** y **MAN-ETB02**, que corresponden respectivamente a los puntos antes del vertimiento de la empresa referida y después de dicho vertimiento, unos metros antes de desembocar sobre la quebrada Manizales. Sobre dicha quebrada se plantea una nueva estación con coordenadas 848433,6 y 1047806,20 con el fin de tener mayor representatividad del blanco. (Anexo. 4 Mapa Ubicación Blanco Quebrada 2615-002-098-003)

5.3 PRESERVACIÓN DE LAS MUESTRAS

Durante la ejecución de la campaña de monitoreo del recurso hídrico sobre la microcuenca de la quebrada Manizales, se siguió la metodología para la realización del muestreo y los análisis de laboratorio, establecida en las técnicas descritas en los Métodos Estándar para el Análisis de Agua y Aguas Residuales de la AWWA - APHA edición 21, en las cuales se presenta la forma de toma, preservación y transporte de muestras al laboratorio y las técnicas de análisis de estas. Con el propósito de asegurar la mayor representatividad posible en los resultados obtenidos, se prestó especial atención respecto a la preservación de las muestras tomadas, así como a la medición de parámetros in-situ, como se indica en la tabla.

Tabla 12 Preservación de las muestras In Situ.

DETERMINACIÓN	PRESERVACIÓN
Ph	In situ
Temperatura	In situ
Conductividad	In situ
Oxígeno disuelto	In situ–Temperatura < 6°C
DBO ₅	Temperatura < 6°C
DQO	1 ml de H ₂ SO ₄ / Litro
Coliformes	Temperatura < 6 °C
Grasas y aceites	1 ml de HCL / Litro
Fosforo Total	1 ml de H ₂ SO ₄ / Litro
Nitrógeno Total	1 ml de H ₂ SO ₄ / Litro
Análisis Fisicoquímicos	Temperatura < 6 °C
Mercurio	1ml de NHO ₃ / Litro
Cromo Hexavalente	Solución Buffer sulfato de amonio pH= 9.3 – 9.7

5.4 TRANSPORTE DE LAS MUESTRAS

La preservación de las muestras son realizadas el día anterior; todos los envases son previamente rotulados con la información de cada punto, y se deja en blanco las casillas para la información que se obtiene en campo tal como el pH, temperatura y la hora de la toma de las muestras; de esta forma se asegura que al

momento de entregar las muestras al laboratorio no exista ningún tipo de confusión en el formato de cadena de custodia.

Todas las muestras de un mismo punto se transportan en una nevera de icopor que las protege de la luz, especialmente cuando se sospecha que el agua está contaminada con organismos patógenos. Las muestras son refrigeradas con hielo garantizando una temperatura inferior a los 6°C; de igual manera se realiza el cierre hermético de las muestras evitando de esta manera que se mezcle con el agua del hielo derretido.

Todas las muestras son colocadas en forma vertical intercalando los envases de vidrio con los de plástico, previniendo de esta manera que la fricción entre los vidrios ocasione la ruptura de alguno de ellos.

Todas las muestras son entregadas al laboratorio en un tiempo inferior las 24 horas después de recolección y son entregadas por los mismos integrantes del grupo de muestreo, o enviadas a través de una empresa debidamente certificada en el servicio de encomiendas a nivel nacional.

6. CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA MANIZALES

En esta sección se presentan los resultados obtenidos en la caracterización del recurso hídrico para cada una de las estaciones de monitoreo establecidas para la quebrada Manizales y sus principales afluentes (Quebrada Cimitarra, Tesorito, Cristales y 2615-002-098-003). Se presentan tanto los parámetros medidos in situ, por parte del personal técnico y profesional encargado de la ejecución de la campaña, así como los resultados obtenidos para los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos realizados en los diferentes laboratorios contratados para este propósito.

6.1 PARÁMETROS IN-SITU

Cabe recordar que para la campaña de monitoreo del recurso hídrico sobre la microcuenca de la quebrada Manizales y sus principales afluentes se contó con los equipos debidamente certificados para el aforo y medición de parámetros de campo pH, temperatura y conductividad, además de oxígeno disuelto de manera

adicional. Los resultados obtenidos en la determinación de caudal y cada uno de estos parámetros se muestran en las tablas.

Tabla 13. Resultados parámetros In-situ Q. Manizales

Estación	Descripción	Caudal m ³ /s	Temp. °C	Conductividad μS/cm	OD mg O ₂ /L	pH
MAN-E01	Blanco	0.01	10.6	54.6	8.03	7,85
MAN-E02	Antes de Quebrada Chuscales	0.05	10.3	178.6	8.18	7,89
MAN-E03	Antes de Bocatoma Acueducto La Enea	0.16	10.5	178.1	8.29	8,14
MAN-E04	Después de Bocatoma Acueducto La Enea	0.06	12.4	187.7	7.94	7,96
MAN-E05	Antes de Quebrada Santa Rita	0.07	16.5	740	7.01	8
MAN-E06	Antes de Quebrada Tesorito	0.08	17.8	1061	4.86	8,31
MAN-E07	Antes de ILC	0.14	18.5	621	5.19	8,81
MAN-E08	Antes de Quebrada Guayabal	0.17	18.3	420	5.58	8,20
MAN-E09	Puente Verдум	0.34	18.5	457	5.15	8,18
MAN-E10	Antes de Quebrada Cristales	0.34	14.9	497	7.12	8,23
MAN-E11	Antes Descole La Enea	0.34	16.1	489	6.64	7,96
MAN-E12	Antes de la desembocadura Río Chinchiná	0.6	20.2	580	2.69	8,03

Tabla 14. Resultados parámetros In-situ Q. Cimitarra

Estación	Descripción	Caudal m ³ /S	Temperatura °C	Conductividad μS/cm	OD mg O ₂ /L	pH
MAN-EC01	Blanco	0.03	10.9	55	7.95	7.9
MAN-EC02	Antes de Descafecol	0.02	10.4	79.3	8.27	7.76
MAN-EC03	Antes del Acueducto La Enea	0.025	12.9	88.1	7.78	7.84
MAN-EC04	Antes descole Progel	0.06	12.6	124.79	7.25	7.67
MAN-EC05	Antes desembocadura Quebrada Manizales	0.107	18.6	1069	3.56	7.80

Tabla 15. Resultados parámetros In-situ Q. Tesorito

Estación	Descripción	Caudal m ³ /S	Temperatura °C	Conductividad μS/cm	OD mg O ₂ /L	pH
MAN-ET01	Blanco	0,035	12.4	112.3	8.04	7.85
MAN-ET02	Antes descole Surtipieles Salvador Giraldo	0,035	16.1	115.3	7.35	7.89
MAN-ET03	Antes desembocadura Quebrada Manizales	0,036	17.7	120.9	6.9	7.39

Tabla 16. Resultados parámetros In-situ Q. Cristales

Estación	Descripción	Caudal m ³ /S	Temperatura °C	Conductividad μS/cm	OD mg O ₂ /L	pH
MAN-ECR01	Antes vertimiento Súper de Alimentos	0.002	21.2	271	6.45	8.17
MAN-ECR02	Antes descole ARD	0.001	17.4	295	5.4	6.95
MAN-ECR03	Antes desembocadura Quebrada Manizales	0.007	14.14	320	3.97	7.11

Tabla 17. Resultados parámetros In-situ Q. 2615-002-098-003

Estación	Descripción	Caudal m ³ /S	Temperatura °C	Conductividad μS/cm	OD mg O ₂ /L	pH
MAN-ETB01	Antes del vertimiento Foodex	0.012	19.7	245	6.43	8.04
MAN-ETB02	Antes desembocadura Quebrada Manizales	0.013	16.8	245	6.76	8.21

6.2 RESULTADOS DE LABORATORIO

En este aparte se reportan los resultados obtenidos en la ejecución de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos respectivos a cada parámetro seleccionado para la caracterización y determinación de la calidad del agua en el marco de la campaña de monitoreo del recurso hídrico sobre la quebrada Manizales y sus principales afluentes. (Anexo 5. Tabla de Resultados y Informes de resultados para análisis Fisicoquímicos y Microbiológicos)

Tabla 18. Resultados de los parámetros Fisicoquímicos y microbiológicos de la Quebrada Manizales

Estación		DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	C.T. (UFC/100mL)	C.F. (UFC/100mL)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	N. Total (mg/L)	Fosforo Total (mg/L)	Fosforo Soluble (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Mercurio (mg/L)
E 1	Blanco	13,56	1,69	46	2	3	0,004	1,915	0,067	0,007	20,2	<0.01
E 2	Antes de Q. Chuscales	13,61	1,69	141	67	0,9	0,06	0,851	1,04	0,012	71	0.023
E 3	Antes de Bocatoma Acueducto La Enea	13,56	2,74	78	43	1,6	0,031	0,904	0,963	0,011	55	<0.01
E 4	Después de Bocatoma Acueducto La Enea	13,56	1,69	101	57	4,2	0,058	1,596	0,336	0,016	62,5	<0.01
E 5	Antes Q. Santa Rita	733	415	56600	31500	2,9	0,131	66,39	0,32	0,2	177	<0.01
E 6	Antes Q. Tesorito	740	696	86200	53600	2	0,189	92,67	0,56	0,2	226	0.011
E 7	Antes de ILC	643	459	93400	34300	2,2	0,147	55,01	0,78	0,2	117	<0.01
E 8	Antes Q. Guayabal	194,88	130,55	9300	3200	0,9	0,122	21,22	0,728	0,005	70,5	<0.01
E 9	Puente Verdum	376	327	115300	45300	1,3	0,176	39,79	0,36	0,2	116	<0.01
E 10	Antes Q. Cristales	250	140	101000	47500	1,7	0,118	19,31	0,42	0,2	112	<0.01
E 11	Antes Descole La Enea	200	132	117800	68800	15,3	0,132	13,35	0,56	0,2	132	--
E 12	Antes de la desembocadura Río Chinchiná	407,7	273,52	560	1100	5,3	0,115	27,132	1,6	0,0012	153	--
Estación		SST (mg/L)	ST (mg/L)	Color (U Pt-Co)	Alcalinidad (mg/L)	Dureza (mg/L)	Turbiedad (UNT)	Cloruros (mg/L)	Detergentes (mg/L)	Grasas (mg/L)	Sulfuros [mg/l]	Cromo hexavalente [mg/l]
E 1	Blanco	17	59	44.3	20,05	19	2,5	115	0,05	101	<1,5	<0.04
E 2	Antes de Q. Chuscales	571	758	69.1	43,42	84	60	0,488	0,05	6	<1,5	<0.04
E 3	Antes de Bocatoma Acueducto La Enea	387	498	35.1	63,08	68	41	153	0,05	3	<1,5	<0.04
E 4	Después de Bocatoma Acueducto La Enea	230	339	67.6	57,29	82	48	1,224	0,05	7	<1,5	<0.04
E 5	Antes Q. Santa Rita	164	723	248	108	60	32	63,247	0,47	2	<1,5	<0.04
E 6	Antes Q. Tesorito	238	1204	222	195	50	47	96,42	0,05	99	<1,5	<0.04
E 7	Antes de ILC	188	814	185	132	48	42	43,745	0,05	31	1,6	<0.04
E 8	Antes Q. Guayabal	279	734	137	134	28	26	47,368	0,05	91	<1,5	<0.04
E 9	Puente Verdum	142	582	171	122	50	38	34,070	0,05	23	<1,5	<0.04
E 10	Antes Q. Cristales	146	523	159	106	40	30	47,064	0,05	16	<1,5	<0.04
E 11	Antes Descole La Enea	134	463	141	77,33	62	30	34,309	0,38	17	<1,5	<0.04
E 12	Antes de la desembocadura Río Chinchiná	353	769	340	105	56	52	42,591	1,21	34	<1,5	<0.04

Tabla 19. Resultados análisis fisicoquímicos y microbiológicos quebrada Cimitarra

Estación		DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	C.T. (UFC/100mL)	C.F. (UFC/100mL)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	N. Total (mg/L)	Fosforo Total (mg/L)	Fosforo Soluble (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Mercurio (mg/L)
EC01	Blanco	13,56	1,69	39	34	11,5	0,005	0,372	0,102	0,006	14,8	<0.01
EC02	Antes Descafeol	13,56	1,69	850	70	0,9	0,021	1,277	0,037	0,005	14,5	<0.01
EC03	Antes Acueducto La Enea	16	7	117800	97	4,1	0,015	0,532	0,58	0,2	17,6	--
EC04	Después descole PROGEL	131,39	47,36	1770	120	3,3	0,03	2,448	0,089	0,015	44	<0.01
EC05	Antes desembocadura Q. Manizales	454	407	56000	4400	4,3	0,073	56,29	0,39	0,2	279	<0.01
Estación		Sst (mg/L)	St (mg/L)	Color (U Pt-Co)	Alcalinidad (mg/L)	Dureza (mg/L)	Turbiedad (UNT)	Cloruros (mg/L)	Detergentes (mg/L)	Grasas (mg/L)	Sulfuros	Cromo hexavalente [mg/l]
EC01	Blanco	17	54	14,2	15,6	2	2,3	0,887	0,05	87	<1,5	<0.04
EC02	Antes Descafeol	17	94,4	98	29,5	19	3	0,987	0,05	12	<1,5	<0.04
EC03	Antes Acueducto La Enea	19	91	20,5	32,68	22	8	1,054	0,05	5	<1,5	<0.04
EC04	Después descole PROGEL	43	170	194	49,4	26	5,1	0,941	0,05	6	<1,5	<0.04
EC05	Antes desembocadura Q. Manizales	130	1040	226	152	80	27	97,44	0,19	34	1,9	<0.04

Tabla 20. Resultados análisis fisicoquímicos y microbiológicos quebrada Tesorito

Estación		DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	C.T. (UFC/100mL)	C.F. (UFC/100mL)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	N. Total (mg/L)	Fosforo Total (mg/L)	Fosforo Soluble (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Mercurio [mg/l]
ET01	Blanco	13,56	1,69	374	140	4,4	0,134	0,585	0,435	0,014	55,5	<0.01
ET02	Antes descole Surtipieles	48,79	35,15	64700	4100	0,4	0,083	0,851	0,382	0,061	36	--
ET03	Antes desembocadura Q. Manizales	37,71	16,65	5980	3770	0,09	0,029	1,064	0,365	0,031	32,8	<0.01
Estación		Sst (mg/L)	St (mg/L)	Color (U Pt-Co)	Alcalinidad (mg/L)	Dureza (mg/L)	Turbiedad (UNT)	Cloruros (mg/L)	Detergentes (mg/L)	Grasas (mg/L)	Sulfuros	Cromo hexavalente [mg/l]
ET01	Blanco	320	370	160	39,05	26	74	1,117	0,05	313	<1,5	<0.04
ET02	Antes descole Surtipieles	319	434	100	38	22	53	0,622	0,05	6	<1,5	<0.04
ET03	Antes desembocadura Q. Manizales	64	135	58,1	41,71	35	25	8,636	0,05	6	<1,5	<0.04

Tabla 21. Resultados análisis fisicoquímicos y microbiológicos quebrada Cristales

Estación		DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	C.T. (UFC/100mL)	C.F. (UFC/100mL)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	N. Total (mg/L)	Fosforo Total (mg/L)	Fosforo Soluble (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Mercurio [mg/l]
ECR01	Antes Vertimiento Súper	13,56	5,23	181	119	0,9	0,001	0,638	0,097	0,017	30,2	--
ECR02	Antes descole ARD	480	235	3310	2100	32,2	0,048	1,81	0,24	0,2	63,5	--
ECR03	Antes desembocadura quebrada Manizales	651	153	17200	3900	25,3	0,101	5,11	0,6	0,2	78	--
Estación		Sst (mg/L)	St (mg/L)	Color (U Pt-Co)	Alcalinidad (mg/L)	Dureza (mg/L)	Turbiedad (UNT)	Cloruros (mg/L)	Detergentes (mg/L)	Grasas (mg/L)	Sulfuros	Cromo hexavalente [mg/l]
ECR01	Antes Vertimiento Súper	21	2081	34,1	95,38	1300	5,7	719	0,05	3	<1,5	<0.04
ECR02	Antes descole ARD	26	477	64,5	86,45	70	15	5,447	0,05	10	<1,5	<0.04
ECR03	Antes desembocadura quebrada Manizales	56	560	92,7	108,3	88	21	8,314	1,55	20	<1,5	<0.04

Tabla 22. Resultados análisis fisicoquímicos y microbiológicos quebrada 2615-002-098-003

Estación		DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	C.T. (UFC/100mL)	C.F. (UFC/100mL)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	N. Total (mg/L)	Fosforo Total (mg/L)	Fosforo Soluble (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Mercurio [mg/l]
ETB01	Antes Vertimiento Foodex	38,52	4,57	28300	16700	0,8	0,314	5,96	0,635	0,22	60,5	--
ETB02	Antes desembocadura Q. Manizales	47	5	6900	2970	0,9	0,242	3,47	0,5	0,35	46	<0.01
Estación		Sst (mg/L)	St (mg/L)	Color (U Pt-Co)	Alcalinidad (mg/L)	Dureza (mg/L)	Turbiedad (UNT)	Cloruros (mg/L)	Detergentes (mg/L)	Grasas (mg/L)	Sulfuros	Cromo hexavalente [mg/l]
ETB01	Antes Vertimiento Foodex	18	239	68,1	96,65	44	14	22,88	0,13	4	<1,5	<0.04
ETB02	Antes desembocadura Q. Manizales	25	217	85,7	87,78	44	18	11,661	0,1	7	<1,5	--

6.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis detallado de los parámetros de campo y los parámetros de laboratorio evaluados en la quebrada Manizales y sus principales afluentes son la base para determinar la calidad del agua en esta microcuenca, teniendo como base las gráficas de tendencia de los parámetros evaluados, construidas y presentadas a lo largo del análisis, en donde se aprecia la variación que presenta cada parámetro en una estación de monitoreo con respecto a las demás estaciones (análisis estacional) y la semejanza o discrepancia que tuvieron los resultados con respecto a los estudios semejantes realizados en contratos anteriores. Se hará especial énfasis en los parámetros físicos medidos en In-Situ y en aquellos parámetros que se consideran más relevantes e influyen directamente en la determinación de calidad del agua mediante los índices ICA-CETESB e ICA-IDEAM, los cuales serán calculados posteriormente.

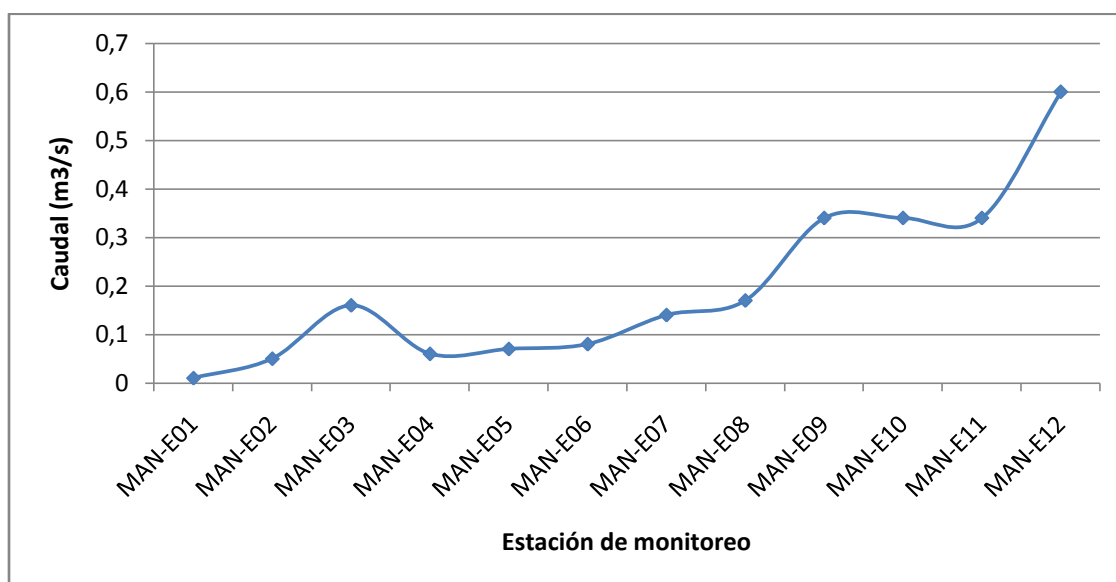
PARÁMETROS FÍSICOS: (CAUDAL, CONDUCTIVIDAD Y TEMPERATURA)

6.3.1 CAUDAL

6.3.1.1 Quebrada Manizales

En la gráfica que se muestra el comportamiento del caudal uno de los parámetros de mayor interés pues a partir de este se conoce la dinámica de la quebrada Manizales, a lo largo de las 12 estaciones de monitoreo establecidas sobre su cauce. Se puede evidenciar la tendencia creciente en el caudal de la quebrada, debido a la confluencia de tributarios a lo largo de su recorrido. Se puede observar que entre las estaciones E03 y E04 se presenta una disminución de caudal considerable, hecho el cual es atribuible a la captación de líquido que realiza la empresa, Acueducto La Enea, para su tratamiento y distribución a algunas empresas del sector de Maltería, en la ciudad de Manizales. De manera semejante, la tendencia de crecimiento del caudal en cada estación se ve interrumpida en el tramo que se comprende entre las estaciones E09 y E11, obteniéndose para estas tres estaciones valores muy cercanos de caudal (0,34 m³/s aproximadamente) pese al aporte de tributarios como la quebrada Cristales,

lo cual es reflejo del dinamismo propio que posee la microcuenca de la quebrada Manizales, influenciado principalmente por factores climáticos. En este punto es importante recordar que por motivos logísticos y de capacidad operativa, la campaña de monitoreo sobre la quebrada Manizales se realizó en días corridos, en los cuales se presentaron variaciones climáticas que alteran de alguna manera las características de la corriente superficial, en este caso particular, su caudal.



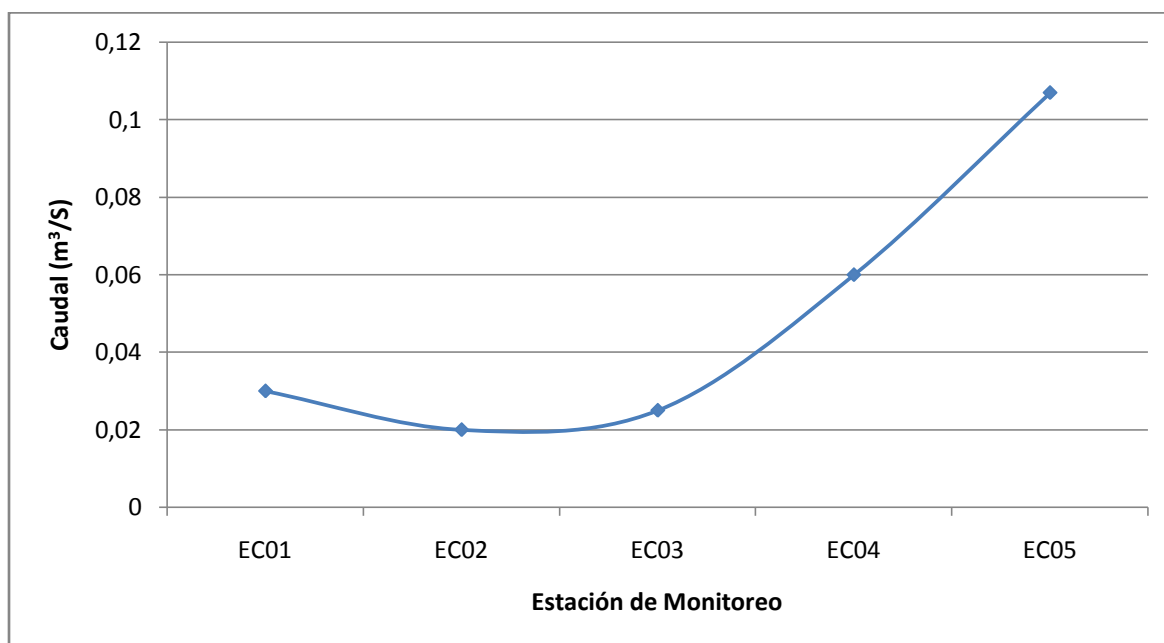
Gráfica 1 Caudal estaciones Quebrada Manizales.

Si bien la tendencia observada en la gráfica anterior para los valores de caudal medidos en cada una de las estaciones de la quebrada Manizales es coherente con las condiciones hidrológicas que se evidencian a lo largo del cauce de esta, es importante recordar que al inicio de la campaña de monitoreo el clima predominante era seco, con poca lluvia, mientras que para el monitoreo de las últimas estaciones de la quebrada se presentaron episodios de lluvia considerables en algunos sectores ubicados en zona de influencia de la quebrada Manizales.

6.3.1.2 Quebrada Cimitarra

En la gráfica 2 se muestra el comportamiento del caudal en la quebrada Cimitarra, el cual presenta un comportamiento creciente debido a la incorporación de los

vertimientos líquidos provenientes de las empresas Descafecol Planta Descafeinadora y Progel S.A los cuales son descargados después de **EC-03**(antes de acueducto la enea) viéndose reflejado en las siguientes estaciones. Teniendo en cuenta que el aumento de caudal se debe principalmente a vertimientos de origen industrial y no a afluentes naturales, es de esperar que este incremento en el caudal de la quebrada represente además la incorporación de una cantidad importante de contaminantes.

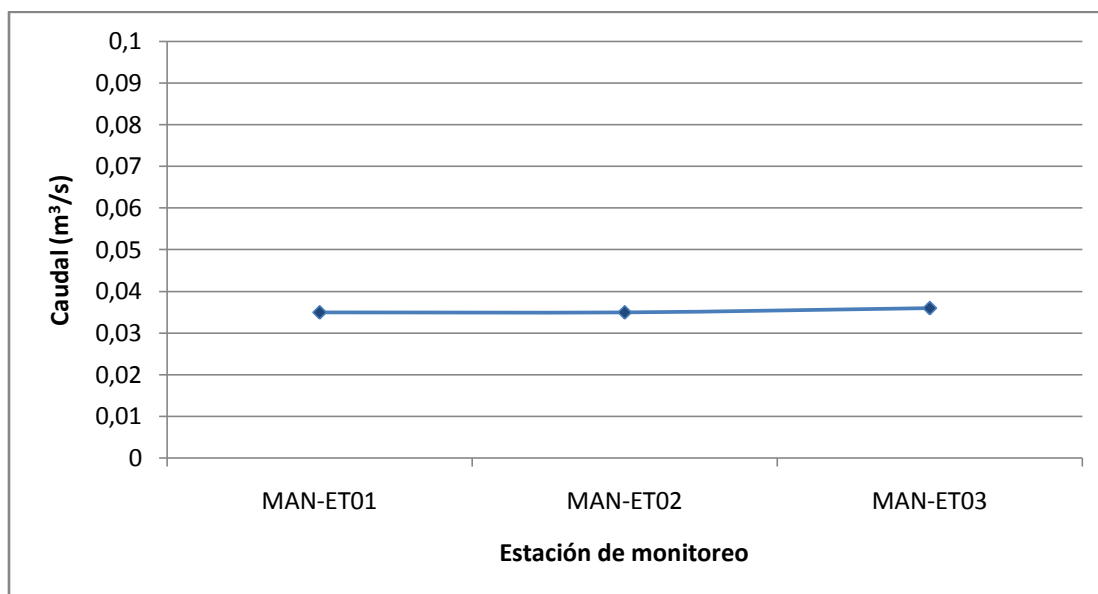


Gráfica 2 Caudal de la Quebrada Cimitarra

6.3.1.3 Quebrada Tesorito

El caudal en la quebrada Tesorito se evidenció con tendencia constante, según las mediciones obtenidas en las tres estaciones de monitoreo establecidas para esta. Cabe recordar que con estas estaciones se pretendía determinar el grado de contaminación ofrecido por el vertimiento de las aguas residuales provenientes de la empresa Salvador Giraldo Sucesores Surtipieles S.A.S, sin embargo éste vertimiento en la actualidad se realiza directamente sobre el cauce de la quebrada Manizales y no sobre la quebrada Tesorito, como ocurría anteriormente. Es por lo

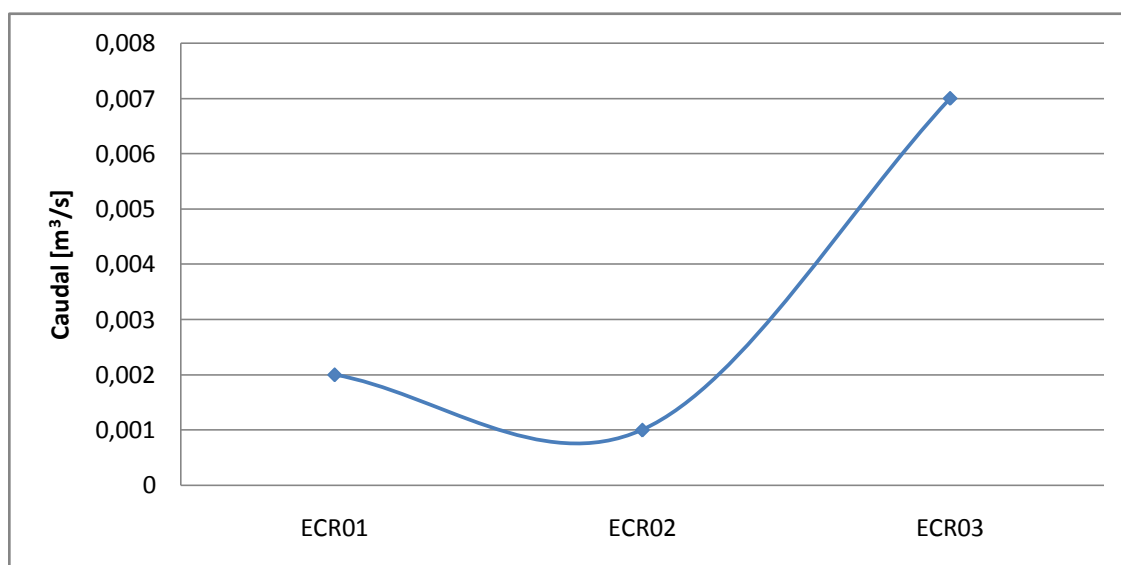
anterior que no se presenta un cambio significativo en el caudal de la quebrada Tesorito a lo largo de sus tres estaciones de monitoreo.



Gráfica 3 Caudal Quebrada Tesorito.

6.3.1.4 Quebrada Cristales

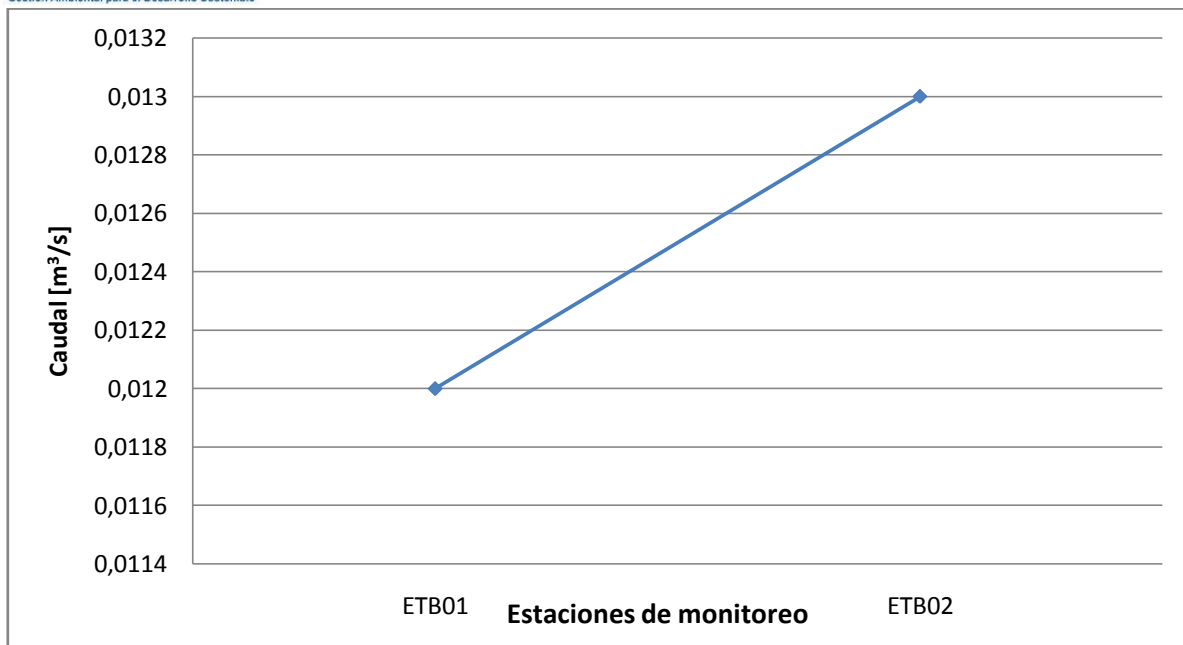
En la quebrada Cristales se evidencia un incremento del caudal, dado principalmente después de la estación **ECR02**, donde recibe los vertimientos provenientes de la empresa Súper de Alimentos, del conjunto residencial Cerros de la Alhambra.



Gráfica 4 Caudal Quebrada Cristales.

6.3.1.5 Quebrada 2615-002-098-003

De manera semejante a lo ocurrido con la quebrada Tesorito, la quebrada 2615-002-098-003 era receptora de vertimientos de tipo industrial, en este caso provenientes de la empresa Descafeol Planta Solubles; sin embargo, actualmente éste vertimiento se realiza de manera directa sobre la quebrada Manizales. Por lo mencionado anteriormente se presenta una tendencia de caudal constante, según las mediciones realizadas a las dos estaciones de monitoreo establecidas para esta quebrada.



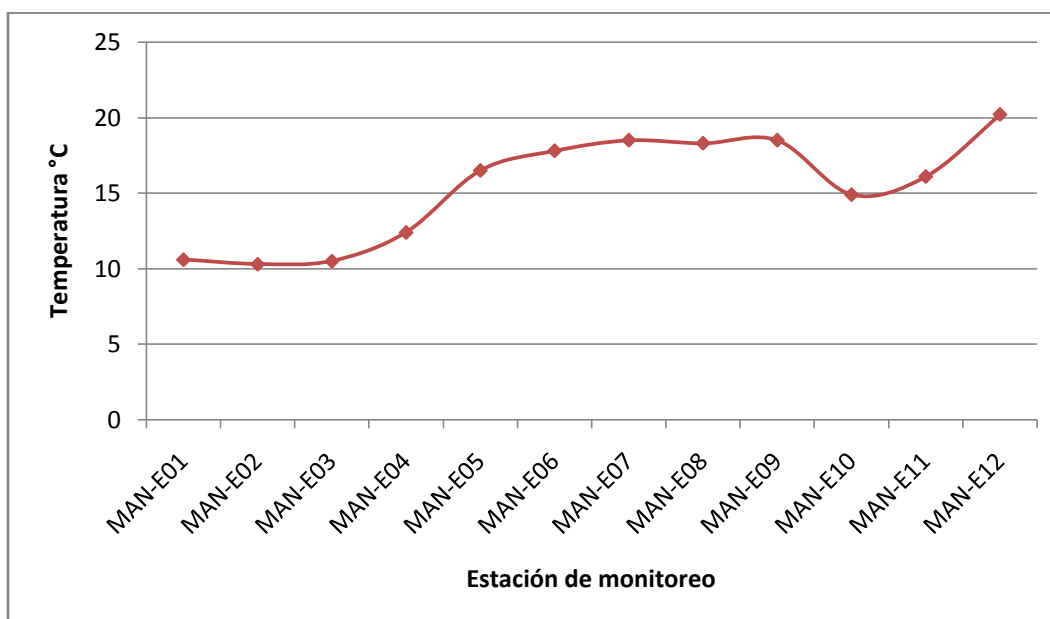
Gráfica 5. Caudal Quebrada 2615-002-098-003

6.3.2 TEMPERATURA

6.3.2.1 Quebrada Manizales

De manera semejante a como se observó en la gráfica de caudal, la temperatura tiende a crecer a medida que la quebrada Manizales recorre su cauce. Esto se debe principalmente al equilibrio existente entre el entorno y el cuerpo de agua que fluye, y como es sabido, a medida que la corriente descende la montaña en la cual las temperaturas son bajas menores de 15°C característico de las cuencas de la cordillera central, la temperatura ambiente se incrementa, y de esta manera, la temperatura del agua que fluye por la quebrada. La primera estación establecida para la quebrada Manizales se encuentra aproximadamente a 2700 m.s.n.m, en un sector montañoso que presenta temperaturas promedio de 10 °C durante el día, mientras que la última estación se ubica a 1940 m.s.n.m, en un entorno con temperaturas promedio de 20°C, con picos en temporada de verano que ascienden hasta los 28°C.

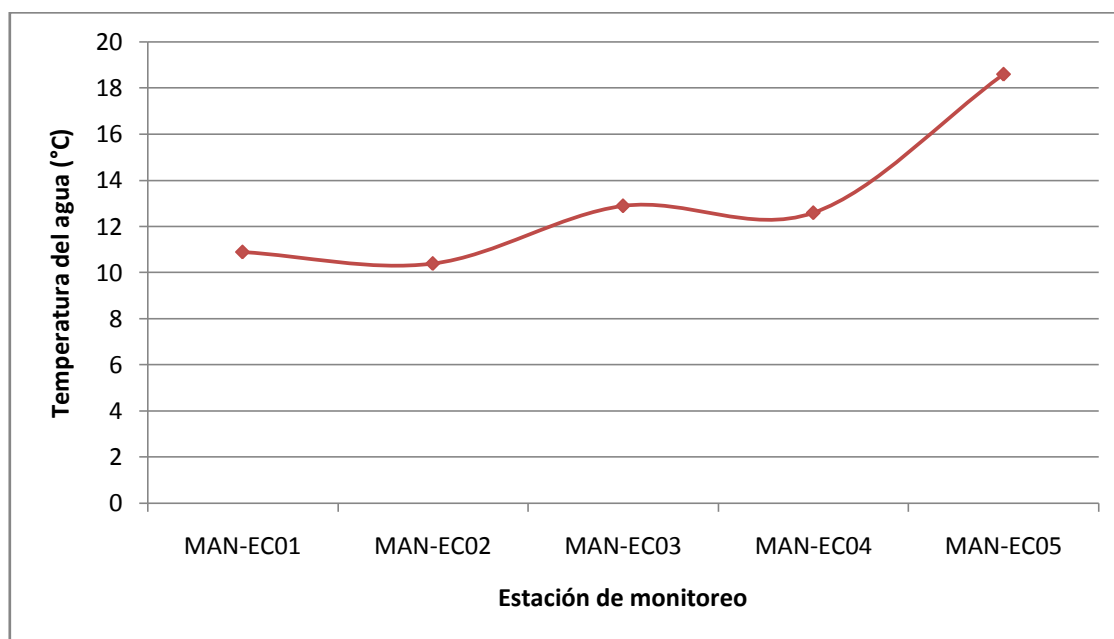
De esta manera, es evidente que la temperatura del cuerpo de agua deberá incrementar a medida que recorre su trayecto, toda vez que al ir descendiendo se va encontrando con un ambiente de temperatura mayor. Adicional a lo anterior, también se debe tener en cuenta el momento en que sea realizada la caracterización en cada estación, ya que en horas de la madrugada la temperatura del agua en la corriente superficial se encuentra en su punto de menor valor, y va incrementando paulatinamente con la llegada del día y el paso de las horas hasta pasado el mediodía, donde en condiciones climáticas constantes encontrará su valor máximo. Todo esto se traduce finalmente en que si la medición de la temperatura se realiza en horas de la mañana el valor de la temperatura medido será menor que pasadas unas horas en el día, en nuestro caso particular, como ocurrió en el momento del aforo y toma de muestras en las estaciones E10 y E11, que fueron tomadas a las 8:15 a.m y 9:40 a.m, en comparación con el aforo y toma de muestra realizado en la estación E12, realizado a las 4:00 p.m.



Gráfica 6 Temperatura estaciones Quebrada Manizales.

6.3.2.2 Quebrada Cimitarra

El comportamiento de la temperatura a lo largo del trayecto sobre la quebrada Cimitarra es similar al evidenciado para la quebrada Manizales, teniendo en cuenta que nacen en la parte alta de la misma montaña y desde allí empiezan a ser monitoreadas. El descenso en altitud que presenta el cauce de la quebrada Cimitarra representa un incremento paulatino en la temperatura ambiente, y de esta manera el equilibrio termodinámico existente con el cuerpo de agua, logrando de esta manera un incremento desde los cerca de once grados centígrados (11°C) en la estación **EC01** hasta los casi diecinueve grados centígrados (19°C) en la estación **EC05**, justo antes de desembocar en la quebrada Manizales, como se observa en la gráfica 7.



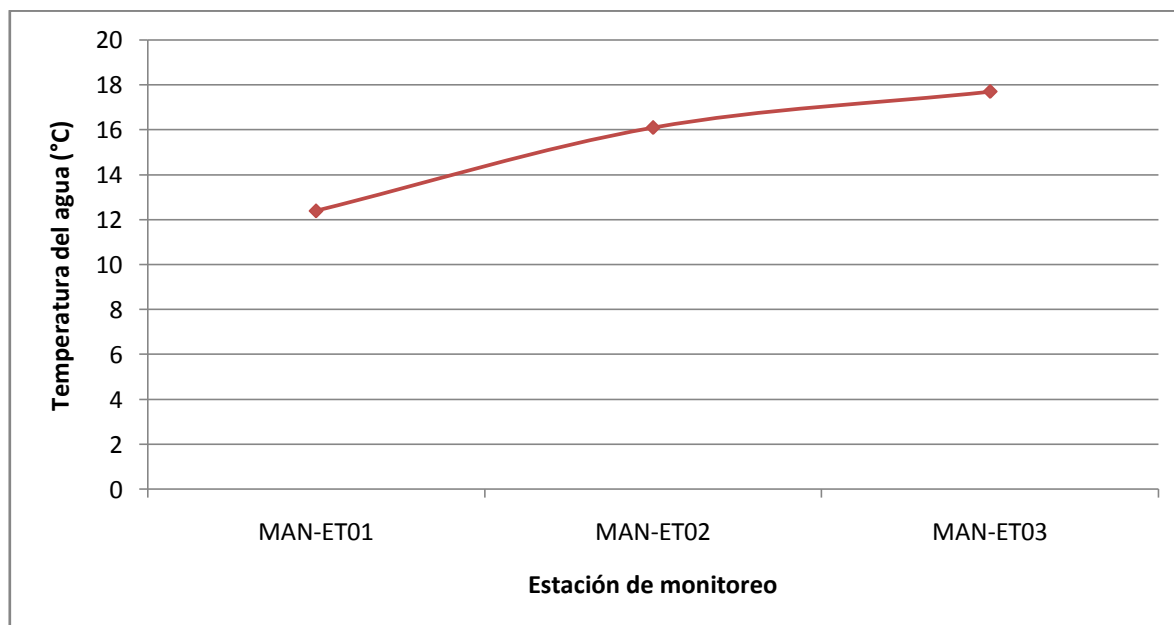
Gráfica 7 temperatura Quebrada Cimitarra.

Por otro lado se debe considerar además la incorporación de las aguas residuales provenientes de las industrias Descafécol Planta Descafeinadora y Progel, las cuales al poseer cargas contaminantes elevadas facilitan la presencia de reacciones químicas de carácter exotérmico, como lo son la mayoría de procesos de oxidación que se presentan en estas aguas, aunque el aporte de energía que

ocurre por esta razón no es muy relevante teniendo en cuenta el elevado caudal de las descargas y la naturaleza del cuerpo receptor al momento de ser incorporadas. De cualquier manera, la temperatura del agua se ve principalmente afectada por factores ligados al ambiente circundante como lo son la altitud en cada punto del cauce, la hora del día y el clima predominante durante las jornadas de monitoreo.

6.3.2.3 Quebrada Tesorito

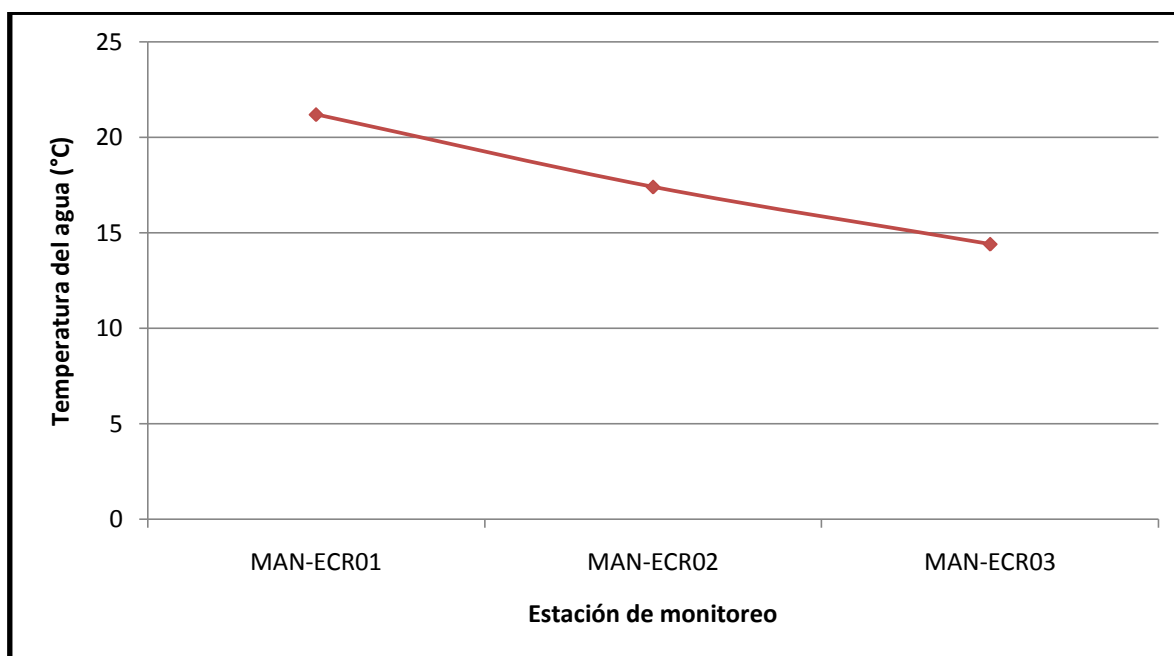
De igual manera, en la quebrada Tesorito se evidencia un incremento leve en las mediciones de temperatura obtenidas en cada punto de monitoreo desde la estación **ET01**, aguas arriba, hasta la estación **ET03** justo antes de descolar sobre la quebrada Manizales, dichos incrementos son atribuidos de manera directa a las condiciones climáticas del día en el que se realizaron los monitoreos, debido a que los procesos de radiación solar hacen que la fuente superficial aumente su temperatura dependiendo de su intensidad.



Gráfica 8 Temperatura quebrada Tesorito.

6.3.2.4 Quebrada Cristales

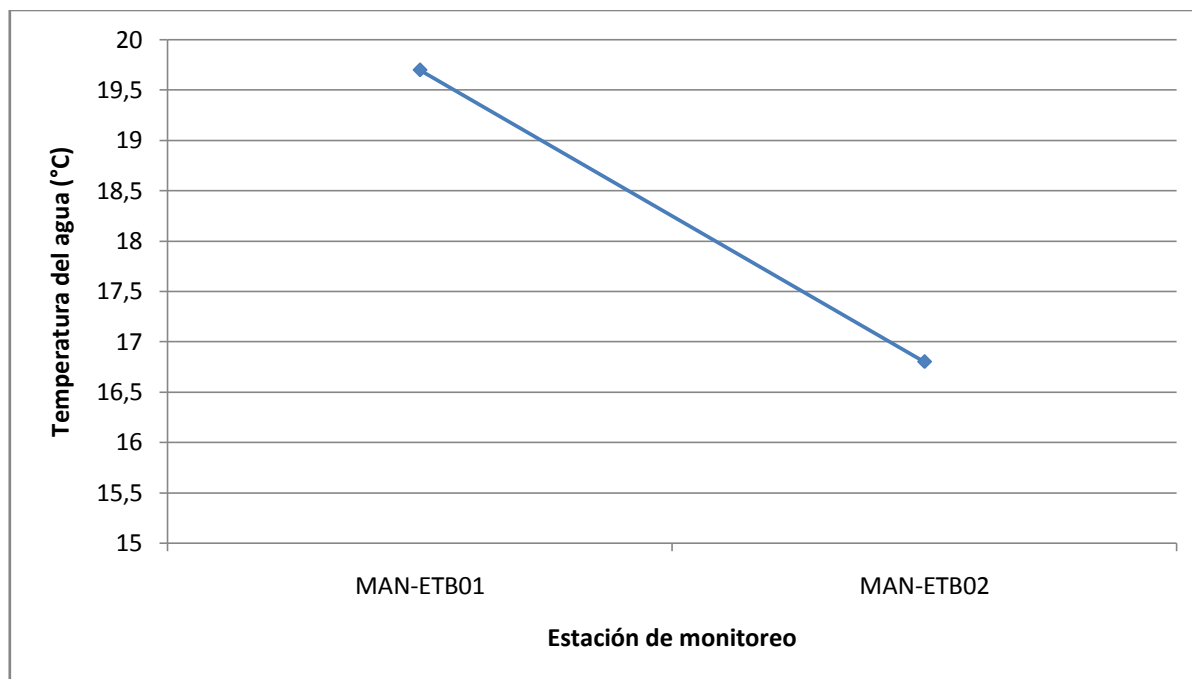
En este caso particular, la quebrada Cristales mostró una tendencia decreciente en la temperatura del cuerpo de agua desde la estación aguas arriba (**ECR01**) hasta la estación **ECR05**, justo antes de desembocar en la Quebrada Manizales. Al momento de realizarse el monitoreo sobre esta quebrada se contó con una variación climática que afectó de manera significativa la temperatura ambiente y por ende la temperatura del cuerpo de agua; esto es, que al iniciar el muestreo en la estación **ECR01** se contó con clima cálido, y posteriormente en las estaciones **ECR02** y **ECR03** se presentaron precipitaciones y se disminuyó considerablemente la temperatura ambiente, es de suma importancia resaltar que los factores climatológicos son variables que afectan de manera directa las fuentes superficiales, sobre las cuales se realizan los diferentes monitoreos y como son parámetros que no se pueden controlar (precipitación, temperatura ambiente, radiación, sombra, humedad etc) tienen gran influencia sobre el estudio realizado.



Gráfica 9 Temperatura Quebrada Cristales.

6.3.2.5 Quebrada 2615-002-093-003

Para la quebrada 2615-002-093-003 se obtuvo una disminución en la temperatura del agua desde 19,7 °C en la estación **ETB01** hasta 16,8°C en la estación **ETB02**, lo cual se debe a las condiciones en la cuales fueron medidas los parámetros de campo, ya que según lo observado la vegetación y las condiciones ambientales favorecían en la reducción de la temperatura siendo estos los factores de influencia sobre dicho tramo, debemos resaltar que en dicha zona no se realizan vertimientos de ningún tipo que puedan influir en la temperatura del agua, como se evidencio en los resultados obtenidos para las mediciones de caudal. No obstante, no se puede despreciar la dinámica propia que estos cuerpos de agua poseen, y los diferentes procesos físicos e hidrológicos que ocurren aguas arriba en las estaciones de estudio, como lo es en la estación **ETB01** durante el tiempo entre el cual se realizan los monitoreo.



Gráfica 10 Temperatura quebrada 2615-002-098-003.

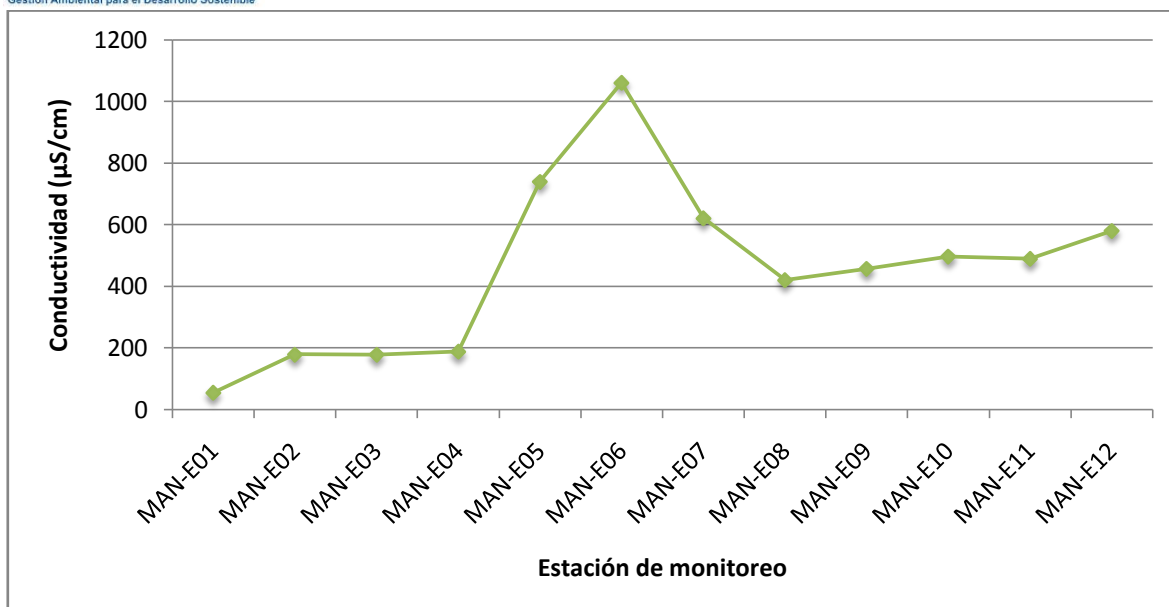
6.3.3 CONDUCTIVIDAD

6.3.3.1 Quebrada Manizales

En la estación de monitoreo E01 de la quebrada Manizales se obtuvo un valor de conductividad de 54,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$, propio de aguas superficiales cristalinas, sin embargo, ya en la estación E02 se evidencia un incremento hasta 178,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$, debido a los vertimiento de los residuos líquidos generados en las minas La Coqueta y La Cascada, en cuya actividad es característica la incorporación de sólidos suspendidos, metales y minerales que favorecen la conductividad eléctrica en el agua.

Posteriormente, se evidencia un incremento leve en las estaciones **E03** y **E04**, siendo en esta última 187,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ el valor obtenido; ya en la estación **E05**, una vez que a la quebrada Manizales ha descolado la quebrada Cimitarra, la conductividad se vio incrementada hasta un valor de 740 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Como sabemos, la quebrada Cimitarra recibe los vertimientos industriales de las empresas Descafecol y Progel, siendo esta última la principal aportante de carga contaminante, y donde se ha evidenciado la descarga de residuos líquidos altamente cargados de sólidos y material graso, reflejándose en un incremento en la conductividad eléctrica del cuerpo receptor, y finalmente, sobre la quebrada Manizales.

Ya en la estación **E06** se obtuvo la máxima medición de conductividad sobre el cauce de la quebrada, con un valor de 1061 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En este punto es importante recordar que durante la visita de campo se pudo comprobar que la empresa Surtipieles ya no realiza la descarga de sus aguas residuales domésticas e industriales sobre la quebrada Tesorito sino directamente sobre la quebrada Manizales, en un punto que se ubica antes de la estación de monitoreo **E06**. De esta manera se puede deducir que el incremento pronunciado en el valor de la conductividad eléctrica entre las estaciones **E05** y **E06** tiene su origen, principalmente, en las descargas provenientes del Parque Industrial Maltería y la empresa Surtipieles.



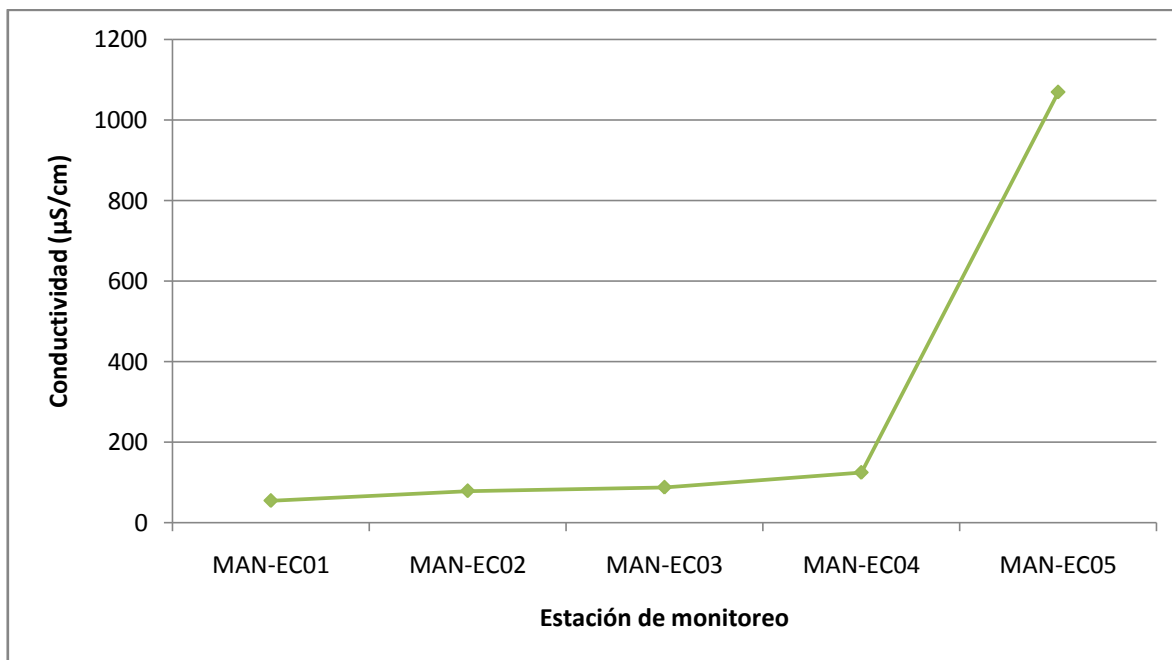
Gráfica 11 Conductividad Quebrada Manizales.

Para las estaciones que se ubican aguas abajo del punto de descarga de la empresa Surtipieles se evidencia una disminución de la conductividad eléctrica del cuerpo de agua hasta la estación **E08** gracias al aporte ofrecido por la quebrada Tesorito, la cual presenta una mejor calidad de agua que la quebrada Manizales, y por ende, contribuye a la depuración de contaminantes. A partir de esta estación, el valor de la conductividad eléctrica se estabiliza hasta su descole sobre el Río Chinchiná.

6.3.3.2 Quebrada Cimitarra

El comportamiento del parámetro conductividad eléctrica obtenido a lo largo de la quebrada cimitarra evidencia el gran aporte en material conductor que ofrece el vertimiento de la empresa Progel, cargada con una cantidad importante de sólidos. Si bien la tendencia a lo largo de las estaciones **EC01** a **EC04** es levemente creciente, con un incremento en la conductividad del agua desde un valor de 55 µS/cm en la primer estación hasta 124,79 µS/cm en la cuarta estación, el incremento más evidente se obtuvo entre las estaciones **EC04** y **EC05**, antes del descole de la empresa Progel y antes de la desembocadura en la quebrada

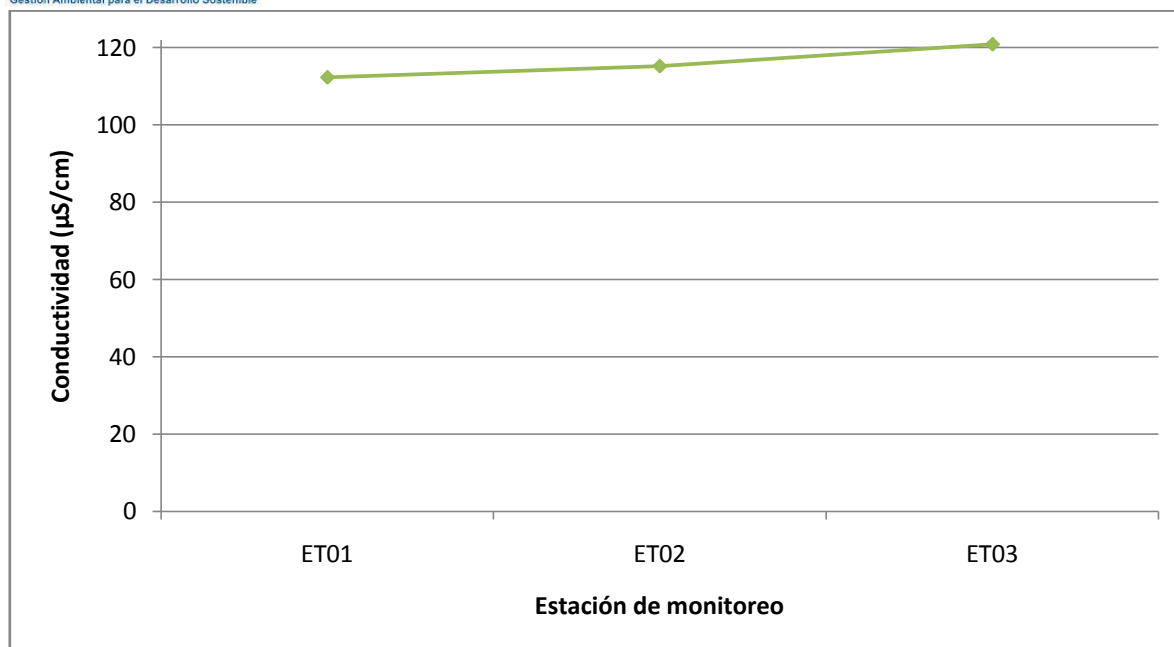
Manizales (una vez incorporados estos vertimientos) respectivamente, obteniendo un valor de conductividad de 1069 $\mu\text{S}/\text{cm}$ esta última estación.



Gráfica 12 Conductividad Quebrada Cimitarra.

6.3.3.3 Quebrada Tesorito

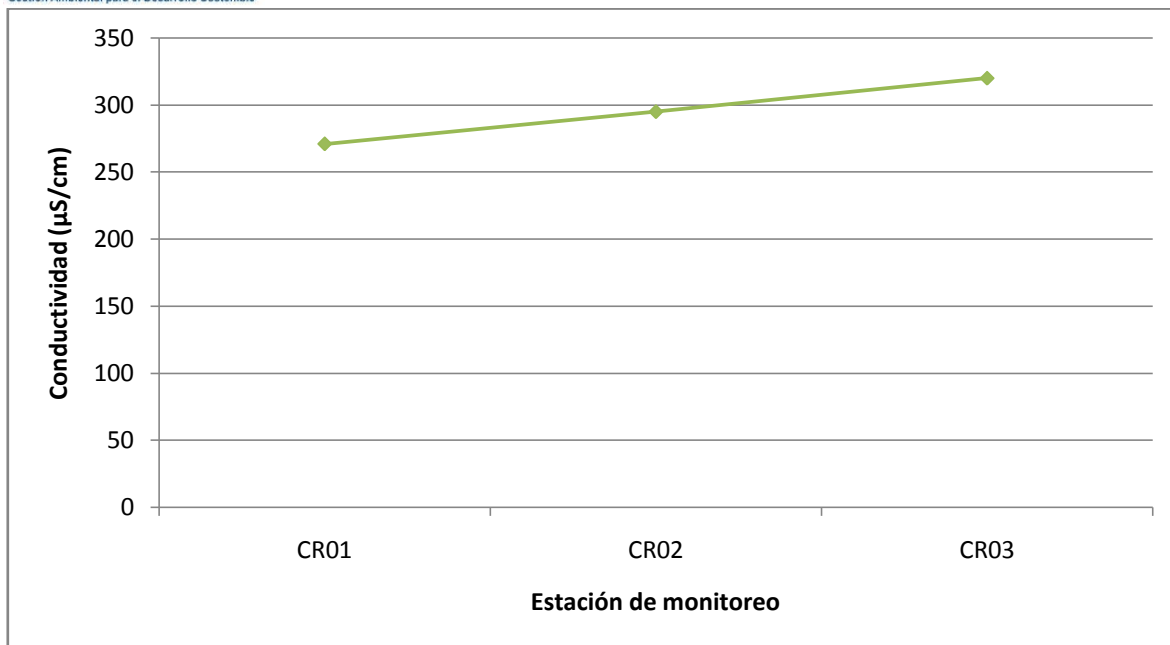
Como se ha hecho referencia en otros apartes, la quebrada Tesorito ya no es receptora de las aguas residuales de la empresa Surtipieles, la cual anteriormente le otorgaba una carga contaminante considerable. Las mediciones de conductividad realizadas en las estaciones **ET01**, **ET02** y **ET03** evidencian un incremento leve en éste parámetro, desde un valor inicial de 112,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la estación **ET01** hasta un valor de 120,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la estación **ET03**; dicho incremento corresponde al aporte natural que ofrecen procesos de arrastre y erosivos, diminutos, que se presentan en el trayecto del cuerpo de agua, o también debido a la presencia del vertimiento generado por el Parque industrial Juanchito.



Gráfica 13 Conductividad quebrada Tesorito.

6.3.3.4 Quebrada Cristales

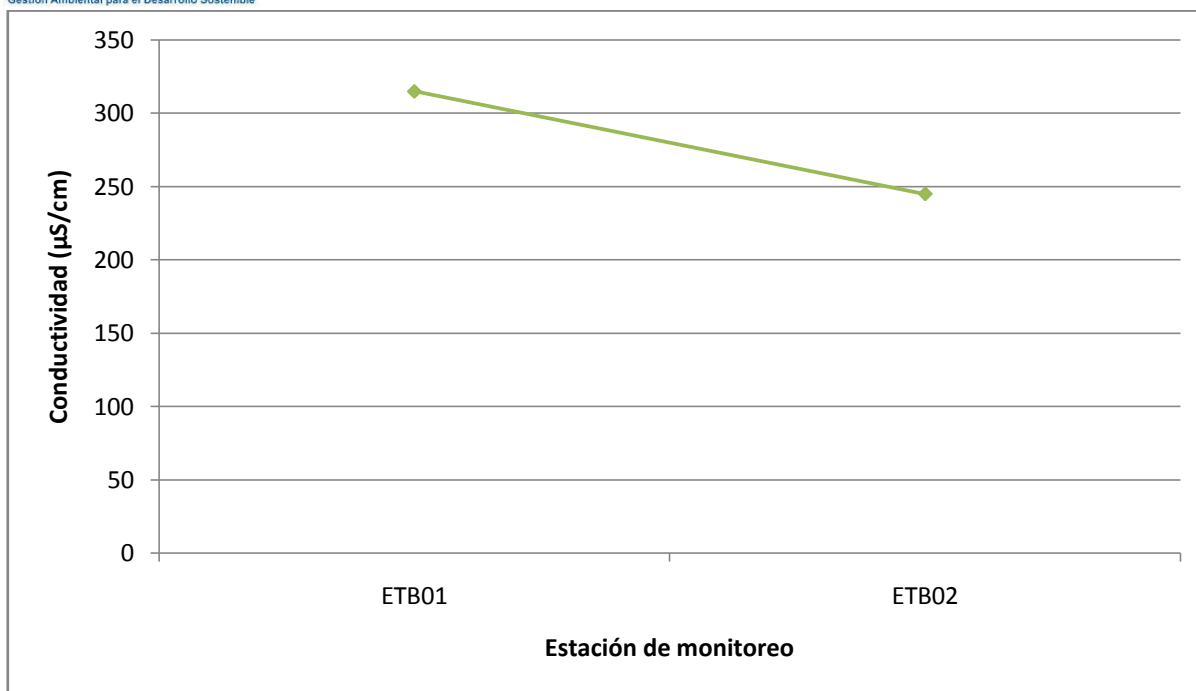
La conductividad eléctrica medida sobre la quebrada Cristales muestra, como en casos anteriores, una tendencia creciente desde la estación **ECR01** antes del primer descole de la empresa Súper de Alimentos hasta la estación **ECR03** antes de su desembocadura en la quebrada Manizales, sin que represente un cambio significativo (271 µS/cm y 320 µS/cm respectivamente). Los vertimientos de la empresa Súper de Alimentos representan el principal aporte de contaminantes a la quebrada Cristales, sin embargo la descarga de las aguas residuales de dicha empresa no se da de manera constante sino por lotes o “batches”, y cada descarga varía dependiendo del nivel de producción al interior de la planta de procesamiento de la empresa. En este caso particular, la descarga presentada como vertimiento de la empresa Súper de Alimentos no aportaba cargas contaminantes elevadas, como puede ocurrir en otros casos, aportando en este caso particular bajas concentraciones de sólidos que favorezcan la conductividad eléctrica en el agua.



Gráfica 14 Conductividad quebrada Cristales.

6.3.3.5 Quebrada 2615-002-093-003

En la quebrada 2615-002-093-003 se presenta una disminución en el valor medido para la conductividad en la segunda estación con relación a la primera, lo que representa con claridad la capacidad de asimilación que tiene el cuerpo de agua con relación a los sólidos que puedan ser aportados, sea por actividades domésticas o por procesos de arrastre y erosivos naturales, recordando que ya no recibe aportes de tipo industrial como minerales o sales que se disuelven en el sistema de estudio y que aumentan dicho parámetro.



Gráfica 15 Conductividad quebrada 2615-002-098-003.

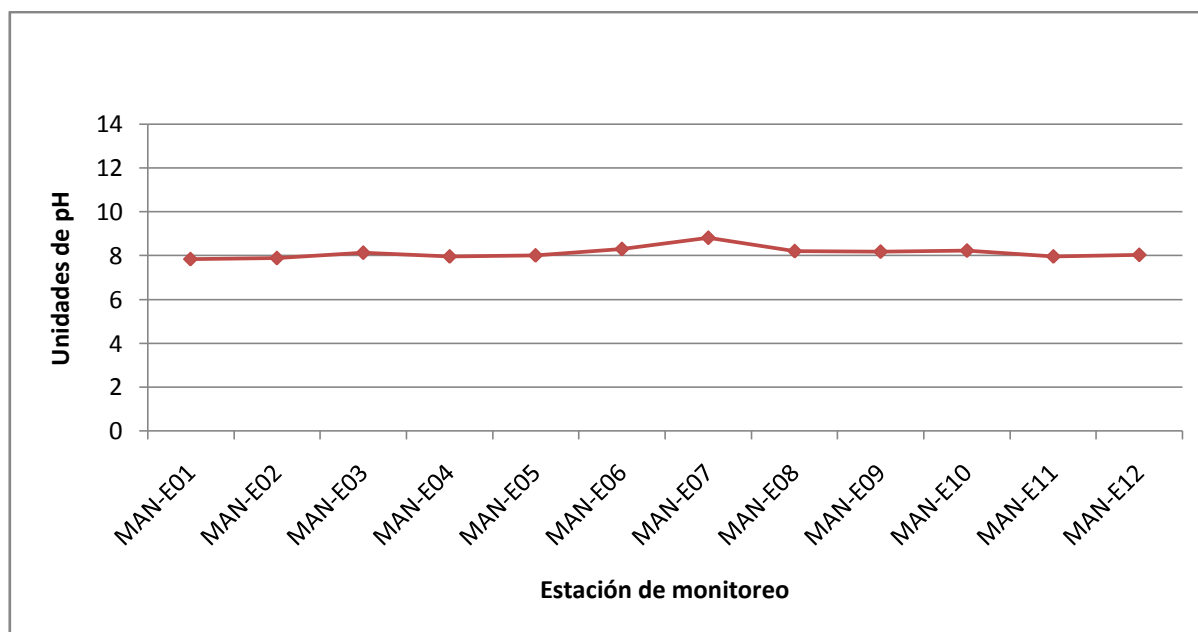
CAPACIDAD NEUTRALIZANTE (POTENCIAL DE HIDROGENO, ALCALINIDAD Y DUREZA TOTAL)

6.3.2 POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)

6.3.2.1 Quebrada Manizales

A lo largo de la quebrada Manizales se evidencio estabilidad en los valores de pH medidos, oscilando principalmente entre valores de 7,8 y 8,2 unidades de pH, estabilidad que se ve alterada, aunque no de manera determinante, entre las estaciones **E05 y E08**, siendo esto claro ya que la contribución realizada por la quebrada tesorito, la quebrada universitaria y las pequeñas cargas de la industria licorera de caldas hacen que oscile el potencial de hidrogeno. Exceptuando los valores máximos obtenidos, el rango de valores medidos de pH se encuentran dentro de los valores normales que se pueden encontrar en corrientes

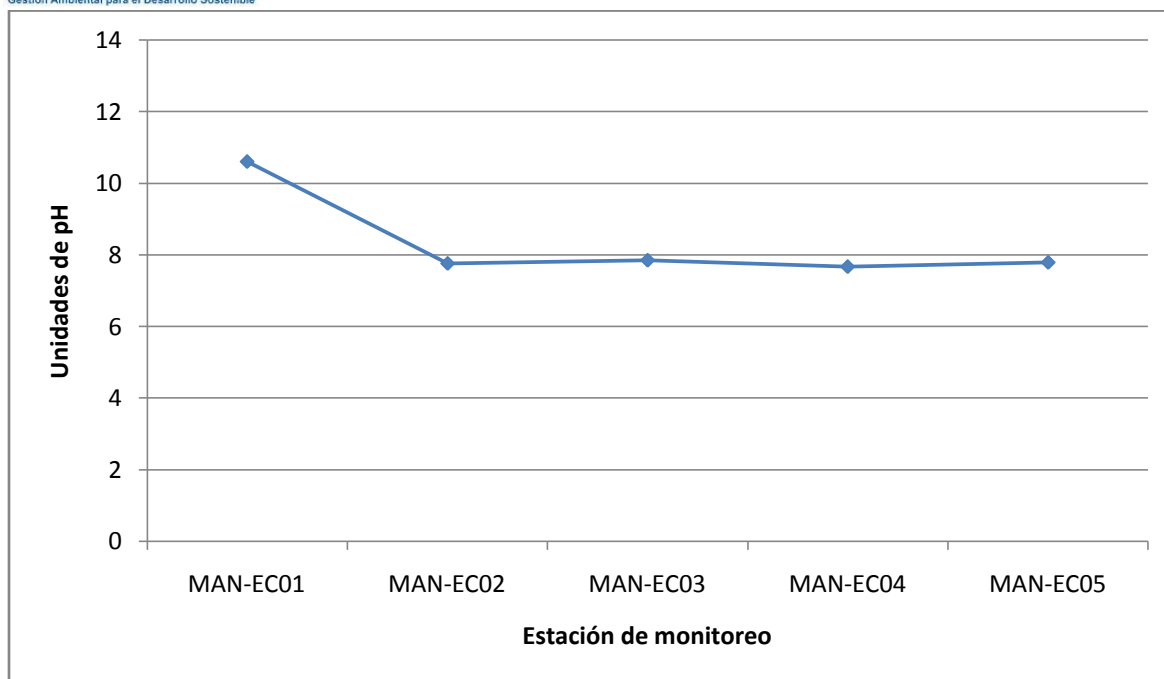
superficiales, a pesar de que está quebrada es receptora de gran cantidad de residuos líquidos de tipo industrial y doméstico cuyas características son altamente variables, incluso en condiciones de pH; sin embargo, la capacidad de autodepuración que presenta la quebrada a lo largo de su recorrido facilita que cualquier alteración en sus características que genere una variación repentina en su pH pueda ser rápidamente neutralizada, volviendo a valores típicos.



Gráfica 16 pH Quebrada Manizales.

6.3.2.2 Quebrada Cimitarra

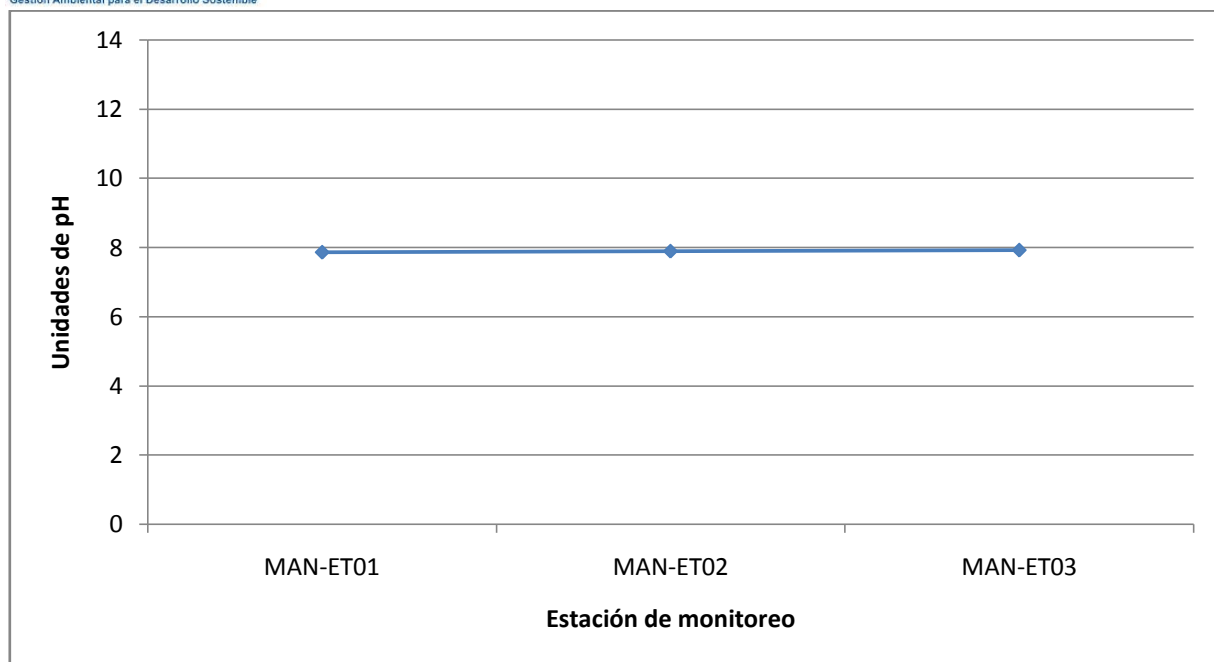
Las mediciones de pH realizadas sobre la quebrada cimitarra arrojaron valores que tienden a ser constantes, cercanos a las 8 unidades; sólo en la estación **EC01** se obtuvo un valor fuera de lo normal (10,609 unidades de pH), el cual puede tener su origen en la actividad minera que se presenta en la parte alta de la microcuenca de la quebrada Manizales, de donde también proviene, y que usa cal para la refinación de minerales. Las descargas de tipo industrial y doméstico que se dan sobre el cauce de esta quebrada, en condiciones normales, no representa una variación significativa en el potencial de hidrógeno en la masa de agua.



Gráfica 17 pH Quebrada Cimitarra.

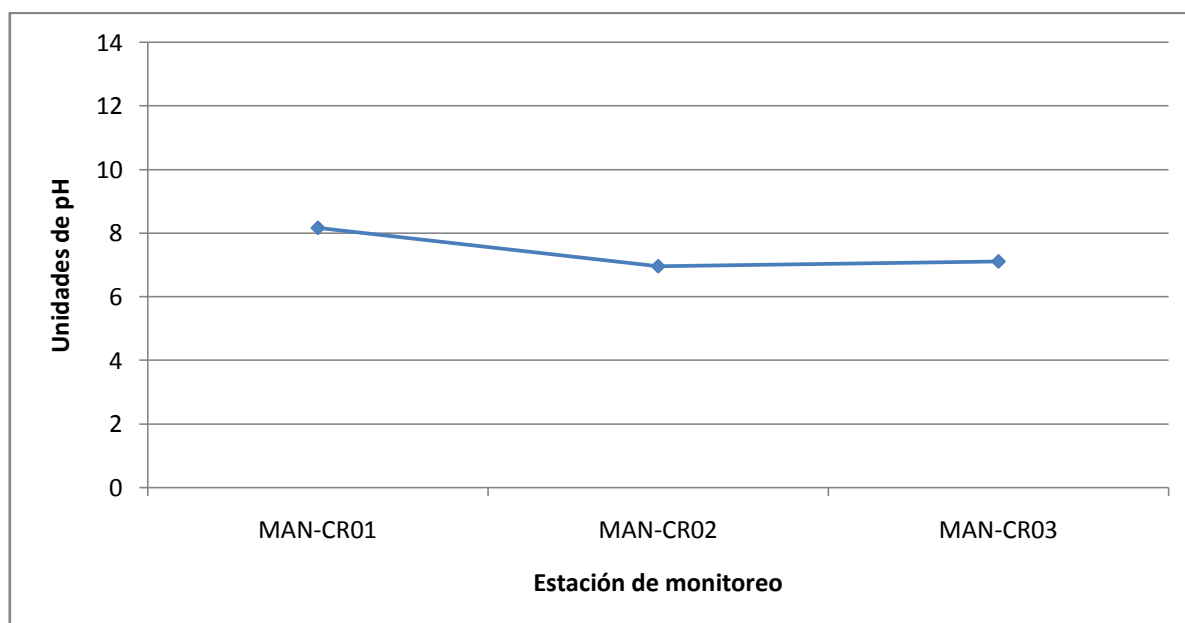
6.3.2.3 Quebrada Tesorito

Los valores de pH medidos sobre la quebrada Tesorito en sus tres estaciones se consideran normales en un cuerpo de agua superficial con tendencia constante, con mediciones cercanas a 7,9 unidades de pH en todos los casos. De manera semejante se evidencia para las quebradas Cristales y 2615-002-093-003, donde los valores de pH medidos se encontraron en valores normales para corrientes de agua superficial, cercanos a las 8 unidades de pH en la mayoría de las estaciones; solo en las estaciones **ECR02** y **ECR03** en la quebrada Cristales presenta valores cercanos a 7 unidades de pH, siendo todavía valores normales.



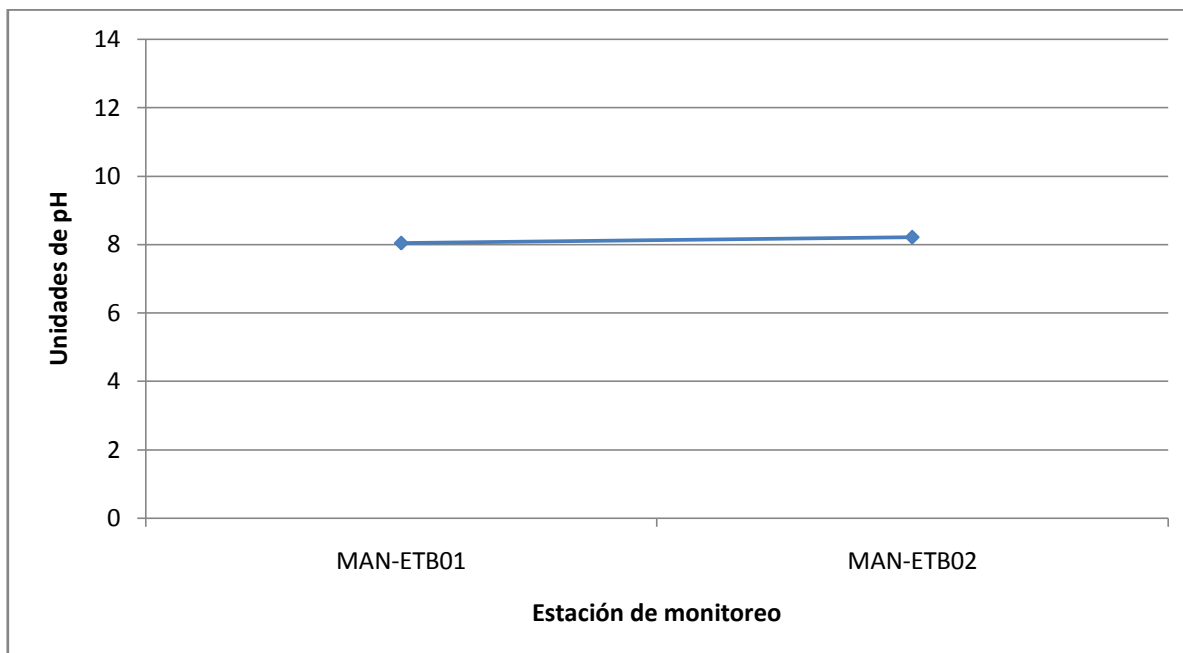
Gráfica 18 pH quebrada Tesorito.

6.3.2.4 Quebrada Cristales



Gráfica 19 pH quebrada Cristales.

6.3.2.5 Quebrada 2615-002-093-003



Gráfica 20 pH Quebrada 2615-002-098-003.

Análisis integrado de los parámetros in situ (Temperatura, pH y Conductividad):

Como podemos apreciar en las diferentes variables analizadas, estas presentan un comportamiento muy regular, tienden a estabilizarse después de un periodo de tiempo determinado, gracias a la capacidad de autodepuración de las fuentes superficiales de estudio, existen grandes alteraciones en variables, como conductividad y pH, a pesar de ser eventos que no son frecuentes, se atribuyen a los sólidos disueltos de los diferentes vertimientos generados y compuestos como minerales y sales que se disocian al entrar en contacto con el agua formando iones, que promueven la inducción de corriente en esta misma, estas dos variables son dependientes también de la temperatura, para lo cual, no existen cambios significativos que tengan gran influencia sobre estos mismo.

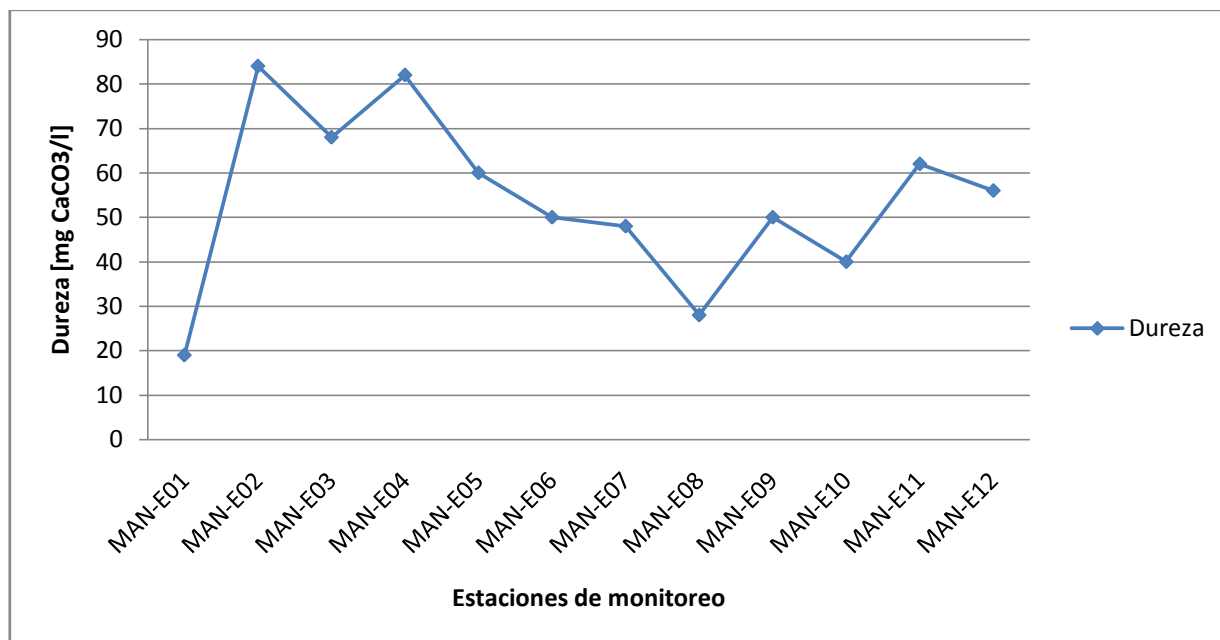
Es de suma importancia tener claro que las fuentes superficiales son bioreactores, en las cuales se llevan a cabo múltiples tipos de reacciones bioquímicas, gracias a

la cantidad de microorganismos y nutrientes que en ellos se alojan, sin embargo debemos tener en cuenta que si sus condiciones son alteradas de una manera drástica (cambios significativos de pH y Temperatura) pueden tener grandes consecuencias sobre la fauna y la flora que allí se habita.

6.3.3 DUREZA

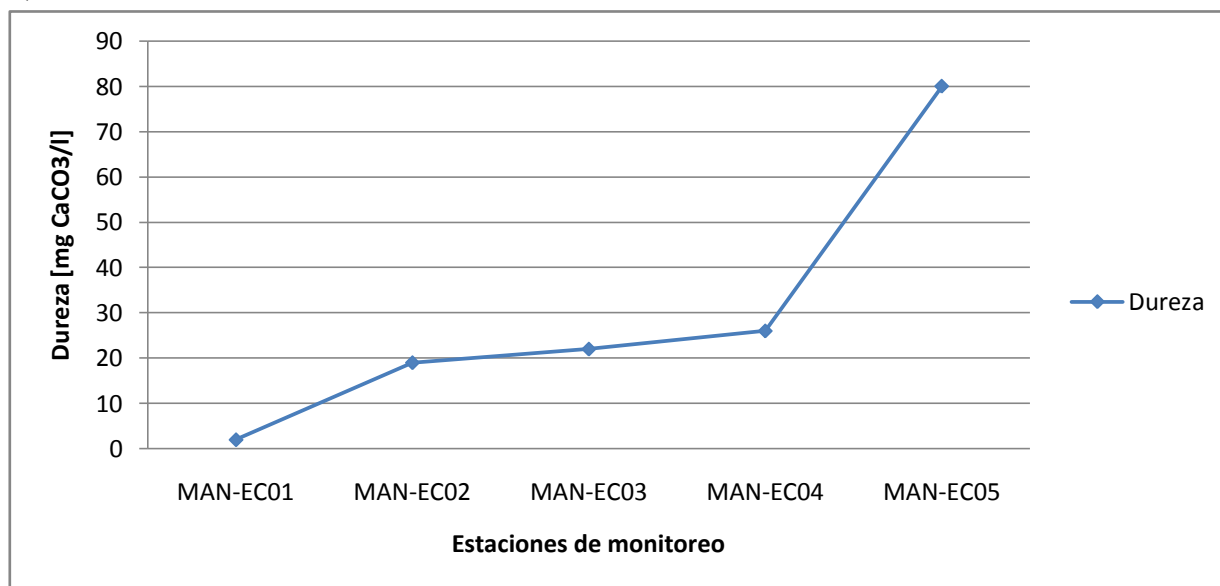
En las gráficas 21 a 24 se muestra el comportamiento de la dureza total en la quebrada Manizales y sus efluentes tributarios, es de suma importancia tener claro que las fuentes superficiales con concentraciones superiores a 120 mg/l, son consideradas como aguas duras, caso en el cual solo se presenta en la estación ECR01 de la quebrada cristales, en la cual se aprecia un pico de concentración de 1300 mg/l de dureza total, atribuida a la gran presencia de compuestos de calcio, magnesio y otros elementos de origen natural que hacen que la concentración sea tan elevada, además de ello, como se puede apreciar en la gráfica 24 después de los diferentes vertimientos industriales tiende a estabilizarse, gracias a los procesos de autodepuración del sistema de estudio. En las primeras estaciones de la quebrada Manizales se aprecian varias oscilaciones de la variable de estudio esto debido a la actividad minera, en las quebradas cimitarra, tesorito y 2615-002-093-003, no se observan cambios significativos que hagan que el agua adquiera durezas muy altas, mostrando así la capacidad de autodepuración y el equilibrio entre los diferentes elementos contaminantes descargados a las fuentes superficiales.

QUEBRADA MANIZALES



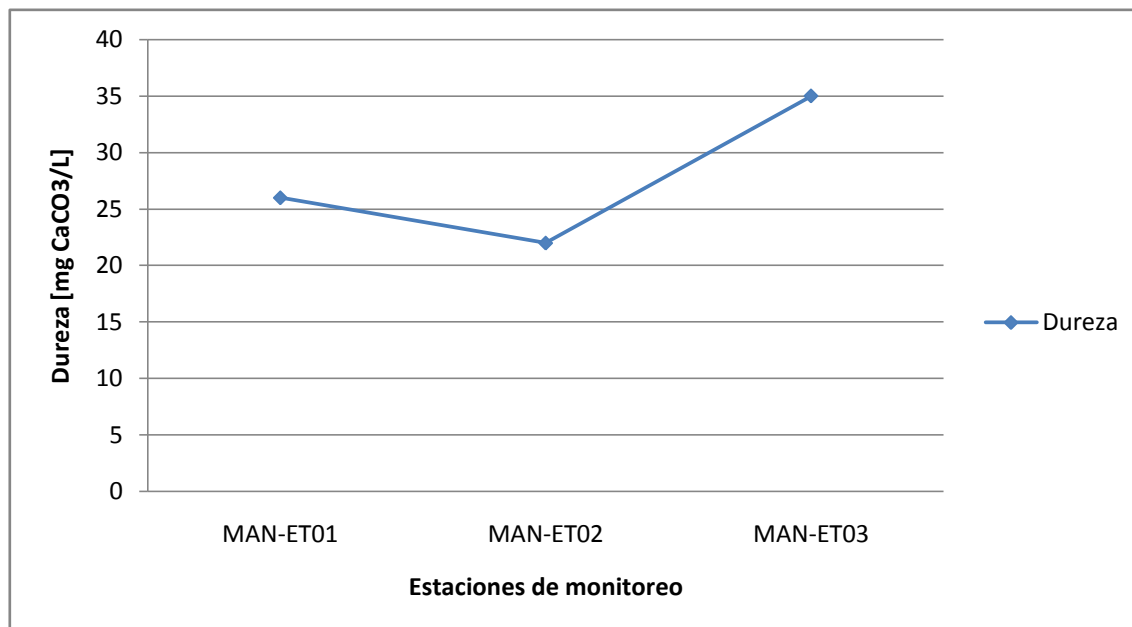
Gráfica 21. Dureza total quebrada Manizales

QUEBRADA CIMITARRA



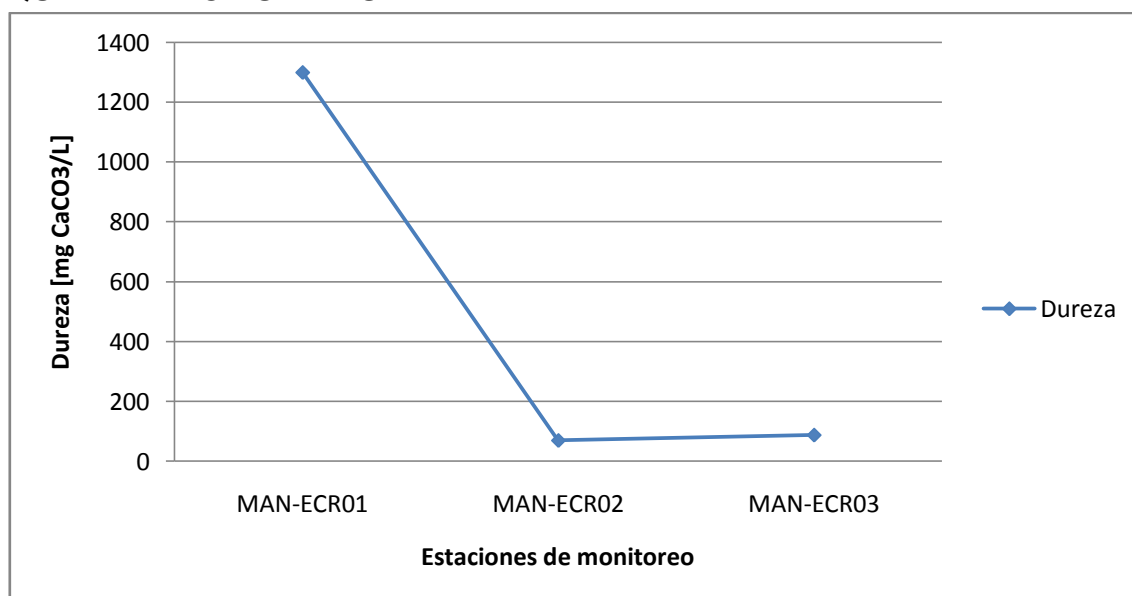
Gráfica 22. Dureza Total Quebrada Cimitarra

QUEBRADA TESORITO



Gráfica 23.Dureza Total Quebrada Tesorito

QUEBRADA CRISTALES



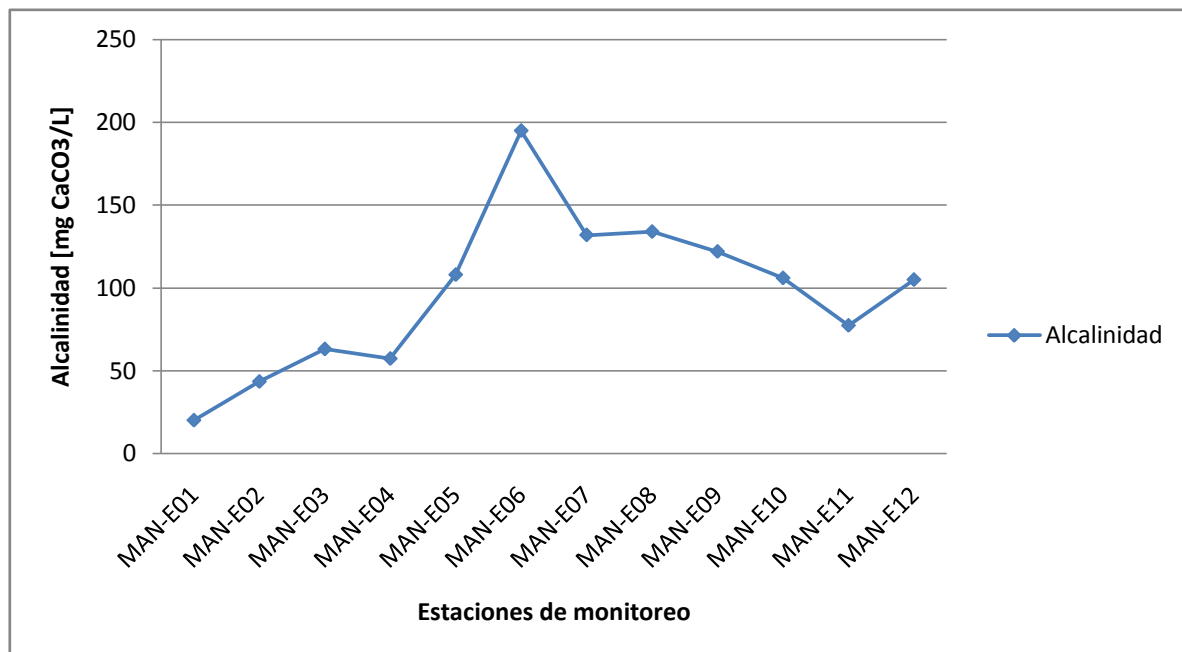
Gráfica 24.Dureza Total Quebrada Tesorito

6.3.4 ALCALINIDAD

Anteriormente habíamos mencionado que los principales contribuyentes de la alcalinidad son los carbonatos y bicarbonatos, en la gráfica 25, se puede apreciar que el valor máximo de la alcalinidad es alcanzado en la estación E06, con un valor de 195 mg/l, siendo la principal influencia el parque industrial de Malteria y diferentes efluentes con elevada carga orgánica en el agua.

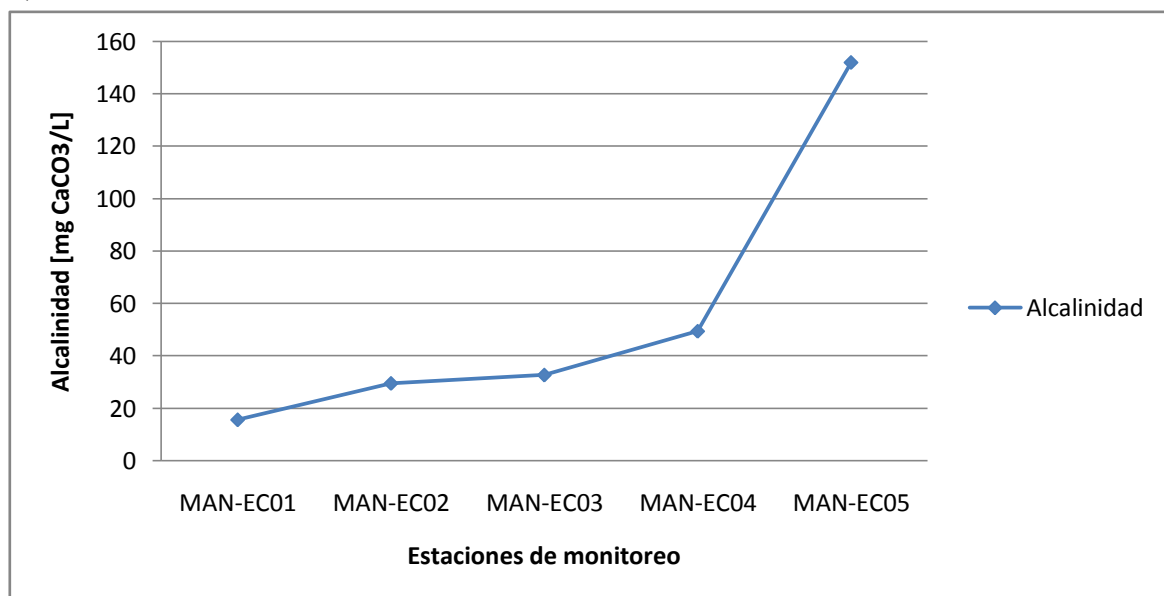
Como podemos apreciar en las gráficas 26 a la 28 representan los principales tributarios de la quebrada Manizales las concentraciones de la alcalinidad se ven afectados principalmente por procesos industriales, en el caso de la Quebrada Cimitarra Progel y Descafecol son grandes contribuyentes de residuos industriales con variada contaminación orgánica por lo cual sus aumentos pronunciados, en la quebrada tesorito la gran influencia es el parque industrial Juanchito que afecta directamente la calidad de la fuente superficial, en la quebrada cristales súper de alimentos y el descole del conjunto de la alhambra hacen que la alcalinidad varíe de manera constante. La quebrada 2615-002-093-003 no se presentan grandes variaciones.

QUEBRADA MANIZALES



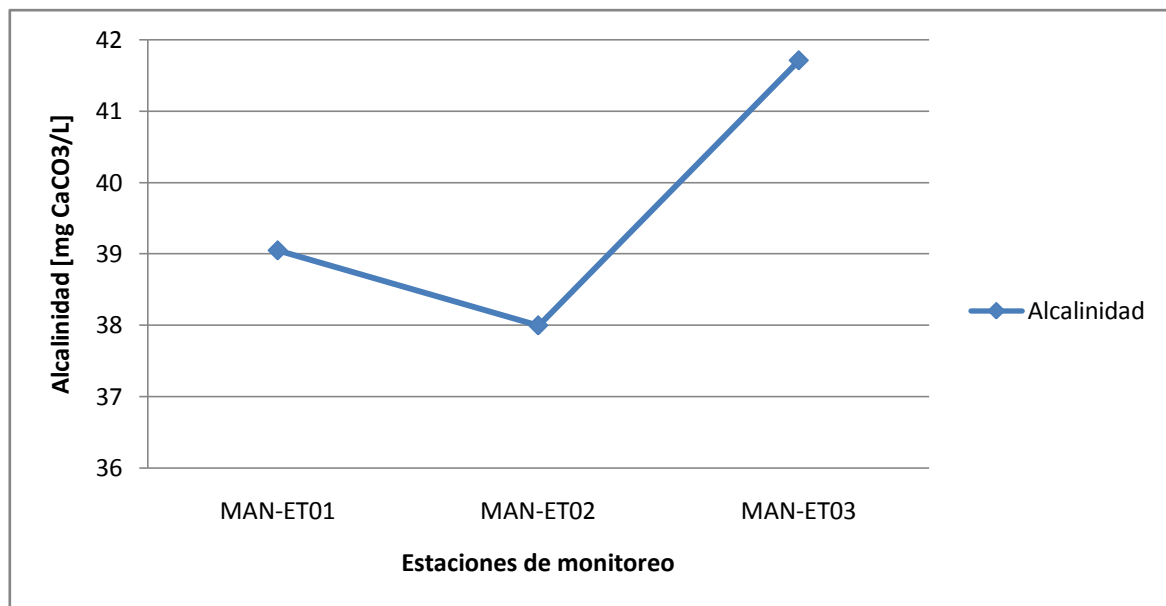
Gráfica 25. Alcalinidad quebrada Manizales

QUEBRADA CIMITARRA



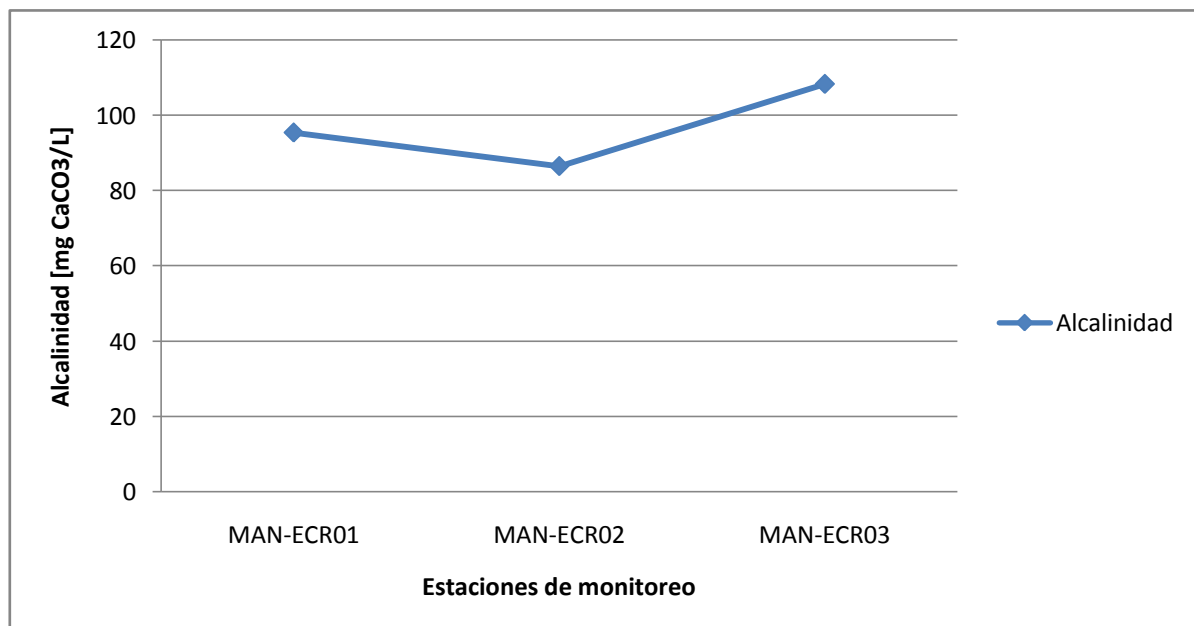
Gráfica 26. Alcalinidad quebrada Cimitarra

QUEBRADA TESORITO



Gráfica 27. Alcalinidad quebrada Tesorito

QUEBRADA CRISTALES



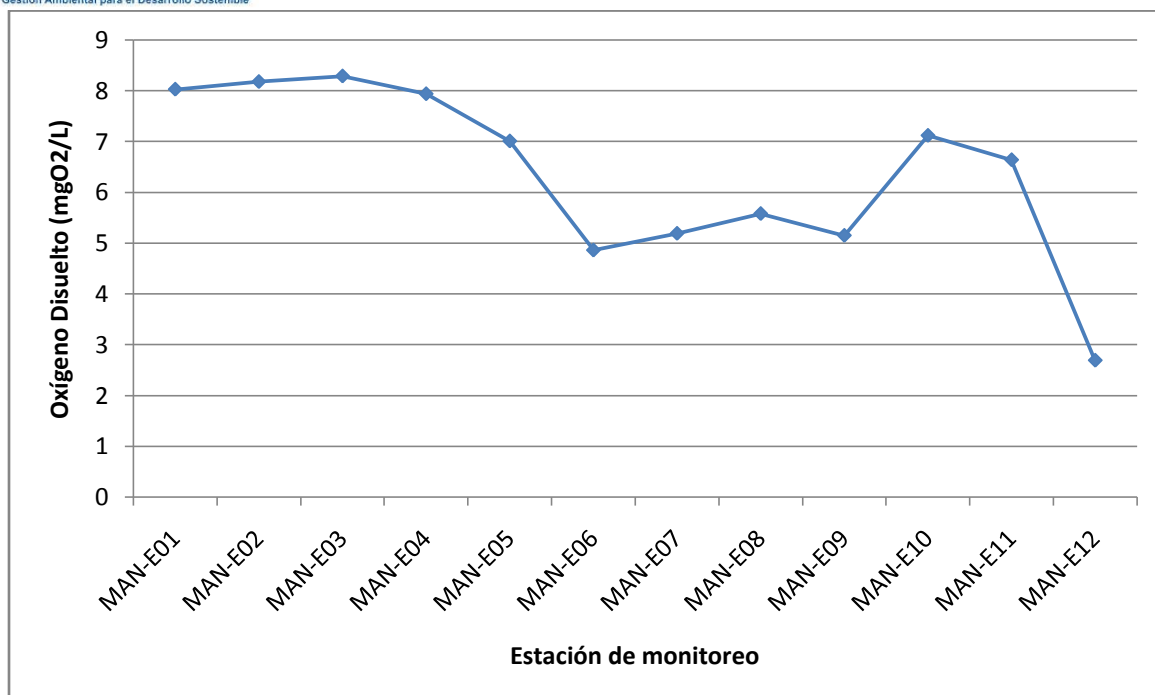
Gráfica 28. Alcalinidad quebrada Cristales

6.3.5 Parámetros Indicadores de contaminación: Oxígeno Disuelto (OD), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y Demanda Química de Oxígeno (DQO)

6.3.5.1 Quebrada Manizales

Las primeras estaciones de monitoreo establecidas sobre la quebrada Manizales presentaron valores de oxígeno disuelto propias de un agua de excelente calidad, con valores aproximados a 8 mgO₂/L desde la estación **E01** hasta la estación **E04**. Estos valores elevados de oxígeno disuelto son característicos de aguas cristalinas con cauces que presentan resaltos hidráulicos y caídas constantes.

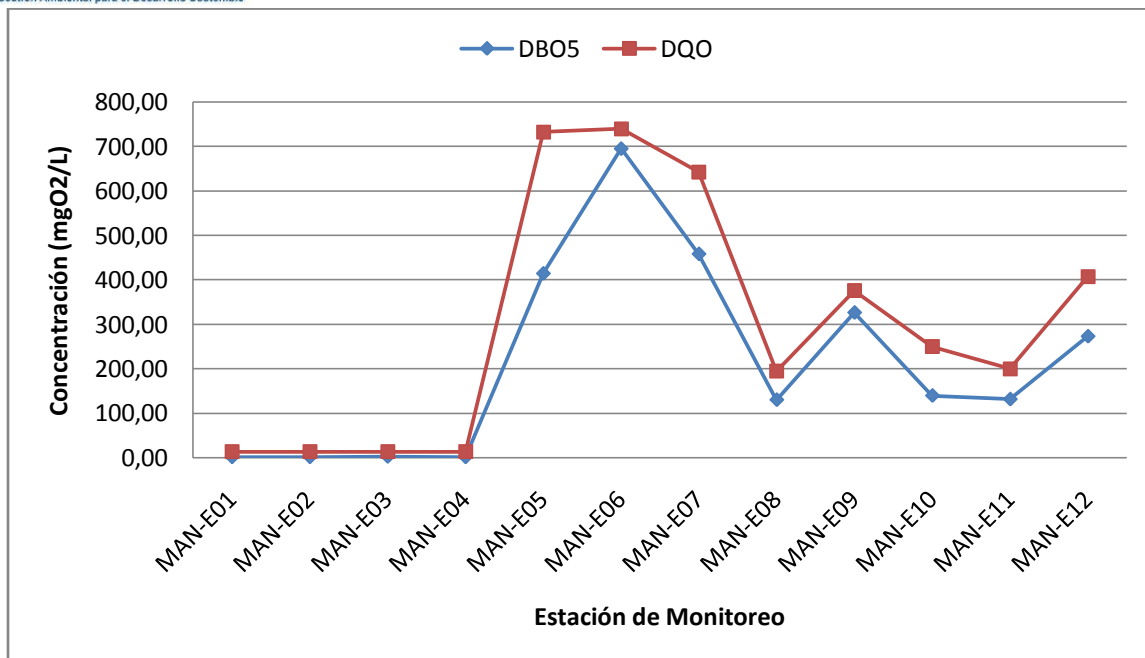
A partir de la estación **E05**, después de la desembocadura de la quebrada Cimitarra, se evidencia un decremento en la concentración de oxígeno disuelto en la quebrada Manizales, llegando hasta un valor de 4,86 mgO₂/L en la estación **E06**, presentando cierta estabilidad hasta la estación **E09**. Para la estación **E10** se presentó un incremento en la concentración de oxígeno disuelto hasta un valor de 7,12 mgO₂/L, descendiendo posteriormente hasta un valor de 2,69 mgO₂/L en la estación **E12**, justo antes de desembocar en el Río Chinchiná. Aunque dicho incremento puede considerarse poco frecuente, su razón radica, en el espaciamiento temporal, presentado en las jornadas de monitoreo, realizadas para cada estación, variaciones importantes en las características fisicoquímicas del cuerpo de agua por la dinámica propia de la microcuenca de la quebrada Manizales, además de ello, entre las estaciones mencionadas se realiza la incorporación de la quebrada 2615-002-098-003 que presenta una muy buena concentración de oxígeno disuelto, debemos tener claro que los procesos hidrológicos dentro de una fuente superficial son cambiantes gracias a las características del mismo y su poder de autodepuración.)



Gráfica 29. Oxígeno Disuelto Quebrada Manizales.

El menor valor de concentración de oxígeno disuelto sobre la quebrada Manizales se obtuvo en la estación **E12**, justo antes de desembocar sobre el río Chinchiná, punto en el cual ha recibido la totalidad de los tributarios que le pertenecen, y por ende, en el cual se registra el mayor detrimento en la calidad del cuerpo de agua.

Para las estaciones **E01**, **E02**, **E03** y **E04** se presentan valores mínimos de DBO₅, dado a que los vertimientos recibidos hasta este punto provienen de la actividad minera que se desarrolla en la parte alta de la cuenca, donde no se generan residuos orgánicos que contribuyan a un incremento en las concentraciones de DBO₅. De manera semejante, en estas estaciones se presentan los valores mínimos de DQO, a pesar de la actividad minera que sirve sus residuos líquidos sobre la quebrada Manizales.

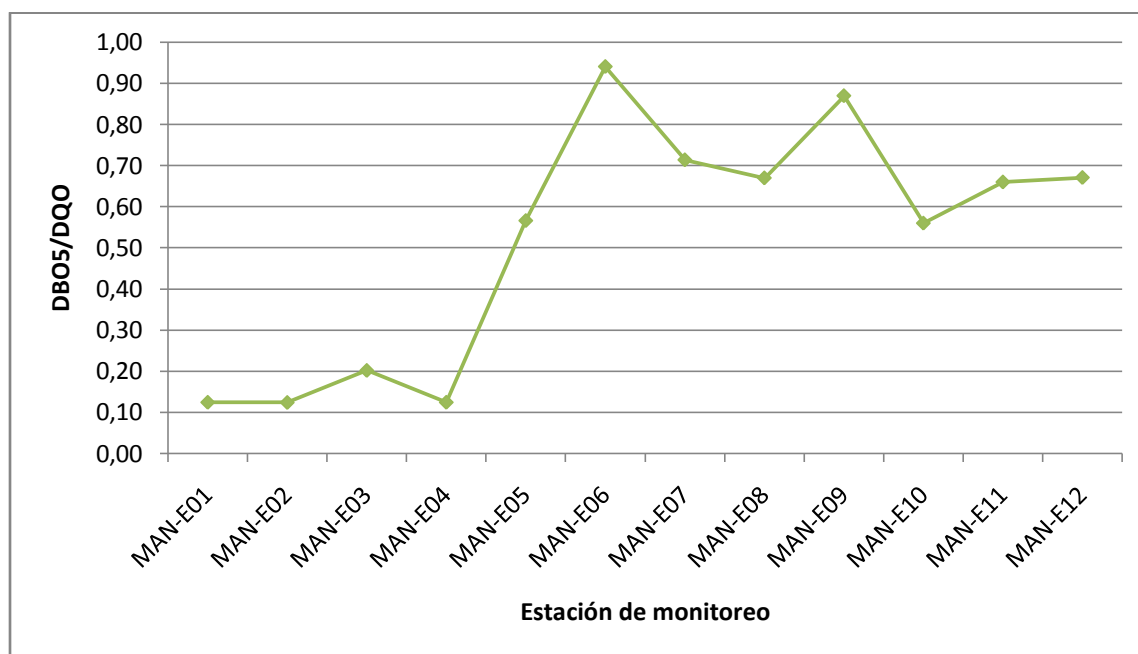


Gráfica 30. DBO Vs DQO Quebrada Manizales.

Tanto la demanda bioquímica de oxígeno y la demanda química de oxígeno presentaron los mayores valores en la estación **E06** (696 mgO₂/L y 740 mgO₂/L respectivamente), punto en el cual ha recibido las aguas residuales provenientes de la empresas Descafecol y Progel a través de la quebrada Cimitarra, los residuos líquidos de las empresas ubicadas en el parque Industrial Malteria donde se destacan Colombit y Pulverizar, y el descole de la empresa Surtipieles. En las estaciones **E07** y **E08** se evidencia la capacidad de autodepuración que posee la quebrada Manizales, presentándose una disminución en la DBO₅ desde 696 mgO₂/L en la estación **E06** hasta 130,55 mgO₂/L en la estación **E08**, y desde 740 mgO₂/L hasta 194 mgO₂/L para la DQO entre estas mismas estaciones; esto se debe en gran medida gracias a que en el tramo comprendido entre estas estaciones actualmente no se presenta el vertimiento de las aguas residuales industriales de la Industria Licorera de Caldas, dado que el principal proceso productivo a que se dedican se encuentra suspendido de manera indefinida.

Con el propósito de determinar la naturaleza contaminante se analiza la relación DBO₅/DQO, factor que indica, según su valor, la biodegradabilidad de la carga

contaminante presente en una muestra de agua. De esta manera, valores de relación DBO_5/DQO superiores a 0,5 indican que la carga contaminante presente en el cuerpo de agua puede ser parcialmente degradada por medios biológicos, y esta biodegradabilidad aumenta a medida que el valor tiende a 1. De la gráfica 23 se puede inferir que una vez la quebrada Manizales empieza a recibir las aguas residuales provenientes de las industrias Descafeol Planta Solubles y Progel, la biodegradabilidad de la carga contaminante aumenta considerablemente hasta alcanzar un máximo de relación DBO_5/DQO de 0,94 en la estación **E06**. Esta tendencia se considera normal toda vez que las empresas Descafeol, Progel y Surtipieles, principales aportantes de carga contaminante a las quebradas Cimitarra y Manizales, procesan materia orgánica en sus procesos productivos.



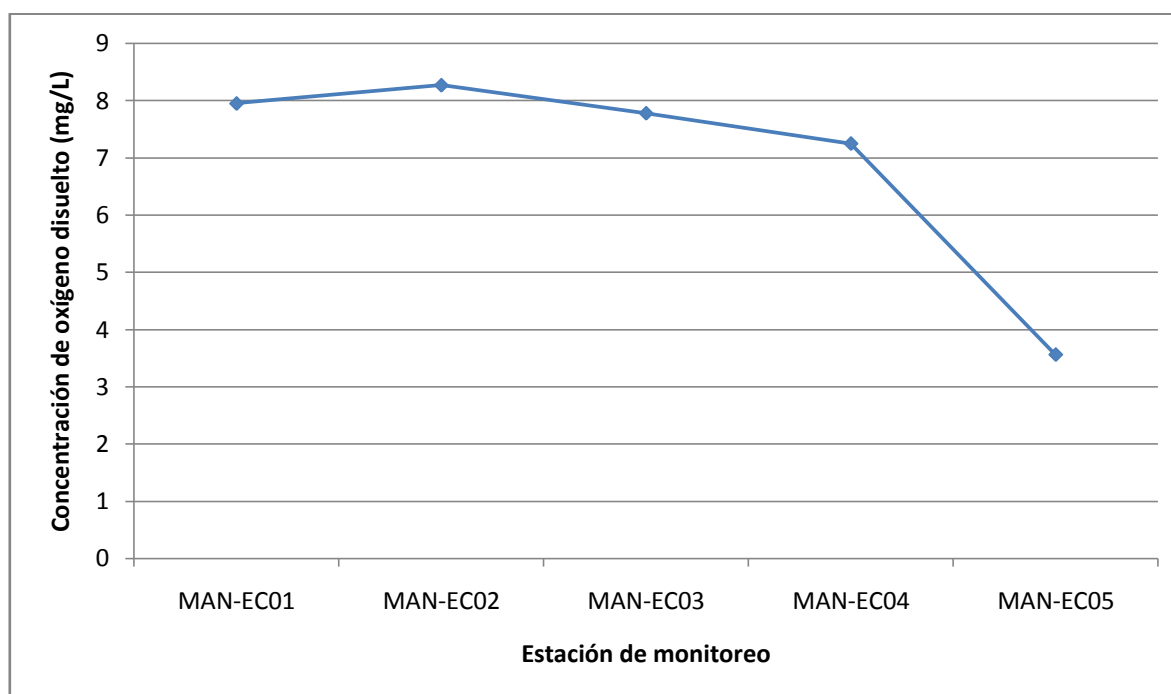
Gráfica 31. DBO_5/DQO Quebrada Manizales.

De las gráficas presentadas anteriormente, correspondientes a las concentraciones de oxígeno disuelto, DBO_5 y DQO , se puede establecer la relación inversamente proporcional existente entre la primera y las otras dos, es decir, cuando la concentración de oxígeno disuelto fue mayor las concentraciones de DBO_5 y DQO fueron menores. De esta manera, un incremento en la

concentración de oxígeno disuelto en el cuerpo de agua representa una mejora general en su calidad, y es por ello que los resaltos hidráulicos y régimen de flujo turbulento, presentes en algunos sectores en la quebrada Manizales, favorecen la depuración de contaminantes al facilitar la aireación de la corriente.

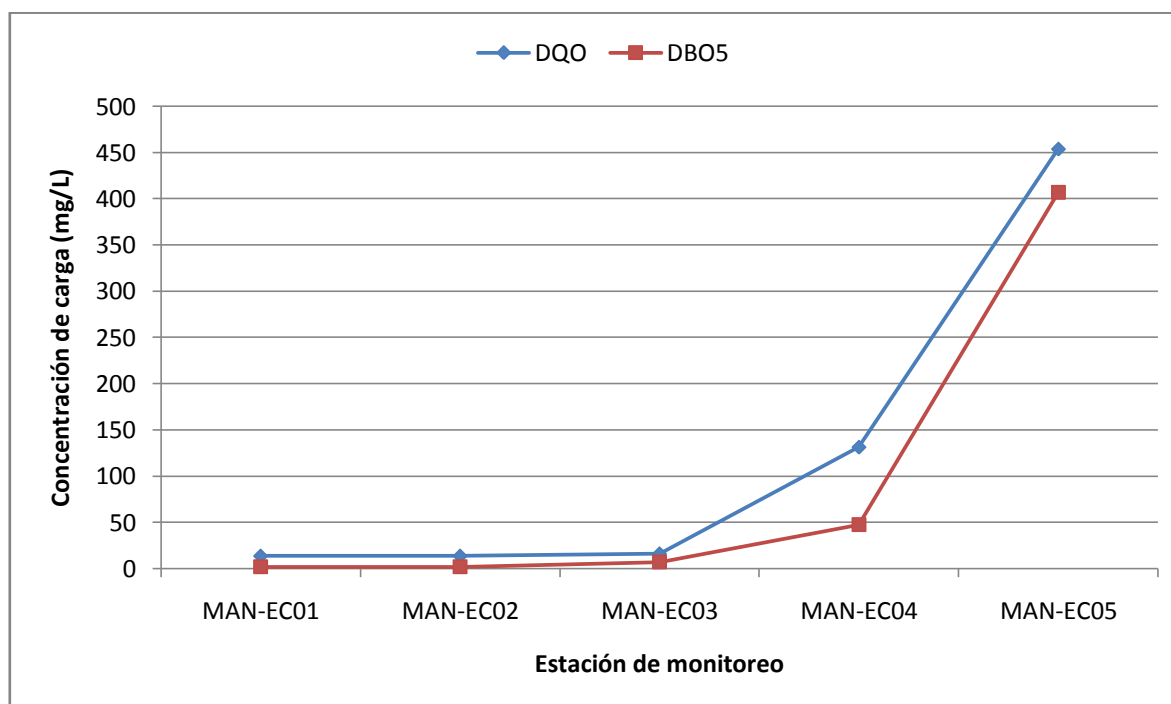
6.3.5.2 Quebrada Cimitarra

Las contribuciones de carga contaminante que ofrecen los vertimientos de las empresas Descafeol Planta Descafeinadora y Progel sobre la quebrada Cimitarra se ven reflejados en los valores de oxígeno disuelto, DBO₅ y DQO obtenidos en cada una de las estaciones de monitoreo. En el caso particular de la concentración de oxígeno disuelto se presenta una tendencia decreciente, con una reducción más significativa después del vertimiento de la empresa Progel, donde es reducida desde un valor de 7,25 mgO₂/L en la estación **EC04** hasta 3,56 mgO₂/L justo antes de su desembocadura sobre la quebrada Manizales.

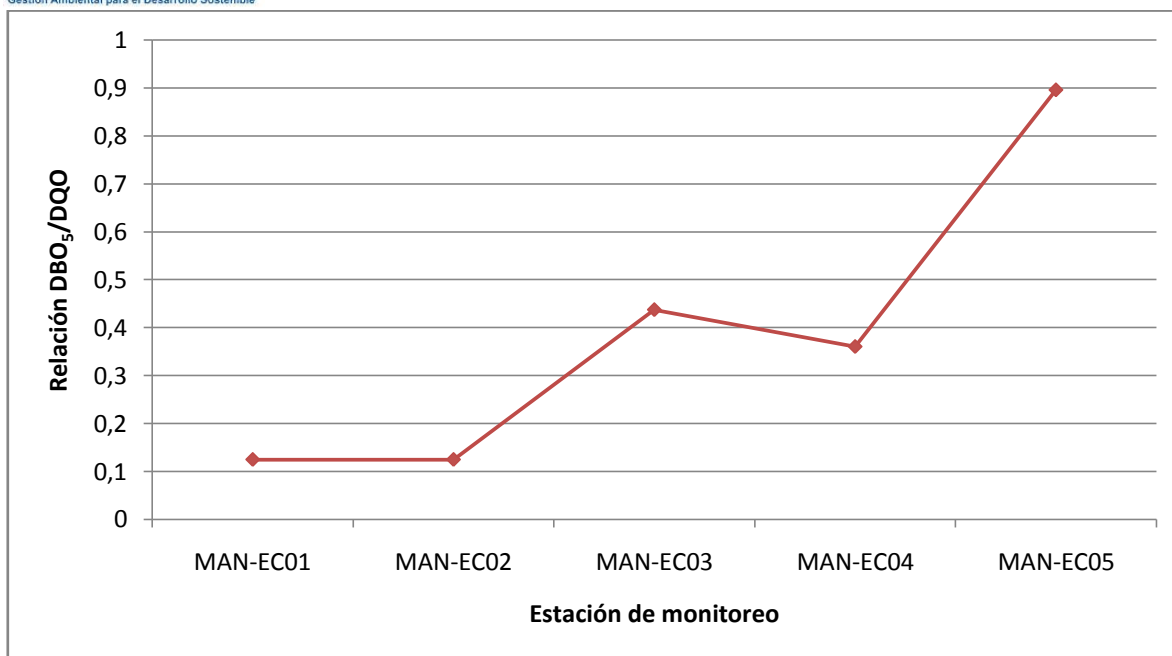


Gráfica 32. Concentración de oxígeno disuelto Oxígeno Disuelto Quebrada Cimitarra.

En concordancia con lo anterior, esta reducción considerable en la concentración de oxígeno disuelto en el cuerpo de agua representa un aumento en su carga contaminante, principalmente en términos de DBO_5 y DQO, como se evidencia en la gráfica 25. Estos incrementos de concentración de carga contaminante se hacen notorios en las estaciones **EC04** y **EC05** con los vertimientos de las empresas Descafecol Planta Descafeinadora y Progel. Nuevamente se hace evidente que el aporte de carga contaminante otorgado por el vertimiento de la empresa Progel es el más representativo y el que mayor deterioro causa en la calidad del agua de la quebrada Cimitarra, presentando en este caso valores de 454 mg/L de DQO y 407 mg/L de DBO_5 justo antes de desembocar en la quebrada Manizales, considerados como elevados para corrientes de agua superficial. La relación DBO_5/DQO se muestra en la gráfica 26, la carga contaminante final obtenida en la estación de monitoreo **EC05** corresponde principalmente a materia orgánica biodegradable.



Gráfica 33. DBO Vs DQO Quebrada Cimitarra.

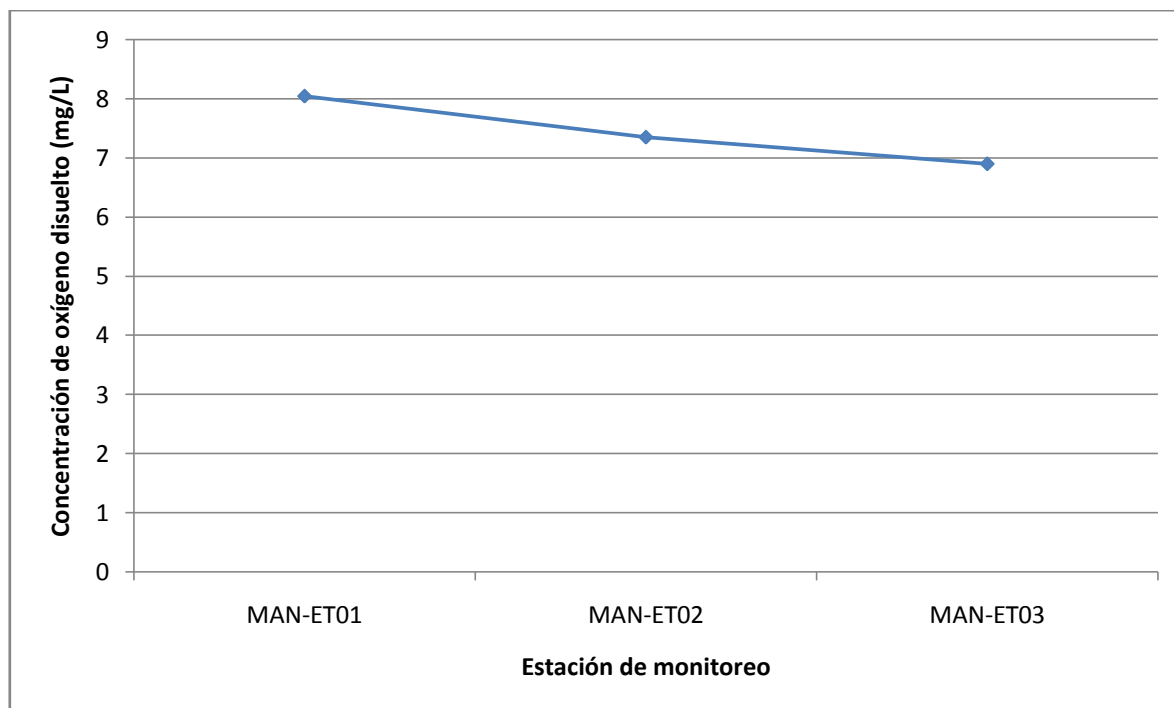


Gráfica 34. DBO₅/DQO Quebrada Cimitarra.

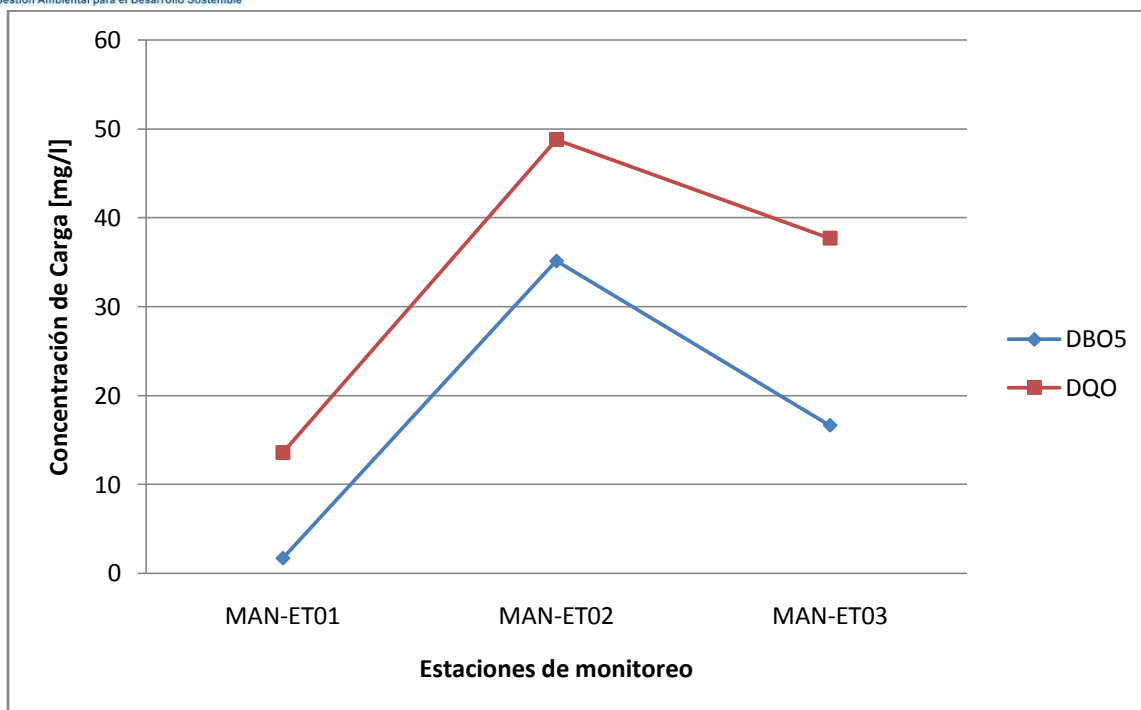
6.3.5.3 Quebrada Tesorito

Los resultados obtenidos para los parámetros oxígeno disuelto, DBO₅ y DQO para la Quebrada Tesorito, denotan claramente los efectos generados, por el parque industrial Juanchito, al realizar sus vertimientos de aguas residuales domesticas e industriales, en la gráfica 35, se observa la disminución leve en la concentración de oxígeno disuelto, denotando la capacidad de recuperación de la quebrada tesorito en sus diferentes estaciones, esto gracias a las condiciones hidrobiologías de la misa. En términos de DQO y DBO₅ se puede evidenciar en gráfica 28, una tendencia constante para el primer parámetro, mientras que el segundo presenta un pico en la estación **ET02**, sector en el cual se hace notoria la presencia de un gran número de aves carroñeras que sobrevuelan el cauce, en gran medida por los vertimientos domésticos, que afectan de manera directa el tramo de estudio. Pese a esto, los valores en concentración de DQO y DBO₅ no superan los 50 mg/L, considerados normales en corrientes de agua superficial que se ubican en zona de influencia de cualquier actividad doméstica e industrial, sin que se afecte de manera directa por alguna de estas. Cabe resaltar la gran importancia de la

solicitud realizada por la corporación, a la empresa Surtipieles de modificar el punto de vertimiento, con el fin de indicar un proceso de descontaminación sobre la quebrada tesorito.



Gráfica 35. Concentración de oxígeno disuelto Quebrada Tesorito.



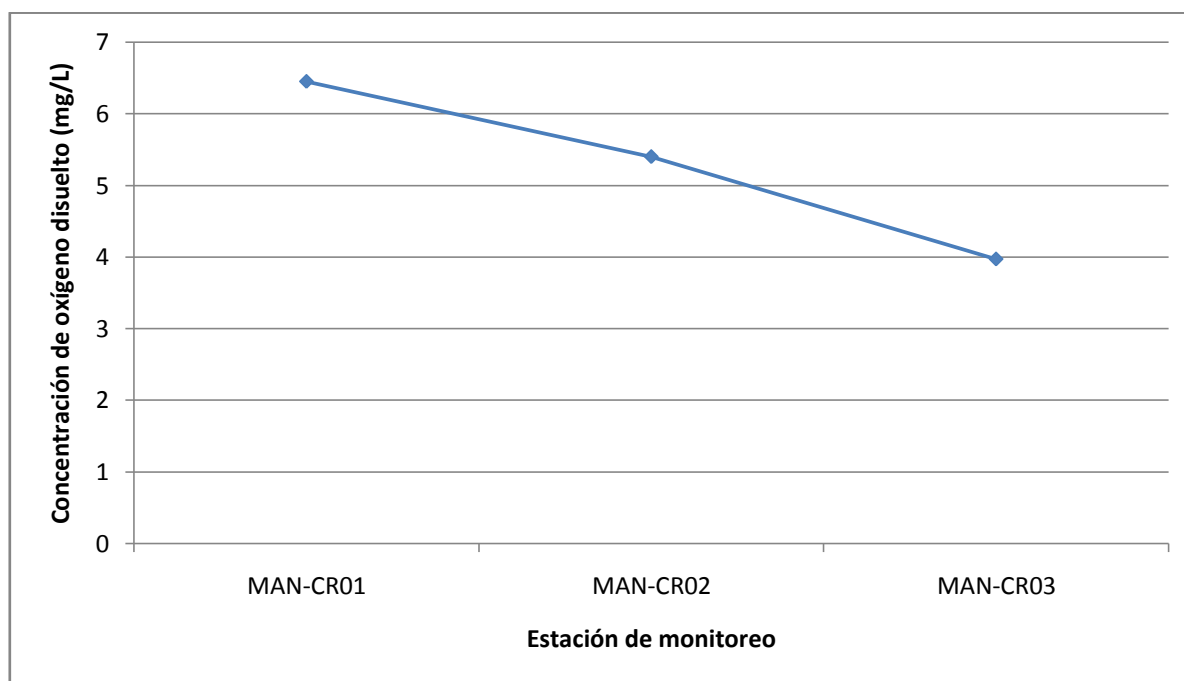
Gráfica 36. DBO Vs DQO Quebrada Tesorito.

6.3.5.4 Quebrada Cristales

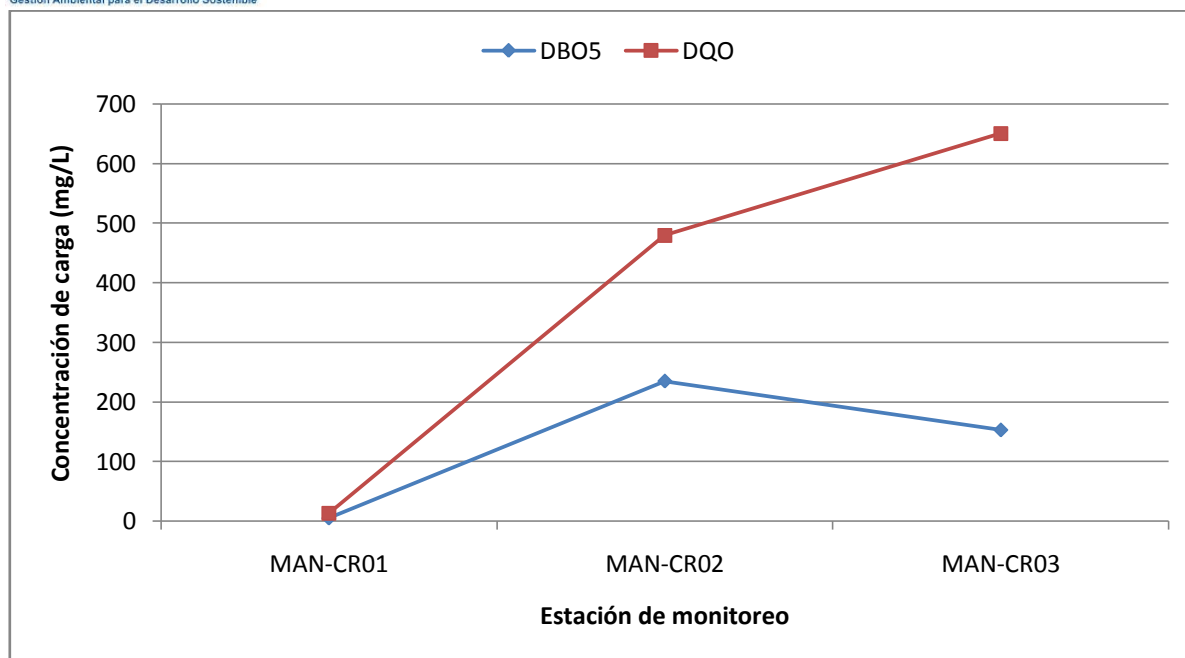
Contrario a lo que se esperaría, teniendo en cuenta que los principales vertimientos que se dan sobre la quebrada Cristales provienen de la empresa Súper de Alimentos (aguas residuales domésticas e industriales ricas en azúcares) y del conjunto cerrado Cerros de la Alhambra (aguas residuales domésticas), los valores de concentración de DBO₅ obtenidos en las tres estaciones de monitoreo establecidas para este cauce denotan, en relación con las concentraciones de DQO, que la carga contaminante que se le otorga es principalmente de material no degradable por medios biológicos.

De la gráfica 29 se puede evidenciar la disminución paulatina en la concentración de oxígeno disuelto derivada de la necesidad de oxidar la carga contaminante aportada por los vertimientos que se realizan sobre la quebrada Cristales. En la estación **ECR01**, antes de recibir estos vertimientos, se obtuvo un valor de OD de 6,45 mgO₂/L, mientras que ya en la estación **ECR03** este valor se había reducido

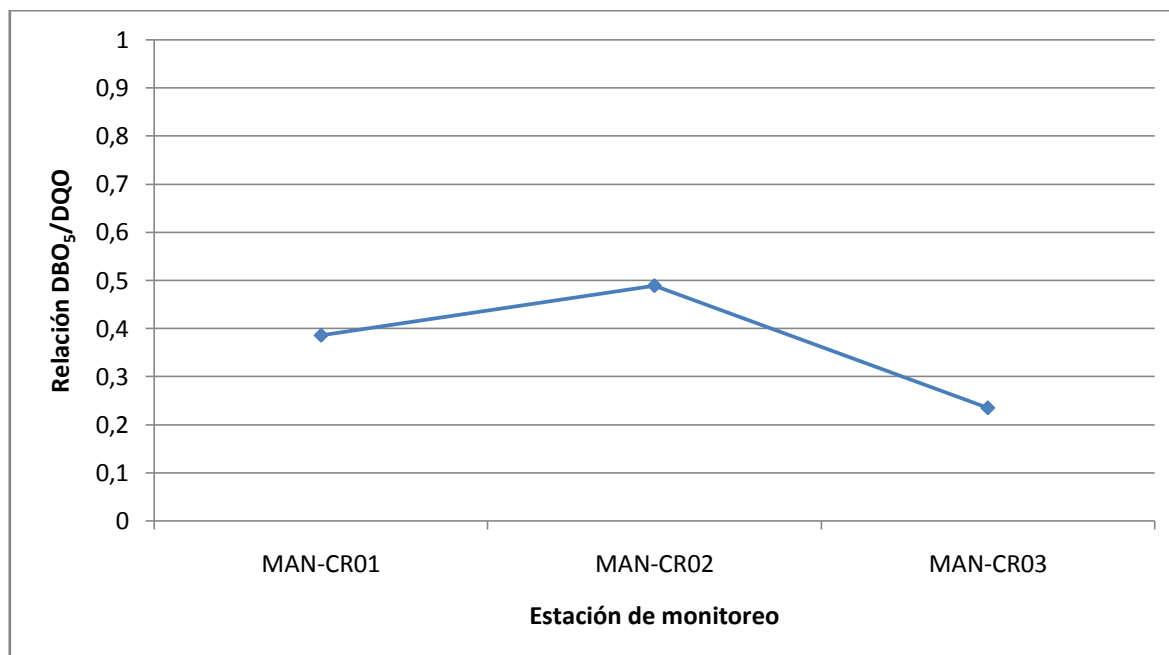
hasta 3,97 mgO₂/L. Por otro lado, en las gráficas 38 y 39 se evidencia la relación existente entre las concentraciones de DBO₅ y DQO, demostrando que la naturaleza de la carga contaminante total aportada sobre la quebrada Cristales es no biodegradable. En este punto se debe considerar que además de los vertimientos que realizan la empresa Súper de Alimentos y el conjunto cerrado Cerros de la Alhambra, otro vertimiento que puede considerarse importante es el proveniente de la empresa Madeal, la cual cuenta con un proceso productivo que maneja principalmente componentes metálicos, y en general, componentes inorgánicos que aportan concentraciones contaminantes en términos de DQO pero no en términos de DBO₅. Los valores finales obtenidos para estas concentraciones fueron de 153 mg/L de DBO₅ y 651 mg/L de DQO, para la estación **ECR03** justo antes de desembocar en la quebrada Manizales, aunque en general, para ninguna de las tres estaciones de monitoreo establecidas sobre la quebrada Cristales se obtuvo una relación de DBO₅/DQO superior a 0,5.



Gráfica 37. Concentración de oxígeno disuelto quebrada Critales.



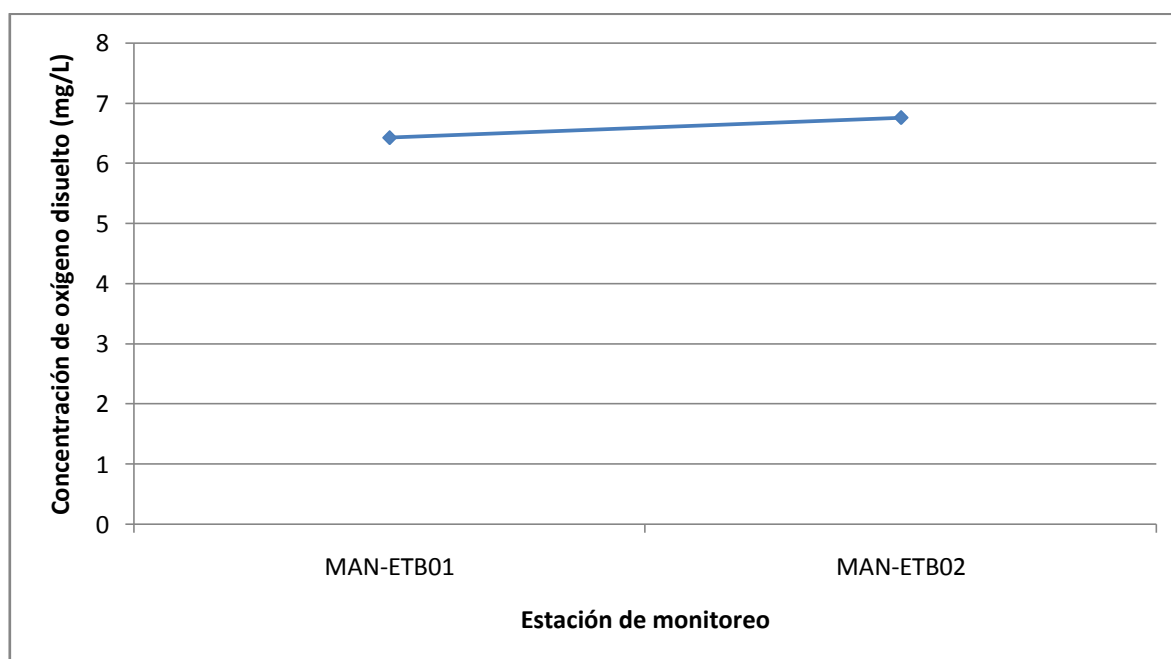
Gráfica 38. DBO Vs DQO Quebrada Cristales.



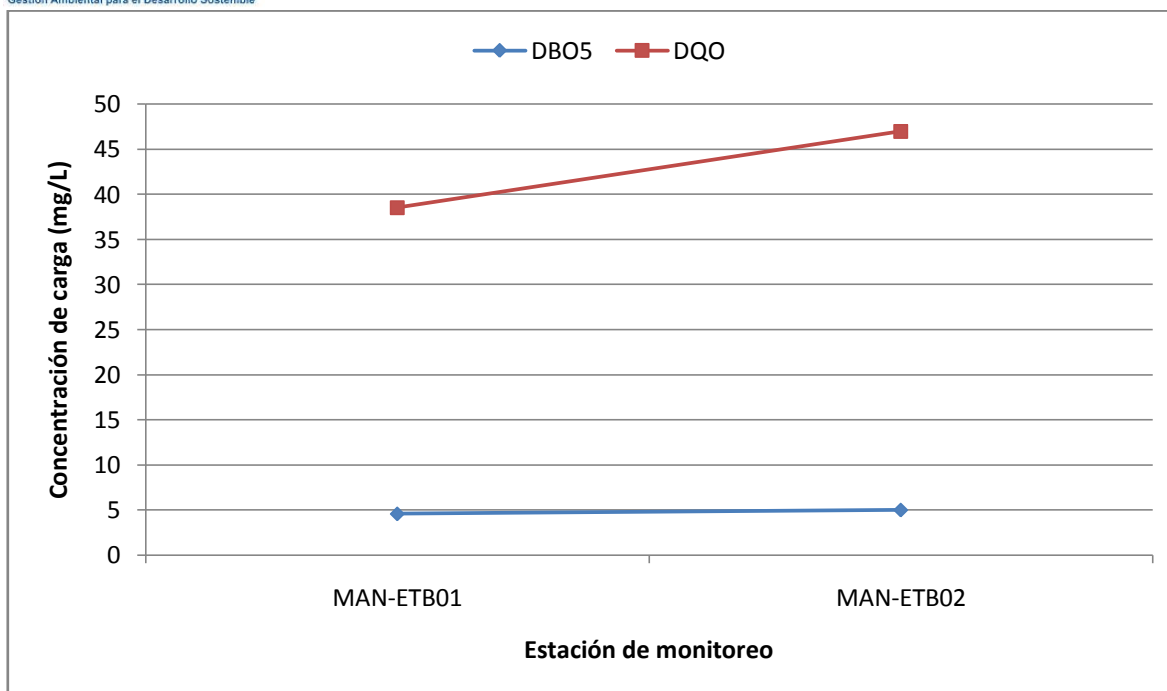
Gráfica 39. DBO/DQO Quebrada Cristales.

6.3.5.5 Quebrada 2615-002-093-003

Semejante a los resultados mostrados para la quebrada Tesorito, en la quebrada 26-15-002-093-003 se obtuvieron valores de concentración DQO y DBO₅ por debajo de los 50 mg/L, con una tendencia constante al igual que para la concentración de oxígeno disuelto. De esta manera, se evidencia la ausencia de aportes contaminantes que causen un deterioro en la calidad del agua de la quebrada, siendo importante resaltar que sobre esta fuente se realizan descargas industriales de la empresa FOODEX, demostrando así la quebrada la capacidad de autodepuración de diferentes contaminantes.



Gráfica 40. Concentraciones de oxígeno disuelto Quebrada 2615-002-098-003.



Gráfica 41. DBO Vs DQO Quebrada 2615-002-098-003.

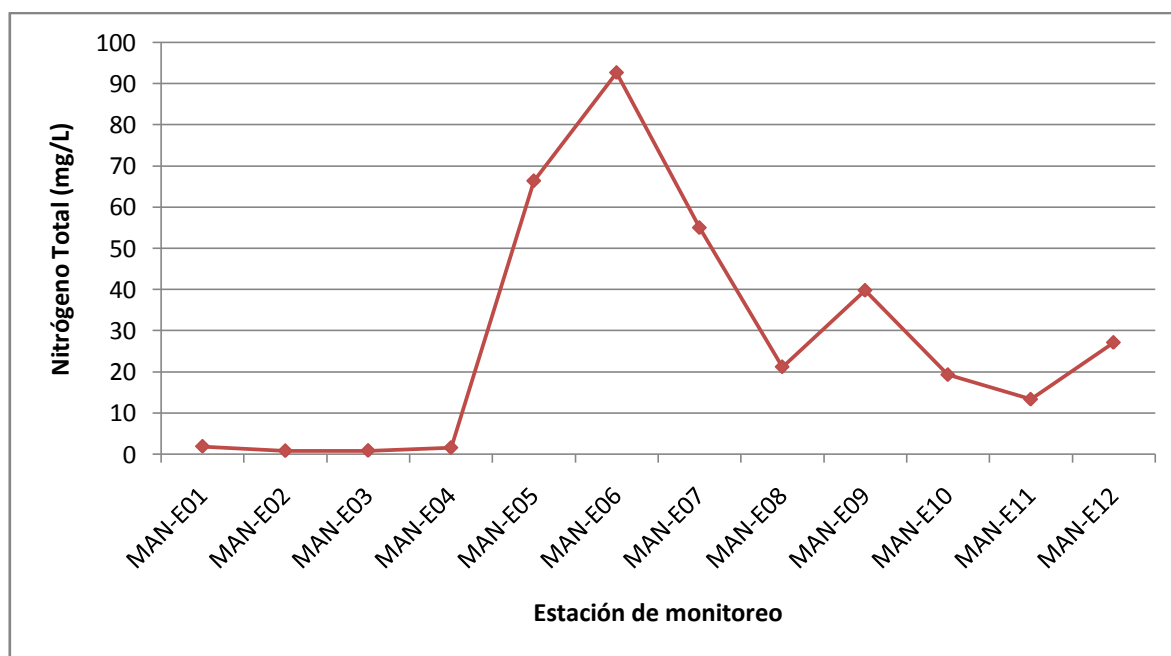
NUTRIENTES (NITROGENO TOTAL, FOSFORO TOTAL, NITRITOS Y NITRATOS)

6.3.6 Nitrógeno total y Fósforo total

En las gráficas que se muestran más adelante se puede observar el comportamiento de la concentración de nutrientes (Nitrógeno Total y Fósforo Total como principales) a lo largo del trayecto de la quebrada Manizales y sus principales afluentes. Si bien no existe una influencia directa entre las concentraciones de nutrientes en un cuerpo de agua, si es importante determinar su relación con el propósito de saber, de manera indirecta, si el cuerpo de agua posee capacidad de asimilar carga orgánica, en términos de la capacidad de actividad microbiana que puede ofrecer el equilibrio de nutrientes existente.

Para el caso del parámetro Nitrógeno total, podemos observar que la concentración sobre la quebrada Manizales alcanza su mayor valor (92,67

mg/L) en la estación **E06**, gracias a que desde la estaciones **E04** hasta este punto la quebrada Manizales recibe de manera constante las descargas de la quebrada Cimitarra (Progel y Descafecol), así como de las empresas Colombit y Surtipieles. Igualmente, se puede observar que la concentración se reduce nuevamente hasta un valor de 21,22 mg/L en la estación **E08**, debido a la capacidad de autodepuración ampliamente referida en los análisis realizados a otros parámetros. De nuevo en la estación **E09** con la desembocadura de la quebrada Guayabal se evidencia un incremento leve, hasta un valor de 39,79 mg/L, el cual es nuevamente reducido hasta un valor de 13,35 mg/L en la estación **E11**. Finalmente, justo antes de desembocar sobre el río Chinchiná, la quebrada Manizales presenta un valor de concentración de Nitrógeno total de 27,132 mg/L, una vez ha recibido la totalidad de sus tributarios.



Gráfica 42. Nitrogeno total Quebrada Manizales.

Las concentraciones de nitrógeno total obtenidas para las quebrada Cimitarra se muestran en la gráfica 43, donde se puede apreciar que tienden a conservar valores inferiores a 3 mg/L en sus primeras 4 estaciones, sin embargo el vertimiento de la empresa Progel aporta una cantidad importante de nitrógeno,

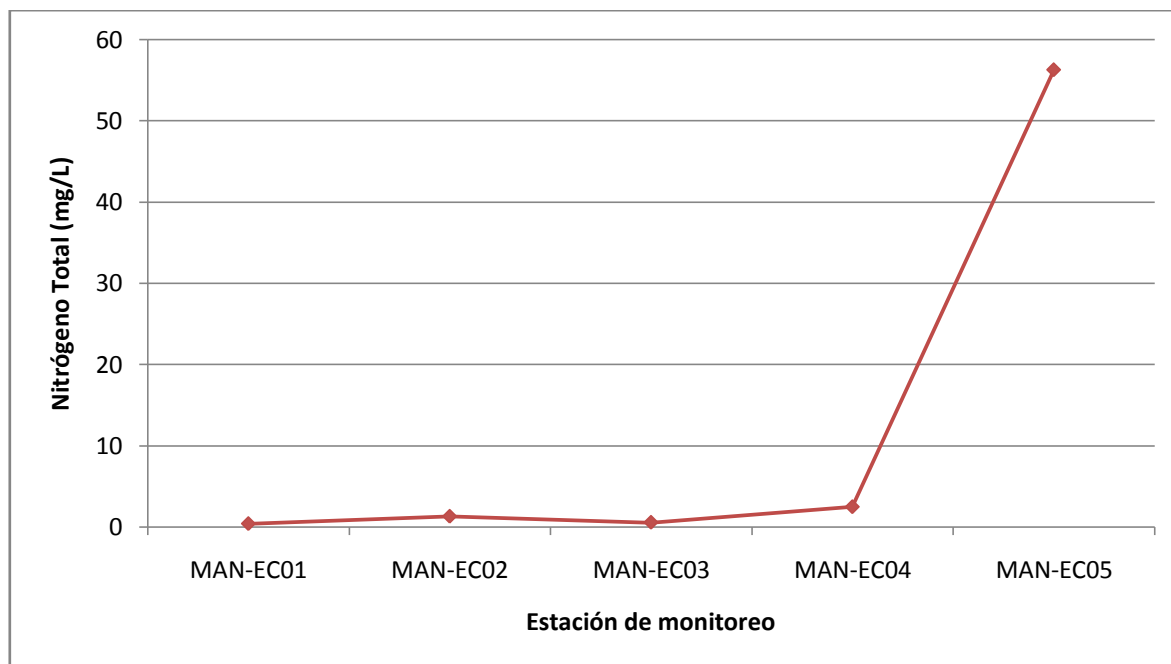
elevando su concentración en la quebrada desde un valor de 2,448 mg/L en la estación **EC04** hasta un valor de 56,29 mg/L en la estación **EC05**, justo antes de la desembocadura en la quebrada Manizales.

En la quebrada Tesorito, pese a no existir vertimientos directos por parte de alguna industria o residencia en el tramo que se comprende entre las estaciones **ET01** y **ET03**, se obtuvo un incremento paulatino en las concentraciones de nitrógeno total en cada una de las estaciones de monitoreo establecidas para este cauce. En la estación **ET01** se obtuvo una concentración de nitrógeno total de 0,585 mg/L, en la estación **ET02** un valor de 0,851 mg/L y ya en la estación **ET03**, justo antes de desembocar en la quebrada Manizales, se registró un valor medido de 1,064 mg/L de nitrógeno total. Este leve incremento en la concentración de nitrógeno total en la quebrada Tesorito puede tener su origen en la acumulación de desechos biológicos de origen animal, teniendo en cuenta el gran número de gallinazos que se ubican a orillas del cauce de la quebrada atraídos por los olores generados en el proceso productivo que se da en la empresa Surtipieles, propios además de la materia prima que usan.

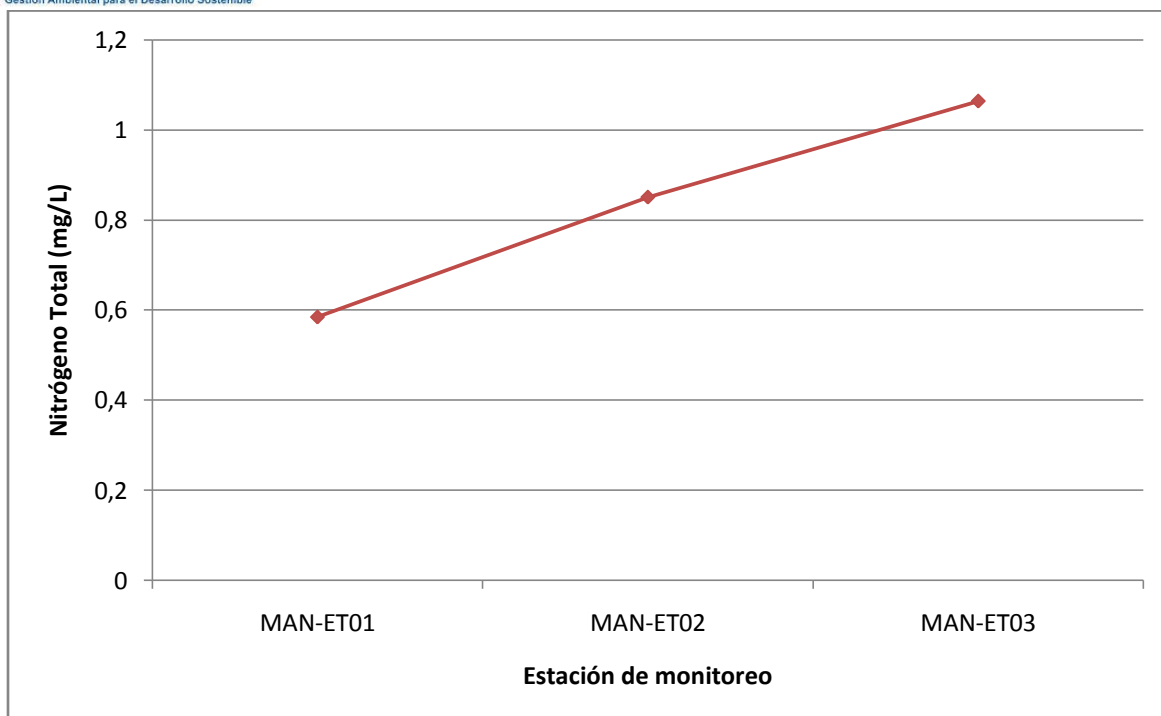
De manera semejante a lo observado en las quebradas Cimitarra y Tesorito, en la quebrada Cristales la concentración de nitrógeno total aumenta a lo largo de su trayecto. En la estación **ECR01**, antes de recibir cualquier vertimiento, la quebrada Cristales presentó una concentración de Nitrógeno Total de 0,638 mg/L; ya en la estación **ECR02** la concentración de nitrógeno total se incrementa hasta un valor de 1,81 mg/L una vez que ha recibido el primer descole de la empresa Súper de Alimentos para finalmente alcanzar un valor de 5,11 mg/L en la estación **ECR03**, una vez ha recibido la totalidad de los vertimientos en su trayecto. De esta manera, se evidencia que el mayor aporte de nitrógeno total que se da sobre la quebrada Cristales proviene de los vertimientos netamente domésticos del conjunto residencial Cerros de la Alhambra.

Contrario a los resultados obtenidos para el parámetro nitrógeno total en los otros afluentes, en la quebrada 2615-002-093-003 se presentó una reducción en las concentraciones de nitrógeno total medidas en las estaciones **ET01** y **ET02**. En la primera de estas, se obtuvo un valor de concentración de nitrógeno total de 5,96 mg/L y en la segunda un valor de 3,47 mg/L. Esta reducción se relaciona con los

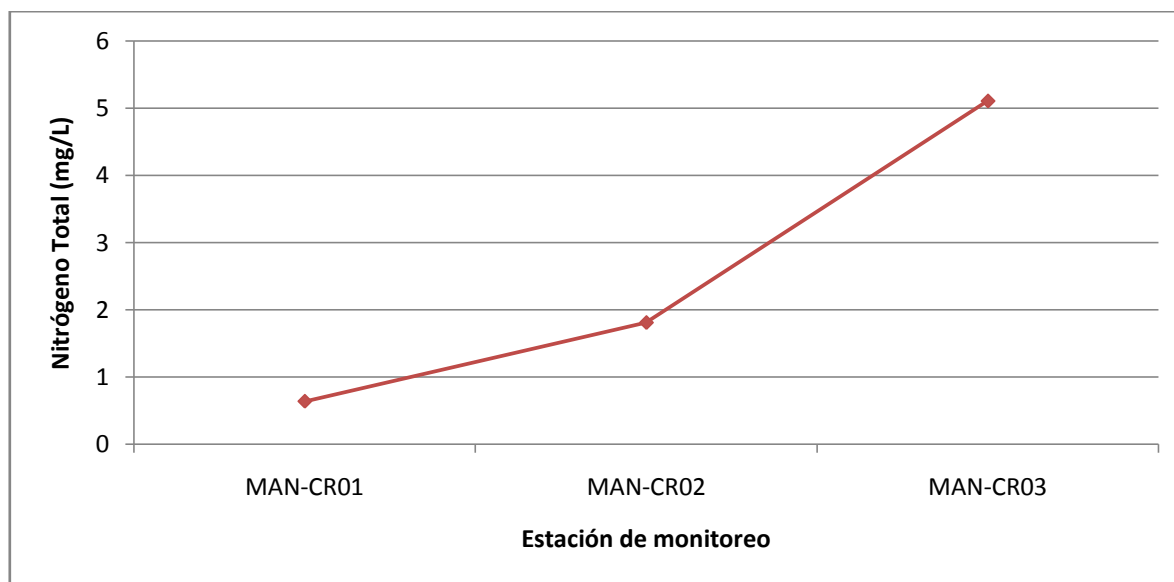
procesos de autodepuración por medios biológicos, principalmente, que se dan en un cuerpo de agua que cuentan con las características fisicoquímicas apropiadas para ello, como es el caso de la quebrada 2615-002-093-003.



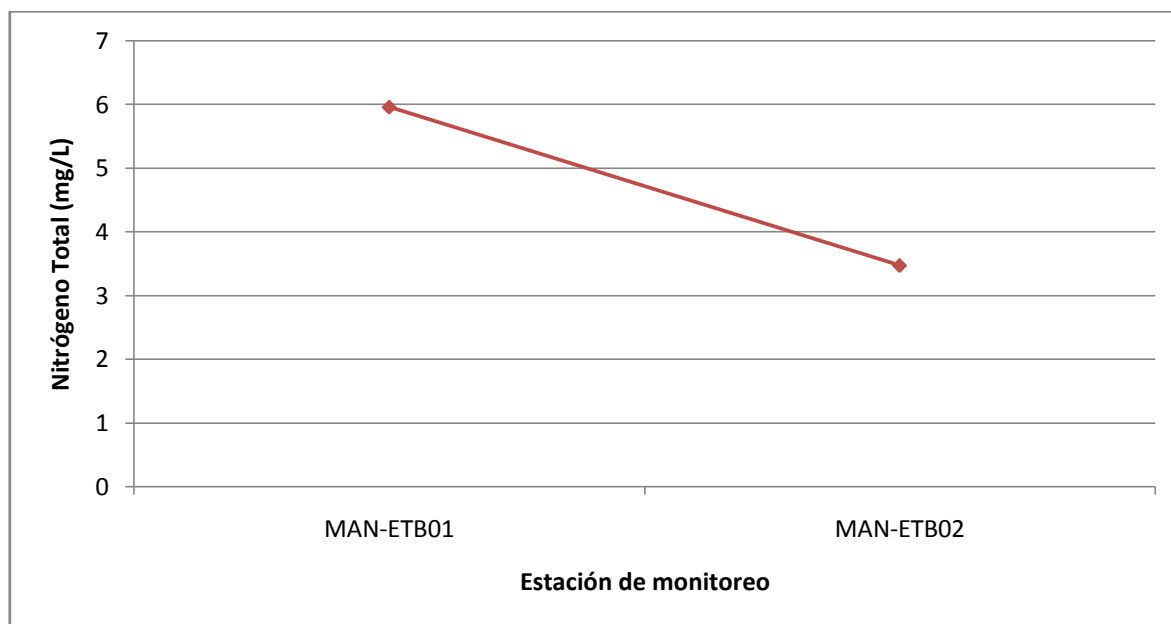
Gráfica 43. Nitrógeno Total Quebrada Cimitarra.



Gráfica 44. Nitrógeno Total Quebrada Tesorito.



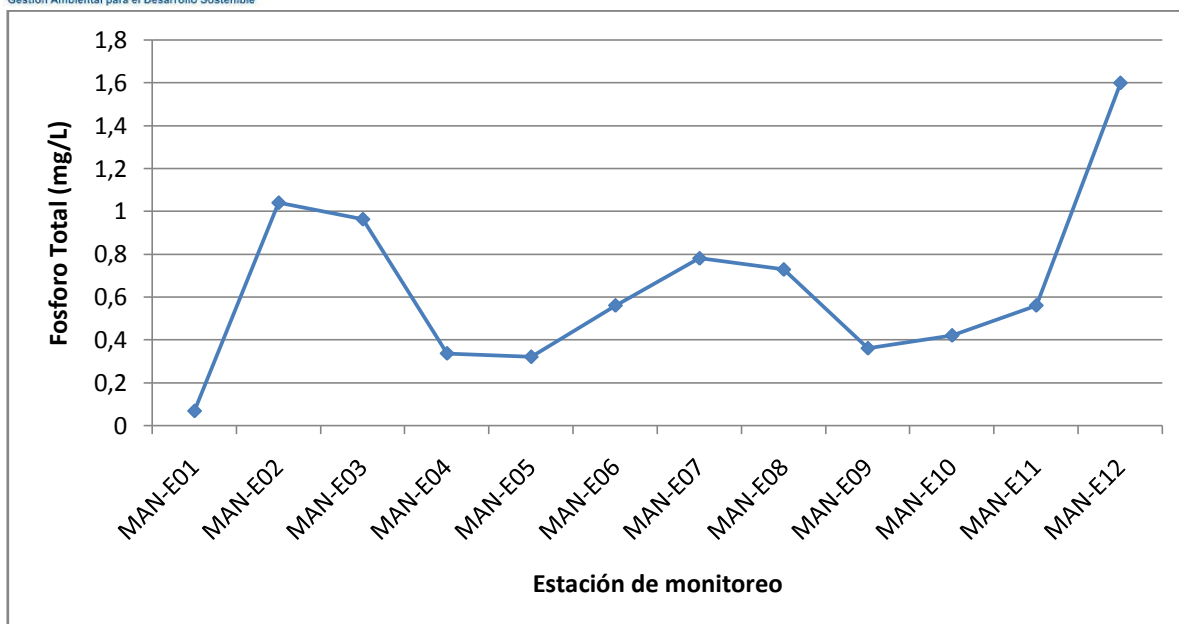
Gráfica 45. Nitrógeno total Quebrada Cristales.



Gráfica 46. Nitrógeno total quebrada 2615-002-098-003

Por otro lado, el fósforo en una corriente superficial es contribuido por varios factores, dentro de los que se destacan: descargas de tipo industrial o doméstico detergentes y productos químicos utilizados en el tratamiento de aguas, depósitos naturales y rocas fosfóricas, escorrentías en zonas agrícolas donde son usados fertilizantes que se acumulan en el suelo, así como las lluvias, principalmente en aquellas zonas industriales donde la atmosfera es receptora de vertimientos gaseosos con altas concentraciones de derivados del fósforo.

En cuanto a las concentraciones de fósforo total obtenidas a lo largo del cauce de la quebrada Manizales se puede observar que el valor máximo se presentó en la estación **E12**, siendo 1,6 mg/L. A lo largo del trayecto sobre su cauce, el cuerpo de agua presenta un comportamiento irregular en términos de concentración de fosforo total, debido a la dinámica propia de la microcuenca de la quebrada, y a la variabilidad existente en las actividades que se desarrollan en las zonas de influencia del cauce, principalmente debidas a contribuciones domésticas en viviendas, locales comerciales e industrias, así como a los residuos líquidos propios de estas últimas.

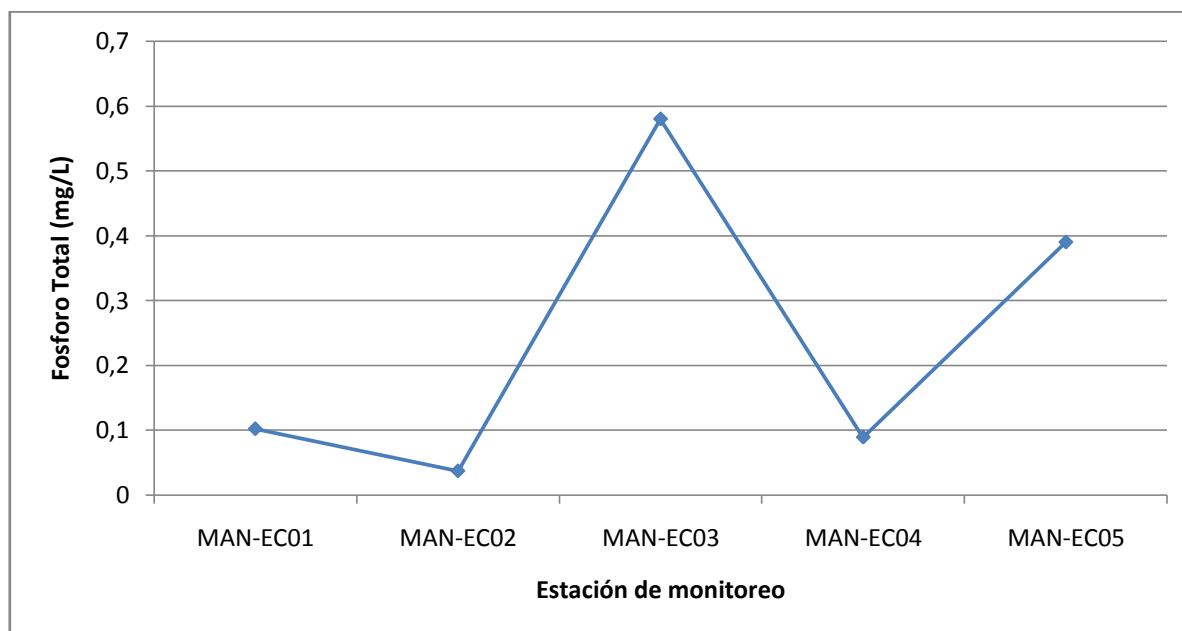


Gráfica 47. Fosforo total Quebrada Manizales.

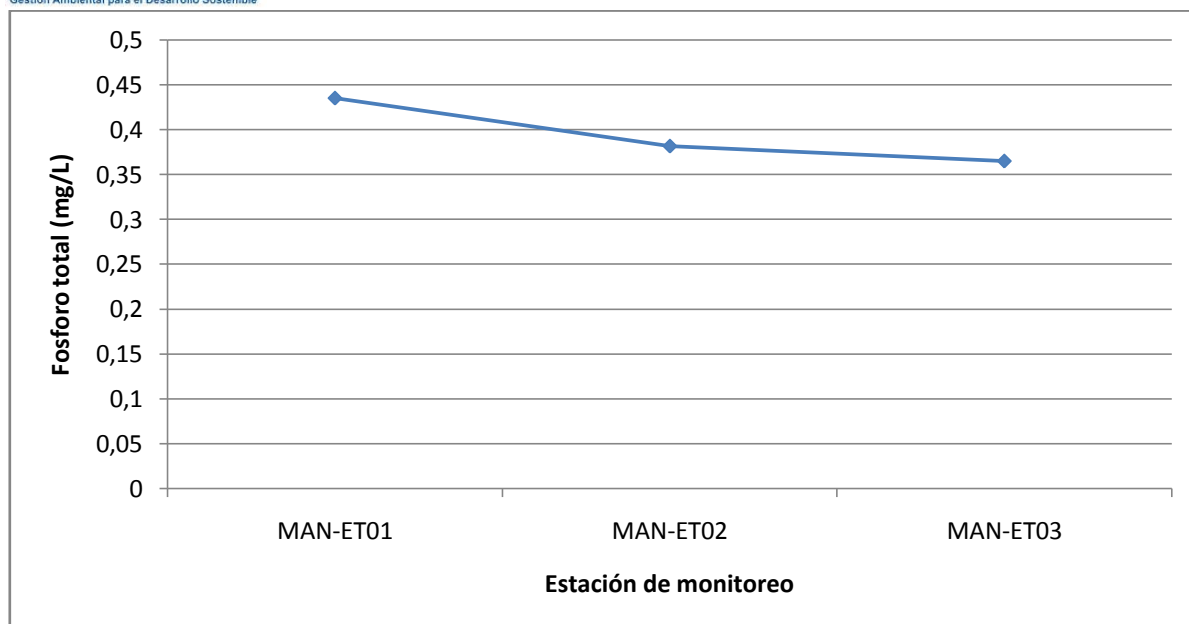
Las concentraciones de fosforo total obtenidas para las estaciones de monitoreo sobre la quebrada Cimitarra evidencian que el principal aportante de compuestos de fosforo es el vertimiento proveniente de la empresa Descafecol Planta Descafeinadora, ya que el máximo valor de concentración registrado se dio en la estación **EC03**, después de la incorporación de estos residuos al cuerpo de agua. El valor registrado en esta estación fue de 0,58 mg/L de fosforo total, el cual es rápidamente asimilado por el cuerpo de agua reduciendo su concentración hasta un valor de 0,089 mg/L en la estación de monitoreo **EC04**, para nuevamente ser incrementado hasta un valor de 0,39 mg/L en la estación **EC05**, debido a la descarga de las aguas residuales de la empresa Progel.

En las gráficas 49 y 51, correspondientes a las concentraciones de fosforo total en las quebradas Tesorito y 2615-002-093-003 respectivamente, se evidencia una tendencia constante, con reducciones leves en los valores de concentración de fosforo total a lo largo del trayecto de cada uno de estos cuerpos de agua. Estas pequeñas reducciones se relacionan con la asimilación de compuestos fosforados por parte del cuerpo de agua, teniendo en cuenta que ninguno de estos recibe vertimientos domésticos o industriales considerables.

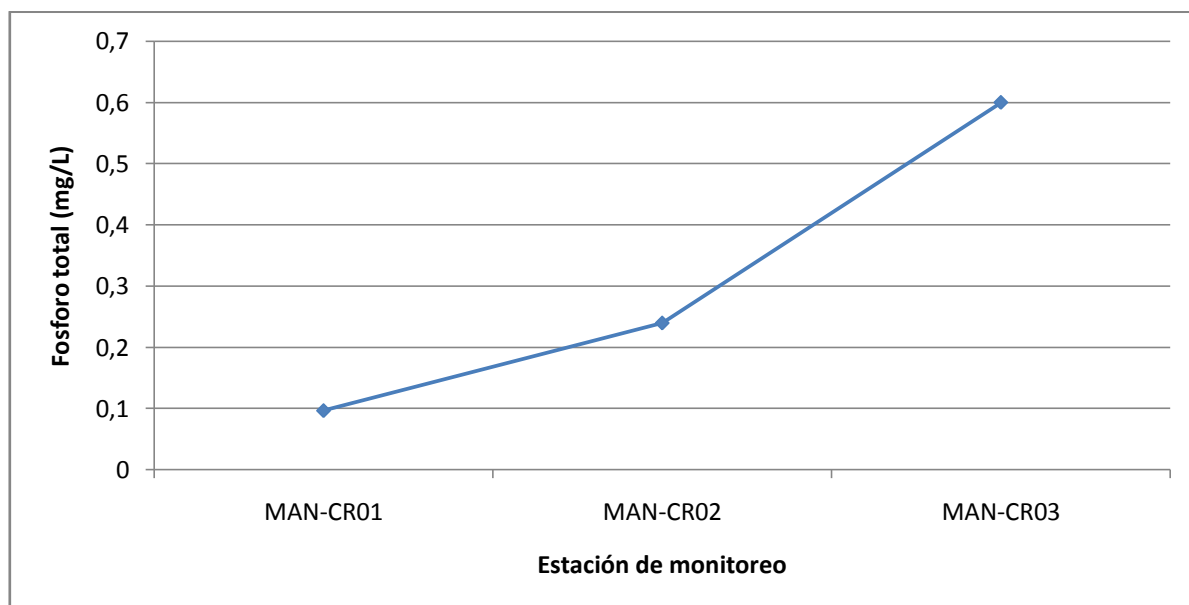
Por otro lado, la gráfica 50 muestra el comportamiento creciente de la concentración de fósforo total en el cuerpo de agua de la quebrada Cristales, la cual se incrementa a medida que recibe las descargas industriales y domésticas de las empresas Súper de Alimentos y Madeal, así como del conjunto residencial Cerros de la Alhambra. En la estación **ECR01**, antes de cualquier vertimiento, se registró una concentración de fósforo total de 0,091 mg/L, siendo incrementada la concentración hasta 0,24 mg/L en la estación **ECR02** debido al primer descole de la empresa Súper de Alimentos y alcanzando una concentración tope de 0,6 mg/L en la estación de monitoreo **ECR03**, una vez se han incorporado la totalidad de los vertimientos.



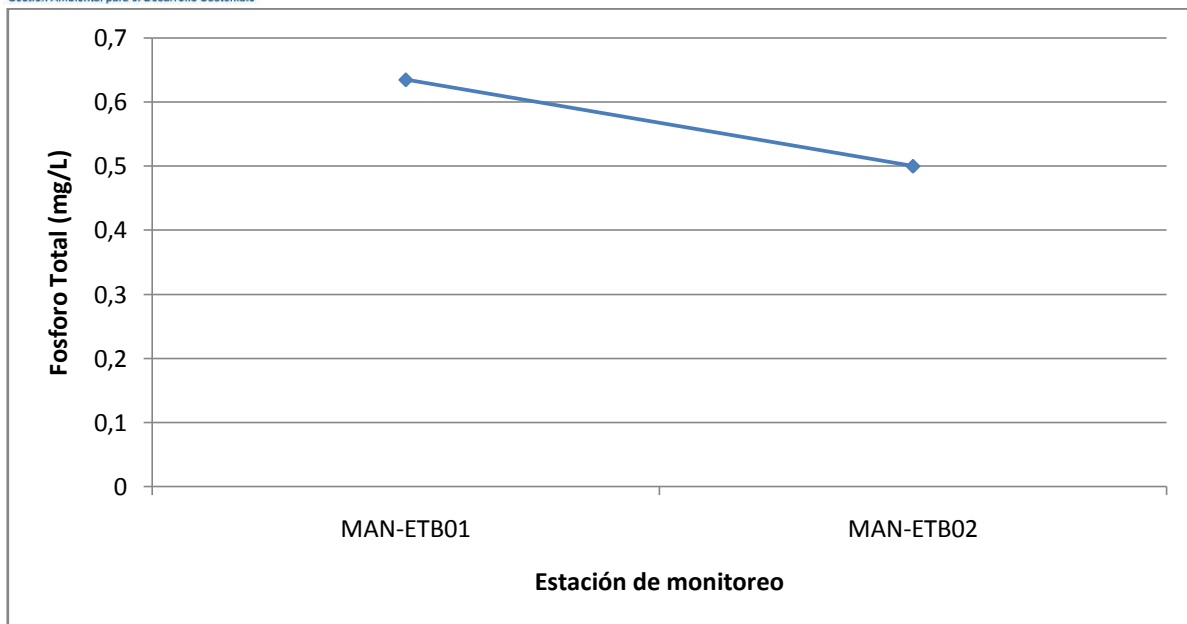
Gráfica 48. Fosforo Total Quebrada Cimitarra.



Gráfica 49. Fosforo Total quebrada Tesorito.



Gráfica 50. Fosforo total Quebrada Cristales.



Gráfica 51. Fosforo total quebrada 2615-002-098-003.

6.3.6.1 NITRATOS Y NITRITOS:

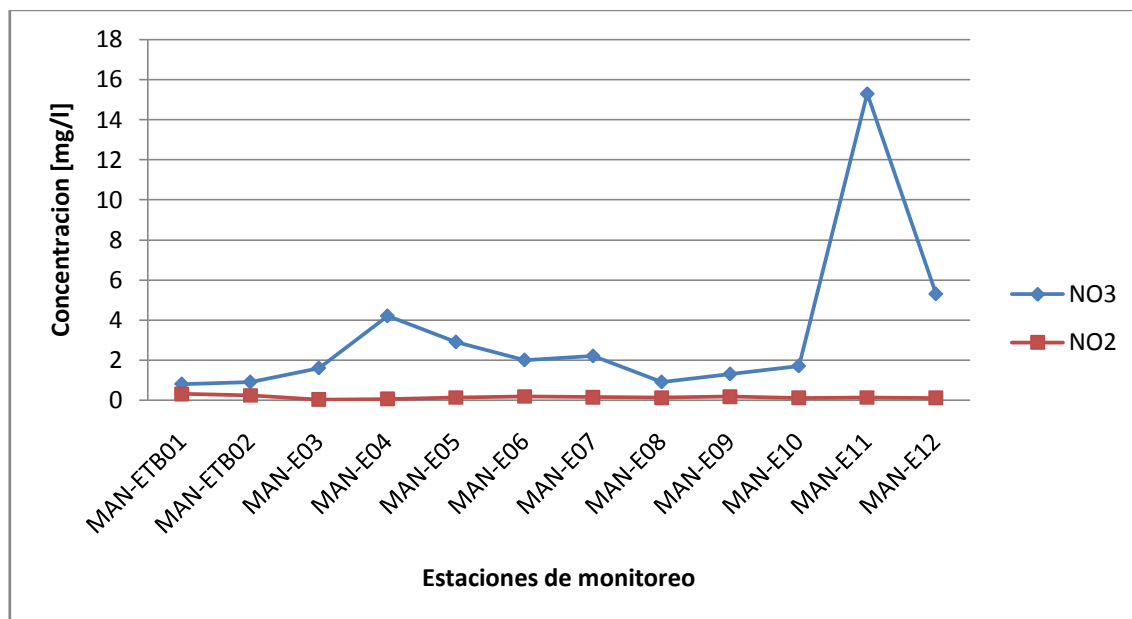
En las gráficas 52 a 56 mostradas a continuación, podemos apreciar el comportamiento de los nitritos y nitratos en cada una de las estaciones, en la microcuenca de la quebrada Manizales, grafica 52, que la concentración presenta dos picos uno en la estación E04 y el otro en la estación E11, debido al arrastre de materia orgánica generado por vertimientos domésticos e industriales (Vertimientos de Toptec y Aguas residuales domesticas). Es de suma importancia resaltar que las concentraciones de nitratos en las microcuencas con alta precipitación y aporte de material orgánico oscilan entre 10 mg/l y 60mg/l, aunque nuestro sistema de estudio presenta una concentración alta en la estación E11 su recuperación es inmediata debido a los procesos de autodepuración de la fuente de estudio. El comportamiento de los nitritos es estable en las diferentes estaciones gracias a las características hidrológicas y biológicas de la microcuenca.

En la quebrada cimitarra y tesorito, graficas 53 y 54, se aprecian comportamientos similares ya que existe una concentración alta al inicio, en el caso de la quebrada cimitarra la concentración alta de 11,5 mg/l en nitratos es debida tanto a procesos naturales como a procesos industriales, acueducto la enea y descarga Descafecol respectivamente, en la quebrada tesorito el valor de 4,4 mg/l se debe a procesos naturales propios del sistema ya que al realizar las descargar del parque industrial juanchito el efecto es de dilución, debido a que la concentración disminuye de manera constante, el parámetro de nitritos presenta un comportamiento estable y concentraciones bajas.

En las gráficas 55 y 56 se observa respectivamente, la variación de las concentraciones de la quebrada cristales y quebrada 2615-002-098-003, en los parámetros de nitratos y nitritos. Los vertimientos industriales generados en la quebrada cristales, por parte de la industria Súper de alimentos, hacen que los nitratos aumenten de manera considerable, a valores de 32 mg/l, pero gracias a bacterias nitrificantes y otros vertimientos se generan proceso de depuración, recuperando rápidamente la fuente condiciones normales, en la quebrada 2615-002-098-003, presenta concentraciones bajas en ambos parámetros, se observa un pequeño cambio que se debe a la descarga generada por Foodex.

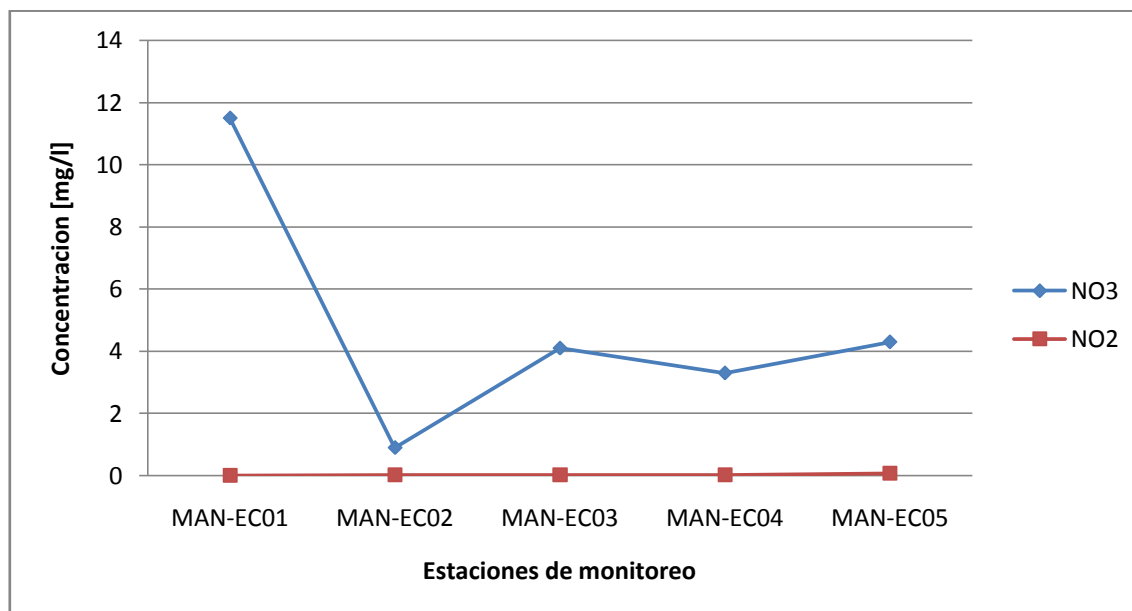
El parámetro de nitritos tiene un comportamiento estable en todas las estaciones la quebrada Manizales y sus tributarios, puede deberse a que la forma de oxidación de los nitratos no es completa y por ende representa mayor concentración dicho parámetro

Quebrada Manzales



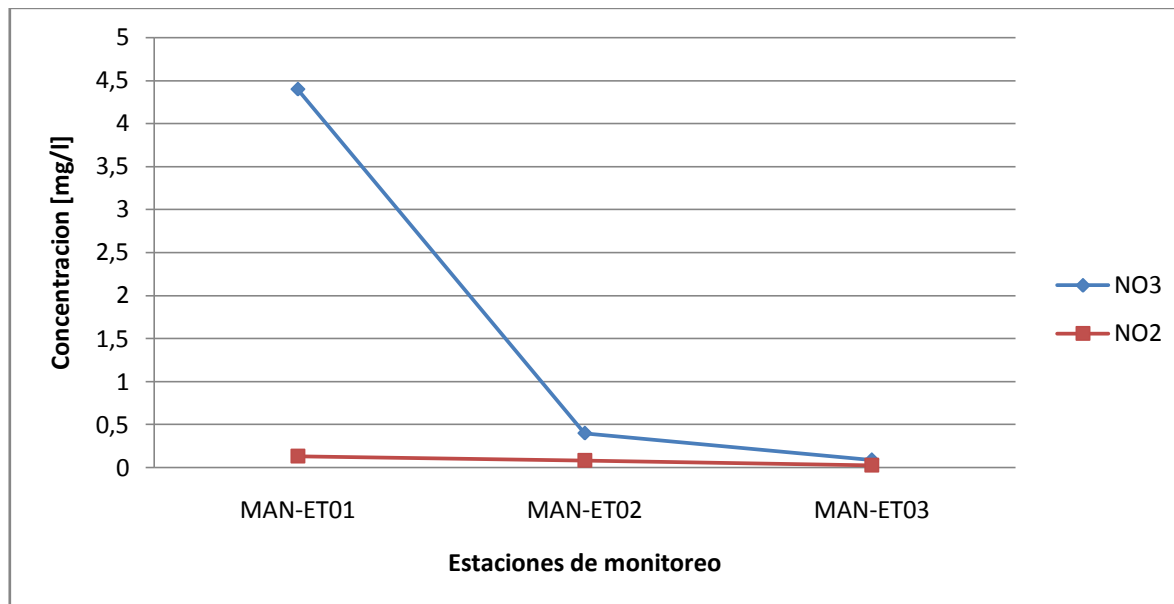
Gráfica 52. Nitratos y nitritos Quebrada Manzales

Quebrada Cimitarra



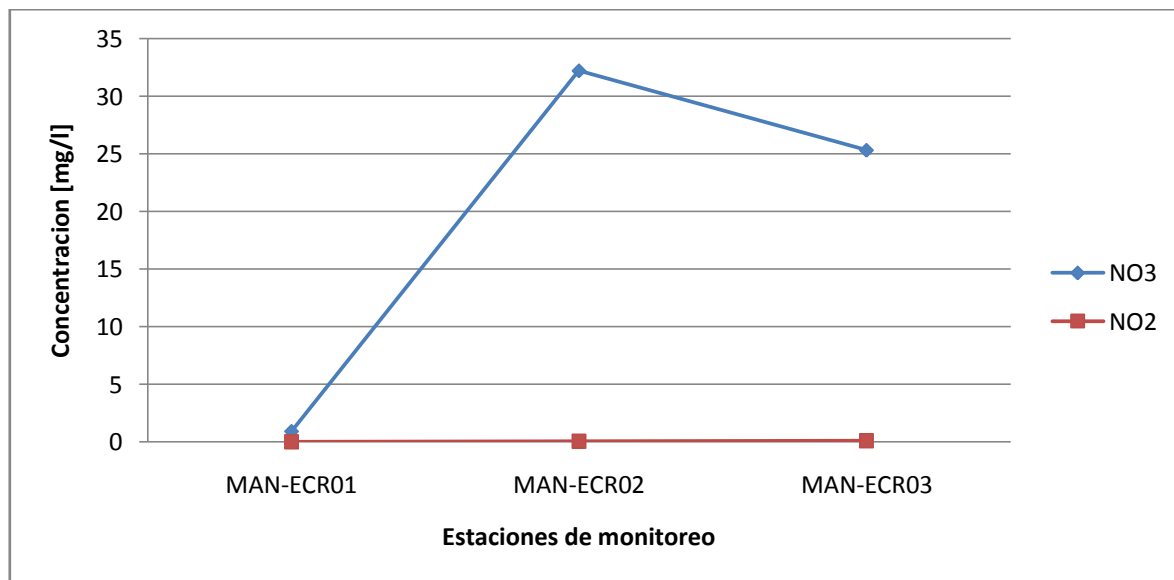
Gráfica 53. Nitritos y Nitratos Quebrada Cimitarra.

Quebrada Tesorito



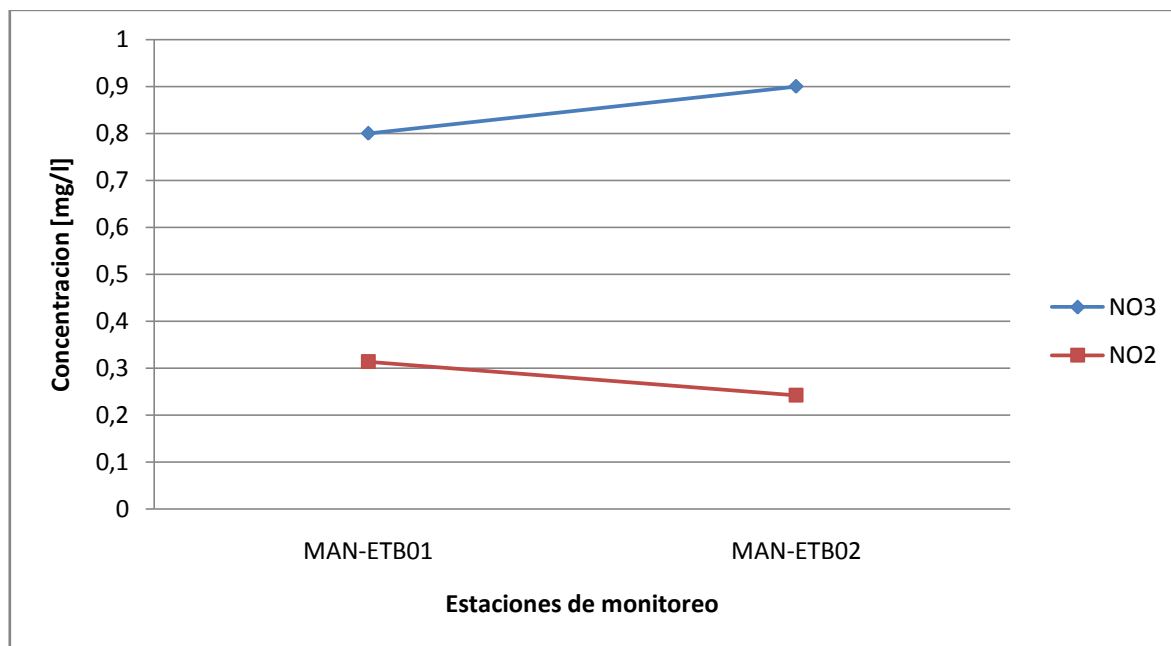
Gráfica 54. Nitritos y Nitratos quebrada Tesorito.

Quebrada Cristales



Gráfica 55. Nitritos y Nitratos Quebrada Cristales.

Quebrada 2615-002-098-003.



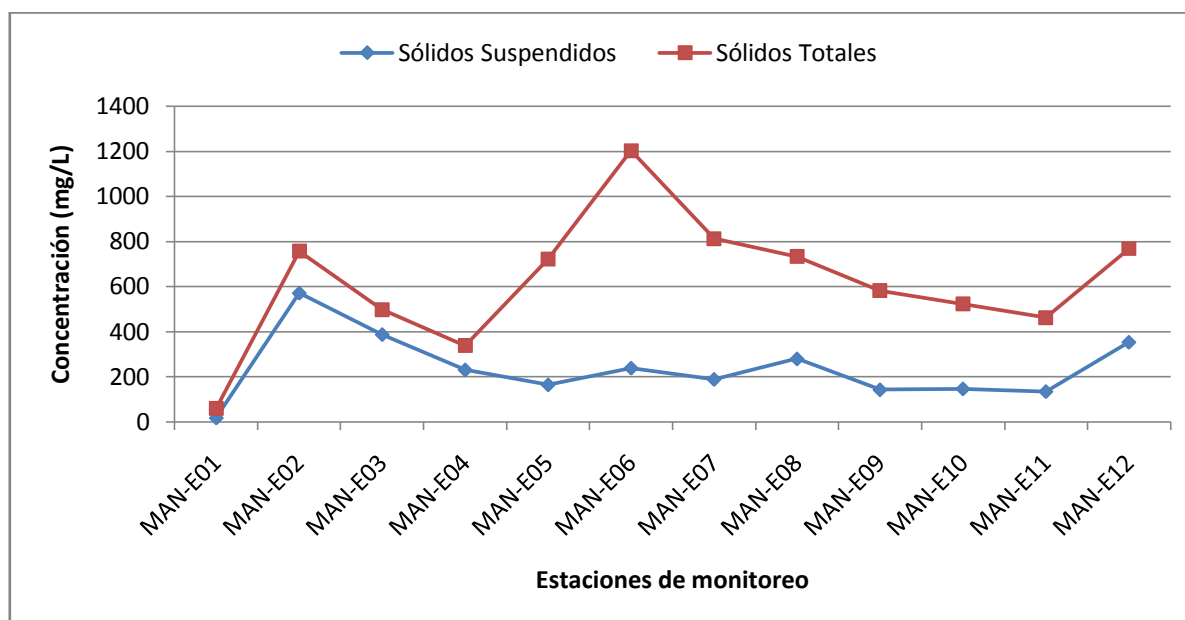
Gráfica 56. Nitritos y Nitratos Quebrada 2615-002-098-003

MATERIAL PARTICULADO Y DISUELTO (SOLIDOS TOTALES, SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES, TURBIEDAD Y COLOR)

6.3.6 Sólidos Totales (STT), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Turbiedad y Color

En esta sección se analizan los resultados obtenidos para los parámetros sólidos totales, sólidos suspendidos totales, turbiedad y color. De las gráfica 57 se puede notar, en términos de concentración de sólidos, que desde la estación de monitoreo **E02** los SST y STT se incrementan desde valores de 17 mg/L y 59 mg/L respectivamente en la estación **E01**, hasta valores de 571mg/L y 758 mg/L en la estación **E02**. Este incremento se da como consecuencia de los aportes de agua con altas concentraciones de estos parámetros que realiza el vertimiento de las minas La Coqueta y La Cascada. La incorporación de residuos de triturado de material rocoso, representados de manera general en concentraciones de SST y

STT, también representan un incremento en los valores medidos para la turbiedad en el agua, la cual guarda relación con la presencia de sólidos en suspensión que dificultan el paso de la luz, y del color, generado por la presencia de sólidos disueltos en el agua



Gráfica 57. Sólidos Suspendidos Vs Sólidos Totales.

Entre las estaciones de monitoreo **E01** y **E04** se evidencia un comportamiento proporcional entre la concentración de sólidos suspendidos y sólidos totales, representando de hecho que la mayoría de sólidos aportados se encuentran en suspensión. Para las estaciones **E05**, **E06** y **E07** se evidencia el incremento pronunciado en la concentración de sólidos totales, pero una estabilidad continúa en la concentración de sólidos suspendidos. Este comportamiento se debe a la incorporación de material soluble, teniendo en cuenta que se presenta este incremento después de la desembocadura de la quebrada Santa Rita y el vertimiento de la empresa Surtipieles. (Uso de carbonatos y bicarbonatos).

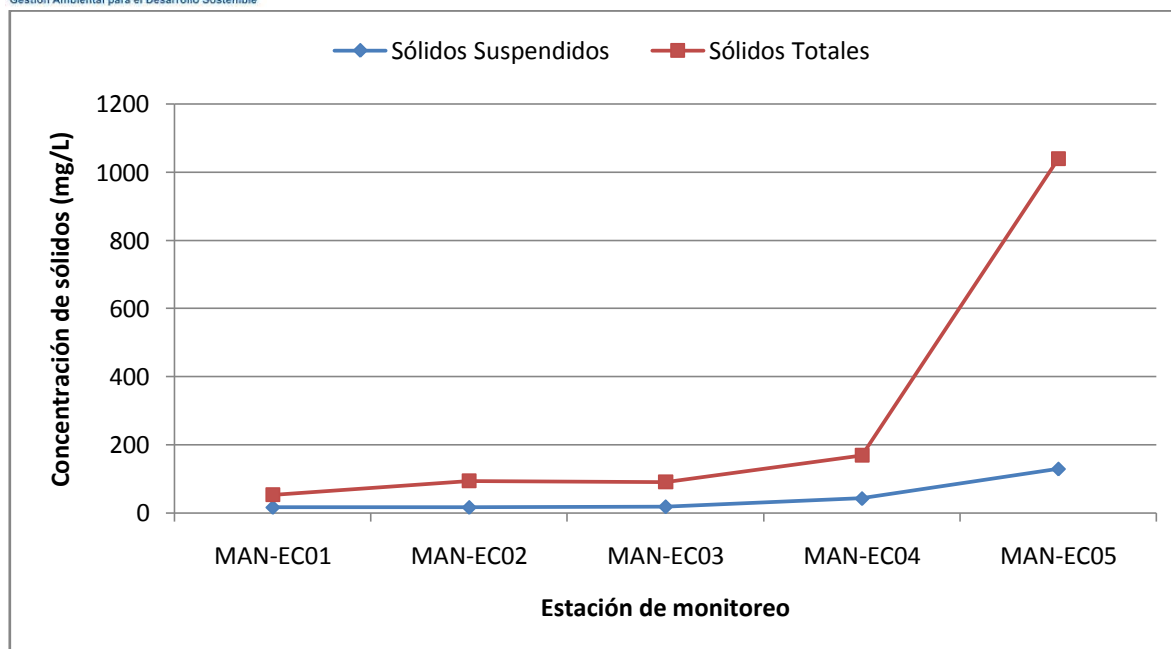
En las gráficas 58, 59, 60 y 61 se muestran el comportamiento de la concentración de sólidos suspendidos y sólidos totales en las quebradas Cimitarra, Tesorito, Cristales y 2615-002-093-003 respectivamente. En la mayoría de las estaciones en cada uno de estos afluentes de la quebrada Manizales se obtuvieron valores de

concentración de sólidos suspendidos que se pueden considerar normales en cuerpos de agua superficial; sólo para las estaciones **EC05** y **ECR01**, las quebradas Cimitarra y Cristales presentaron un valores de sólidos totales de 1040 mg/L y 2081 mg/L, respectivamente.

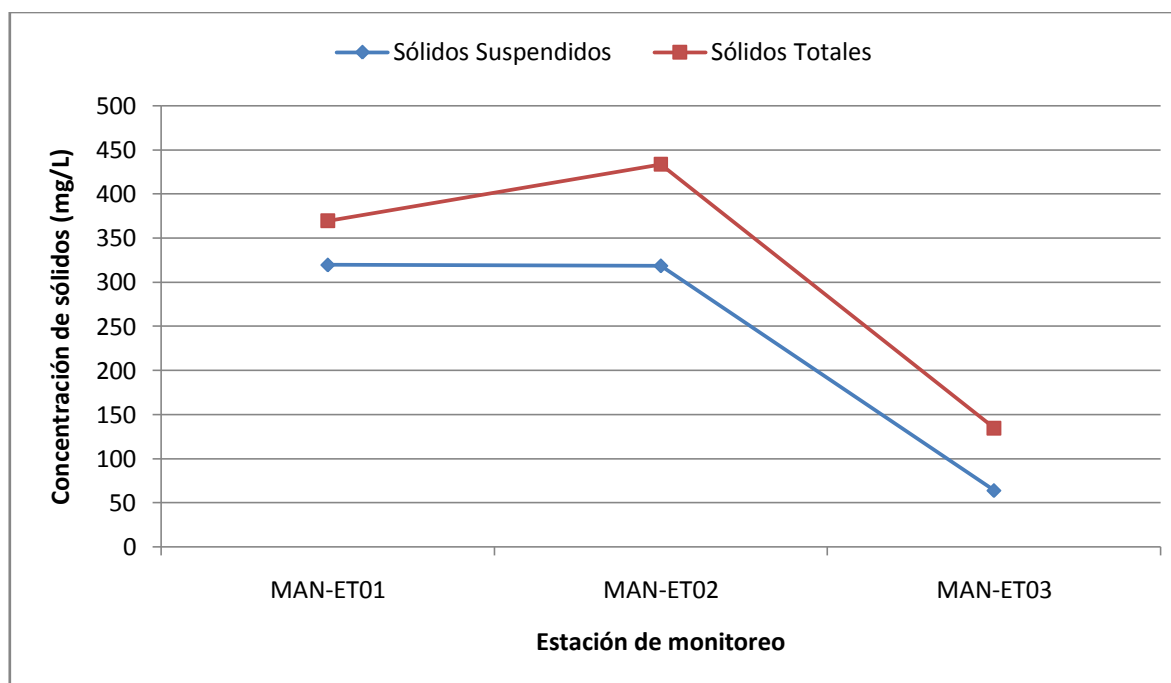
En el caso de la concentración obtenida para la estación **EC05**, sobre la quebrada Cimitarra, el valor elevado se debe a la incorporación de gran cantidad de sólidos provenientes de las aguas residuales vertidas por la empresa Progel, que ocasiona un incremento en la concentración de sólidos totales en la quebrada desde un valor de 170 mg/L en la estación **EC04**, mientras que la concentración de sólidos suspendidos incrementa desde 43 mg/L en esta estación hasta 130 mg/L en la estación **EC05**. De esta manera, se puede inferir que el aporte proveniente de la descarga de la empresa Progel corresponde principalmente a sólidos disueltos en el agua.

Ahora, la concentración de sólidos totales más elevada, obtenida en la estación **ECR01** sobre la quebrada Cristales, no tiene origen en alguna actividad particular que se realice de manera constante sobre el cuerpo de agua, sino que más bien se debe a una situación natural que pudo haberse presentado en el momento de la toma de la muestra y la cual no fue evidenciada. Causa curiosidad el hecho de que mientras la concentración de sólidos totales registró un valor de 2081 mg/L en esta estación, la concentración de sólidos suspendidos fue apenas de 21 mg/L. Aguas abajo, aunque este aspecto puede ser atribuido a los sólidos disueltos de la muestra, relación directa con la conductividad de las muestras.

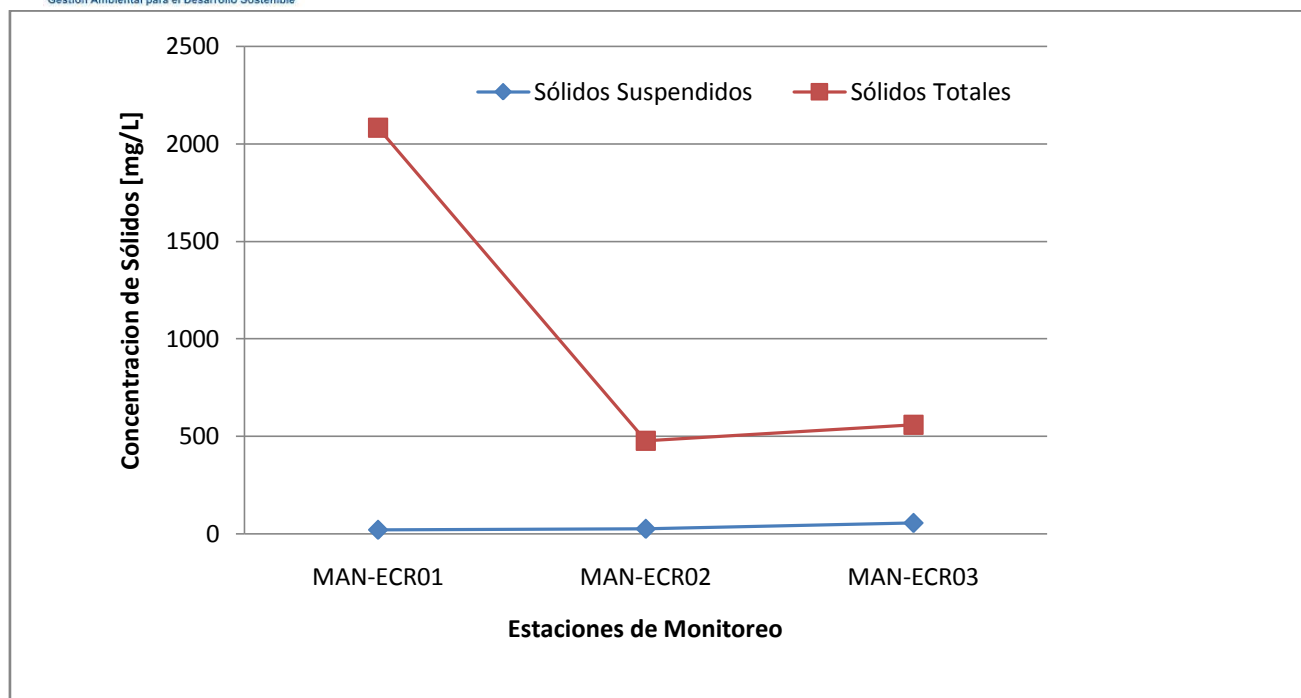
Por otro lado, para las quebradas Tesorito y 2615-002-093-083 se presentan concentraciones con comportamiento decreciente a lo largo del trayecto de cada cuerpo de agua. En la estación **ET01**, sobre la quebrada Tesorito, se presentaron concentraciones de 370 mg/L para los sólidos totales, y 320 mg/L para los sólidos suspendidos, valores que han sido finalmente reducidos a concentraciones de 135 mg/L de sólidos totales y 64 mg/L de sólidos suspendidos en la estación **ET03**, lo que tiene su explicación en los procesos de sedimentación de sólidos que se presenta en corrientes de agua que poseen flujos de agua con poca turbulencia.



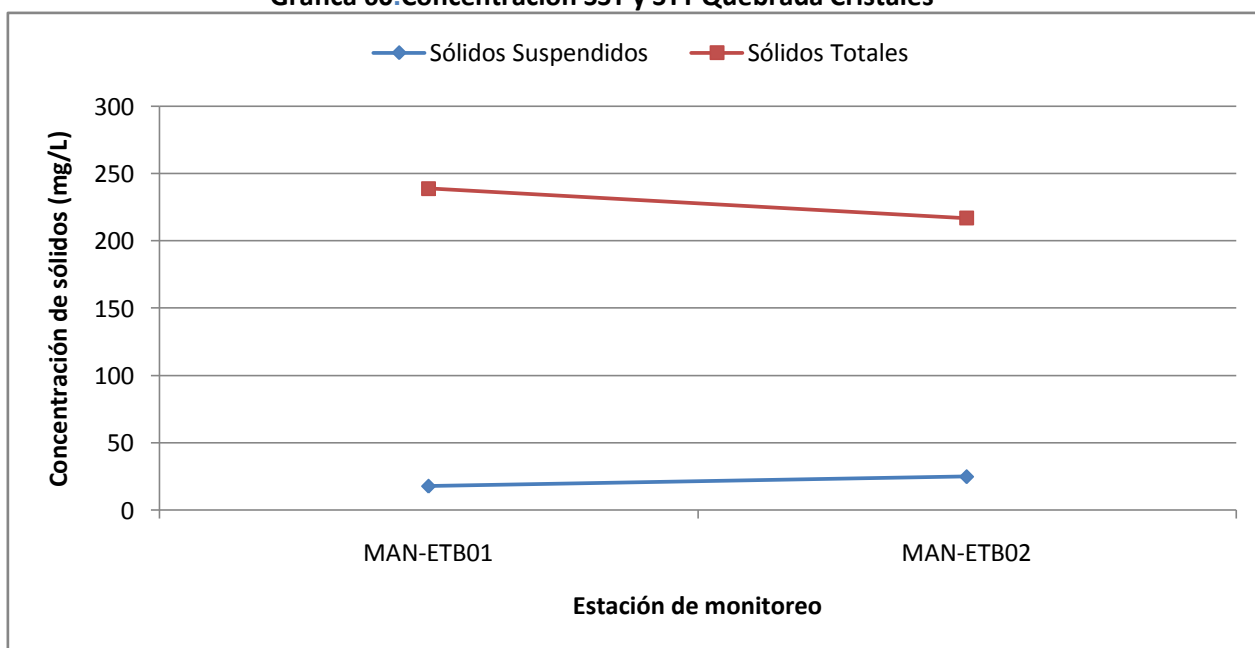
Gráfica 58. Concentración de SST y STT Quebrada Cimitarra.



Gráfica 59. Concentración SST y STT Quebrada Tesorito

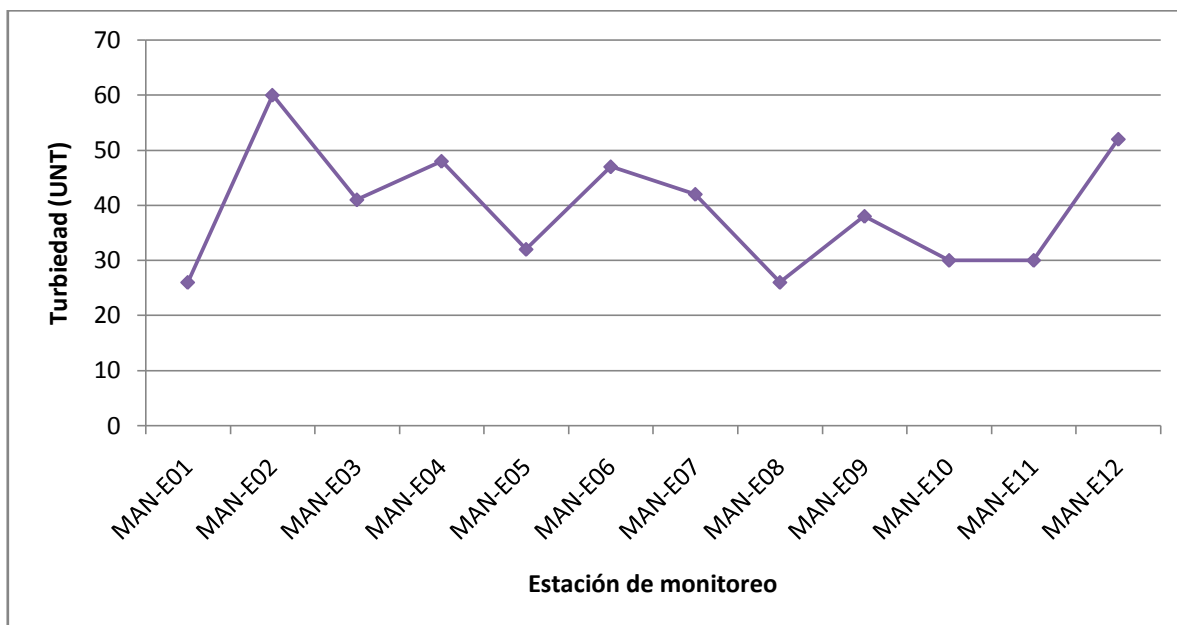


Gráfica 60. Concentración SST y STT Quebrada Cristales

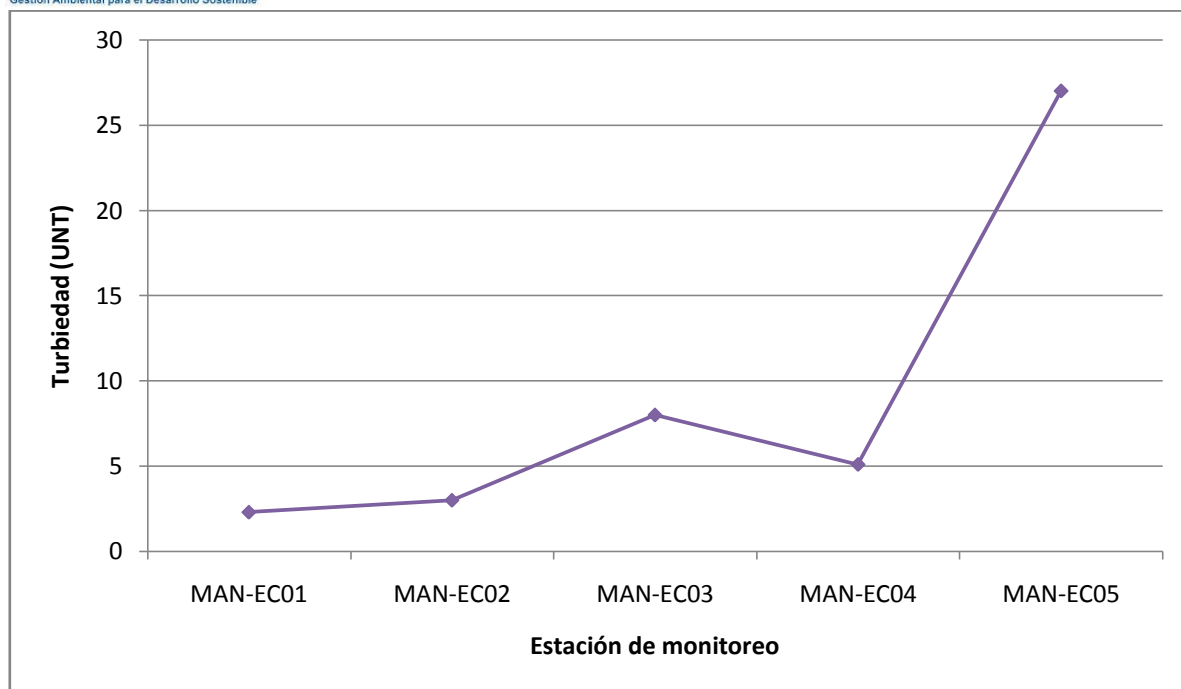


Gráfica 61. Concentración de SST y STT Quebrada 2615-002-093-003.

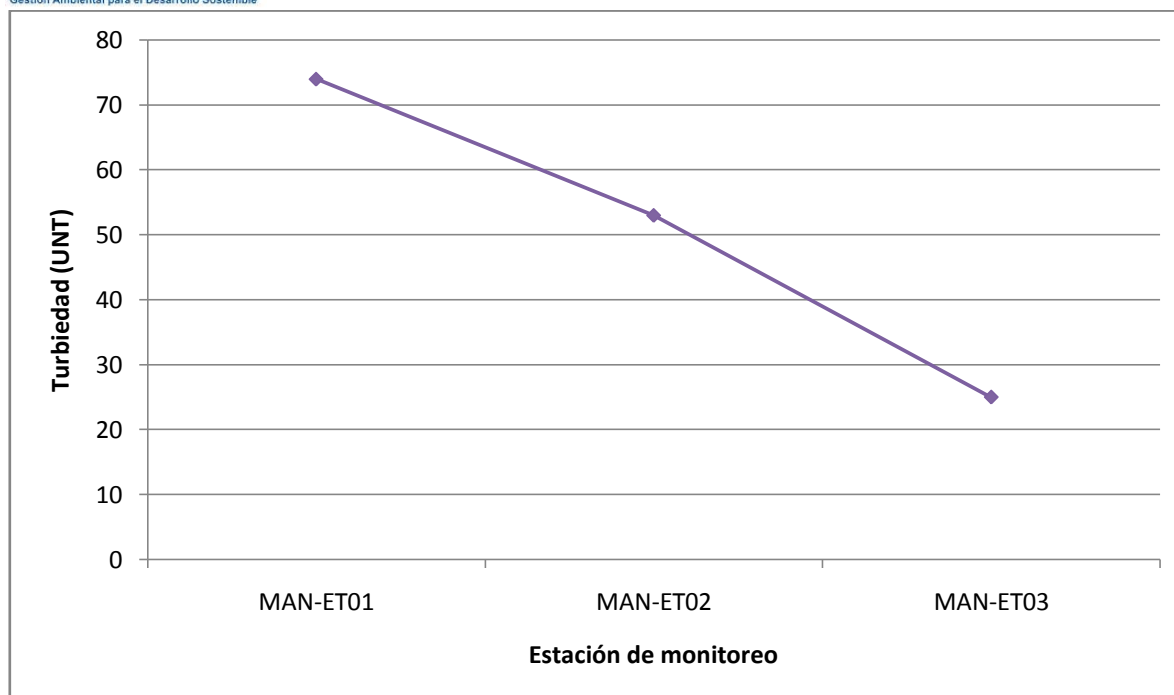
De acuerdo a las gráficas que se muestran a continuación se puede notar la relación existente entre la turbiedad y los sólidos suspendidos, así como a relación entre los sólidos disueltos y el color en un cuerpo de agua. Haciendo la comparación de estas gráficas con la gráfica de SST y STT podemos notar que a medida que aumenta la cantidad de sólidos en suspensión aumenta la turbidez del agua, y de manera semejante, a medida que aumentan los sólidos disueltos en el agua aumenta el color. El valor máximo resultante para la turbiedad (60 UNT) se presentó para la estación **E02**, en concordancia con el valor máximo obtenido para sólidos suspendidos totales en ese mismo punto. Por otro lado, los valores máximo de color se presentaron en las estaciones **E05** y **E06** (248 U Pt-Co y 222 U Pt-Co, respectivamente), al igual que los valores máximos de concentración de sólidos disueltos, resultantes de la diferencia obtenidos de la diferencia entre los STT y los SST.



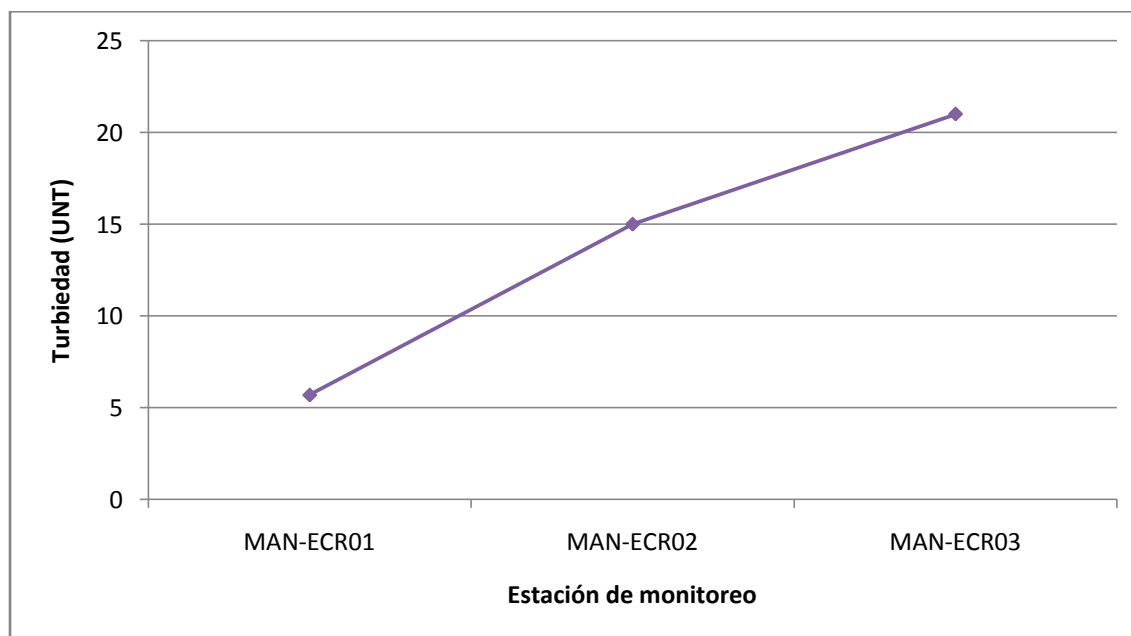
Gráfica 62. Turbiedad Quebrada Manizales.



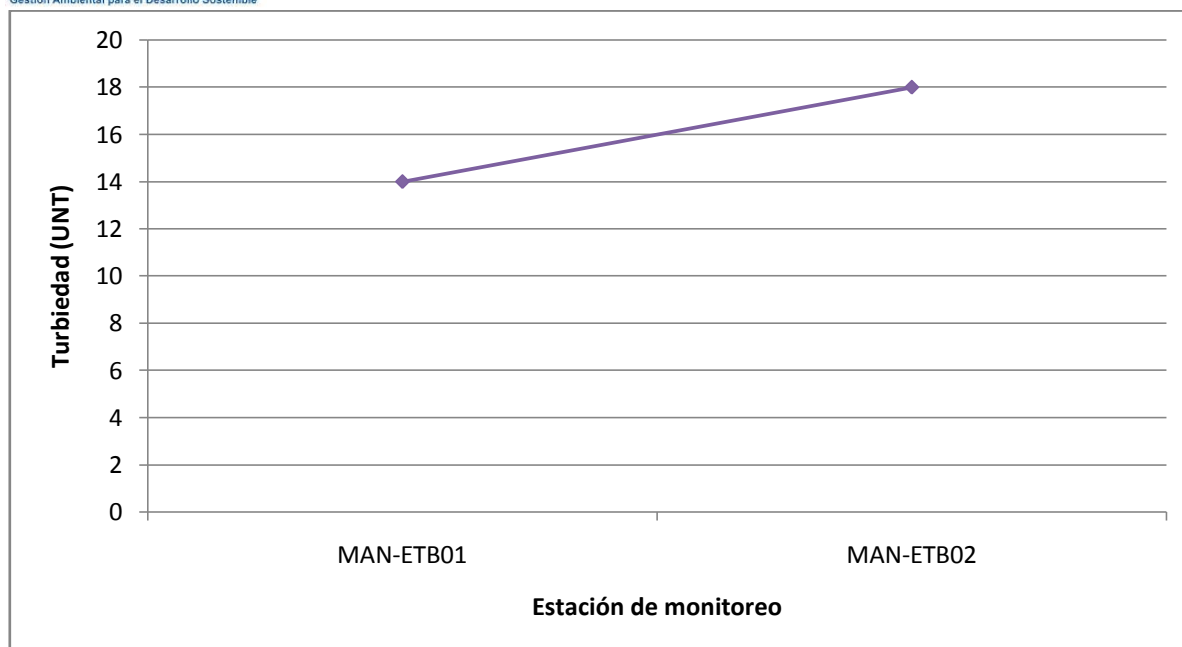
Gráfica 63. Turbiedad Quebrada Cimitarra.



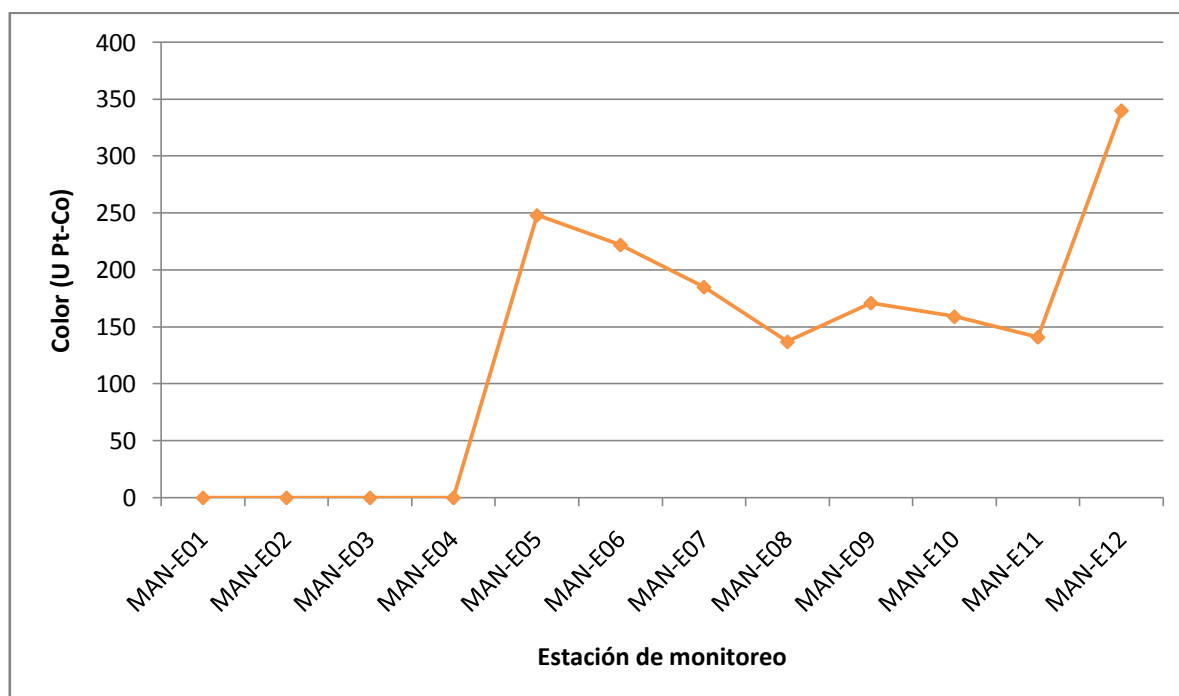
Gráfica 64. Turbiedad Quebrada Tesorito



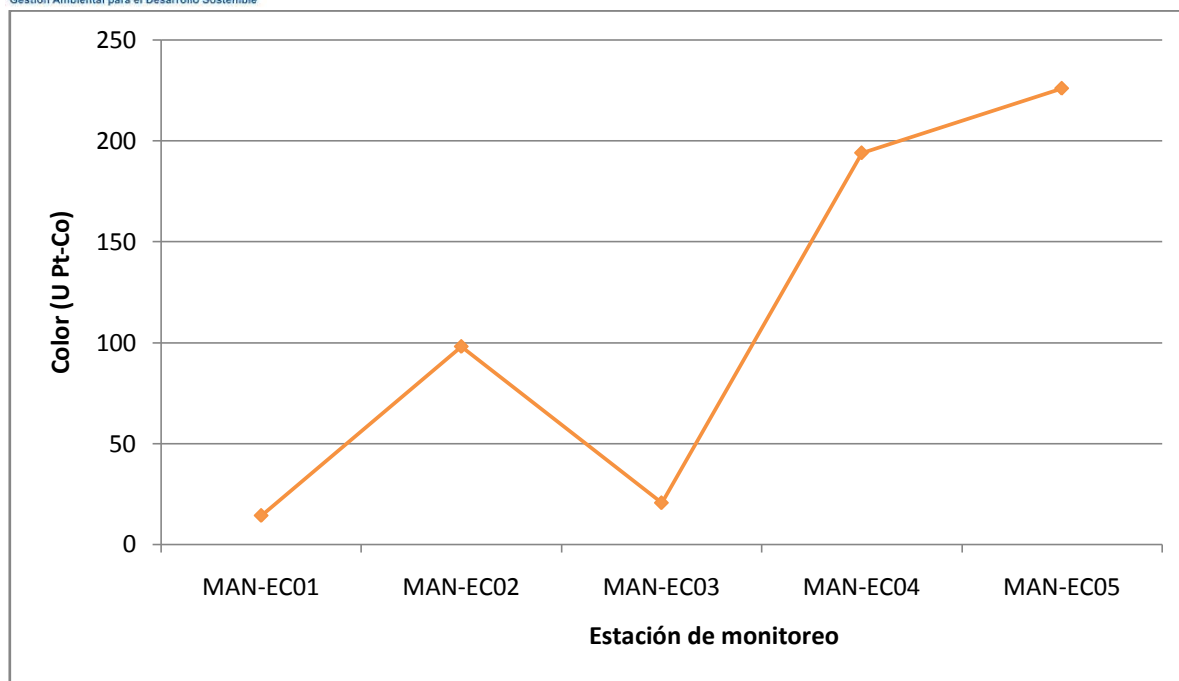
Gráfica 65. Turbiedad Quebrada Cristales.



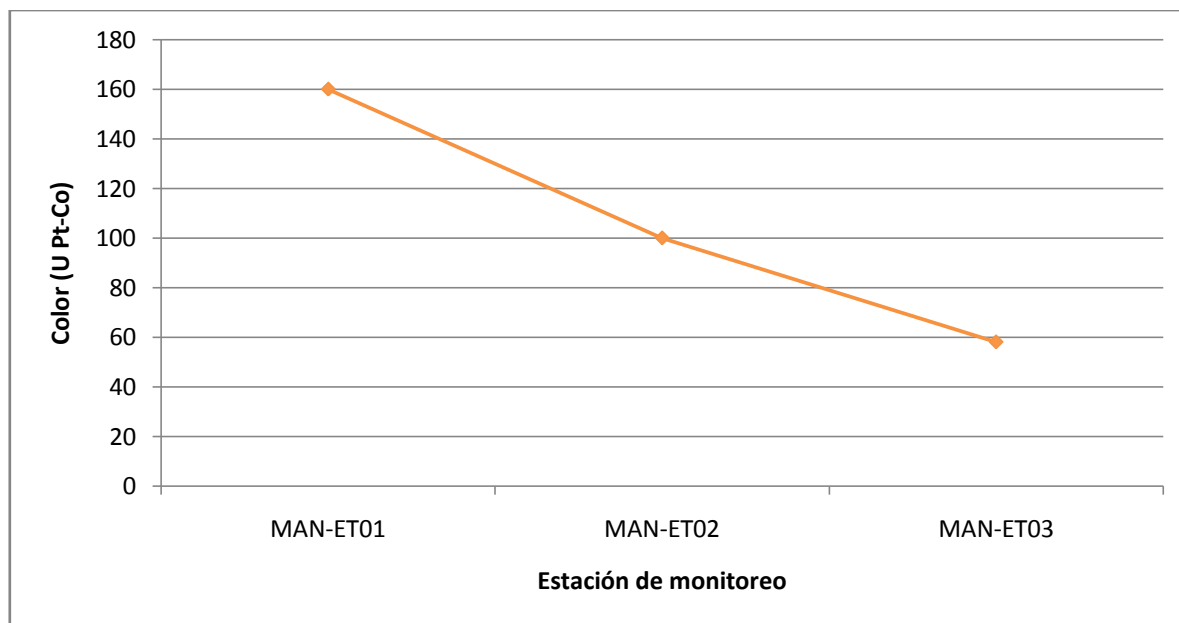
Gráfica 66. Turbiedad Quebrada 2615-002-093-003.



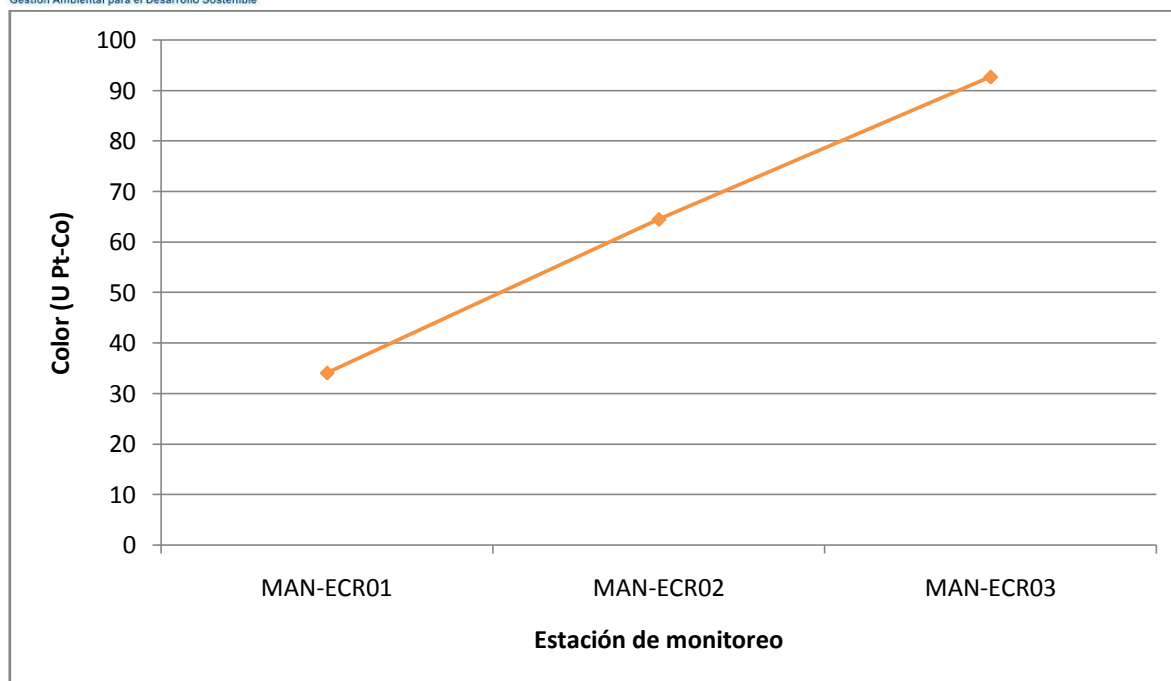
Gráfica 67. Color Quebrada Manizales.



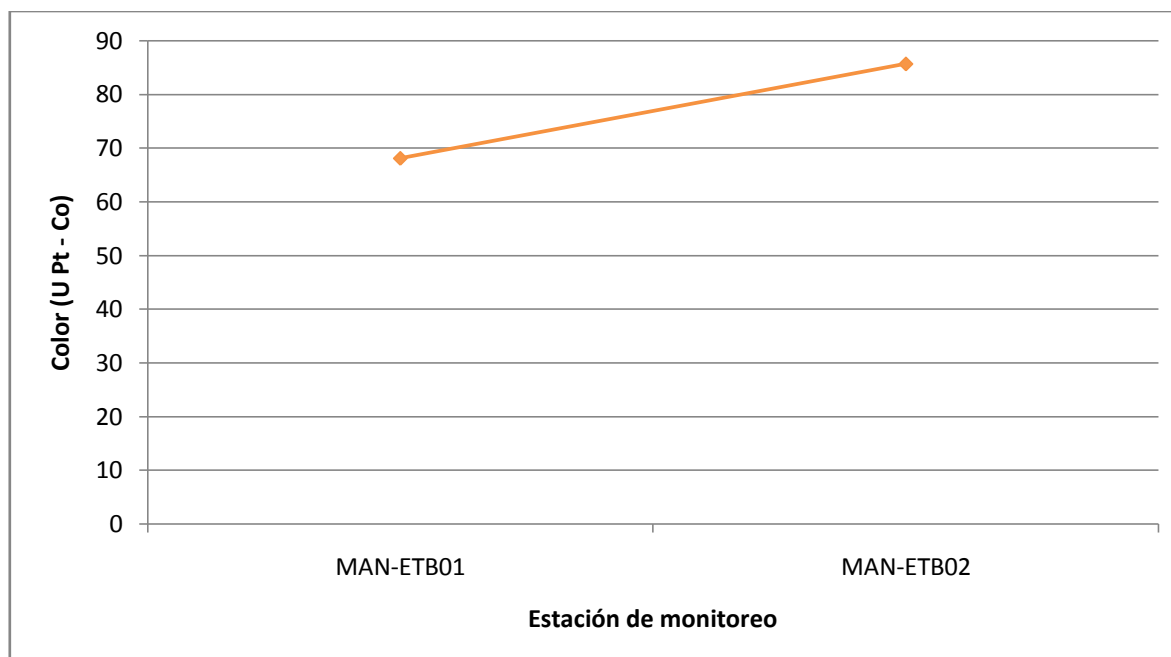
Gráfica 68. Color Quebrada Cimitarra.



Gráfica 69. Color Quebrada Tesorito.



Gráfica 70. Color Quebrada Cristales.



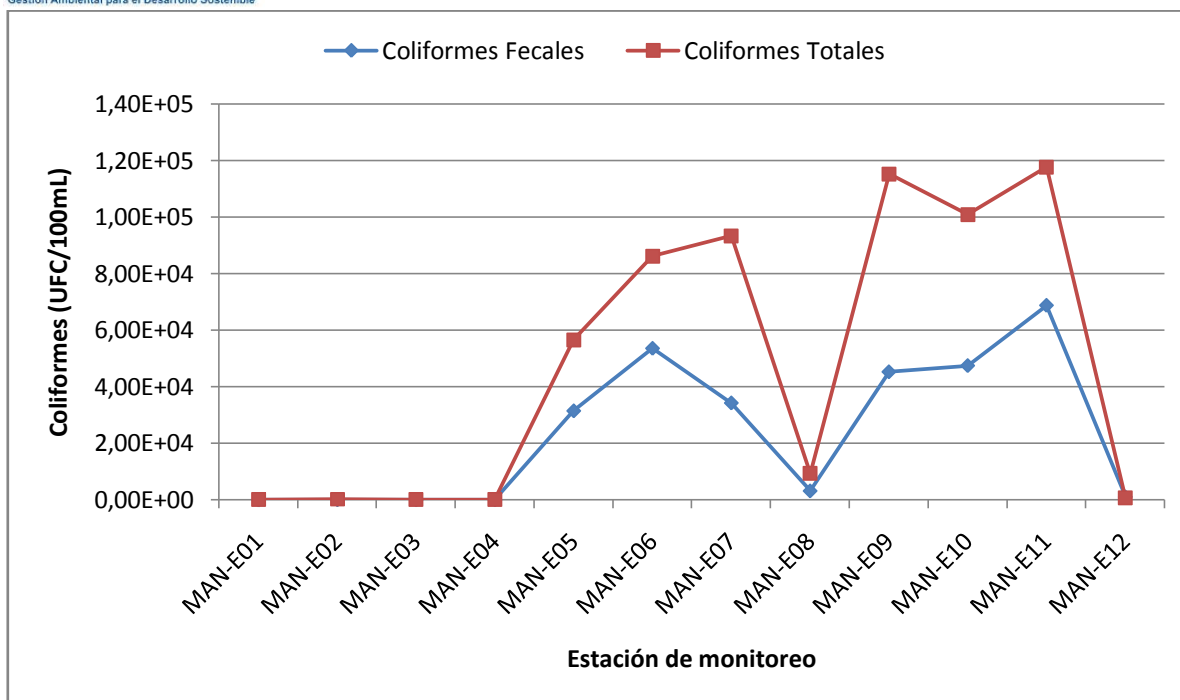
Gráfica 71. Color Quebrada 2615-002-093-003.

PATOGENOS (COLIFORMES TOTALES Y COLIFORMES FECALES)

8.3.8 Coliformes Totales y Coliformes Fecales

La gráfica 72 caracteriza el comportamiento de los parámetros Coliformes totales y fecales a lo largo de la quebrada Manizales. Los valores mínimos obtenidos en las estaciones **E01**, **E02**, **E03** y **E04** (2 UFC/100mL, 67UFC/100mL, 43UFC/100mL y 57UFC/100mL, respectivamente) indican el aporte nulo de aguas residuales domésticas en la parte alta de la microcuenca.

Una vez el cauce de la quebrada Manizales ingresa al perímetro urbano e industrial estos valores incrementan notoriamente, logrando su máximo en la estación **E11**, con un resultado de $68,8 \cdot 10^3$ UFC/100mL para Coliformes fecales y $117,8 \cdot 10^3$ UFC/100mL para Coliformes totales. Este incremento se debe a las contribuciones de aguas residuales domésticas que se empiezan a efectuar de manera constante y regular a partir de la estación **E05**, provenientes de industrias y viviendas que se ubican en cercanías de la quebrada Manizales a lo largo de su trayecto, hasta su desembocadura en el río Chinchiná.



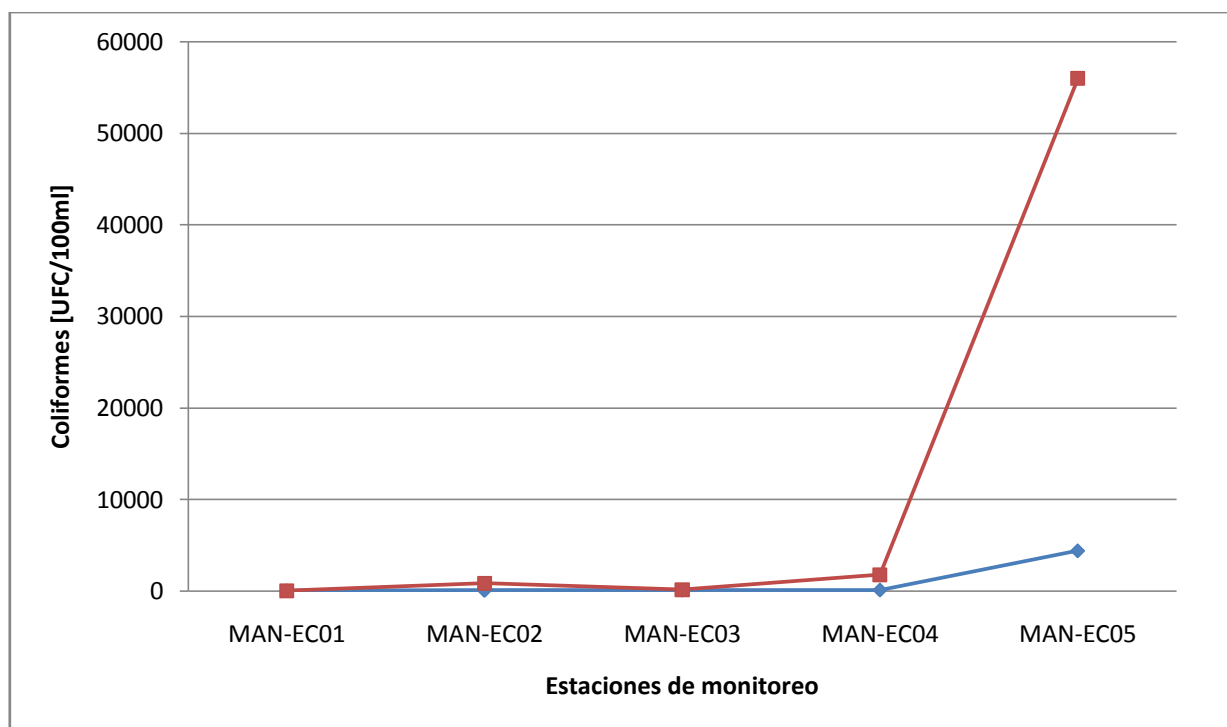
Gráfica 72. Coliformes Totales y Fecales Quebrada Manizales.

Los resultados obtenidos para las estaciones **E08** y **E12** se consideran atípicos, toda vez que no son representativos del comportamiento histórico de la quebrada Manizales en estos puntos, razón por la cual se presume, que para dicho caso, la presencia de alguna sustancia química, referente algún vertimiento que afecte las condiciones de la fuente superficial a tal punto de que los microorganismos se redujeran

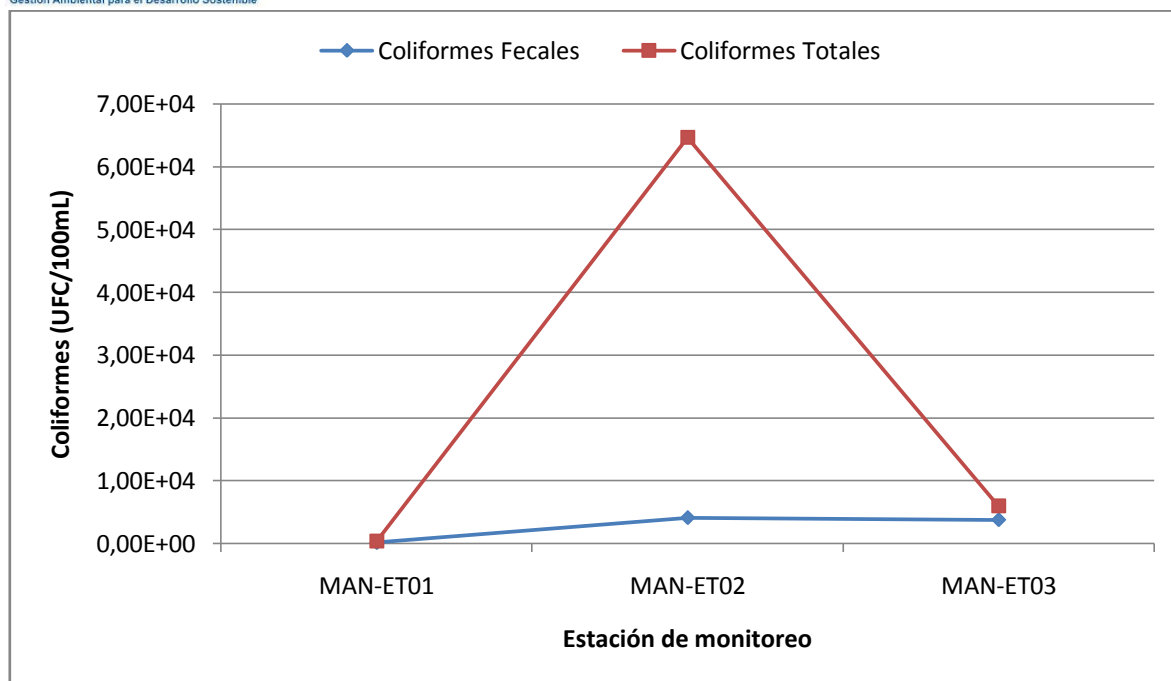
En las gráficas 73 a 76 se muestra el comportamiento de los parámetros Coliformes fecales y totales en las quebradas Cimitarra, Tesorito, Cristales y 2615-002-093-003, respectivamente. En las estaciones EC05 y **ET02** quebrada cimitarra y Tesorito, respectivamente, se presentan unos picos de concentración de Coliformes totales sin serlo así para las Coliformes fecales, esto puede se atribuye a la presencia de material industrial procedente de la PTAR de Progel en el caso de la estación EC05. En la estación **ET02** se registró un valor para Coliformes totales de $64,7 \cdot 10^3$ UFC/100mL, mientras que la concentración de Coliformes fecales fue de $4,1 \cdot 10^3$ UFC/100mL; siendo esto un aporte importante realizado por

la aguas del Parque Industrial Juanchito, ya que como es sabido, las aguas industriales deben de presentar carga contaminante baja o nula de Coliformes fecales, aunque exista una concentración de Coliformes totales. Un aspecto relevante es la presencia de un gran número de animales, principalmente buitres negros que permanecen a orillas de la quebrada Tesorito y que por medio de sus excretas aportan coliformes totales y fecales a la corriente de agua superficial.

En términos generales, los picos de coliformes totales y fecales se deben a la incorporación de residuos orgánicos provenientes de actividades domésticas, principalmente lo que concierne a alimentos en descomposición y residuos sanitarios.

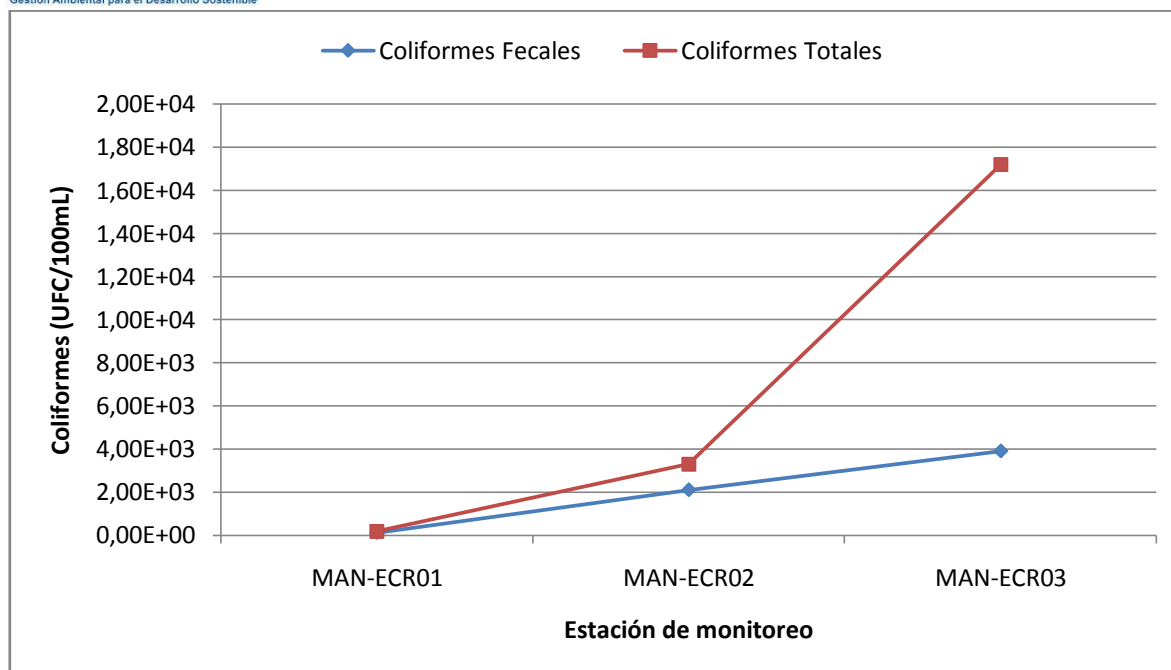


Gráfica 73. Coliformes Totales y Fecales Quebrada Cimitarra.

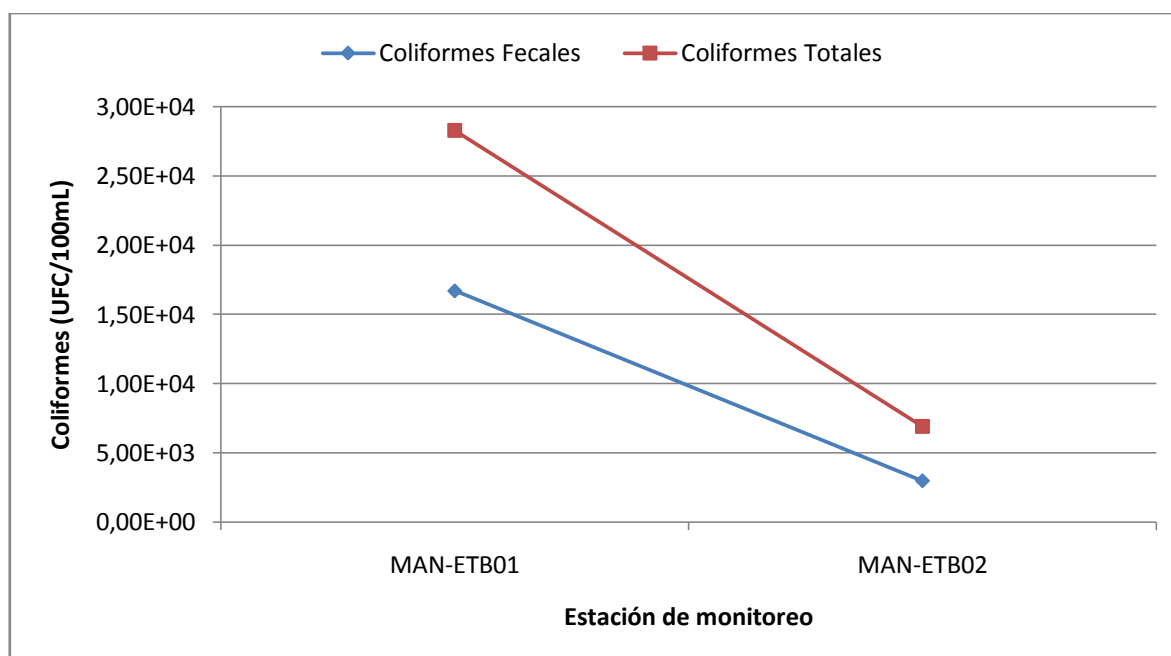


Gráfica 74. Coliformes Totales y Fecales Quebrada Tesorito.

En la gráfica 75 se muestra el comportamiento de los Coliformes en las diferentes estaciones, es de suma importancia entender el aumento paulatino a través de las estaciones ECR02 y ECR03 las cuales se deben a la presencia de vertimientos de cerros de la alhambra y el viaducto dañado. (Aguas Residuales Domesticas e Industriales)



Gráfica 75. Coliformes Totales y Fecales Quebrada Cristales.



Gráfica 76. Coliformes Totales y Fecales Quebrada 2615-002-093-003.

ANIONES (CLORUROS, SULFATOS)

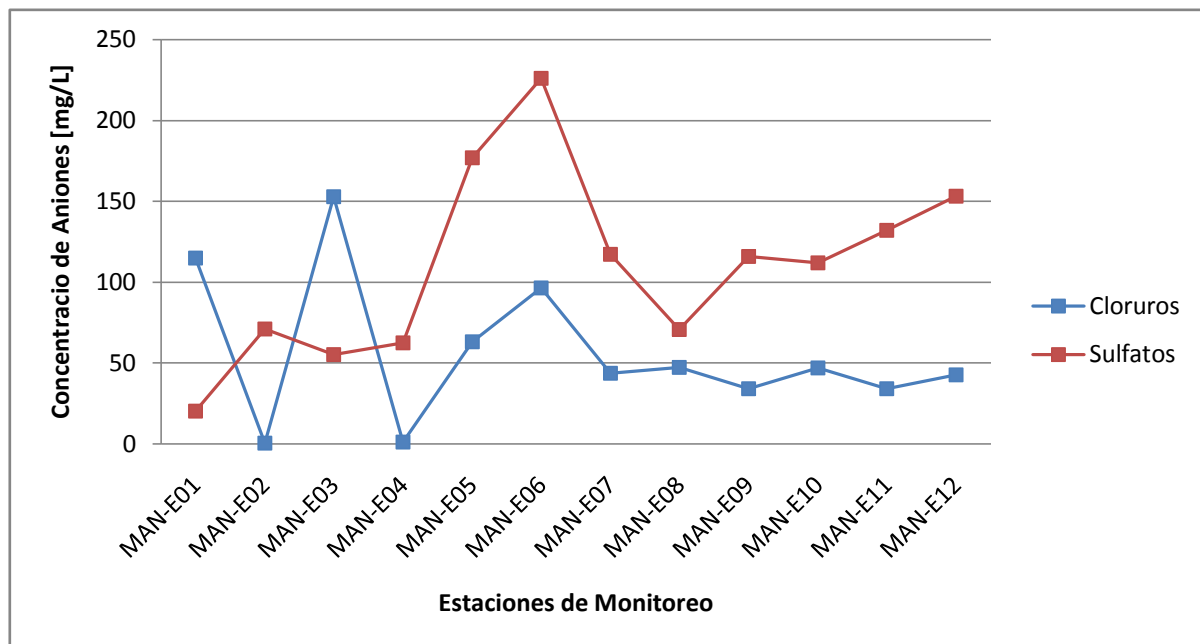
El comportamiento de los Cloruros a lo largo de las quebradas Manizales, Cimitarra, Tesorito, 2615-002-098-003 y Cristales durante la jornada de monitoreo se pueden apreciar en las gráficas 77 a 81. Como podemos apreciar en la quebrada Manizales, gráfica 77, en las primeras estaciones se alcanzan concentraciones de cloruro y sulfatos debido especialmente a los procesos de explotación de oro en la mina coqueta y la cascada, además de los posibles aportes de la quebrada Elvira en procesos de escorrentía.

Las altas concentraciones de aniones en el transcurso de la quebrada Manizales se ven entre las estaciones MAN-E04 a MAN-E08, debido a los aportes de la quebrada cimitarra, quebrada tesorito y del parque industrial Malteria, ya que presentan tributarios industriales en los cuales existen grandes concentraciones de dichos elementos por sus procesos productivos.

En la gráfica 78, el comportamiento de la quebrada cimitarra es baja en las primeras estaciones y se presenta un aumento prolongado entre las estaciones MAN-EC04 y MAN-ECO5, ya que sobre esta se vierten elementos como residuos de caldera y de PTAR de Progel, ricos en dichos elementos que aumentan tanto la conductividad como los sólidos disueltos del medio de estudio. En la gráfica 79 las concentraciones de los iones en la quebrada tesorito se debe a la gran influencia de los aportes industriales del parque industrial Juanchito ya que los residuos industriales y domésticos son ricos en dichos iones.

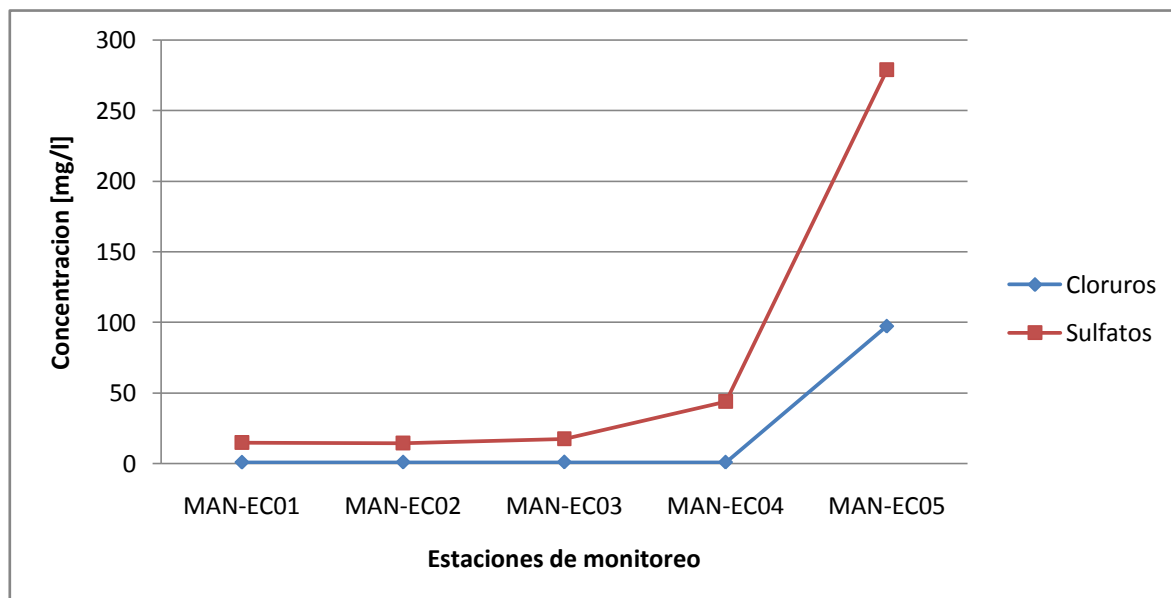
En las gráficas 80 y 81 donde se muestran los comportamientos de la quebrada cristales y 2615-002-098-003, se deben a los aportes de aguas industriales de la Súper de Alimentos y de diferentes aguas residuales, además de la quebrada 2615-002-098-003, sus diferentes valores de los iones son gracias a los aportes de aguas residuales de la empresa Descafecol, que presenta elementos de alto peso molecular que influyen en las características del agua superficial de estudio.

QUEBRADA MANIZALES



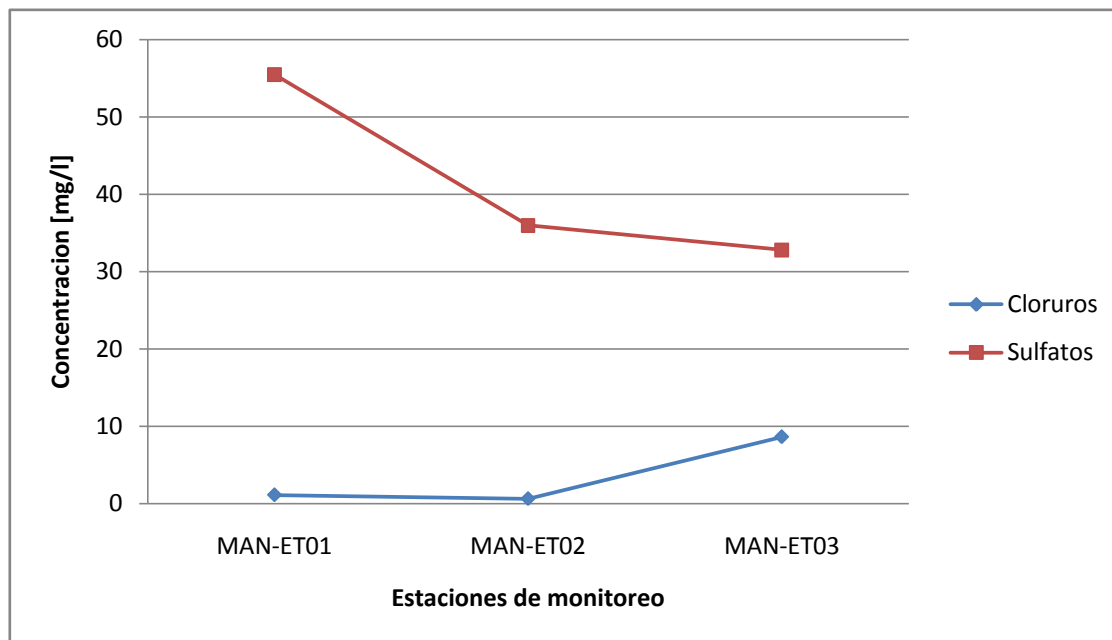
Gráfica 77. Comportamiento de los cloruros y sulfatos en la Quebrada Manizales.

QUEBRADA CIMITARRA



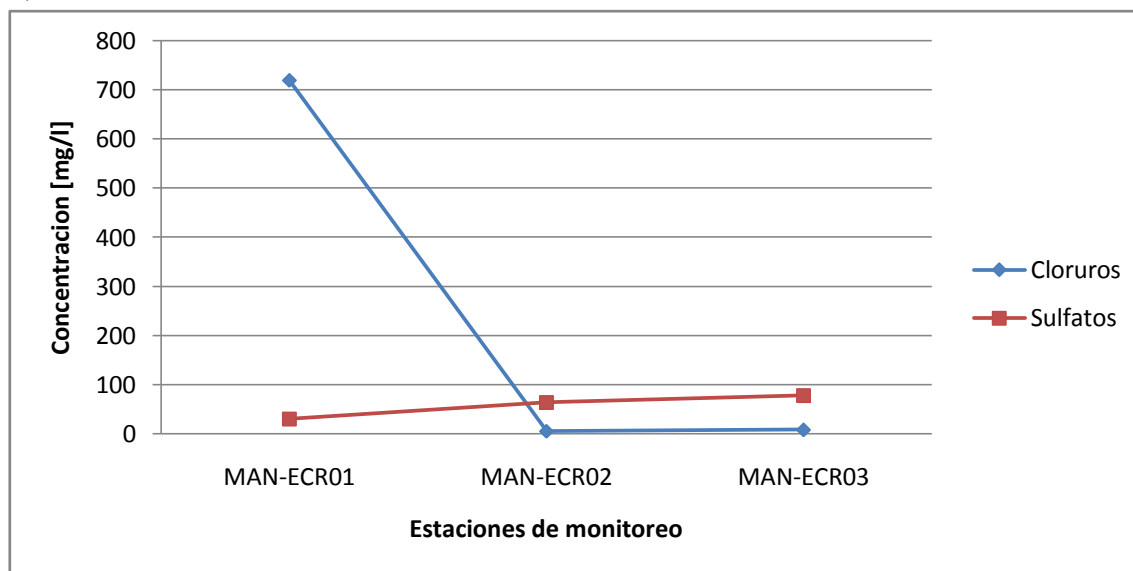
Gráfica 78. Comportamiento de los cloruros y sulfatos en la Quebrada Cimitarra

QUEBRADA TESORITO



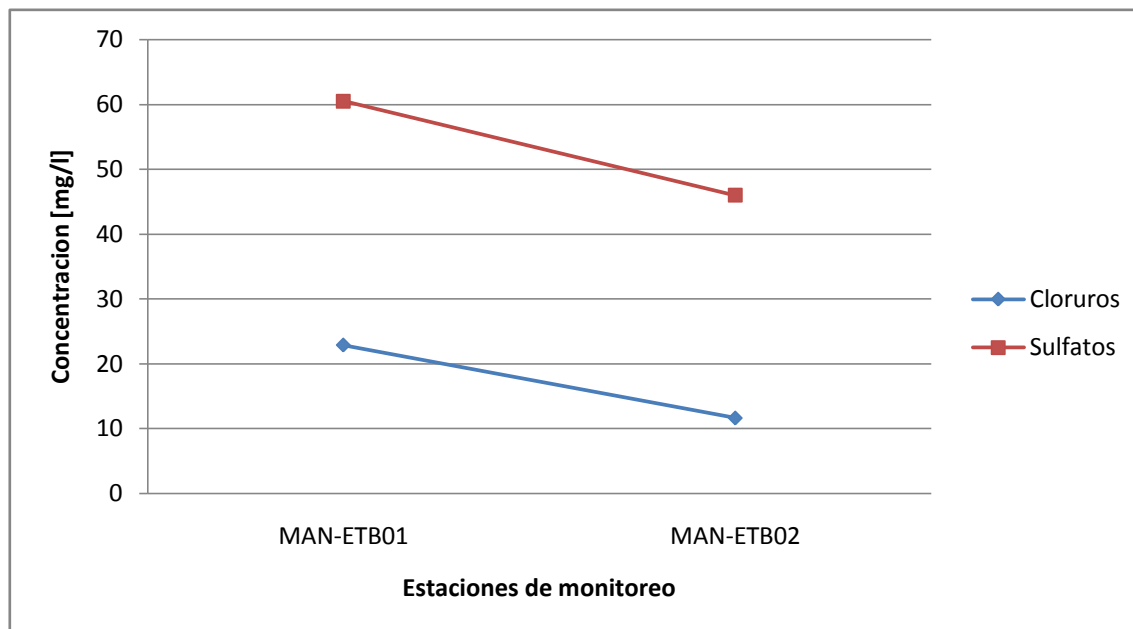
Gráfica 79.Comportamiento de los cloruros y sulfatos en la Quebrada Tesorito

QUEBRADA CRISTALES



Gráfica 80.Comportamiento de los cloruros y sulfatos en la Quebrada Cristales.

QUEBRADA 2615-002-098-003.



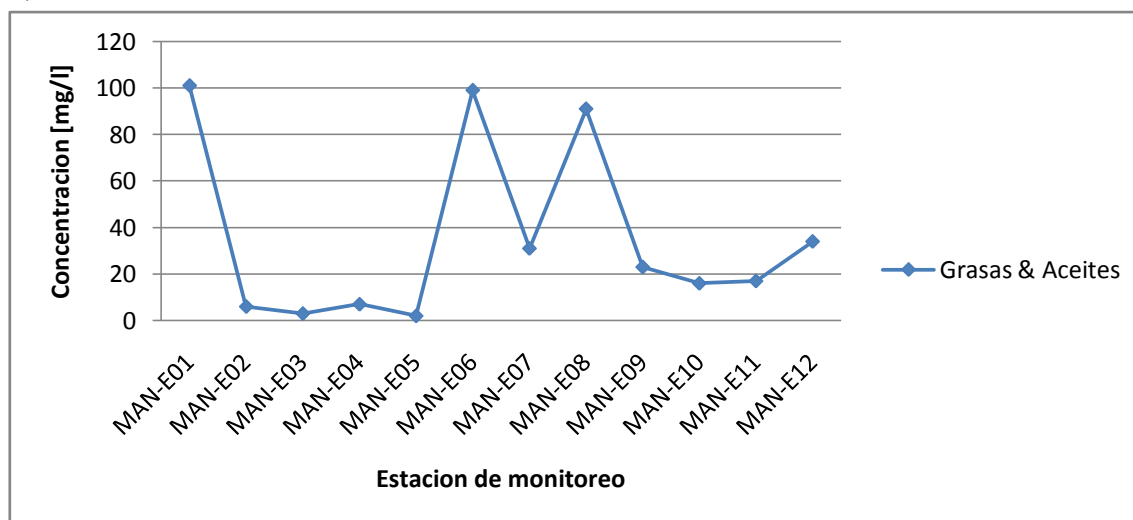
Gráfica 81. Comportamiento de los cloruros y sulfatos en la Quebrada 2615-002-098-003.

GRASAS Y ACEITES

El comportamiento de las grasas y aceites de la quebrada Manizales en la gráfica 82, al inicio presentan un comportamiento anormal ya que alcanzan altas concentraciones lo cual es un evento poco frecuente en los nacimientos de los ríos de montaña claro está que se deben a eventos naturales del medio, en las estaciones MAN-E05 a MAN-09, los valores de dicha variable son debido a aportes industriales y de la quebrada santa Rita y tesoro sobre la cual vierten diferentes elementos industriales que afectan dicho sistema, al final trata de recuperar debido a los procesos de autodepuración de la misma fuente. En la gráfica 82, se aprecia el comportamiento de la quebrada cimitarra, en donde en la primera estación existe un pico debido posiblemente a procesos naturales ya que es un blanco del sistema de estudio, su paulatino aumento se debe a la PTAR de la industria Progel. En la quebrada tesoro uno de los grandes contribuyentes es el parque industrial Juanchito que recoge todas las aguas de dicha zona, que solo afectan el inicio de la quebrada.

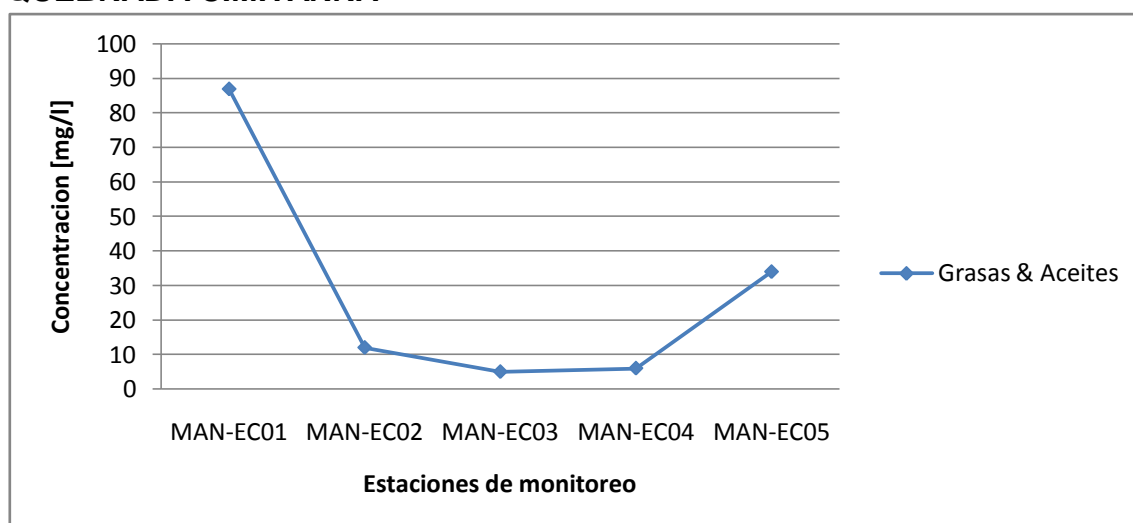
La quebrada cristales muestra el efecto de las aguas residuales e industriales de súper de alimentos y aguas residuales de la zona de estudio, caso similar se extiende a la quebrada 2615-002-098-003 la cual sufre los efectos de la industria Descafecol, que debido a los diferentes solventes utilizados en los procesos de extracción del café.

QUEBRADA MANIZALES



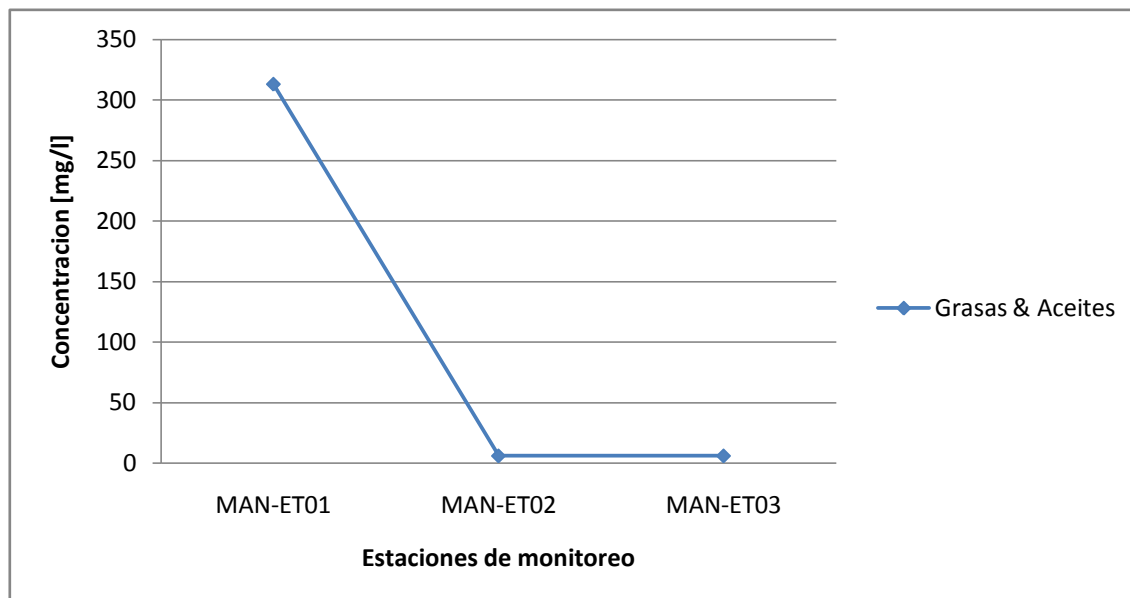
Gráfica 82. Comportamiento de los cloruros y sulfatos en la Quebrada Manizales.

QUEBRADA CIMITARRA



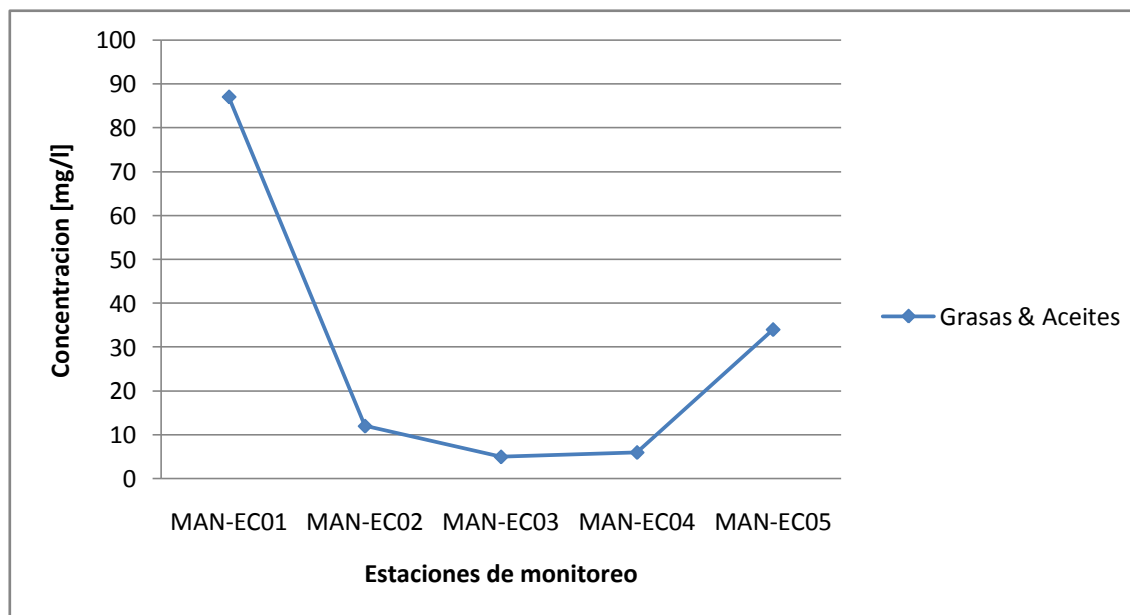
Gráfica 83. Comportamiento de las grasas y aceites en la Quebrada Cimitarra.

QUEBRADA TESORITO



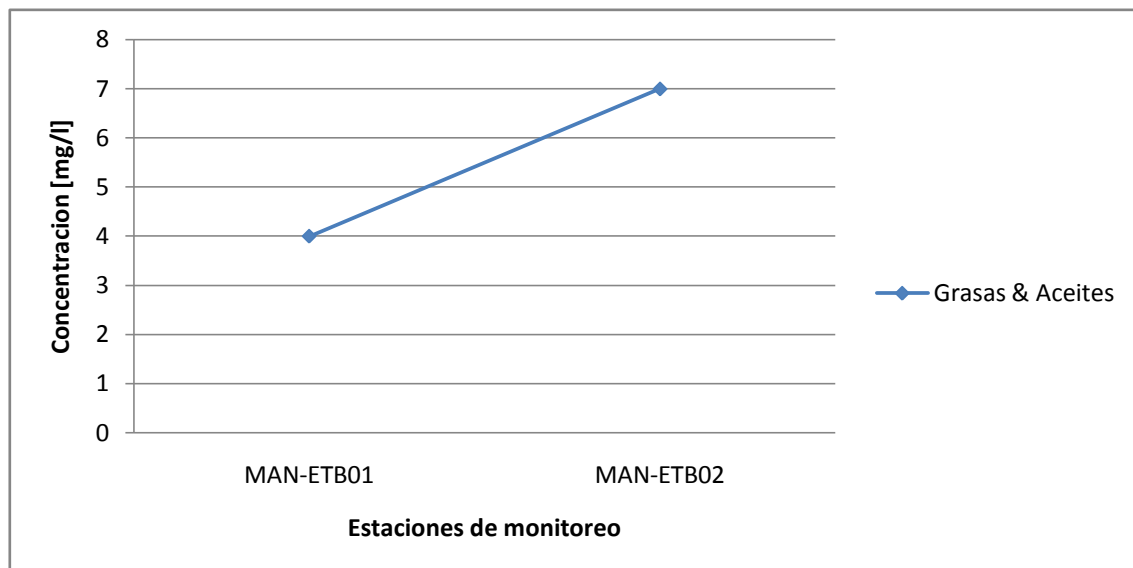
Gráfica 84. Comportamiento de las grasas y aceites en la Quebrada Tesorito.

QUEBRADA CRISTALES



Gráfica 85. Comportamiento de los grasas y aceites en la Quebrada cristales.

QUEBRADA 2615-002-098-003.



Gráfica 86. Comportamiento de las grasas y aceites Quebrada 2615-002-098-003

MINERALES (MERCURIO Y CROMO HEXAVALENTE)

Como podemos apreciar en las tablas 18 a 21, las concentraciones obtenidas de mercurio y cromo hexavalente, para las diferentes estaciones de monitoreo tanto de la quebrada Manizales como de los tributarios no son cuantificados, debido a que su concentración es menor al límite de cuantificación del método utilizado en el laboratorio de Corpocaldas y Chemilab respectivamente, por lo cual no mostramos su comportamiento ni realizamos comparaciones técnicas para algunos de los usos en los cuales se debe de tener un valor determinado, frente a dicho aspecto realizaremos una recomendación, que las mediciones en estudios posteriores se realicen en un laboratorio que tenga la capacidad de arrojar valores muy bajos y así poder realizar las diferentes comparaciones con la normatividad.

6.4 INDICES DE CALIDAD E INDICES DE CONTAMINACIÓN

Cada uno de los parámetros analizados son considerados los de mayor importancia a la hora de cuantificar y calificar la calidad de un cuerpo de agua, incluso en términos de contaminación. En esta sección se presentan los

resultados obtenidos en las determinaciones de los índices de calidad ICA-CETESB e ICA-IDEAM, así como de los índices de contaminación por materia orgánica ICOMO y por sólidos suspendidos ICOSUS.

6.4.1 ICA-CETESB

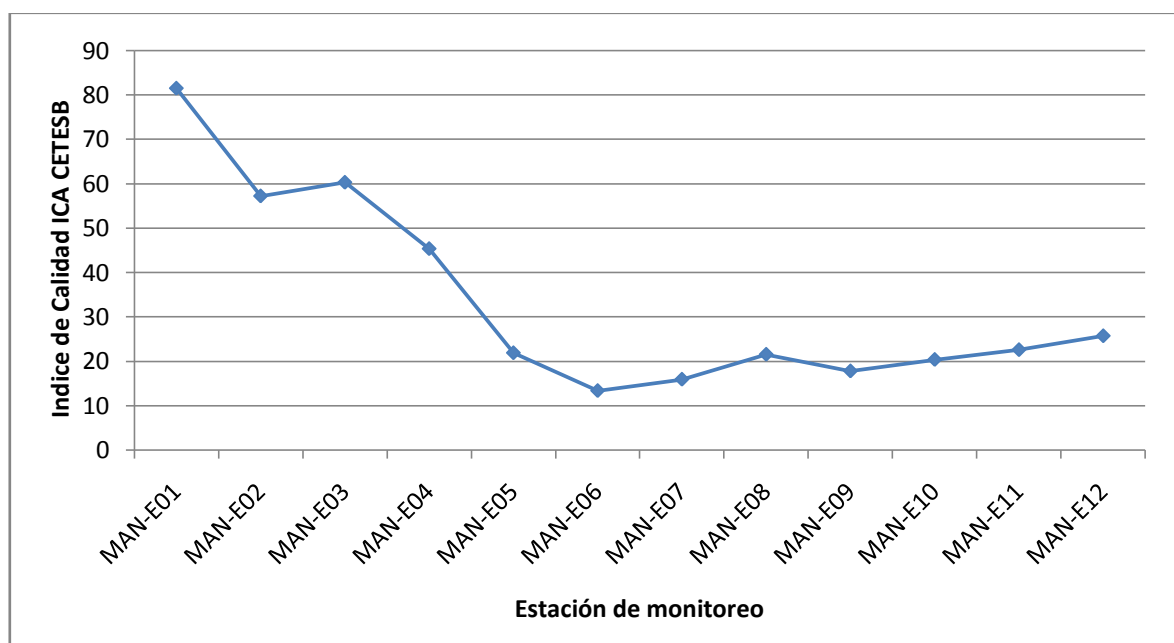
6.4.1.1 Quebrada Manizales

Los resultados obtenidos para el cálculo del ICA-CETESB para cada estación ubicada sobre la quebrada Manizales se muestran en la tabla 23 y la gráfica 87. Según la clasificación establecida para este índice de calidad, sólo en la estación **E01** se presentó una calidad de agua “excelente”, mientras que en las estaciones **E06**, **E07** y **E09** se presentó la peor clasificación, siendo “Pésima”, según la escala establecida por esta metodología. Estos puntos donde la calidad del agua se clasifica como pésima corresponde a aquellas estaciones justo después de recibir los vertimientos industriales de la empresa Surtipieles y posterior a recibir las descargas domésticas de la Industria Licorera de Caldas y la quebrada Guayabal, respectivamente.

En la gráfica 87 se puede apreciar de manera más notoria el empobrecimiento en la calidad del agua a medida que la quebrada Manizales desciende hasta desembocar en el río Chinchiná. La tendencia es clara, evidenciando una reducción en el índice de calidad a medida que avanza por cada estación de monitoreo, hasta llegar a su valor mínimo de 13,35 en la estación **E06**. Posteriormente, y gracias a la capacidad de asimilación que posee la quebrada en el tramo comprendido entre este punto y su desembocadura, el índice de calidad presenta una tendencia levemente creciente, a pesar de recibir aguas residuales de todo tipo de manera regular a lo largo de este trayecto, hasta lograr finalmente un valor de 25,7 en la estación **E12**, antes de confluir en el río Chinchiná.

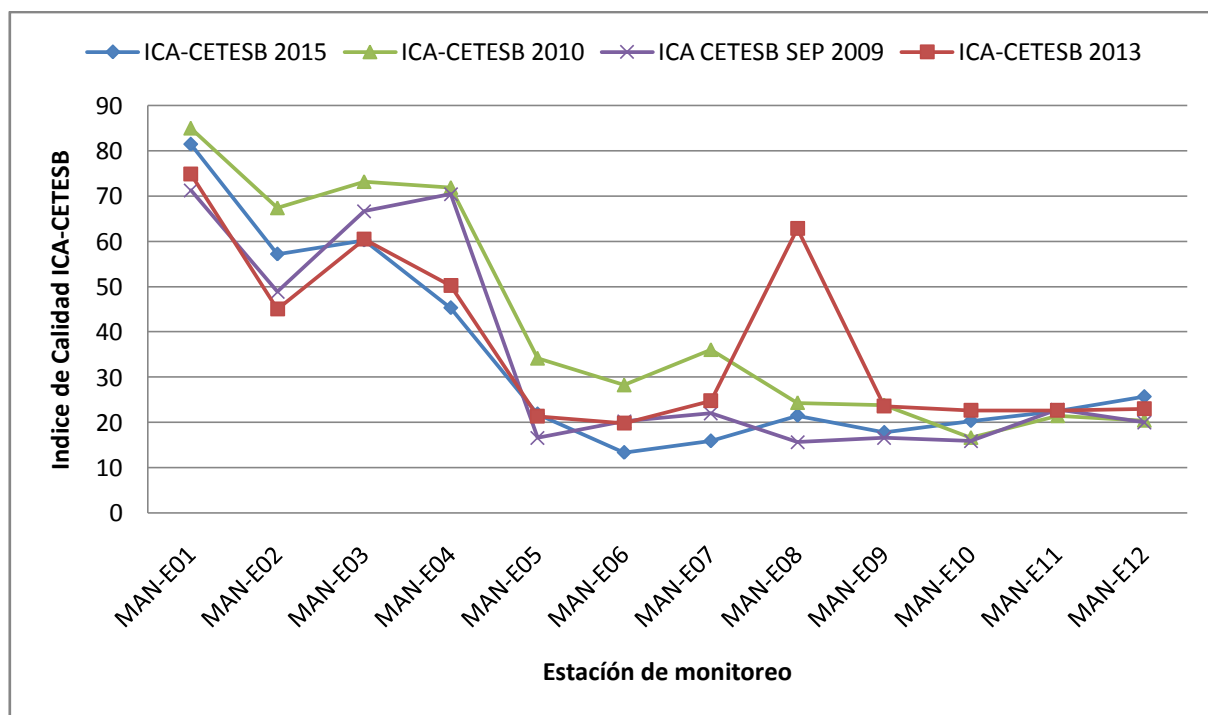
Tabla 23. Clasificación de la calidad del agua de la quebrada Manizales según el índice de calidad ICA-CETESB

Estación	Nombre	ICA CETESB Calculado	Clasificación de la calidad del agua
MAN-E01	Blanco	81.49	Excelente
MAN-E02	Antes de la quebrada Chuscales	57.20	Buena
MAN-E03	Antes de Bocatoma Acueducto La Enea	60.28	Buena
MAN-E04	Después de Bocatoma Acueducto La Enea	45.33	Regular
MAN-E05	Antes Q. Santa Rita	21.87	Mala
MAN-E06	Antes Q. Tesorito	13.35	Pésima
MAN-E07	Antes de ILC	15.91	Pésima
MAN-E08	Antes Q. Guayabal	21.53	Mala
MAN-E09	Puente Verdum	17.78	Pésima
MAN-E10	Antes Q. Cristales	20.36	Mala
MAN-E11	Antes Descole La Enea	22.57	Mala
MAN-E12	Antes desembocar al río Chinchiná	25.70	Mala



Gráfica 87. Índices de calidad ICA-CETESB Quebrada Manizales.

En la gráfica 87 que se muestra el grafico comparativo de los ICA-CETESB obtenidos en el presente estudio con los resultantes en estudios realizados anteriormente sobre la quebrada Manizales. Para el año 2009 se cuenta con tres estudios realizados en diferente época del año, dos en temporada de lluvia y uno en temporada seca; teniendo en cuenta que durante la ejecución de la campaña de monitoreo de la calidad del agua de la quebrada Manizales y sus principales afluentes documentado en el presente informe predominó el clima cálido, se realiza el comparativo con los resultados obtenidos en la última campaña de muestreo realizada en el año 2009, correspondiente a temporada seca.



Gráfica 88. Comparativos índices de calidad ICA-CETESB Quebrada Manizales.

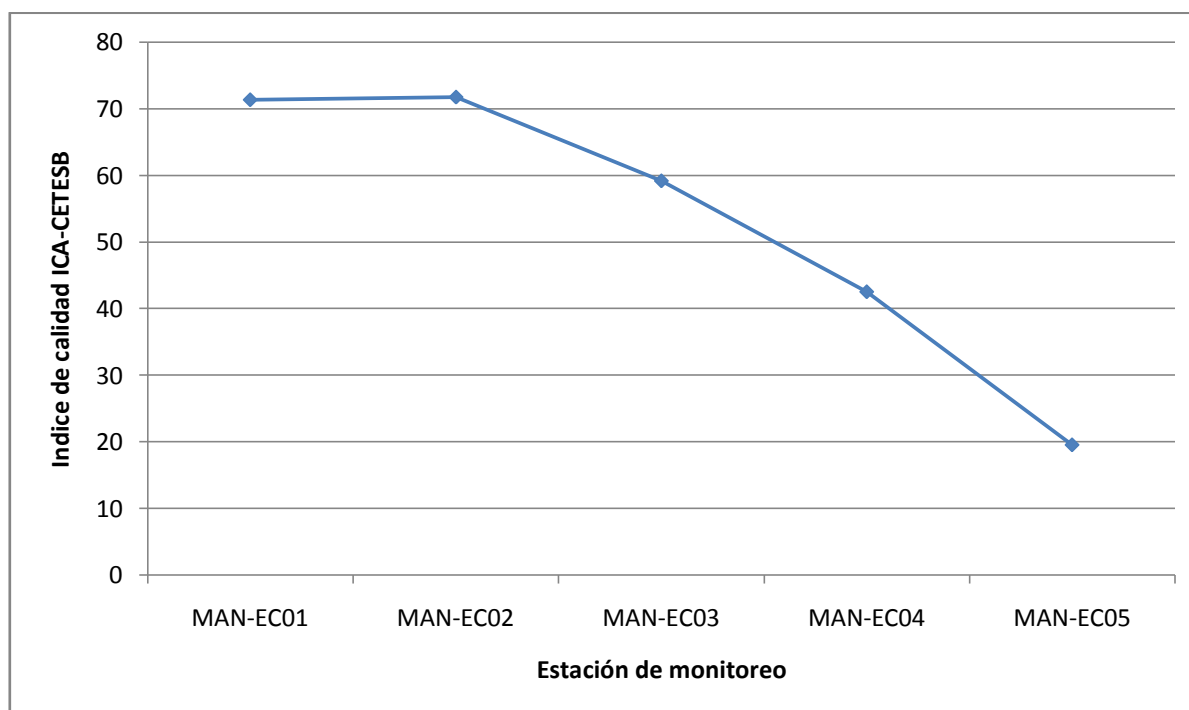
6.4.1.2 Quebrada Cimitarra

De igual manera a lo evidenciado en la quebrada Manizales, la quebrada Cimitarra evidencia un deterioro en la calidad del agua conforme esta realiza su trayecto y recibe los vertimientos de las empresas Descafecol Planta Descafeinadora y Progel. En la tabla 24 se muestran los índices de calidad ICA-CETESB calculados

para cada estación sobre la quebrada Cimitarra además de la clasificación que este método les otorga según el valor numérico de dicho índice. Por otro lado, la gráfica 89 muestra de manera más evidente dicho deterioro.

Tabla 24. Clasificación de la calidad del agua de la quebrada Cimitarra según el índice de calidad ICA-CETESB

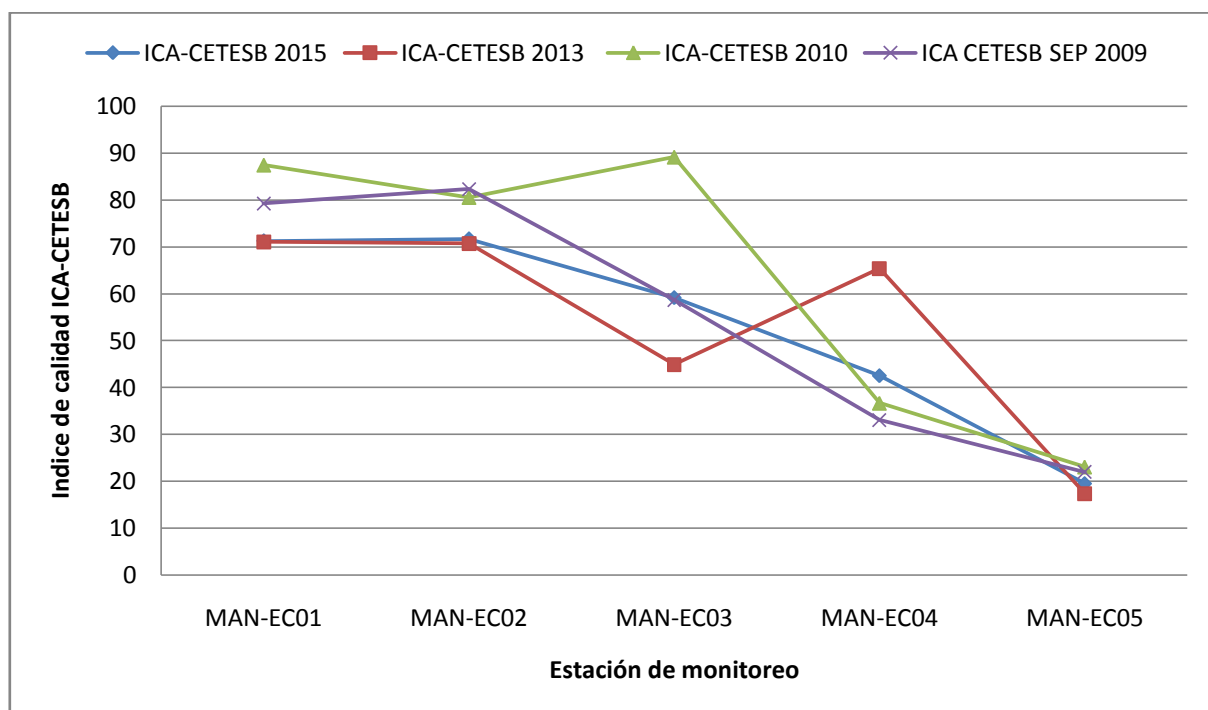
Estación	Nombre	ICA CETESB Calculado	Clasificación de la calidad del agua
MAN-EC01	Blanco	71,34	Buena
MAN-EC02	Antes Descafecol	71,76	Buena
MAN-EC03	Antes Acueducto La Enea	59,21	Buena
MAN-EC04	Después descole PROGEL	42,57	Regular
MAN-EC05	Antes desembocadura Q. Manizales	19,56	Mala



Gráfica 89. Índices de calidad Quebrada Cimitarra.

De la gráfica se puede notar que para las estaciones **EC01** y **EC02** se presentan los mayores valores para el índice de calidad, con una puntuación cercana a 72.

En las estaciones **EC03**, **EC04** y **EC05** el índice de calidad disminuye de manera paulatina, hasta lograr un valor mínimo de 19,56 en esta última. Así, la calidad del agua que la quebrada Cimitarra entrega a la quebrada Manizales se clasifica como Mala.



Gráfica 90. Comparativo índices de calidad ICA-CETESB Quebrada Cimitarra.

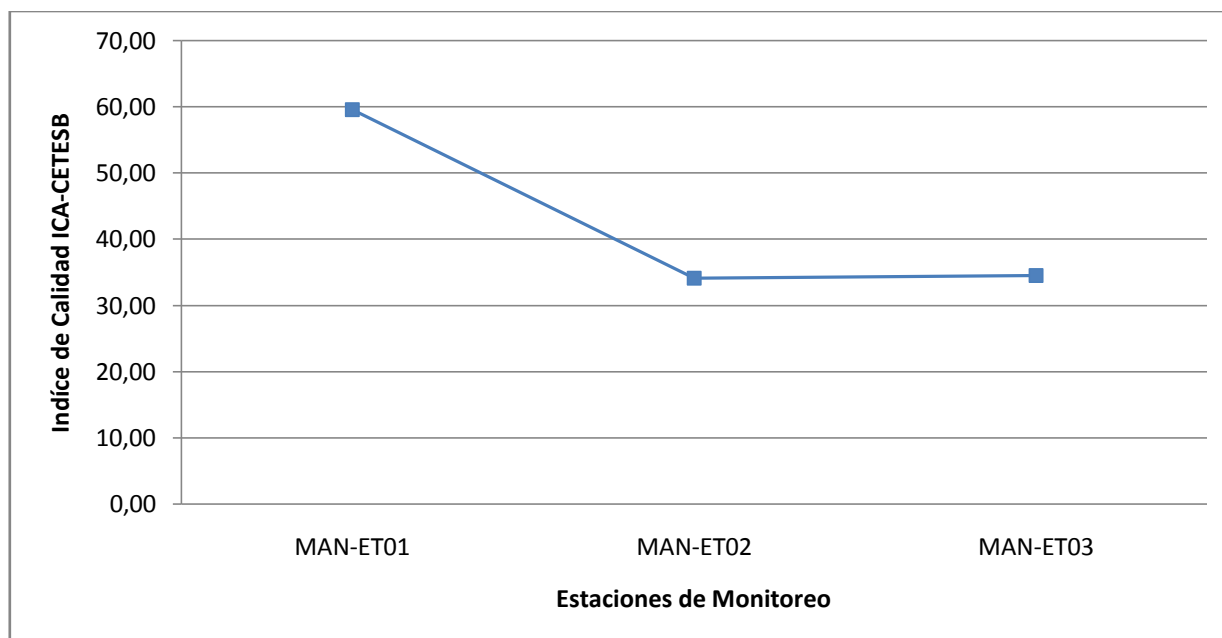
Según se muestra en la gráfica 90, en términos generales se presentó una mejor calidad de agua de la quebrada Cimitarra en el estudio realizado por la fundación SANEAR en el año 2010 (ICA-CETESB 2010). En cuanto al estudio presentado en el presente informe, en comparación con los resultados de la caracterización realizada en el año 2013 por la fundación PROAGUA (ICA-CETESB 2013), se evidencia una leve mejoría en la calidad del agua en las estaciones **EC01**, **EC02**, **EC03** y **EC05**; para la estación **EC04** se obtuvo una mejor calidad del agua en el año 2013.

6.4.1.3 Quebrada Tesorito

Pese a que la quebrada Tesorito, ya no es receptora de vertimientos de la industria Surtipieles pero si del Parque Industrial Juanchito, la calidad de su agua se ve deteriorada en las estaciones **ET02** y **ET03**. Si bien en términos generales la concentración de carga contaminante no es muy elevada en estas dos estaciones, el incremento en la concentración de Coliformes, así como en la concentración de sólidos suspendidos disminuyen de manera significativa el valor calculado del índice de calidad. El deterioro en la calidad del agua de la quebrada Tesorito se puede observar de manera más detallada en la gráfica 91.

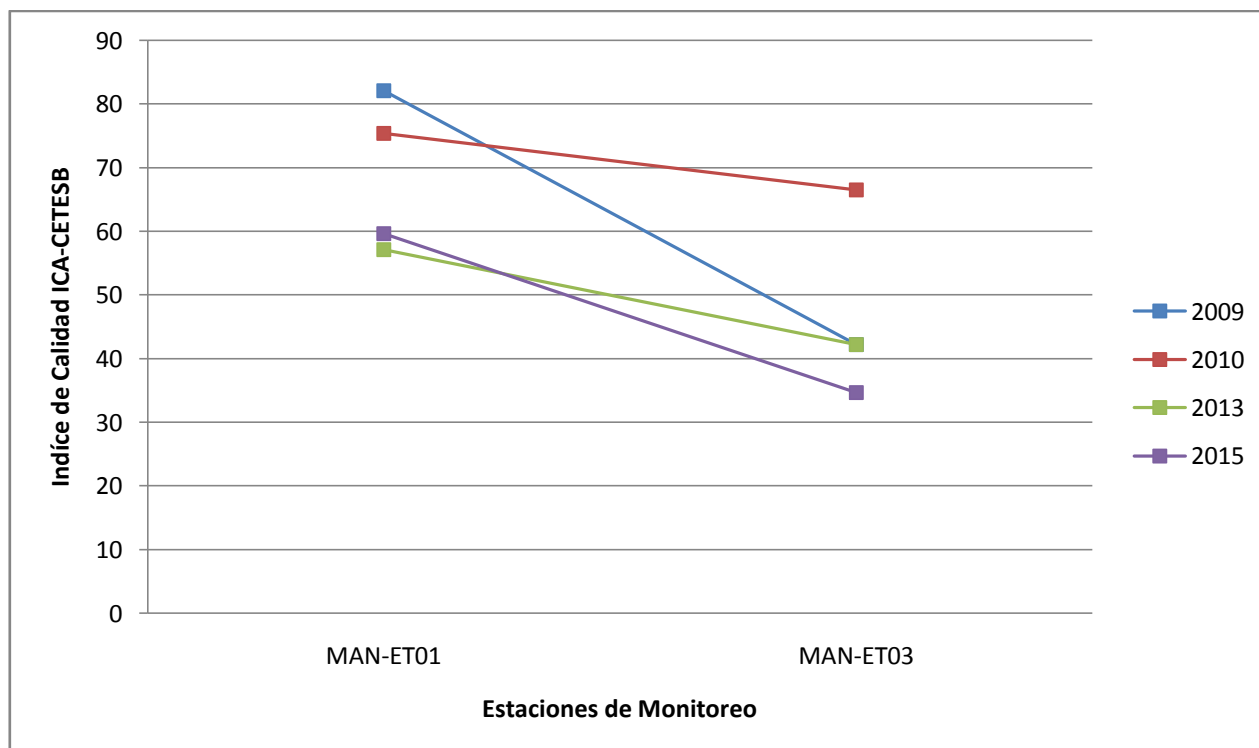
Tabla 25. Clasificación de la calidad del agua de la quebrada Tesorito según el índice de calidad ICA-CETESB

Estación	Nombre	ICA CETESB Calculado	Clasificación de la calidad del agua
MAN-ET01	Blanco	59.59	Buena
MAN-ET02	Antes descole Surtipieles	34.08	Mala
MAN-ET03	Antes desembocadura Q. Manizales	34.65	Mala



Gráfica 91. Índices de calidad Quebrada Tesorito.

En la gráfica 92 se muestran los comparativos históricos de los índices de calidad para las estaciones **ET01** y **ET03**, ya que la estación **ET02** en los últimos estudios no ha sido monitoreada, principalmente por el hecho de que su importancia radicaba en el vertimiento que la empresa Surtipieles realizaba anteriormente sobre la quebrada Tesorito. Para el estudio presentado en este informe se obtuvo el menor índice de calidad registrado para la estación **ET03**, es decir, la calidad del agua que la quebrada Tesorito le entrega a la quebrada Manizales es menor actualmente que en los estudios realizados anteriormente. Se debe tener en cuenta, entre otros factores, el hecho de en el último año se han adelantado obras civiles en cercanías a la planta de producción de la empresa Surtipieles, razón por la cual se ha incrementado considerablemente el flujo de vehículos pesados sobre el cauce de la quebrada, que la tienen que atravesar para ingresar al predio donde se ubica la empresa y de esta manera generan afectación por incremento de sólidos, así como es posible que se incorpore aceites, grasas y material combustible propios de los vehículos automotores.



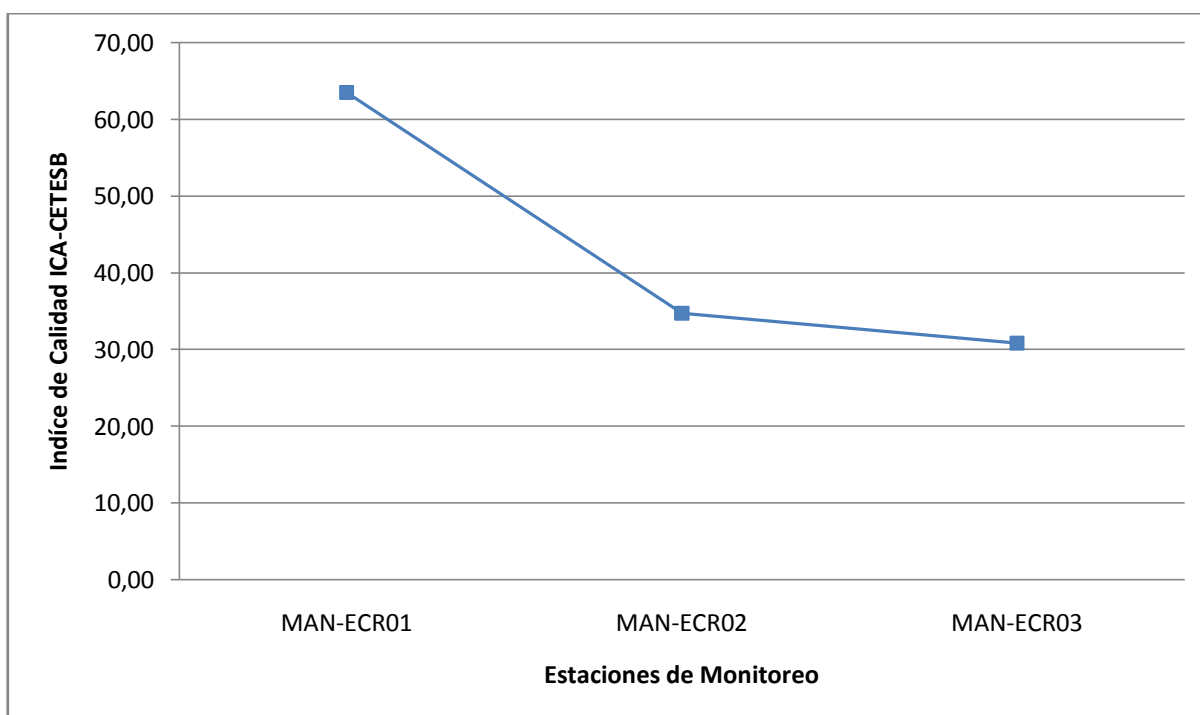
Gráfica 92. Comparativo índices de calidad ICA-CETESB Quebrada Tesorito.

6.4.1.4 Quebrada Cristales

La alta contaminación de materia orgánica en las estaciones MAN-ECR02 y MAN-ECR03 da como resultado una calcificación de Mala calidad esto debido a las descargas de contaminantes por parte de la industria súper de alimentos y las aguas residuales domesticas que se generan en la zona, reflejo de ello es el aumento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO₅ entre los tramos de estudio.

Tabla 26: Clasificación de la calidad del agua de la quebrada Cristales según el índice de calidad ICA-CETESB

Estación	Nombre	ICA CETESB Calculado	Clasificación de la calidad del agua
MAN-ECR01	Antes Vertimiento Súper	63.48	Buena
MAN-ECR02	Antes descole ARD	34.77	Mala
MAN-ECR03	Antes desembocadura quebrada Manizales	30.86	Mala



Gráfica 93. Índices de calidad Quebrada Cristales.

6.4.2 Índices de contaminación

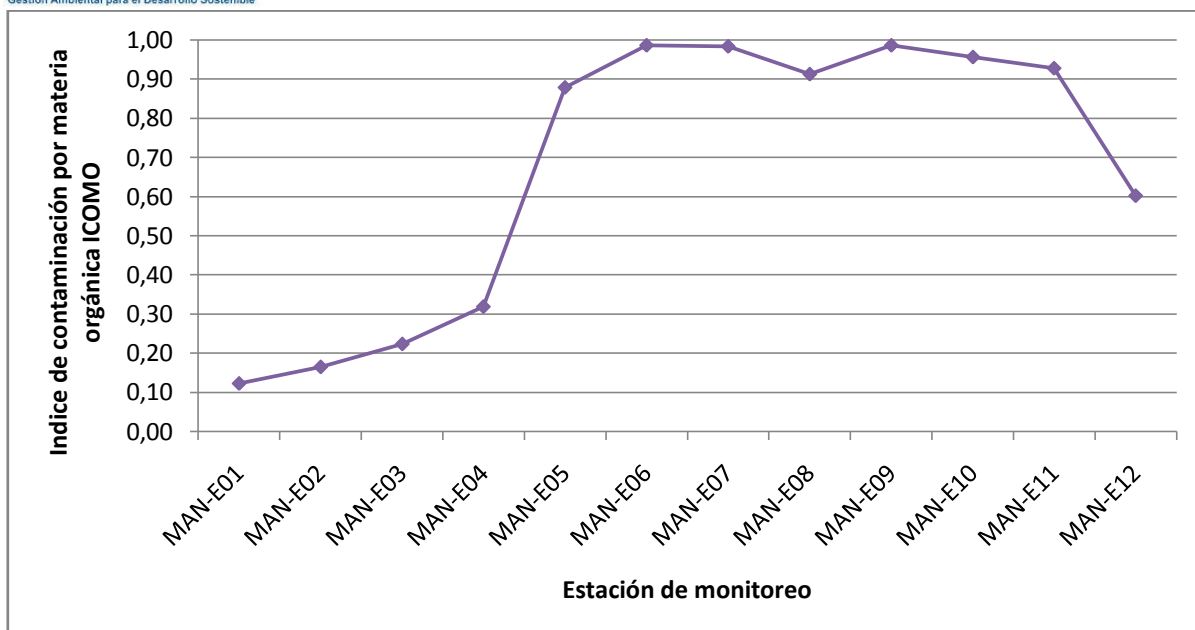
6.4.2.1 Quebrada Manizales

Los índices de contaminación toman valores inversamente proporcionales a los de los índices de calidad, es decir, si consideramos una muestra de agua que posea un índice de calidad mayor, su índice de contaminación será menor y viceversa. De esta manera, en la gráfica 94 se puede observar la tendencia creciente del índice de contaminación por materia orgánica a medida que la quebrada Manizales realiza su trayecto. El pico de máxima contaminación por materia orgánica, según este índice, se presentó en las estaciones **E06** y **E09** con un valor de 0,99 para el ICOMO; como es de esperarse, el valor mínimo se presentó en la estación **E01** con un valor de 0,12.

Consecuentemente con lo observado según los índices de calidad, y la capacidad de autodepuración que presenta la quebrada Manizales en este punto, a partir de la estación **E06** donde logra su máximo valor, el índice de contaminación ICOMO se estabiliza, e incluso, tiende a descender; conseguir hasta un valor de 0,6 antes de la desembocadura sobre el río Chinchiná, en la estación **E12**.

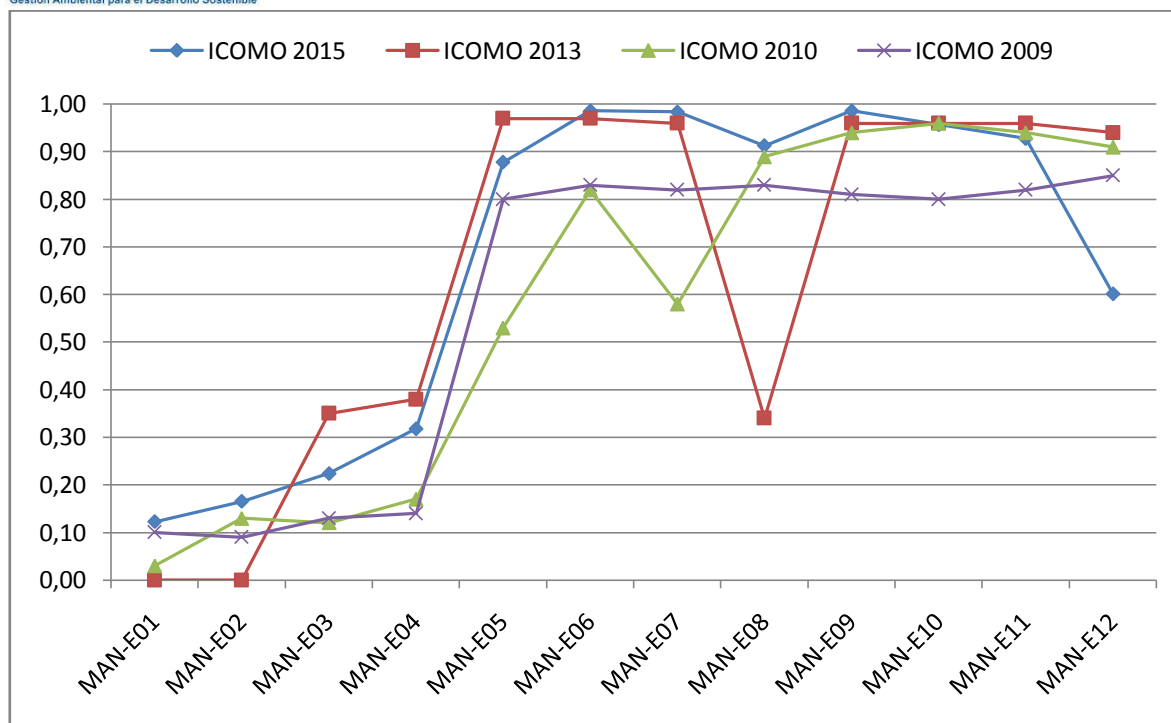
Tabla 27. ICOMO Clasificación de la calidad del agua de la quebrada Manizales según el índice de contaminación ICOMO

Estación	Nombre	ICOMO Calculado	Clasificación de la contaminación del agua
MAN-E01	Blanco	0,12	Muy Baja
MAN-E02	Antes de la quebrada Chuscales	0,17	Muy Baja
MAN-E03	Antes de Bocatoma Acueducto La Enea	0,23	Baja
MAN-E04	Después de Bocatoma Acueducto La Enea	0,32	Baja
MAN-E05	Antes Q. Santa Rita	0,88	Muy Alta
MAN-E06	Antes Q. Tesorito	0,99	Muy Alta
MAN-E07	Antes de ILC	0,98	Muy Alta
MAN-E08	Antes Q. Guayabal	0,91	Muy Alta
MAN-E09	Puente Verdum	0,99	Muy Alta
MAN-E10	Antes Q. Cristales	0,96	Muy Alta
MAN-E11	Antes Descole La Enea	0,93	Muy Alta
MAN-E12	Antes desembocar al río Chinchiná	0,60	Alta



Gráfica 94. ICOMO Quebrada Manizales

En concordancia con lo observado según el índice de calidad ICA-CETESB, el índice de contaminación por materia orgánica obtuvo un menor valor para la estación **E12** en el presente estudio, en comparación con los resultados obtenidos en estudios anteriores, lo que refleja que pese a que en algunas estaciones en particular se presentan índices de calidad superiores en el año 2015, la capacidad de autodepuración de la quebrada Manizales y las condiciones actuales de flujo favorecen la reducción de la carga contaminante orgánica en el trayecto que recorre antes de desembocar sobre el río Chinchiná.



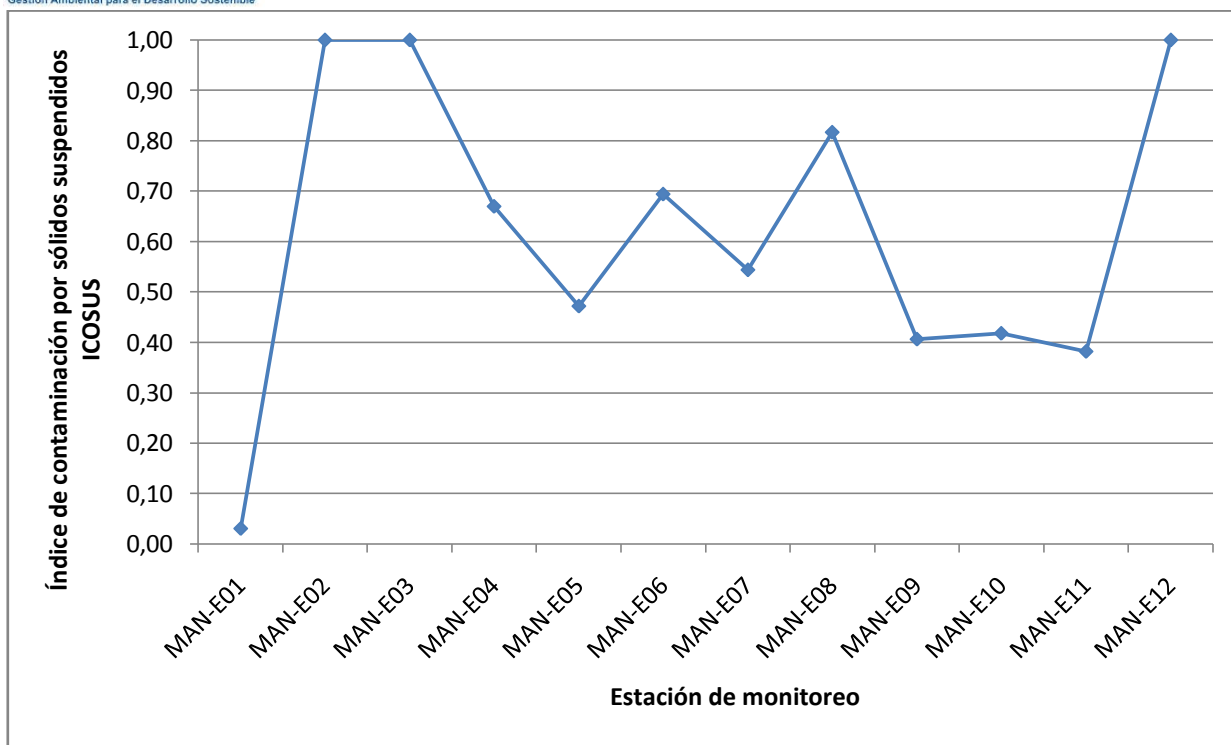
Gráfica 95. ICOMO Quebrada Manizales

Por otro lado, los índices de contaminación ICOSUS e ICOMI obtenidos se muestran en las tablas 28 y 29, y en las gráficas 96 y 97, respectivamente.

En términos del índice de contaminación por sólidos suspendidos podemos observar que en la estación **E12** se clasifica como contaminación “muy alta” para los resultados obtenidos en el presente informe. Como es de esperarse, la menor contaminación se obtuvo para la estación **E01** con un puntaje de 0,03 (contaminación “muy baja”).

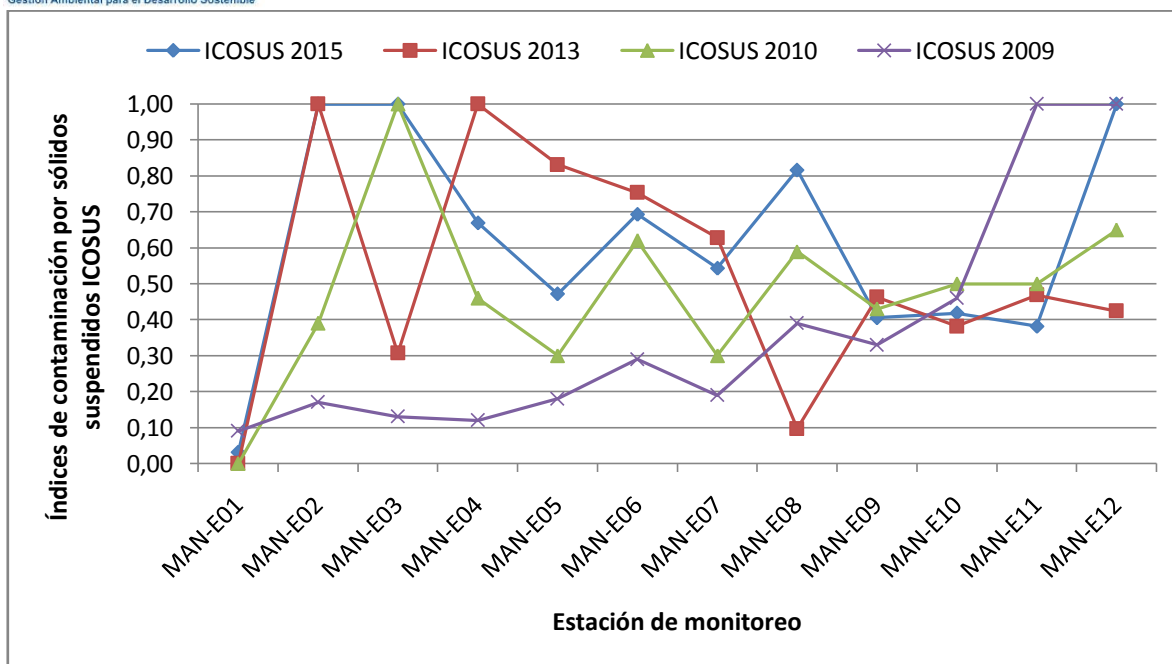
Tabla 28. ICOSUSClasificación de la calidad del agua de la quebrada Manizales según el índice de contaminación ICOSUS

Estación	Nombre	ICOSUS Calculado	Clasificación de la calidad del agua
MAN-E01	Blanco	0,03	Muy Baja
MAN-E02	Antes de la quebrada Chuscales	1,00	Muy Alta
MAN-E03	Antes de Bocatoma Acueducto La Enea	1,00	Muy Alta
MAN-E04	Después de Bocatoma Acueducto La Enea	0,67	Alta
MAN-E05	Antes Q. Santa Rita	0,47	Media
MAN-E06	Antes Q. Tesorito	0,69	Alta
MAN-E07	Antes de ILC	0,54	Media
MAN-E08	Antes Q. Guayabal	0,82	Muy Alta
MAN-E09	Puente Verdum	0,41	Media
MAN-E10	Antes Q. Cristales	0,42	Media
MAN-E11	Antes Descole La Enea	0,38	Baja
MAN-E12	Antes desembocar al río Chinchiná	1,00	Muy Alta



Gráfica 96. ICOSUS Quebrada Manizales

En la gráfica 97 se muestran las líneas de tendencia obtenidas para el índice de contaminación por sólidos suspendidos ICOSUS en los últimos estudios realizados a la calidad del agua de la quebrada Manizales. Es importante tener en cuenta que al ser éste un índice que considera sólo un parámetro (sólidos suspendidos) su comportamiento es semejante al que presente su concentración, y el cual es altamente variable en cada estación de monitoreo. La concentración de sólidos suspendidos en la estación **E12** obtenida en el estudio documentado en el presente informe arrojó un valor mayor en comparación a los estudios realizados anteriormente y de esta manera se presenta un mayor índice de contaminación por sólidos suspendidos alcanzando el máximo valor (1), al igual que para los resultados obtenidos en el estudio realizado en el mes de febrero del año 2009.

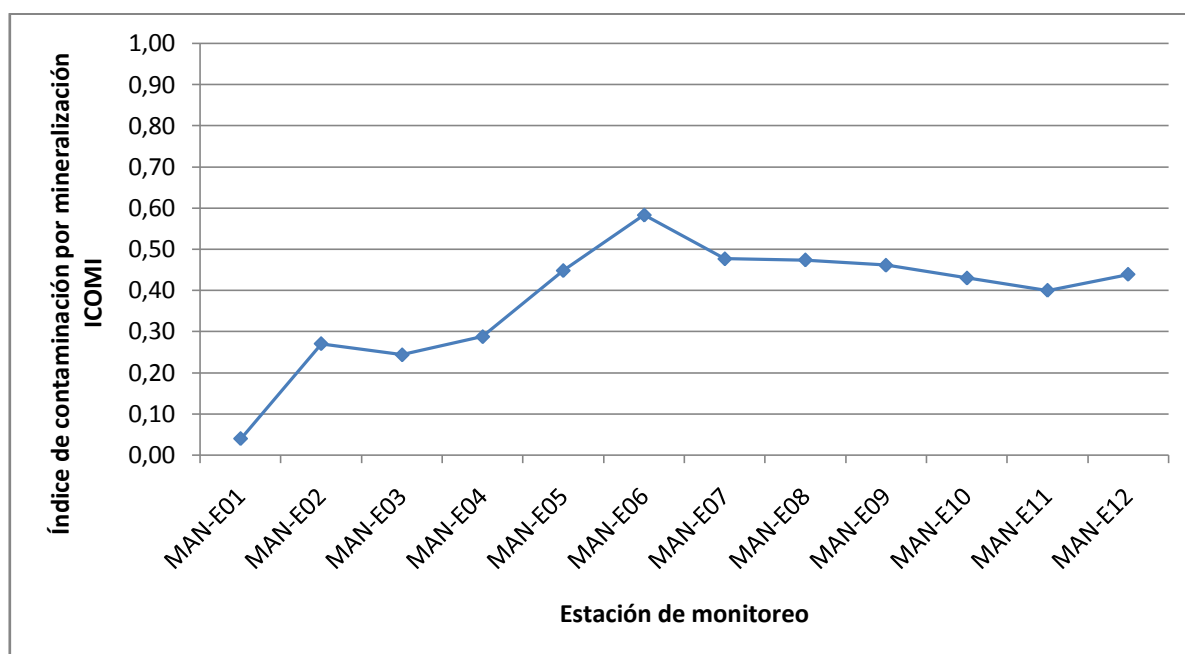


Gráfica 97. ICOSUS Quebrada Manizales

En complemento a los índices de contaminación por materia orgánica ICOMO y de contaminación por sólidos suspendidos ICOSUS, se calcularon los índices de contaminación por mineralización ICOMI y cuyos resultados se presentan en la tabla 29. Adicionalmente, la gráfica 98 nos muestra la línea de tendencia que presenta éste índice en el trayecto que realiza el cuerpo de agua en la quebrada Manizales desde la estación **E01** hasta la estación **E12**.

Tabla 29. ICOMI Clasificación de la calidad del agua de la quebrada Manizales según el índice de contaminación ICOMI

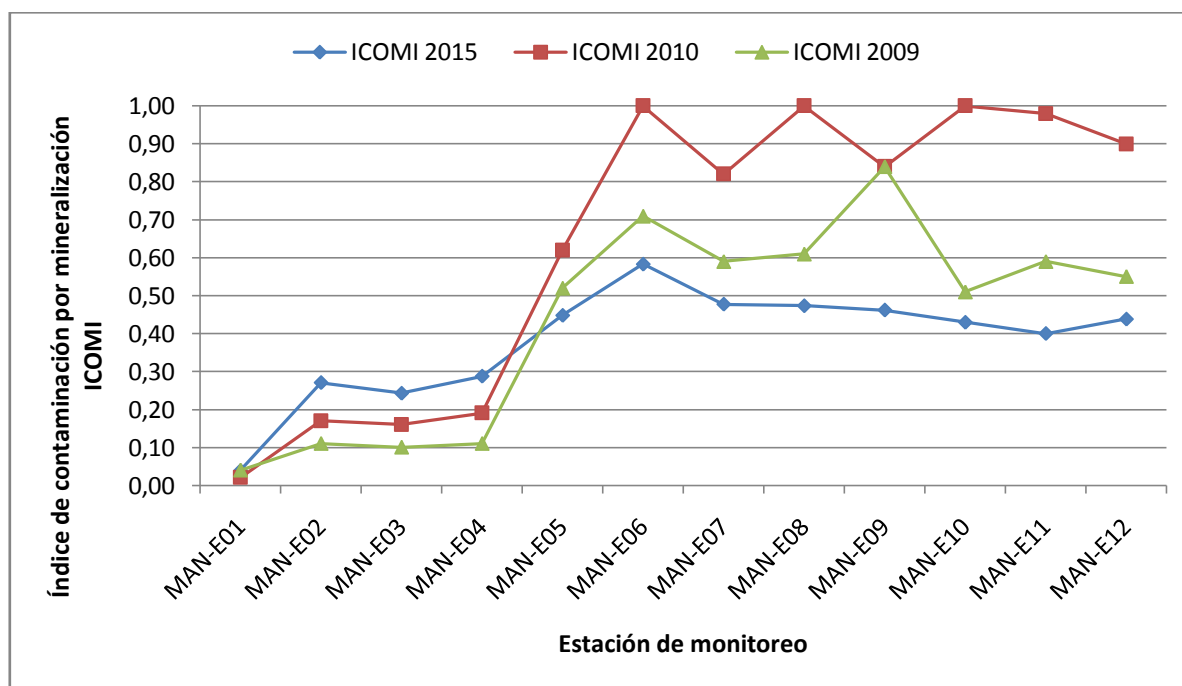
Estación	Nombre	ICOMI Calculado	Clasificación de la calidad del agua
MAN-E01	Blanco	0,04	Muy Baja
MAN-E02	Antes de la quebrada Chuscales	0,27	Baja
MAN-E03	Antes de Bocatoma Acueducto La Enea	0,24	Baja
MAN-E04	Después de Bocatoma Acueducto La Enea	0,29	Baja
MAN-E05	Antes Q. Santa Rita	0,45	Media
MAN-E06	Antes Q. Tesorito	0,58	Media
MAN-E07	Antes de ILC	0,48	Media
MAN-E08	Antes Q. Guayabal	0,47	Media
MAN-E09	Puente Verdum	0,46	Media
MAN-E10	Antes Q. Cristales	0,43	Media
MAN-E11	Antes Descole La Enea	0,40	Baja
MAN-E12	Antes desembocar al río Chinchiná	0,44	Media



Gráfica 98. ICOMI Quebrada Manizales

En la gráfica 99 se presentan las líneas de tendencia históricas para los resultados obtenidos en términos de índice de contaminación ICOMI en los últimos estudios realizados sobre las 12 estaciones establecidas sobre el cuerpo de agua de la quebrada Manizales; exceptuando el realizado en el año 2013 por la fundación PROAGUA como objetivo del contrato 278-2012, toda vez que este índice no fue incluido en el estudio de evaluación de la calidad del agua presentada en el informe *“CARACTERIZACIÓN Y EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA QUEBRADA MANIZALES - INFORME FINAL”*.

Teniendo como base los índices de contaminación por mineralización presentados en los estudios realizados en el año 2015, 2010 y 2009 (febrero), como se muestra en la gráfica 99, se evidencia que a partir de la estación **E05** ha sido constante la tendencia de estabilidad para todos los casos, presentando los menores valores en el presente estudio, mientras que los mayores índices de contaminación se presentaron en el año 2010.



Gráfica 99. ICOMI Quebrada Manizales

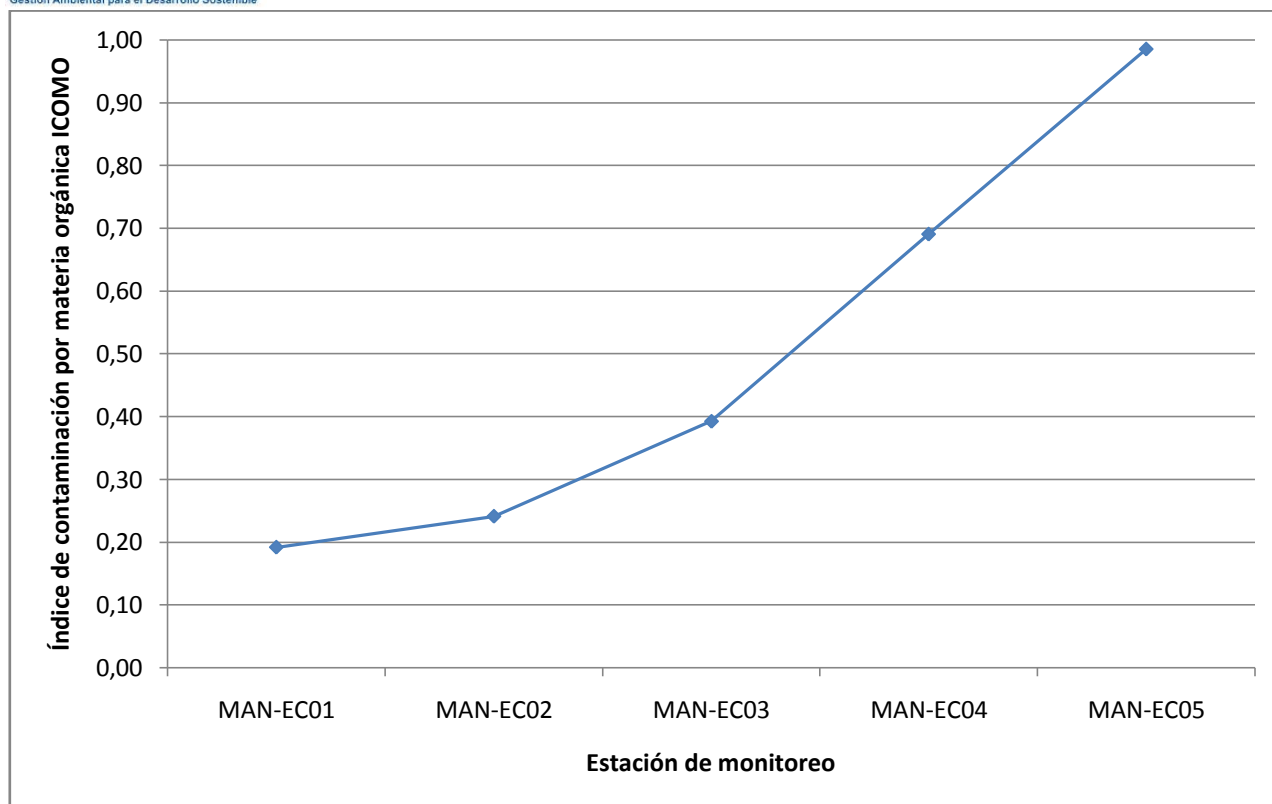
8.4.3.2 Quebrada Cimitarra

En la gráfica100 se observa el comportamiento de la quebrada cimitarra, en la estación EC01, se puede apreciar que el agua tiene una clasificación del índice ICOMO muy baja contaminación, esto debido a que se encuentra en un punto en donde no presenta ninguna alteración por causas de vertimientos industriales y domésticas, este comportamiento se mantiene con una muy baja alteración hasta la estación EC03, ya que los principales cambios son debido a los vertimientos generados por la industria Descafecol aportando materia orgánica significativa para generar un cambio en la calidad del agua (DBO5 y sólidos disueltos). Posteriormente el comportamiento de los índices es creciente registrándose una clasificación del agua alta y muy alta esto se atribuye a las descargas realizadas tanto por el acueducto de la enea como las descargas industriales de Descafecol y Progel S.A que al poseer dentro de sus vertimientos concentraciones altas de compuestos orgánicos contaminantes hacen que la calidad del agua baje a los niveles máximos

En la tabla 30 se plasman los resultados de los cálculos realizados para el índice ICOMO en la quebrada cimitarra teniendo en cuenta todos los parámetros característicos de esta variable

Tabla 30. ICOMO Clasificación de la calidad del agua de la quebrada cimitarra según el índice de contaminación ICOMO

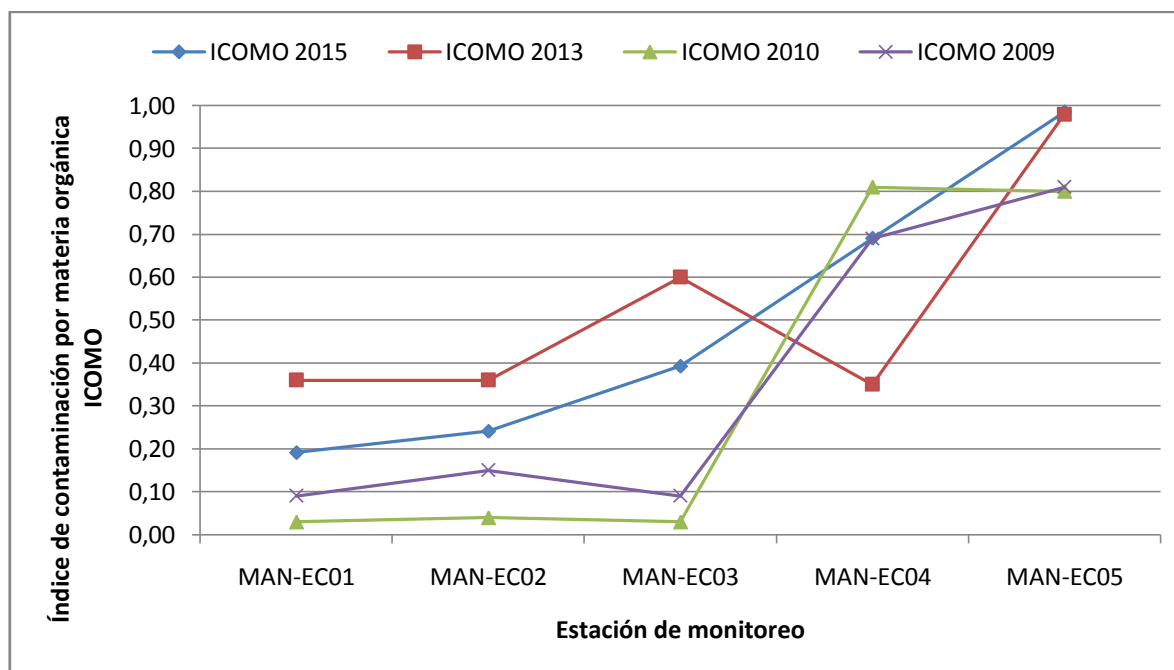
Estación	Nombre	ICOMO Calculado	Clasificación de la calidad del agua
MAN-EC01	Blanco	0,19	Muy Baja
MAN-EC02	Antes Descafecol	0,24	Baja
MAN-EC03	Antes Acueducto La Enea	0,39	Baja
MAN-EC04	Después descole PROGEL	0,69	Alta
MAN-EC05	Antes desembocadura Q. Manizales	0,99	Muy Alta



Gráfica 100. ICOMO Quebrada Cimitarra

En la gráfica 101 se pueden apreciar las comparaciones temporales del índice de contaminación ICOMO para los diferentes contratos impulsados por la Corporación Autónoma Regional de Caldas, como se puede apreciar el comportamiento en la cabecera de la quebrada es donde se observan mejores resultados debido a la poca o nula influencia del hombre en dichos puntos, el efecto de los vertimientos industriales hacen notorio el cambio en la calidad del agua ya que al incorporasen descoles de las industrias Descafecol y Progel las alteraciones son inmediatas, las cargas de contaminantes orgánicos debido principalmente a altos valores de DBO_5 , Coliformes fecales y totales y sólidos disueltos, Como podemos apreciar los valores obtenidos para la estación EC05 en las jornadas de monitoreo del contrato del 2013 y del 2014 presentan valores similares y esto se puede interpretar por las altas cargas orgánicas de los

sistemas en dicho punto, influencia directa de vertimientos industriales y domésticas.

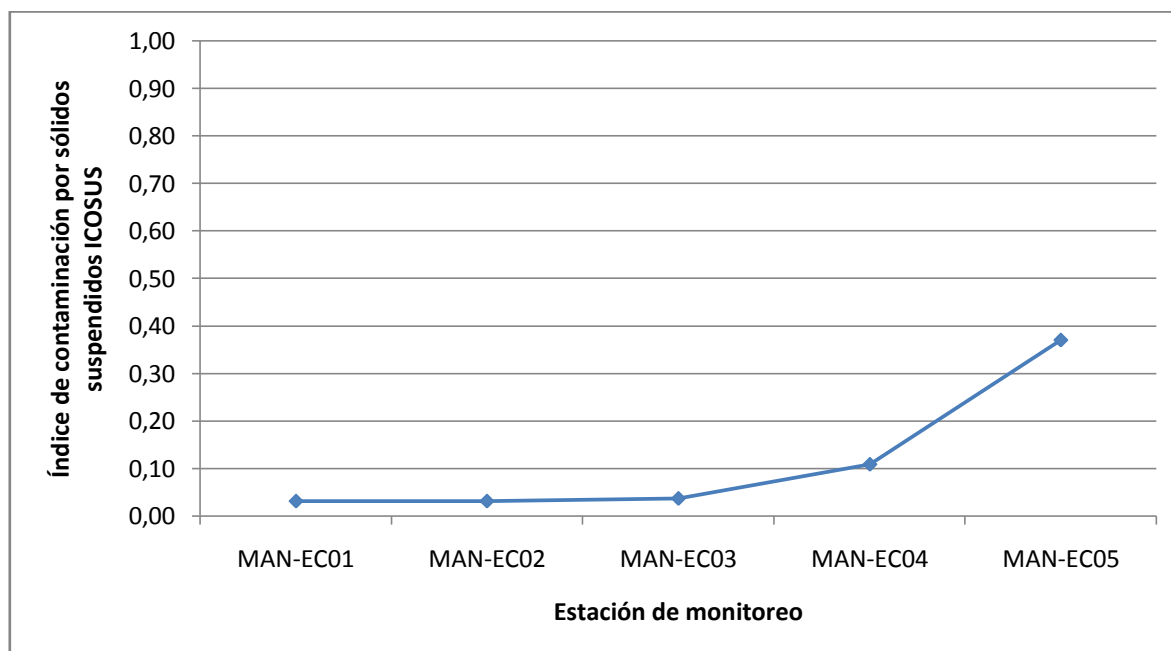


Gráfica 101. ICOMO Quebrada Cimitarra

Los datos plasmados en la tabla 31 son referentes a los valores obtenidos para el índice de contaminación ICOSUS en la quebrada cimitarra, su principal influencia son sólidos suspendidos, que son descargados por diferentes mecanismos a la quebrada, según lo que se aprecia en la gráfica102 en la quebrada cimitarra hasta la estación EC04 presenta una clasificación del índice ICOSUS muy baja concentración, ya que la mayoría de los vertimientos generados presentan un porcentaje mayor de compuestos solubles, pero después del vertimiento de Progel S.A su gran proporción de sólidos suspendidos respecto a los de la quebrada, hace que la calidad de la misma disminuya y se generen cambios físicos y biológicos en el sistema que pueden afectar de manera directa el desarrollo de fauna y flora en el medio.

Tabla 31.ICOSUSClasificación de la calidad del agua de la quebrada cimitarra según el índice de contaminación ICOSUS

Estación	Nombre	ICOSUS Calculado	Clasificación de la calidad del agua
MAN-EC01	Blanco	0,03	Muy Baja
MAN-EC02	Antes Descafecol	0,03	Muy Baja
MAN-EC03	Antes Acueducto La Enea	0,04	Muy Baja
MAN-EC04	Después descole PROGEL	0,11	Muy Baja
MAN-EC05	Antes desembocadura Q. Manizales	0,37	Baja

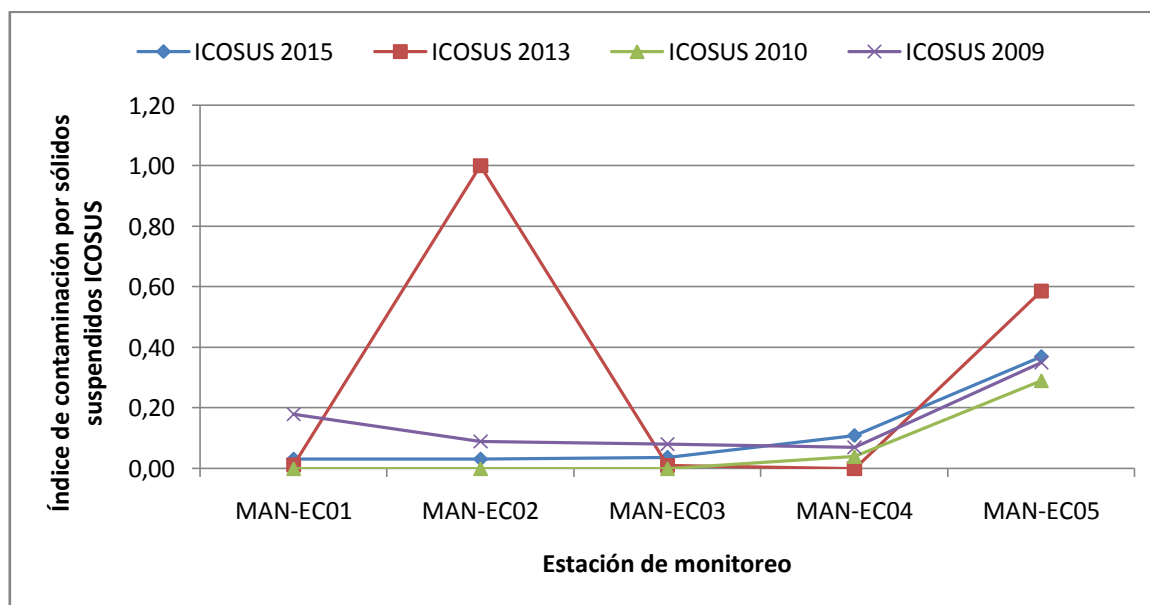


Gráfica 102.ICOSUS Quebrada Cimitarra

En los diferentes contratos realizados grafica 103 vemos que el comportamiento en general es el mismo, la contaminación generada por sólidos suspendidos es baja, solo existe un punto en el contrato del 2013 estación EC02 que se encuentra muy por encima del promedio normal lo cual lleva a pensar que en dicho proceso de monitoreo se presentó una situación poco frecuente o fuera de lo común que altera la variable de estudio, ya que en las demás estaciones el sistema alcanza

una tendencia normal, y sus diferentes cambios son producto de los tributarios que se incorporan al sistema en su cauce normal.

Es importante resaltar las características especiales de los cauces en las partes altas de la montaña o donde nacen, ya que sus blancos demuestran que la incorporación del hombre con sus procesos evolutivos aun no ha generado daño alguno que pueda alterar el sistema de una manera considerable.

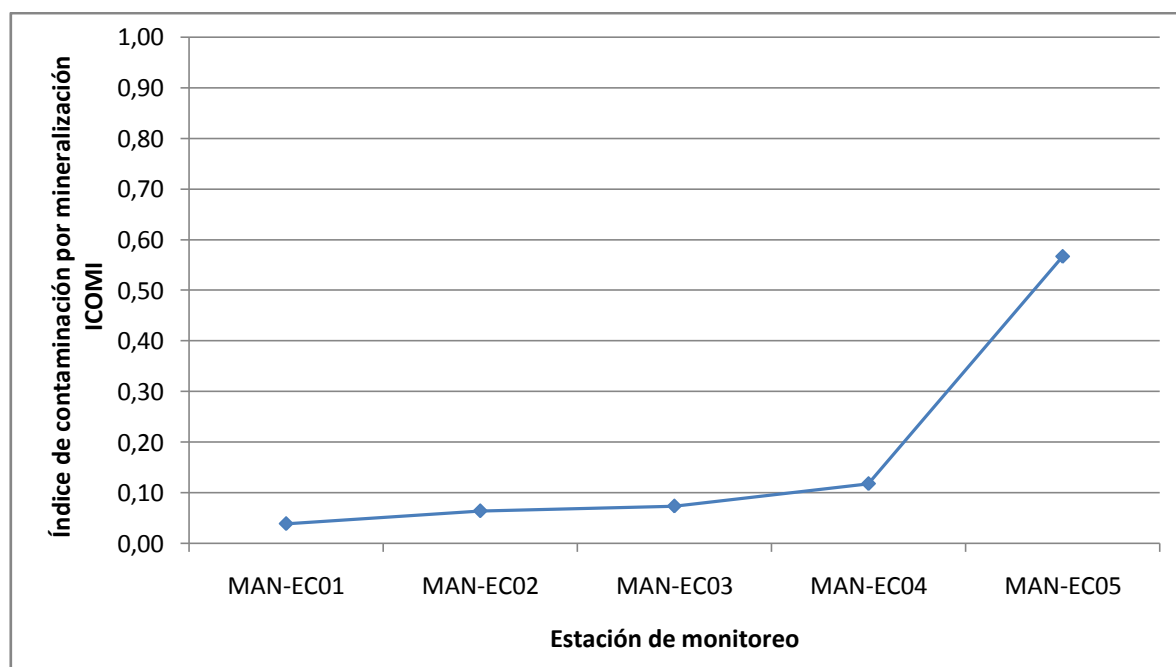


Gráfica 103. ICOSUS Quebrada Cimitarra.

En la tabla 32 se pueden apreciar los valores obtenidos para el índice de contaminación ICOMI, en el cual los parámetros de interés para dicho calculo fueron la alcalinidad, dureza y conductividad, variables que son de gran importancia, por su sentido fisicoquímico dentro de las fuentes superficiales, ya que el equilibrio y balance de estas variables hace posible el desarrollo normal de la fauna. En la gráfica 104 podemos apreciar el comportamiento de esta variable a través de las diferentes estaciones de estudio, es claro que al final sufre un aumento considerable debido principalmente al porte de minerales entregados por el vertimiento de la industria PROGEL S.A.

Tabla 32. ICOMI Clasificación de la calidad del agua de la quebrada cimitarra según el índice de contaminación ICOMI

Estación	Nombre	ICOMI Calculado	Clasificación de la calidad del agua
MAN-EC01	Blanco	0,04	Muy Baja
MAN-EC02	Antes Descafecol	0,06	Muy Baja
MAN-EC03	Antes Acueducto La Enea	0,07	Muy Baja
MAN-EC04	Después descole PROGEL	0,12	Muy Baja
MAN-EC05	Antes desembocadura Q. Manizales	0,57	Media

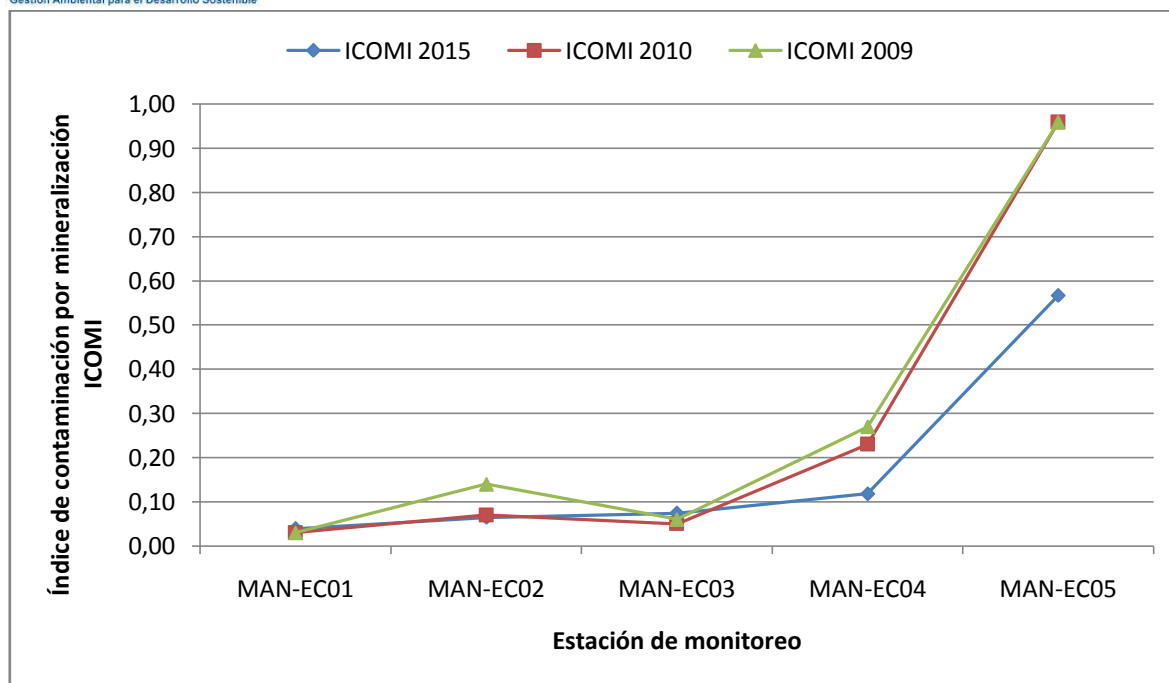


Gráfica 104. ICOMI Quebrada Cimitarra

A continuación realizaremos el comparativo del índice de contaminación ICOMI, para las diferentes estaciones de estudio, cabe resaltar que en el informe del 2013, realizado por fundación PROAGUA se analizan dichos índices pero nunca son reportados de manera gráfica con el fin de poder observar su comportamiento,

por lo cual solo se toman los datos de los estudios en los cuales se ha realizado un análisis a profundidad de dicho parámetro.

En la gráfica105 podemos observar la comparación del índice de contaminación ICOMI, la tendencia se ha mantenido constante, aunque en el estudio actual realizado por ONG Servicios Ambientales de Caldas, hay una leve disminución en la estación EC05 gracias a los continuos controles por parte de la entidad ambiental a los vertimientos generados por las diferentes industrias. El índice de contaminación por mineralización en la quebrada cimitarra se clasifica como de muy baja contaminación hasta la estación EC04, esto está relacionado con los valores obtenidos de Conductividad, alcalinidad y dureza. En el momento de la incorporación del vertimiento de la industria PROGEL S.A a la quebrada cimitarra y cuando se logra una mezcla completa sobre esta, se aprecian los efectos de un vertimiento con alto contenido de carbonatos y bicarbonatos referentes al valor de la alcalinidad, minerales de calcio y magnesio dependientes de la dureza y además, de que en dicha estación se alcanzan los valores más altos de conductividad (medida indirecta de sólidos disueltos) que dependen en gran medida a sales disociadas como cloruros, sulfatos entre otros, siendo estos los principales factores por los cuales se ve afectada la calidad del agua en la estación EC05, adquiriendo una clasificación del índice ICOMO como de contaminación media.



Gráfica 105. ICOMI Quebrada Cimitarra

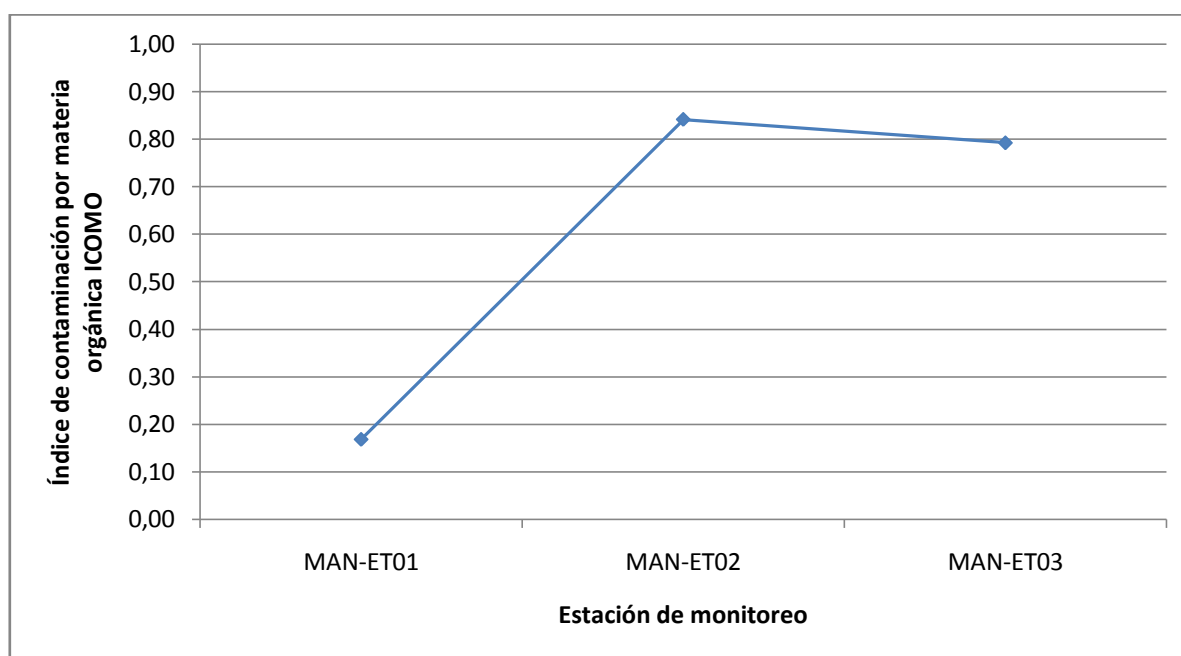
En la tabla 33 se pueden apreciar los valores obtenidos para el índice de contaminación ICOMO para la quebrada tesorito, para dicha calcificación se tuvieron en cuenta diferentes variables fisicoquímicas de las cuales sobresalen la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno, los cuales, en conjunto, recogen efectos distintos de la contaminación de materia organiza en las fuentes superficiales de estudio

En la gráfica105 se muestra el comportamiento del índice de contaminación ICOMO en el presente estudio, es claro y evidente, el gran cambio que sufre la quebrada Tesorito, al pasar de una muy baja contaminación, a una muy alta contaminación, reflejo de esto, los valores obtenidos de los parámetros fisicoquímicos, como Coliformes totales.

6.4.2.2 Quebrada Tesorito

Tabla 33 ICOMO Clasificación de la calidad del agua de la quebrada tesorito según el índice de contaminación ICOMO

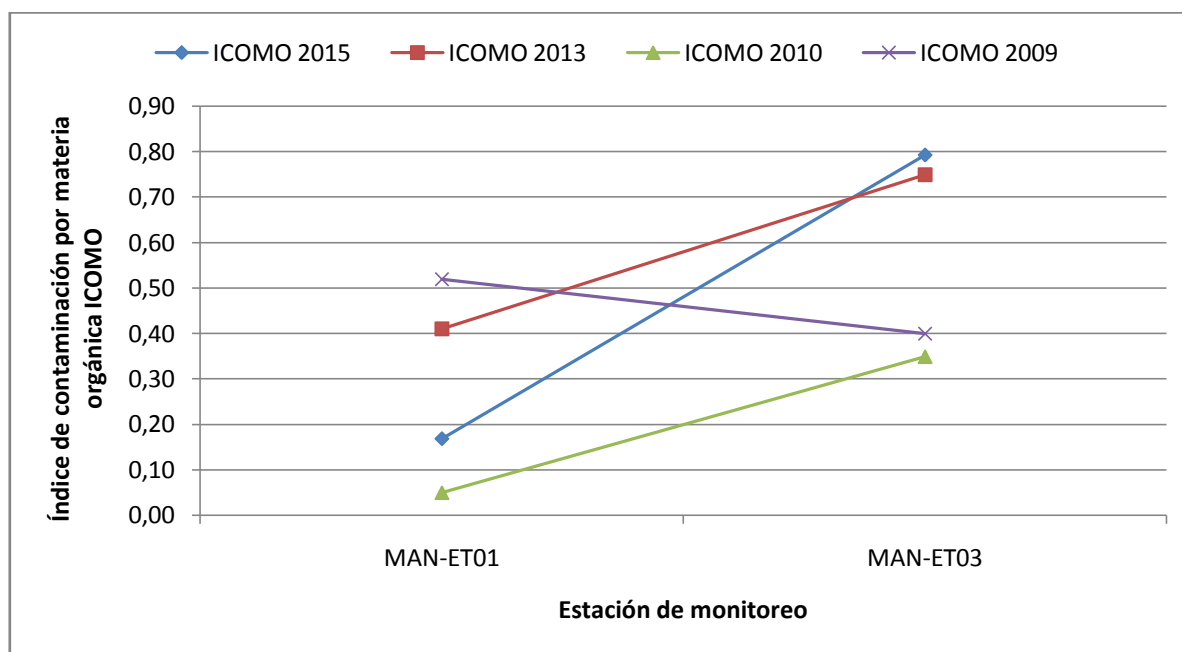
Estación	Nombre	ICOMO Calculado	Clasificación de la calidad del agua
MAN-ET01	Blanco	0,17	Muy Baja
MAN-ET02	Antes descole Surtipieles	0,84	Muy Alta
MAN-ET03	Antes desembocadura Q. Manizales	0,79	Alta



Gráfica 106. ICOMI Quebrada Tesotiro

En la gráfica 107, podemos apreciar la tendencia histórica del índice de contaminación ICOMO, en la quebrada tesorito, la calidad de dicha fuente, ha ido paulatinamente disminuyendo, exceptuando el estudio realizado en el 2009. En los dos últimos estudios, se ha observado un comportamiento similar, un cambio drástico de la baja contaminación, en las estaciones ET01 (blancos) hasta una alta

contaminación, en la estación ET03, es de gran importancia resaltar, que el factor clave, de dicho deterioro, en la calidad del agua, se debe a los vertimientos generados por el parque industrial Juanchito y posible presencia de vertimientos de actividades mineras, resultando de esto valores elevados en los coliformes totales y valores promedios en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), cabe, resaltar, la reubicación del vertimiento de la industria Surtipieles, lo cual hasta el momento es de gran ayuda para la autorecuperación de la quebrada tesorito.



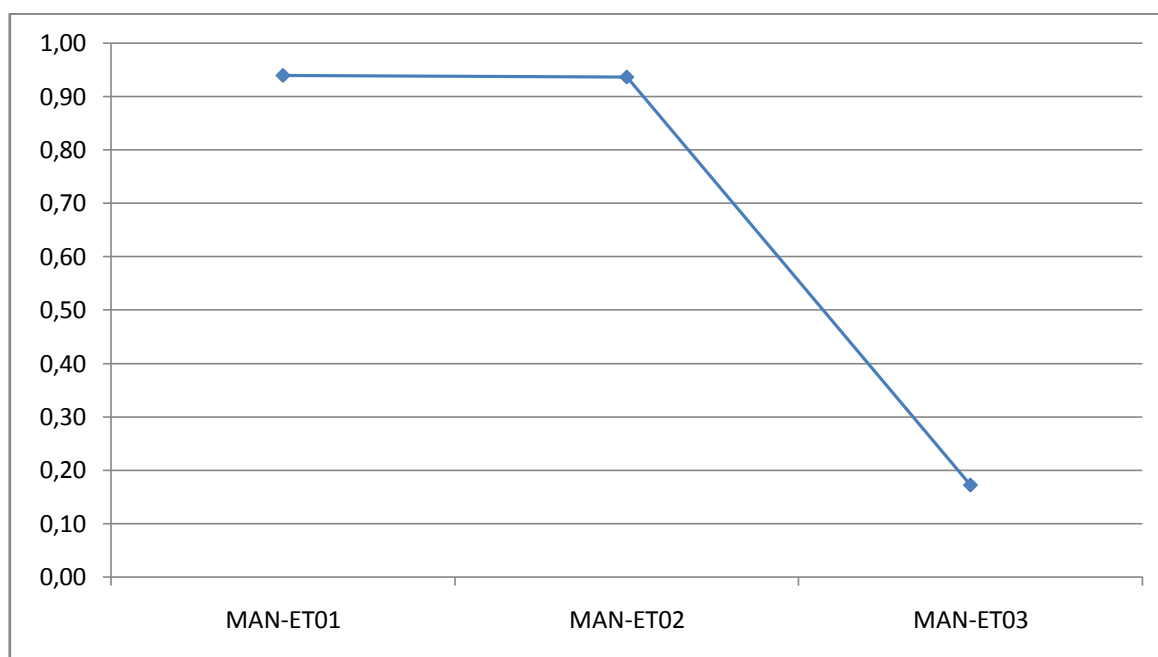
Gráfica 107. Quebrada Tesorito.

En la tabla 34, podemos observar los valores determinados para el índice de contaminación ICOSUS, en el cual, para las dos primeras estaciones, se encuentran valores muy altos, aunque es algo poco frecuente, que sobre un blanco se presente un índice de contaminación tan alto, puede deberse especialmente al valor de los sólidos suspendidos totales que se encuentra relacionado con un alto valor en las grasas o actividades mineras aguas arriba del punto de estudio, de la estación ET01.

En la gráfica108 podemos apreciar el comportamiento de sistema de estudio, donde inicialmente se observa una alta contaminación, pero al final se parecía la capacidad que presenta, la quebrada el tesorito en su proceso de autodepuración, esto puede deberse a que algunos sólidos suspendidos, pudieron pasar a ser sedimentos del sistema de estudio y depurados por la misma fuente.

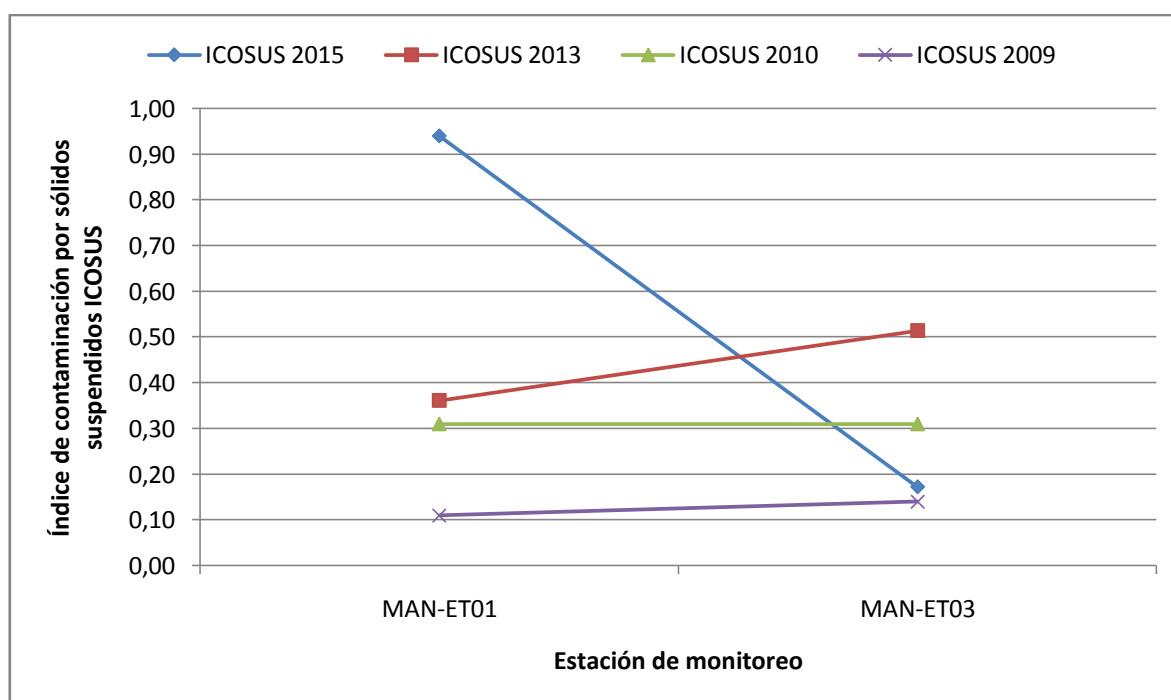
Tabla 34 ICOSUS Clasificación de la calidad del agua de la quebrada Tesorito según el índice de contaminación ICOSUS

Estación	Nombre	ICOSUS Calculado	Clasificación de la calidad del agua
MAN-ET01	Blanco	0,94	Muy Alta
MAN-ET02	Antes descole Surtipieles	0,94	Muy Alta
MAN-ET03	Antes desembocadura Q. Manizales	0,17	Muy Baja



Gráfica 108. Quebrada Tesorito

Mostraremos a continuación, una comparación entre los diferentes estudios realizados sobre la quebrada tesorito, en los cuales, se aprecia un comportamiento similar para los tres primeros estudios, donde los índices de contaminación, no eran tan altos, contrario al estudio actual, en el cual la estación ET01 (blanco), presenta una alta contaminación y según los análisis podemos decir, que se debe a la presencia tanto de sólidos suspendidos como de grasas o elementos de actividad minera, afectan de manera considerable la calidad del agua, es importante resaltar que se realizan vertimientos, sobre la quebrada, del parque industrial Juanchito, lo cual muestra una cualidad innata de las fuentes superficiales de autodepurar y asimilar los contaminantes llegando a recuperarse, al punto tal, que en la estación ET03 la calidad del agua tiene un índice de contaminación muy bajo.



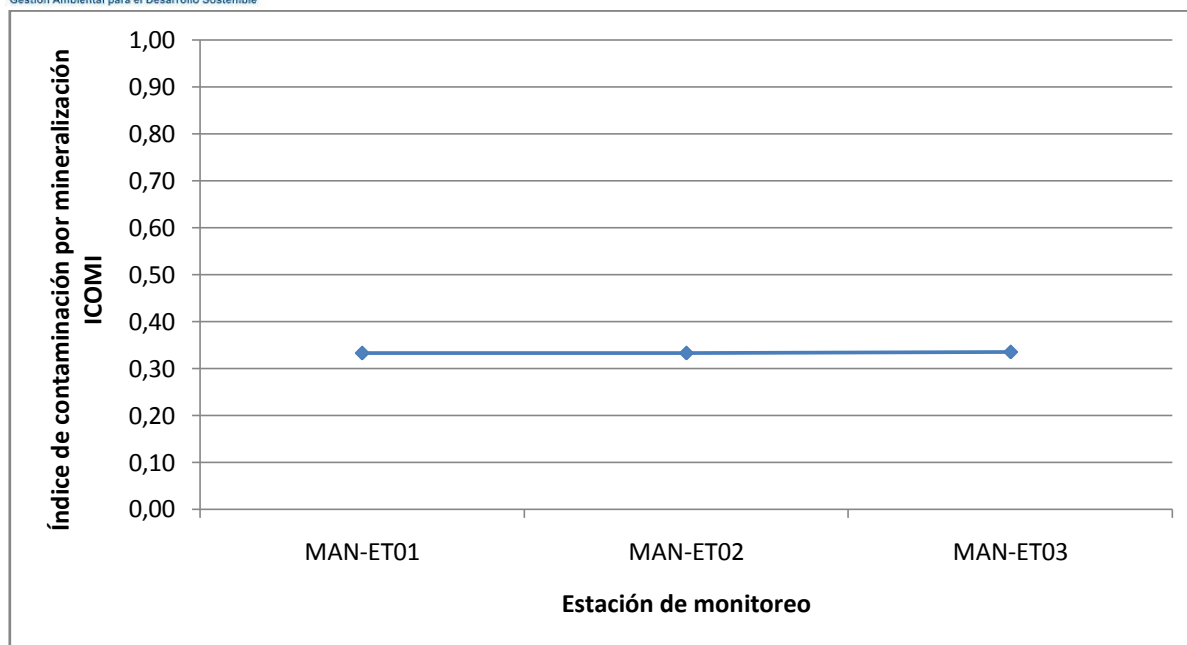
Gráfica 109. ICOSUS Quebrada tesorito

En la tabla 35, podemos apreciar los valores obtenidos, del índice de calidad ICOMI, los cuales presentan una clasificación baja, asumiéndose así que los

vertimientos aportan muy pocos minerales a la quebrada tesorito respecto al inicio de la misma. Dichos valores son llevados a la gráfica 110, en la cual se observa de una manera más clara la poca variabilidad del sistema, ya que presenta un comportamiento constante debido a los bajos valores de alcalinidad y dureza, los cuales se reflejan en un pH constante, aunque se presentan los valores más altos de conductividad (sólidos disueltos) solo afectan el sistema en un rango determinado por el mismo índice de contaminación ICOMI, es de suma importancia entender que la fuente tiene la capacidad de reducir diferentes compuestos, que sobre esta se descarguen, gracias a las características hidrobiológicas de la misma.

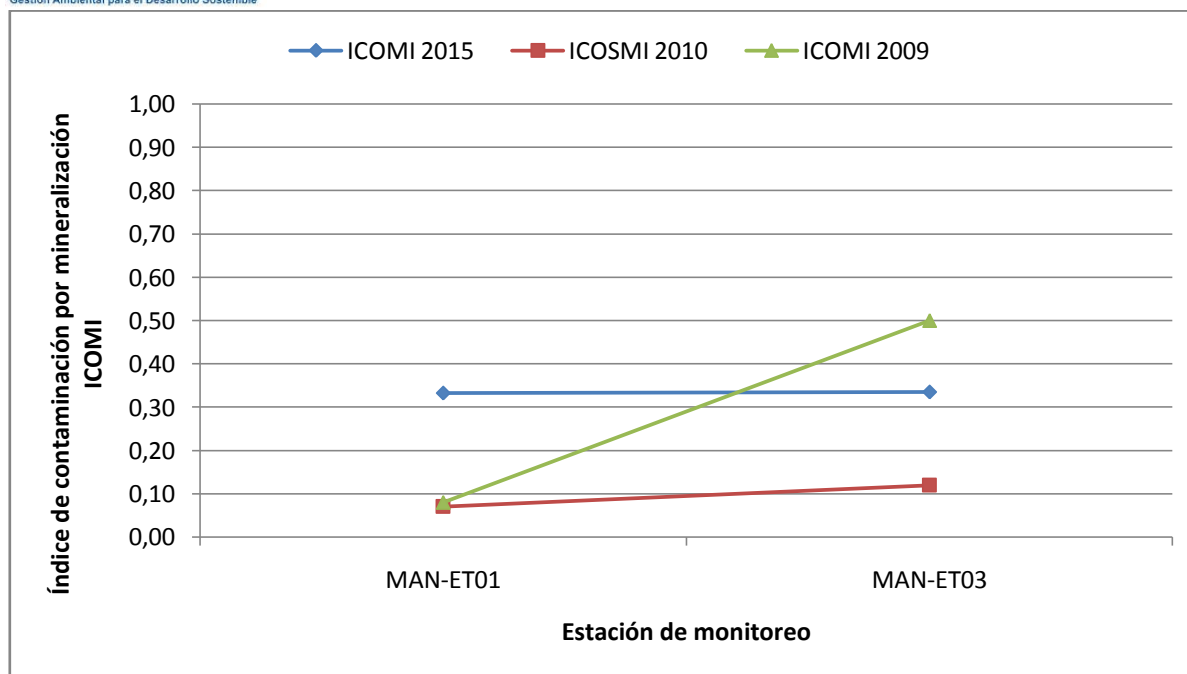
Tabla 35. ICOMI Clasificación de la calidad del agua de la quebrada Tesorito según el índice de contaminación ICOMI

Estación	Nombre	ICOMI Calculado	Clasificación de la calidad del agua
MAN-ET01	Blanco	0,33	Baja
MAN-ET02	Antes descole Surtipieles	0,33	Baja
MAN-ET03	Antes desembocadura Q. Manizales	0,34	Baja



Gráfica 110. ICOMI Quebrada Tesorito

Con el fin de observar el comportamiento a nivel histórico de dicha variable, en la gráfica 111, mostramos el comportamiento que tienen el índice ICOMI, en los años que fue medido, esto muestra un comportamiento similar y constante, sin tener alteraciones súbitas, por diferentes tipos de contaminación por minerales, que puedan alterar el sistema de estudio, el valor más alto alcanzado en el ICOMI, fue en el 2009, quizá principalmente a posible presencia de compuestos, como carbonatos, bicarbonatos, calcio entre otros, que se presentan en los vertimientos industriales sobre la quebrada.



Gráfica 111. ICOMI Quebrada Tesorito

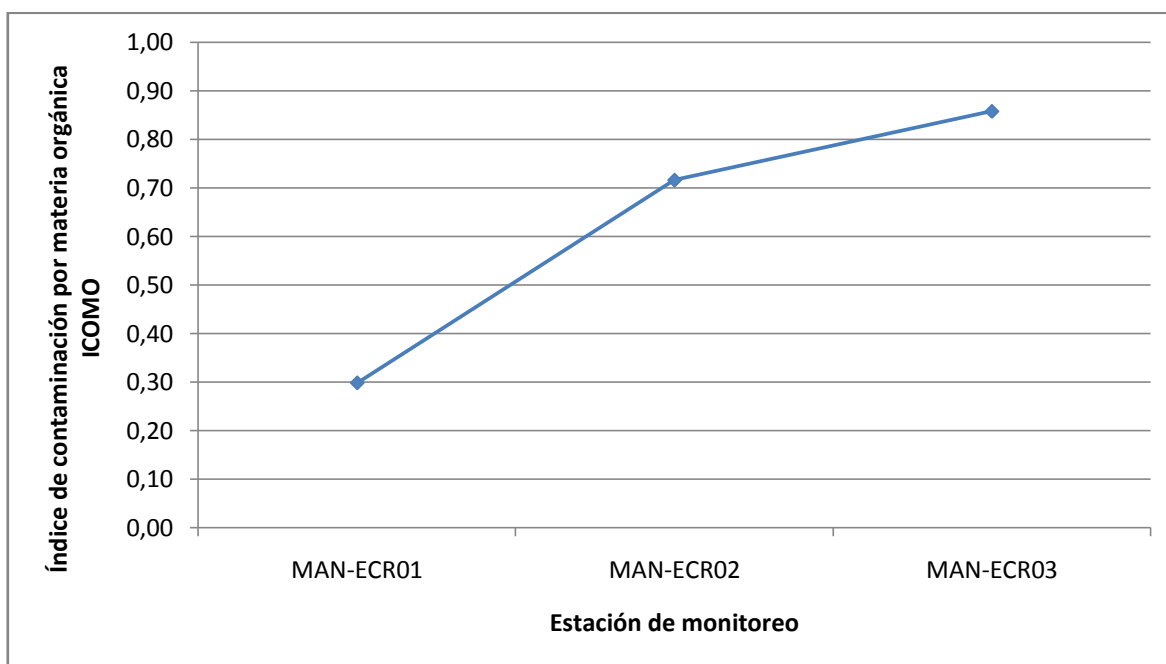
8.4.3.4 Quebrada Cristales

Como podemos apreciar en la tabla 36, los valores del índice de contaminación ICOMO, aumentan de manera constante, mientras la quebrada transcurre por su cauce de manera normal, dichos cambios tan marcados se deben específicamente a los vertimientos industriales que en la zona se presentan, afectando la calidad del agua de una manera significativa.

Tabla 36. ICOMO Clasificación de la calidad del agua de la quebrada Cristales según el índice de contaminación ICOMO

Estación	Nombre	ICOMO Calculado	Clasificación de la calidad del agua
MAN-ECR01	Antes Vertimiento Súper	0,30	Baja
MAN-ECR02	Antes descole ARD	0,72	Alta
MAN-ECR03	Antes desembocadura quebrada Manizales	0,86	Muy Alta

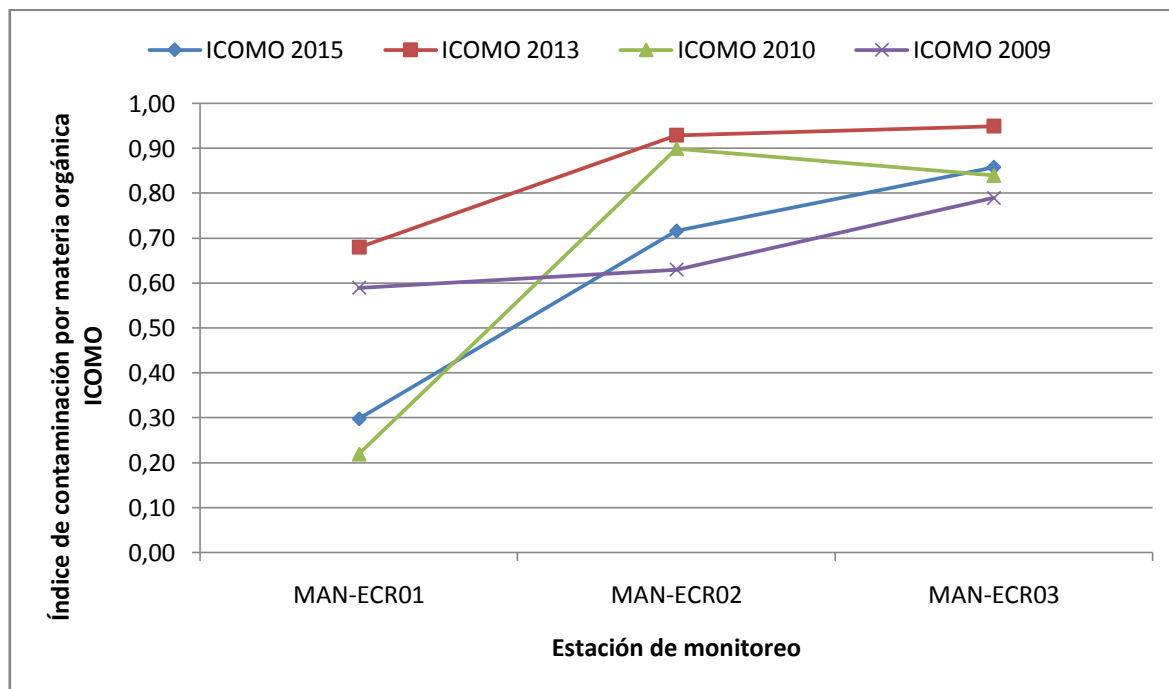
En la gráfica 112, se aprecia de una manera más clara, el deterioro constante de la quebrada cristales, específicamente porque entre las estaciones ECR01 y ECR02 se duplica el índice de contaminación, principalmente por el aporte de materia orgánica, Demanda Biológica de Oxígeno (DBO_5) y coliformes totales de la industria Súper de alimentos, al finalizar su recorrido en la estación ECR03 se alcanza su pico de contaminación, influencia clara de los diferentes descoles, de aguas residuales, reflejado, en el gran aumento, de los coliformes totales, indicador de gran carga orgánica en el sistema y altos valores de DBO_5 .



Gráfica 112. ICOMO Quebrada Cristales

A pesar de reducir la contaminación entre los años 2013 y 2015, según se puede apreciar, en la gráfica 113, comparación de los datos históricos, de los diferentes estudios realizados por la corporación, la influencia de las aguas residuales domesticas e industriales siguen siendo un factor clave para el deterioro de las fuentes superficiales, esto se puede notar claramente, con el salto, que se presenta, entre una y otra estación, en el índice de contaminación por materia

orgánica, la cual, se cuantifica mediante la Demanda Biológica de Oxígeno y los coliformes totales de las muestras tomadas. Es de suma importancia continuar con la labor, impulsada por Corpocaldas, en el control de los vertimientos de las diferentes industrias, ya que su presión constante, ha mejorado en algunos aspectos, la calidad del agua del departamento de caldas.



Gráfica 113. ICOMO Quebrada cristales

En la tabla 37, se puede apreciar los valores y las clasificaciones, arrojadas por el índice de contaminación ICOSUS, lo cual es bastante bueno, ya que la presencia de sólidos suspendidos es muy baja respecto a otros contaminantes, siendo esto de gran importancia, ya que favorece los procesos biológicos de autodepuración y recuperación del sistema de estudio. En la gráfica 114, se puede, apreciar de una manera más clara, que el índice presenta un comportamiento constante, debido específicamente, a que los vertimientos generados no tienen grandes cargas de sólidos suspendidos totales.

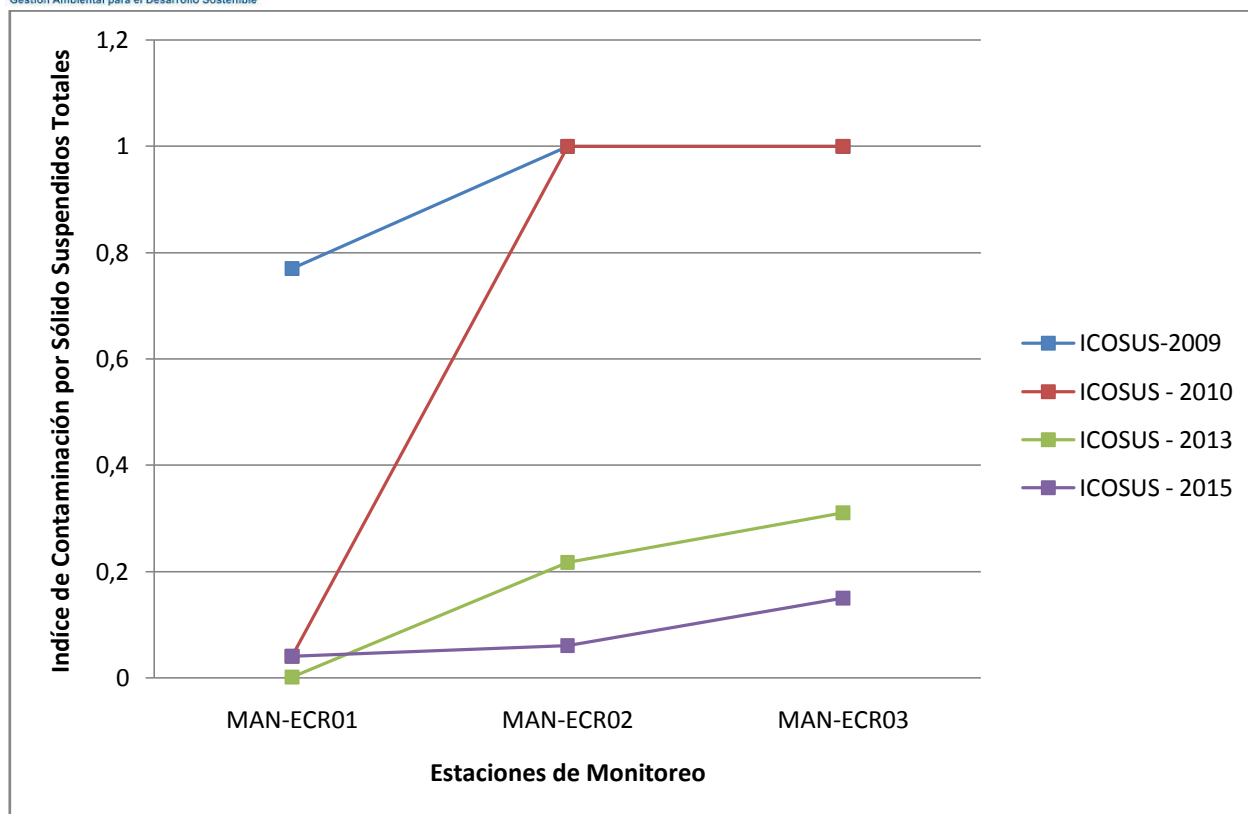
Tabla 37. ICOSUS Clasificación de la calidad del agua de la quebrada cristales según el índice de contaminación ICOSUS

Estación	Nombre	ICOSUS Calculado	Clasificación de la calidad del agua
MAN-ECR01	Antes Vertimiento Súper	0,04	Muy Baja
MAN-ECR02	Antes descole ARD	0,06	Muy Baja
MAN-ECR03	Antes desembocadura quebrada Manizales	0,15	Muy Baja



Gráfica 114. ICOSUS Quebrada cristales

En la gráfica 115, observamos la comparación del índice de contaminación ICOSUS, con los reportados en los años anteriores, mostrándose, que para el estudio actual, la influencia de la contaminación, de la quebrada cristales, no tiene como principal actor a los sólidos suspendidos totales, ya que como se aprecia, presenta los menores valores desde el estudio realizado en 2009.



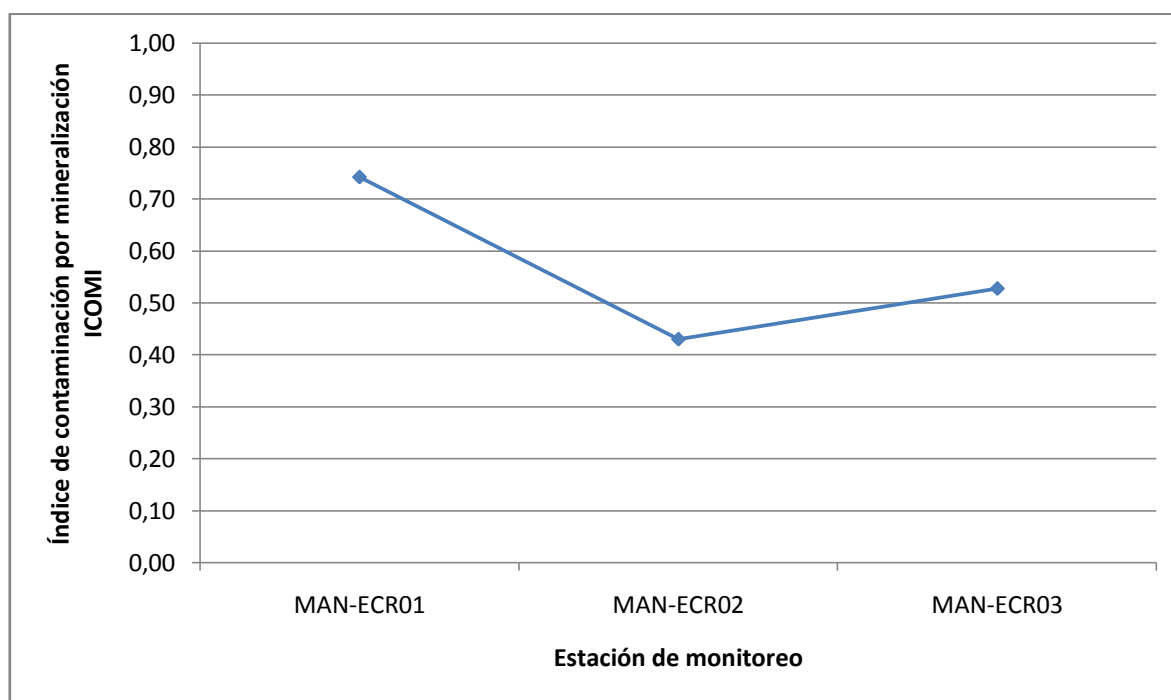
Gráfica 115. ICOSUS Quebrada cristales

En la tabla 38, se pueden apreciar los valores de los índices de contaminación ICOMI, en los cuales podemos observar que la calidad del agua, presenta una contaminación alta, en la cabecera, de la quebrada cristales estación ECR01, teniendo una pequeña disminución al final de la quebrada estación ECR03, dichos valores, son plasmados, en la grafica 116, se aprecia de una manera clara, el comportamiento de la calidad del agua, en las diferentes estaciones. El valor más alto se encuentra en la estación ECR01, debido a que posiblemente existen proceso de infiltración de aguas duras, que afectan dicha fuente, esto se ve reflejado, en los altos valores, de la dureza, que depende de minerales como calcio y magnesio, además de la posible presencia de cloruros, sulfuros, carbonatos y/o bicarbonatos que se reflejan en su calidad. Los procesos

biológicos, de la quebrada cristales, son de gran importancia para autodepurar dichos compuestos, ya que como se puede ver, en las siguientes estaciones, aunque hay un leve cambio, reflejo de ello las concentraciones en las estaciones ECR02 y ECR03, para lo cual se puede intuir una disminución en iones de calcio, ya que la dureza en dicho tramo reduce de manera considerable.

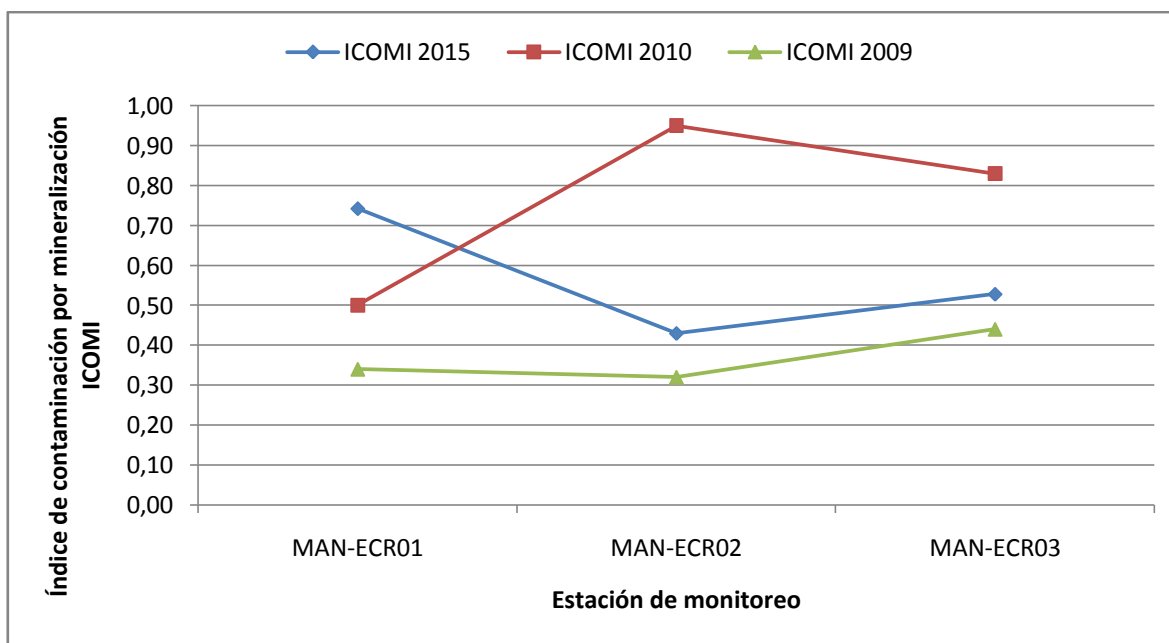
Tabla 38. ICOMI Clasificación de la calidad del agua de la quebrada cristales según el índice de contaminación ICOMI

Estación	Nombre	ICOMI Calculado	Clasificación de la calidad del agua
MAN-ECR01	Antes Vertimiento Súper	0,74	Alta
MAN-ECR02	Antes descole ARD	0,43	Media
MAN-ECR03	Antes desembocadura quebrada Manizales	0,53	Media



Gráfica 116. ICOMI Quebrada Cristales

Como podemos observar en la gráfica 116, la tendencia del estudio actual, es similar al obtenido en 2009, ya que en el 2013, su comportamiento, fue diferente, posiblemente por las condiciones cambiantes de las fuentes superficiales, es de suma importancia recalcar que las condiciones de la quebrada cristales, respecto a las de estudio anterior se encuentran en mejores condiciones, gracias a la los diferentes cambios realizados sobre la misma.



Gráfica 117. ICOMI Quebrada Cristales

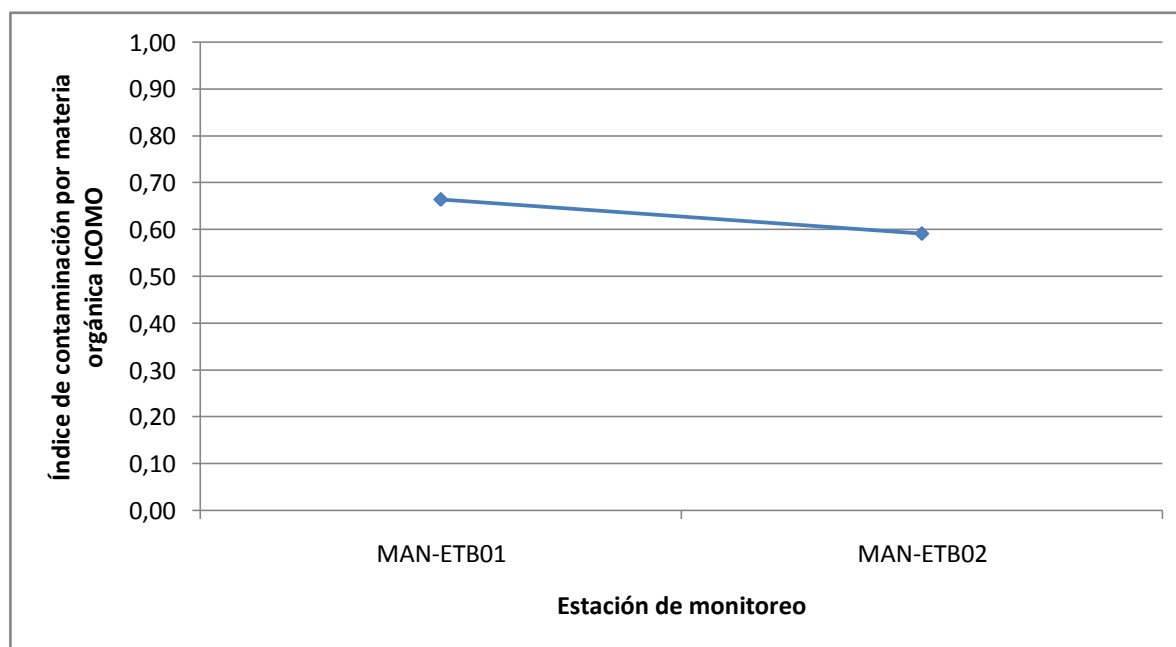
8.4.3.3 Quebrada 2515-002-093-003

En la tabla 39, podemos apreciar los valores del índice de contaminación ICOMO, de lo cual, podemos intuir, que la quebrada, presenta problemas, aguas arriba, debido posiblemente a contaminantes orgánicos, descarga de vertimientos domésticos, ya que los coliformes totales presentan un valor elevado, en la siguiente estación se genera una leve recuperación, especialmente por la condiciones hidrobiológicas de la quebrada. En la gráfica118, se puede observar el comportamiento del índice de contaminación ICOMO, a través de las estaciones

de estudio, se atribuye el alto grado de contaminación en la estación ETB01 con material orgánico, a posibles descargar domésticas, reflejo de ello el bajo porcentaje de oxígeno de saturación y al valor elevado de los coliformes totales, la reducción en la estación ETB02, aunque es leve, alcanza un nivel medio, de contaminación, esto debido al vertimiento generado por la industria FOODEX, este tiene unas características más aceptables en cuanto a las variables fisicoquímicas que afectan las fuentes superficiales con material orgánico.

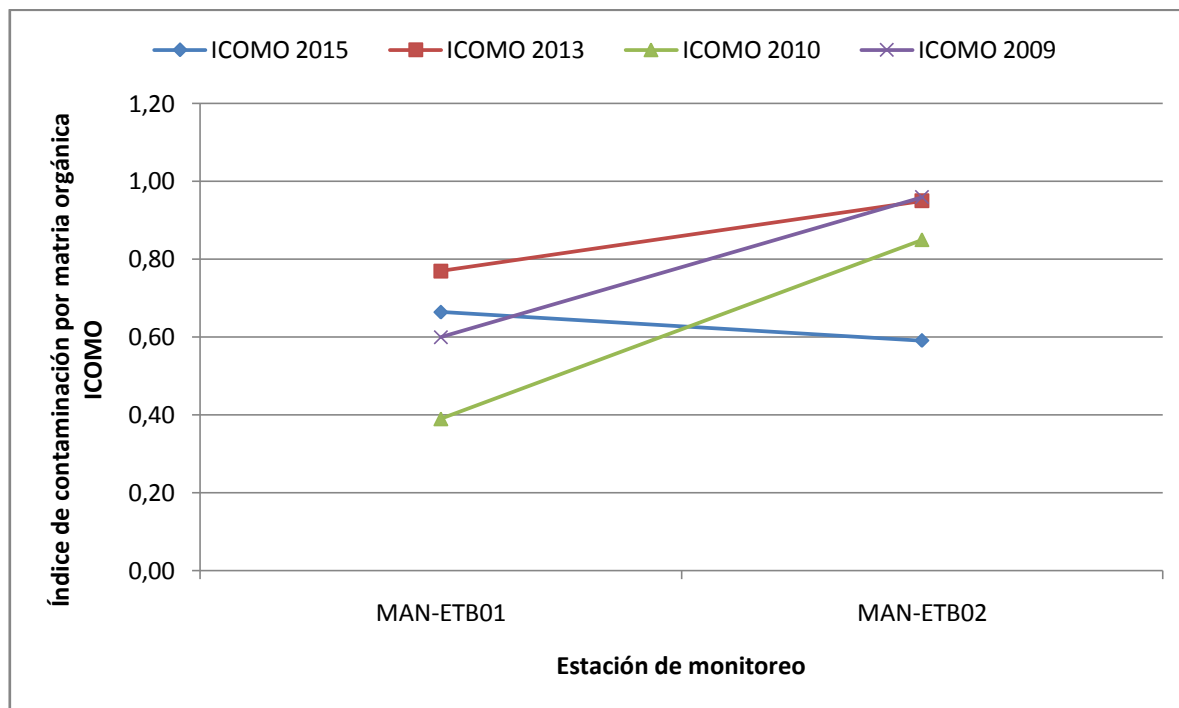
Tabla 39 ICOMO Clasificación de la calidad del agua de la quebrada 2515-002-093-003 según el índice de contaminación ICOMO

Estación	Nombre	ICOMO Calculado	Clasificación de la calidad del agua
MAN-ETB01	Antes Vertimiento Foodex	0,66	Alta
MAN-ETB02	Antes desembocadura Q. Manizales	0,59	Media



Gráfica 118. ICOMO Quebrada 2515-002-093-003

En la grafica 119, podemos observar la comparacion de los indices de cotaminacion ICOMO de la quebrada 2515-002-093-003, de la cual se puede concluir que el estudio actual tiene un comportamiento inverso a los demas valores historicos, esto de puede atribuir a las condiciones cambiantes y continuas de las fuentes superficiales.

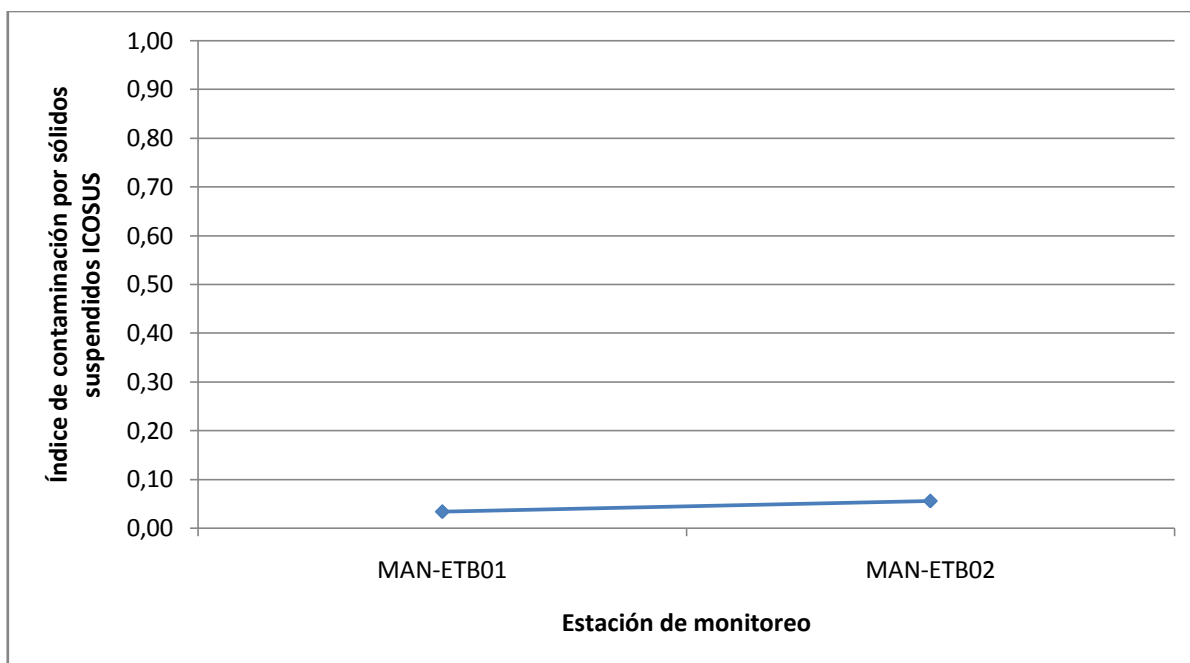


Gráfica 119. ICOMO Quebrada quebrada 2515-002-093-003

En la tabla 40, podemos apreciar los valores determinados para el índice de contaminación ICOSUS, el cual presenta niveles muy bajos para las dos estaciones de estudio, esto se ve reflejado en los valores obtenidos para los sólidos suspendidos totales y las grasas, ya que son concentraciones son muy bajas en todo el tramo de estudio. En la gráfica 120, podemos observar el comportamiento del índice de contaminación ICOSUS, el cual es constante a través del tiempo, relación directa con los sólidos suspendidos totales generados para dicho tramo de estudio.

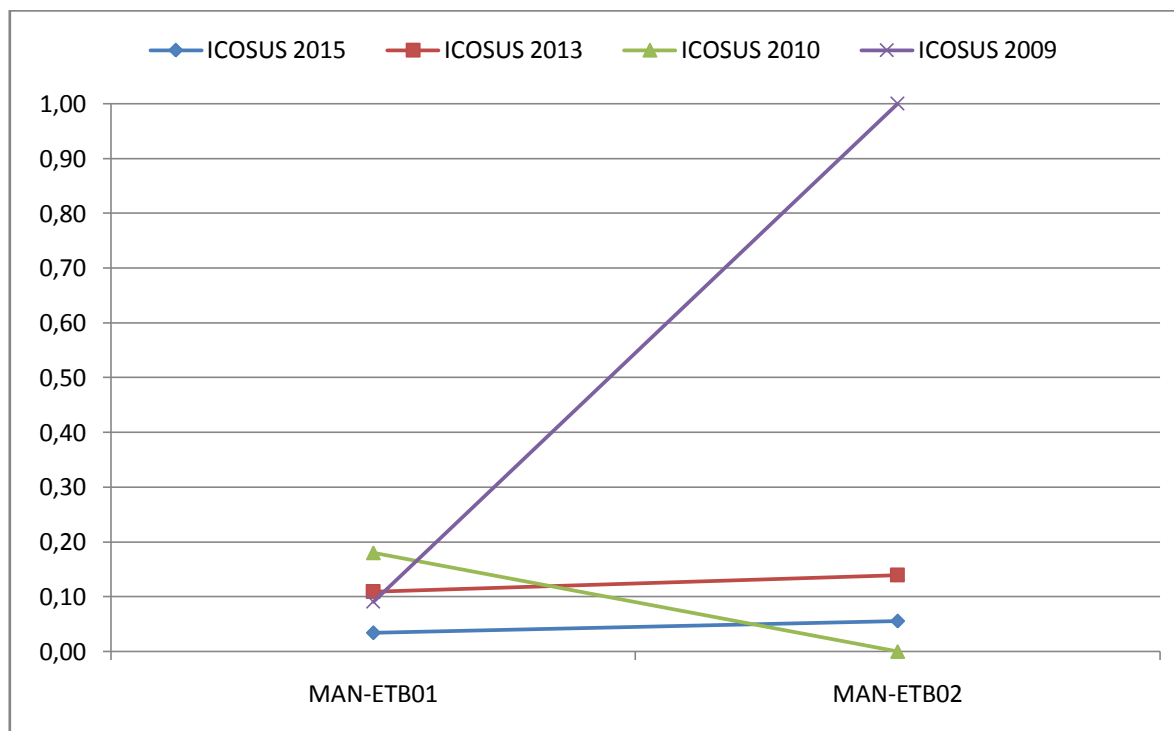
Tabla 40 ICOSUS Clasificación de la calidad del agua de la quebrada 2515-002-093-003 según el índice de contaminación ICOSUS

Estación	Nombre	ICOSUS Calculado	Clasificación de la calidad del agua
MAN-ETB01	Antes Vertimiento Foodex	0,03	Muy Baja
MAN-ETB02	Antes desembocadura Q. Manizales	0,06	Muy Baja



Gráfica 120. ICOSUS Quebrada 2515-002-093-003

En la figura 121 mostraremos una comparación con los diferentes estudios realizados sobre la quebrada 2515-002-093-003, en el cual se puede apreciar que los ultimos tres estudios presentan una tendencia y/o comportamiento constante, exceptuando el estudio del 2009, que en la estacion final presenta un indice de contaminación muy alto, es claro que los sistemas son cambiantes y mas las fuentes superficiales sobre las cuales se realizan procesos biologicos para su propia recuperación.

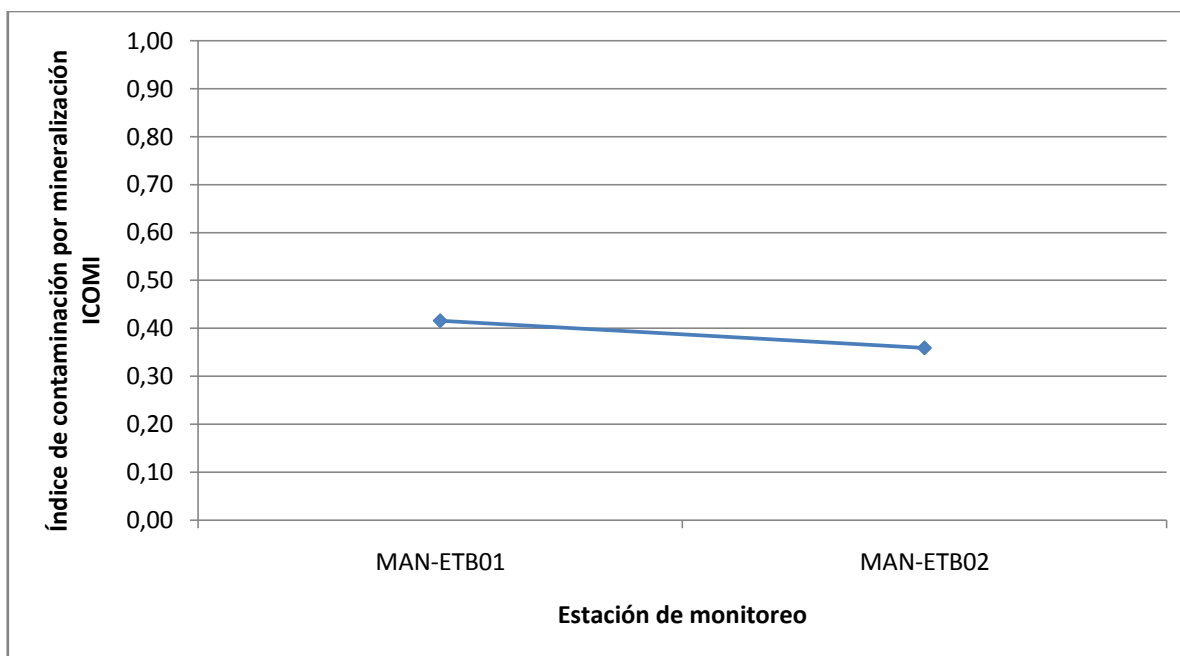


Gráfica 121. ICOSUS Quebrada 2515-002-093-003

En la tabla 41, podemos observar los valores obtenidos para el índice de contaminación por minerales, los cuales al ser graficados, grafica 122, se aprecia de una mejor manera la recuperación que se obtiene de la estación ETB01 a la estación ETB02, es leve pero gracias a los procesos hidrobiológicos del sistema se contrarrestan los vertimientos industriales generados por FOODEX, es de suma importancia tener claro que la quebrada presenta una contaminación aguas arriba de la estación ETB01, posiblemente a contaminantes orgánicos de actividades humanas.

Tabla 41. ICOMI Clasificación de la calidad del agua de la quebrada 2515-002-093-003 según el índice de contaminación ICOMI

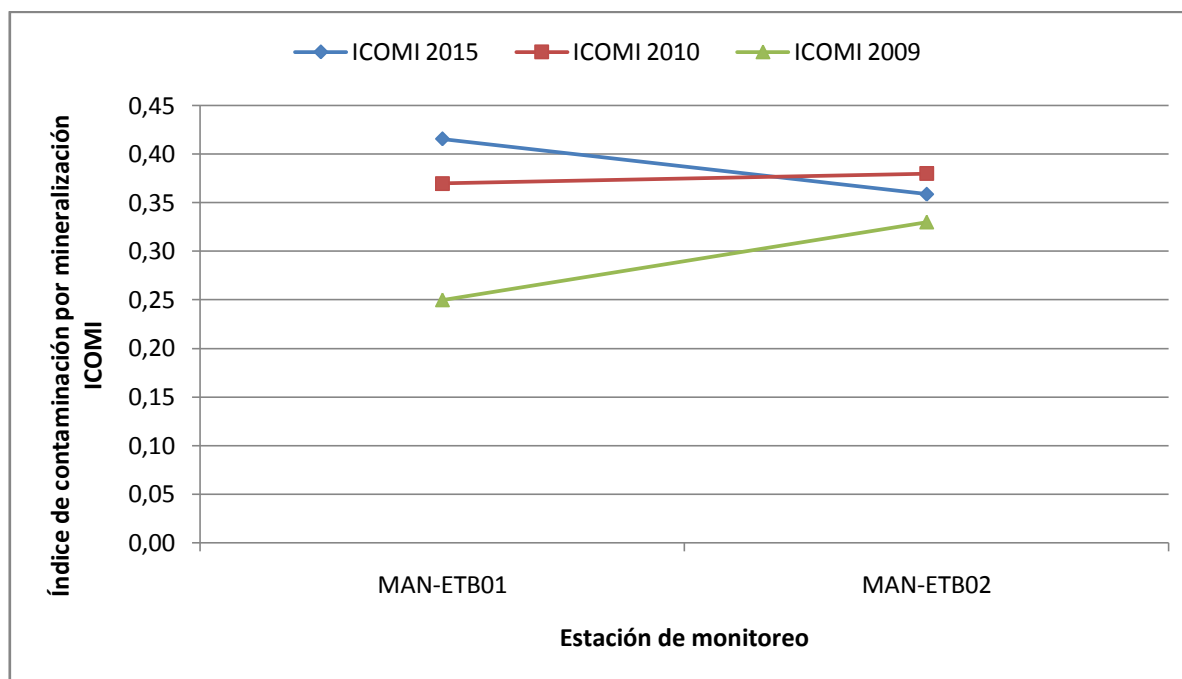
Estación	Nombre	ICOMI Calculado	Clasificación de la calidad del agua
MAN-ETB01	Antes Vertimiento Foodex	0,42	Media
MAN-ETB02	Antes desembocadura Q. Manizales	0,36	Baja



Gráfica 122. ICOSUS Quebrada 2515-002-093-003

Como podemos apreciar en la figura 123, los dos primeros estudios realizados, muestran un comportamiento similar, valores de contaminación en aumento, contrario al estudio realizado actualmente, en donde se observa una leve reducción en el índice de contaminación ICOMI, claro está que todos al final convergen a un valor similar, mostrando esto que la contaminación continua producto de las actividades industriales y vertimientos domésticos, la tendencia que de que en la primera estación se encuentra un nivel de contaminación, avala

la premisa de que la quebrada aguas arriba ha sido contaminada con actividad humana.



Gráfica 123. ICOSUS Quebrada 2515-002-093-003

Hemos realizado una descripción completa y detallada, de los posibles problemas de contaminación, en cada una de las fuentes superficiales, gracias a los índices de contaminación, determinados para las 24 estaciones de monitoreo, sobre la quebrada Manizales y sus principales afluentes, con esto se pudo demostrar, la contribución, que tienen las industrias, en el deterioro de las quebradas e increíblemente los procesos biológicos de autodepuración, de estas mismas, para tratar de recuperar las condiciones iniciales, claro está que debido a su gran deterioro al final se pueden observar las consecuencias generadas sobre estas.

Ahora, con el fin de estudiar, de una manera más profunda, las diferentes estaciones, realizaremos una comparación con la normatividad actual y vigente, determinando los diferentes usos, de la fuente de estudio, sirviéndonos esto como

guía, para entender, en qué lugares se pueden realizar diferentes actividades de captación y su disposición del recurso hídrico o por el contrario sobre qué parámetros debemos ejercer un control continuo, que pueden generar procesos secundarios, que afecten las diferentes quebradas de interés.

7. COMPARACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA QUEBRADA MANIZALES SEGÚN LO ESTABLECIDO EN EL DECRETO 1594 DE 1984 Y RESOLUCION 469 DE 2014 EMITIDA POR LA CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DE CALDAS

La norma de calidad para el uso del recurso hídrico en Colombia, es el Decreto 1594 de 1984, que es de carácter nacional. A pesar que dichos usos del recurso hídrico fueron actualizados por medio del Decreto 3930 de 2010, aún no han sido expedidos los criterios de calidad necesarios para cada uno de los usos propuestos en el Decreto 3930.

Actualmente sobre la quebrada Manizales aplican las normas nacionales de uso del recurso, es decir que para determinar los usos para los cuales es apta el agua de la quebrada Manizales, se consideran los criterios establecidos por el Decreto 1594 de 1984, claro está que la Corporación Autónoma de Caldas emitió la resolución 469 del 2014 en la cual se dictan las disposiciones o usos del agua de quebrada Manizales microcuenca del Río Chinchiná. En las tablas 42-52, se compara la calidad del agua en las doce estaciones de monitoreo sobre la quebrada Manizales y la norma colombiana vigente, para cada uno de los usos.

Los usos del recurso hídrico establecidos en el Decreto 1594 son: Uso del agua en consumo humano y doméstico que para su potabilización se requiere solamente tratamiento convencional, uso del agua en consumo humano y doméstico que para su potabilización se requiere solamente desinfección, uso agrícola del agua, uso pecuario, uso recreativo y uso en preservación de flora y fauna. Para cada uno de estos usos, la norma presenta los límites máximos y mínimos que aparecen en las tablas correspondientes del decreto.

Entre los parámetros establecidos por el Decreto 1594, no se realizó ninguna comparación con el color que aparece en la norma pues es color real y el medido es color aparente, así que no deben ser comparados, al tratarse de parámetros diferentes. La turbiedad y los Coliformes fecales, están expresados en la norma en unidades diferentes a las que fueron determinadas en los laboratorios. El Decreto 1594 expresa la turbiedad en Unidades Jackson de Turbiedad (UJT), pero en los laboratorios generalmente suele expresarse la turbiedad en Unidades Nefelométricas de Turbiedad (UNT), para lo cual debemos usar factores de conversión, establecidos internacionalmente con el fin de poder realizar las respectivas comparaciones aunque no es aconsejable por que las condiciones de los métodos es variable. Con los Coliformes fecales y totales la situación es parecida porque en la norma nacional los límites máximos están expresados en términos de Numero Más Probable (NMP), para expresar la población de bacterias en estas unidades, es necesario usar una técnica muy diferente a la que esta estandarizada en los laboratorios a nivel nacional e internacional, los cuales hacen recuento de Unidades Formadoras de Colonias (UFC). En los dos casos no es posible comparar los datos entregados por el laboratorio y los criterios de calidad que presenta el Decreto 1594.

También nos apoyamos en la resolución 469 de 2014 en la cual se establecen los usos del agua según lo estipulado por la Corporación Autónoma Regional de Caldas, para la microcuenca de estudio quebrada Manizales, sobre los primeros 10 kilómetros de estudio, aunque es importante notar que en dicha resolución solo enfatizan en el uso que se le da actualmente y en el que se debe potenciar.

Es de resaltar que lo estipulado en la resolución 469 de 2014, dictada por la Corporación Autónoma Regional de Caldas, muestra los valores, de los parámetros, que según los diferentes análisis técnicos e históricos de la quebrada Manizales, representan mayor relevancia en la contaminación de la fuente de estudio. A continuación realizaremos la comparación con los datos obtenidos en cada una de las estaciones de monitoreo de la quebrada con el fin de poder establecer diferencias, tanto del decreto 1594 de 1984 y de la resolución 469 de 2014.

Tabla 42. Comparación de los parámetros de calidad del agua realizados por ONG Servicios Ambientales de Caldas, contrato 171-2015, con lo estipulado en el decreto 1594 de 1984 para el uso del agua en consumo humano y domestico que para su potabilización se requiere solamente tratamiento convencional

Parámetro	Unidades	Valor	E01	E02	E03	E04	E05	E06
Cloruros	mg/l	250	115	0.488	153	1.22	63.25	96.42
Cromo hexavalente	mg/l	0.05	< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	<0.04	<0.04
Mercurio	mg/l	0.002	<0.01	0,023	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Nitratos	mg/l	10	0,004	0.06	0.031	0.058	0.131	0.189
Nitritos	mg/l	1.0	3.0	0.9	1.6	4.2	2.9	2.0
pH	mg/l	5.0-9.0	7.85	7.89	8.14	7.96	8.0	8.31
Detergentes	mg/l	0.5	0.05	0.05	0.05	0.05	0.47	0.05

Tabla 43. Comparación de los parámetros de calidad del agua realizados por ONG Servicios Ambientales de Caldas, contrato 171-2015, con lo estipulado en el decreto 1594 de 1984 para el uso del agua en consumo humano y domestico que para su potabilización se requiere solamente tratamiento convencional

Parámetro	Unidades	Valor	E07	E08	E09	E10	E11	E12
Cloruros	mg/l	250	43.75	47.34	34.07	47.06	34.31	0.89
Cromo hexavalente	mg/l	0.05	< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	<0.04	<0.04
Mercurio	mg/l	0.002	<0.01	<0.01	<0.01	--	--	0,01
Nitratos	mg/l	10	0.147	0.122	0.176	0.118	0.132	0.115
Nitritos	mg/l	1.0	2.2	0.9	1.3	1.7	15.3	5.3
pH	mg/l	5.0-9.0	8.81	8.20	8.18	8.23	7.96	8.03
Detergentes	mg/l	0.5	0.05	0.05	0.05	0.05	0.38	1.21

Tabla 44. Comparación de los parámetros de calidad del agua realizados por ONG Servicios Ambientales de Caldas, contrato 171-2015, con lo estipulado en el decreto 1594 de 1984 para el uso del agua en consumo humano y domestico que para su potabilización se requiere solamente desinfección

Parámetro	Unidades	Valor	E01	E02	E03	E04	E05	E06
Cloruros	mg/l	250	115	0.488	153	1.22	63.25	96.42
Cromo hexavalente	mg/l	0.05	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04
Mercurio	mg/l	0.002	<0.01	0,023	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

Nitratos	mg/l	10	0,004	0.06	0.031	0.058	0.131	0.189
Nitritos	mg/l	1.0	3.0	0.9	1.6	4.2	2.9	2.0
pH	mg/l	5.0-9.0	7.85	7.89	8.14	7.96	8.0	8.31
Detergentes	mg/l	0.5	0.05	0.05	0.05	0.05	0.47	0.05

Tabla 45. Comparación de los parámetros de calidad del agua realizados por ONG Servicios Ambientales de Caldas, contrato 171-2015, con lo estipulado en el decreto 1594 de 1984 para el uso del agua en consumo humano y domestico que para su potabilización se requiere solamente desinfección

Parámetro	Unidades	Valor	E07	E08	E09	E10	E11	E12
Cloruros	mg/l	250	43.75	47.34	34.07	47.06	34.31	0.89
Cromo hexavalente	mg/l	0.05	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04
Mercurio	mg/l	0.002	<0.01	<0.01	<0.01	--	--	0,01
Nitratos	mg/l	10	0.147	0.122	0.176	0.118	0.132	0.115
Nitritos	mg/l	1.0	2.2	0.9	1.3	1.7	15.3	5.3
pH	mg/l	5.0-9.0	8.81	8.20	8.18	8.23	7.96	8.03
Detergentes	mg/l	0.5	0.05	0.05	0.05	0.05	0.38	1.21

Tabla 46. Comparación de los parámetros de calidad del agua realizados por ONG Servicios Ambientales de Caldas, contrato 171-2015, con lo estipulado en el decreto 1594 de 1984 para el uso del agua agrícola.

Parámetro	Unidades	Valor	E01	E02	E03	E04	E05	E06
Cromo hexavalente	mg/l	0.1	< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	<0.04	<0.04
pH	mg/l	4.0-9.0	7.85	7.89	8.14	7.96	8.0	8.31

Tabla 47. Comparación de los parámetros de calidad del agua realizados por ONG Servicios Ambientales de Caldas, contrato 171-2015, con lo estipulado en el decreto 1594 de 1984 para el uso agrícola del agua

Parámetro	Unidades	Valor	E07	E08	E09	E10	E11	E12
Cromo hexavalente	mg/l	0.1	< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	<0.04	<0.04
pH	mg/l	4.0-9.0	8.81	8.20	8.18	8.23	7.96	8.03

Tabla 48. Comparación de los parámetros de calidad del agua realizados por ONG Servicios Ambientales de Caldas, contrato 171-2015, con lo estipulado en el decreto 1594 de 1984 para el uso pecuario del agua.

Parámetro	Unidades	Valor	E01	E02	E03	E04	E05	E06
Cromo hexavalente	mg/l	1.0	< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	<0.04	<0.04
Mercurio	mg/l	0.01	<0.01	0,023	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Nitratos + Nitritos	mg/l	100	3,004	0.15	1.631	4.258	3.031	2.189
Nitritos	mg/l	10	3.0	0.9	1.6	4.2	2.9	2.0

Tabla 49. Comparación de los parámetros de calidad del agua realizados por ONG Servicios Ambientales de Caldas, contrato 171-2015, con lo estipulado en el decreto 1594 de 1984 para el uso pecuario del agua.

Parámetro	Unidades	Valor	E07	E08	E09	E10	E11	E12
Cromo hexavalente	mg/l	1.0	< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	<0.04
Mercurio	mg/l	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	--	--	0,01
Nitratos + Nitritos	mg/l	100	2.247	1.022	1.476	1.818	15.432	5.415
Nitritos	mg/l	10	2.2	0.9	1.3	1.7	15.3	5.3

Tabla 50. Comparación de los parámetros de calidad del agua realizados por ONG Servicios Ambientales de Caldas, contrato 171-2015, con lo estipulado en el decreto 1594 de 1984 para el uso recreativo.

Parámetro	Unidades	Valor	E01	E02	E03	E04	E05	E06
pH	mg/l	5.0-9.0	7.85	7.89	8.14	7.96	8.0	8.31
Detergentes	mg/l	0.5	0.05	0.05	0.05	0.05	0.47	0.05

Tabla 51. Comparación de los parámetros de calidad del agua realizados por ONG Servicios Ambientales de Caldas, contrato 171-2015, con lo estipulado en el decreto 1594 de 1984 para el uso recreativo del agua.

Parámetro	Unidades	Valor	E07	E08	E09	E10	E11	E12
pH	mg/l	5.0-9.0	8.81	8.20	8.18	8.23	7.96	8.03
Detergentes	mg/l	0.5	0.05	0.05	0.05	0.05	0.38	1.21

Tabla 52. Comparación de los parámetros de calidad del agua realizados por ONG Servicios Ambientales de Caldas, contrato 171-2015, con lo estipulado en el decreto 1594 de 1984 para el uso de preservación de flora y fauna del agua.

Parámetro	Unidades	Valor	E01	E02	E03	E04	E05	E06
pH	mg/l	5.0 (Agua fría dulce) 4.0 (Agua cálida dulce)	7.85	7.89	8.14	7.96	8.0	8.31
OD	mg/l	6.5-9.0 (Agua fría dulce) 4.5-9.0 (Agua cálida dulce)	8.03	8.18	8.29	7.94	7.01	4.86

Tabla 53. Comparación de los parámetros de calidad del agua realizados por ONG Servicios Ambientales de Caldas, contrato 171-2015, con lo estipulado en el decreto 1594 de 1984 para el uso de preservación de flora y fauna del agua.

Parámetro	Unidades	Valor	E07	E08	E09	E10	E11	E12
pH	mg/l	5.0 (Agua fría dulce) 4.0 (Agua cálida dulce)	8.81	8.20	8.18	8.23	7.96	8.03
OD	mg/l	6.5-9.0 (Agua fría dulce) 4.5-9.0 (Agua cálida dulce)	5.19	5.58	5.15	7.12	6.64	2.69

En las tablas mostradas anteriormente, se aprecia la comparación de los valores establecidos, por el decreto 1594/1984, respecto los valores obtenidos en el monitoreo de las 12 estaciones, de la quebrada Manizales, se debe tener en cuenta, que con esto, se abarca todo el sistema de estudio, ya que se miden las

condiciones cuando se realizan las diferentes mezclas de cada uno de sus tributarios. Como se puede ver en la tabla 42 y 43 las condiciones para potabilizar el agua por tratamiento convencional, no cumplen, con el parámetro de nitritos ya que en el transcurso de las diferentes estaciones se encuentra por encima de lo estipulado en el decreto, esto se debe a los continuos vertimientos por industrias como: Progel, Descafecol, Colombit, Surtipieles y residuos domésticos, que alteran de manera considerable, las condiciones de la quebrada Manizales. Este mismo comportamiento se presenta en las tablas 44 y 45, en la cuales, el uso del agua es para potabilización pero solo por procesos de desinfección, para dicho aspecto se debe tener cuidado ya que se puede afectar una comunidad entera por el desconocimiento de la misma, es importante resaltar que la adicción de cloro en aguas que presentan indicios de contaminación altos de materia orgánica, puede generar trihalometanos, que pueden afectar seriamente el sistema de los seres humanos y el desarrollo de la flora y fauna sobre la quebrada de estudio.

Los valores de mercurio solo se ven afectados en la estación E02 siendo de gran preocupación en el tramo E02 y E03, ya que pueden existir captación o usos de alguna índole que afecten a la comunidad, es claro que dicho aumento en la concentración de mercurio se debe a la actividad minera, vertimiento de la mina la coqueta y la cascada, en las cuales para el proceso de extracción de oro se usan compuestos químicos y técnicas, que hacen que dicho componente afecte la fauna y flora de la fuente de estudio, aunque en la recuperación del mismo medio, la oxidación hace que el compuesto alcance concentraciones más bajas en las siguientes estaciones, mas sin embargo se debe de tener gran control sobre dicha zona, con el fin de garantizar lo estipulado por la normatividad colombiana.

En las tablas 46 y 47, se muestra el total cumplimiento según lo establecido en la norma para usar el agua en actividades agrícolas, es de resaltar que los niveles de cromo hexavalente presentan valores muy bajos, debido a que los vertimientos de las actividades mineras e industriales controlan en sus procesos dicho componente, también es de resaltar que las industrias que generan contaminación con dicho elemento son la industria del cemento, colorantes, curtiembres, metalúrgica y pinturas, las cuales en la zona de estudio son pocas, el pH cumple con los rangos definidos esto específicamente a la capacidad que tiene la fuente superficial en neutralizar los diferentes compuestos que son vertidos sobre esta.

En la tabla 48 y 49, podemos apreciar que las variables como mercurio presenta un incumplimiento en la estación E02, debido a los vertimientos de las minas de la zona de estudio y que el cromo hexavalente se encuentra en concentraciones bajas gracias a los controles continuos de la corporaciones sobre las diferentes industrias, los valores de nitritos y nitratos cumplen en el rango establecido en la norma, indispensable entender que la misma quebrada Manizales genera reacciones biológicas en las cuales trata de consumir dichos nutrientes en diferentes reacciones para mantener el equilibrio del sistema, aunque no sean lo suficientemente efectivas para poder captar el agua para proceso de potabilización.

Para el uso recreativo, es de suma importancia resaltar que no se definieron comparaciones técnicas con los Coliformes fecales, que son de gran importancia, ya que si el uso recreativo, es de contacto primario o secundario, este parámetro, juega un papel decisivo, por lo cual solo se realizó las respectivas comparaciones con los parámetro de pH y detergentes, esto se puede apreciar en la tabla 50 y 51, que cumplen de manera completa con la normatividad establecida.

El uso de flora y fauna, es comparado en la tabla 52 y 53, con los valores aceptados por el decreto 1594/84, muestra que dicho aspecto se puede potencializar, en la mayor parte quebrada Manizales, ya que al desembocar, en el río Chinchiná, última estación de estudio, presenta una disminución bastante pronunciada, influenciada por vertimientos industriales y domésticos que son recurrentes en la zona y que disminuyen la calidad del agua.

Anteriormente realizamos la comparación de los diferentes parámetros estipulados por el decreto 1594 de 1984, a continuación mostraremos los parámetros establecidos por la Corporación Autónoma Regional de Caldas, para la microcuenca de la quebrada Manizales, con el fin de realizar un análisis más particular, con la legislación propia de la zona de estudio, es de suma importancia entender que los parámetros análisis son lo de interés sanitario para la entidad ambiental por sus características fisicoquímicas y biológicas, una de las variables con las cuales no se puede realizar una comparación adecuada es la de Coliformes totales y fecales debido a las unidades determinadas por el laboratorio de Corpocaldas y las emitidas por la corporación son técnicamente diferentes, por

ende solo se establece la comparación con los parámetros de Demanda Biológica de Oxígeno, Oxígeno Disuelto y Sólidos Suspendidos Totales.

Tabla 54. Comparación de los parámetros de calidad del agua realizados por ONG Servicios Ambientales de Caldas, contrato 171-2015, con lo estipulado en la resolución 469 de 2014, en la que se establecen los valores de calidad del agua para los diferentes usos según la Corporación Autónoma Regional de Caldas Corpocaldas.

Parámetro	Unidades	Valor	E01	E02	E03	E04	E05	E06
Oxígeno Disuelto	mg/l	≥ 5	8.03	8.18	8.29	7.94	7.01	4.86
DBO ₅	mg/l	≤ 10	1,69	1,69	2,74	1,69	415	696
Sólidos suspendidos totales	mg/l	≤ 1000	59	758	498	339	723	1204

Tabla 55. Comparación de los parámetros de calidad del agua realizados por ONG Servicios Ambientales de Caldas, contrato 171-2015, con lo estipulado en la resolución 469 de 2014, en la que se establecen los valores de calidad del agua para los diferentes usos según la Corporación Autónoma Regional de Caldas Corpocaldas.

Parámetro	Unidades	Valor	E07	E08	E09	E10	E11	E12
Oxígeno Disuelto	mg/l	≥ 5	5.19	5.58	5.15	7.12	6.64	2.69
DBO ₅	mg/l	≤ 10	459	131	327	140	132	274
Sólidos suspendidos totales	mg/l	≤ 1000	814	734	582	523	463	769

Como podemos apreciar en la tabla 54 y 55, según las comparaciones establecidas con los valores emitidos por la Corporación Autónoma Regional de Caldas, la variable de oxígeno disuelto en las estaciones E06 y E12, presenta un incumplimiento esto debido principalmente a las aguas residuales e industriales de la zona, en el caso de la estación E06 el parque industrial de Maltería y en la estación E12 debido al gran aporte de las aguas residuales de la enea e industriales. El incumplimiento de la demanda biológica de oxígeno desde las estaciones E05 hasta E12, es la principal evidencia de la gran carga contaminante que recibe dicha quebrada, de las industrias como Progél, Surtipieles, Descafeol,

jabonerías hada, parque industrial Juanchito y de Maltería, y demás residuos urbanos que deben ser vertidos sin ningún tratamiento preliminar que mitigue la contaminación, sobre la quebrada Manizales. En los sólidos suspendidos totales solo se muestra un incumplimiento en la estación E06, debido a los aportes de la quebrada santa Rita e industriales de la zona de trabajo.

10. ANÁLISIS HISTÓRICO DE LA CALIDAD DEL AGUA

Con el fin de conocer en forma general el comportamiento histórico de la calidad del agua de la quebrada Manizales y sus principales afluentes (quebradas Cimitarra, Tesorito, 2615-002-098-003y Cristales) en la zona de estudio, se realizó una revisión de los datos históricos de calidad del agua, aforos realizados y de los parámetros de interés sanitario, que arrojan de manera directa el comportamiento de las estaciones a través del tiempo, logrando así tener una visión amplia de la calidad del agua de la microcuenca de la quebrada Manizales en sus diferentes etapas de estudio. Dicha revisión de información permitió realizar un análisis técnico de los cambios presentados a través del tiempo, con el cual se pueden establecer las tendencias históricas de los valores máximos, medios y mínimos de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos monitoreados en las estaciones de la quebrada Manizales.

El análisis histórico del comportamiento de la calidad del agua de la quebrada Manizales y sus principales afluentes se basó en la información reportada por CORPOCALDAS de los monitoreos de calidad realizados en las doce (12) estaciones de muestreo establecidas a lo largo de quebrada Manizales y las trece (13)estaciones de monitoreo distribuidas entre las quebradas Cimitarra, Tesorito, 2615-002-098-003 y Cristales, Se eligió esta información teniendo en cuenta que las campañas de monitoreo hubiesen tenido las mismas estaciones de muestreo sobre la quebrada Manizales y sus principales afluentes, además de establecer que las condiciones realizadas, invierno o verano fueron acordes a cada uno de los proyectos, teniendo con esto aspectos más relevantes en los análisis históricos de la información.

Los valores históricos de los parámetros de interés sanitario los podemos apreciar en las tablas 56 a 61, los cuales fueron recopilados de los estudios impulsados por

la corporación autónoma regional de caldas, desde el 2008 hasta la fecha, siendo de gran importancia observar el comportamiento histórico ya que nos muestra una idea clara y precisa de cómo se ha comportado el sistema en cuanto a cantidad y calidad del agua.

Tabla 56. Caudales históricos de la quebrada Manizales

CAUDAL HISTORICOS				
ESTACION	2014	2013	2010	2008
MAN-E01	0,01	0,037	0,036	0,039
MAN-E02	0,05	0,104	0,118	0,117
MAN-E03	0,16	0,123	0,143	0,145
MAN-E04	0,06	0,055	0,032	0,027
MAN-E05	0,07	0,124	0,159	0,153
MAN-E06	0,08	0,125	0,175	0,173
MAN-E07	0,14	0,270	0,315	0,31
MAN-E08	0,17	0,290	0,351	0,323
MAN-E09	0,34	0,323	0,422	0,39
MAN-E10	0,34	0,344	0,465	0,44
MAN-E11	0,34	0,386	0,516	0,503
MAN-E12	0,6	0,593	0,54	0,55

Tabla 57. Demanda bioquímica de oxígeno histórico de la quebrada Manizales

DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO				
ESTACIÓN	2014	2013	2010	2008
MAN-E01	1,69	3	1,54	3,06
MAN-E02	1,69	3	2,65	2,51
MAN-E03	2,74	3	2,69	3,18
MAN-E04	1,69	3	2,46	3,18
MAN-E05	415	364	164	336
MAN-E06	696	261	174	253
MAN-E07	459	181	89	171
MAN-E08	130,55	3	976	517
MAN-E09	327	108	457	630
MAN-E10	140	85	787	798
MAN-E11	132	53	749	596
MAN-E12	273,52	83	810	471

Tabla 58. Coliformes fecales histórico de la quebrada Manizales

COLIFORMES FECALES				
ESTACIÓN	2014	2013	2010	2008
MAN-E01	2	2	15	920
MAN-E02	67	28	49	1060
MAN-E03	43	17	27	126
MAN-E04	57	5	56	82
MAN-E05	31500	3200	8	240000
MAN-E06	53600	10000	19600	156000
MAN-E07	34300	4000	490	1500000
MAN-E08	3200	26	28000	196000
MAN-E09	45300	5000	11000	8600000
MAN-E10	47500	10000	190000	1220000
MAN-E11	68800	9000	52000	8200
MAN-E12	1100	40000	42000	1270000

Tabla 59. Oxígeno Disuelto histórico de la quebrada Manizales

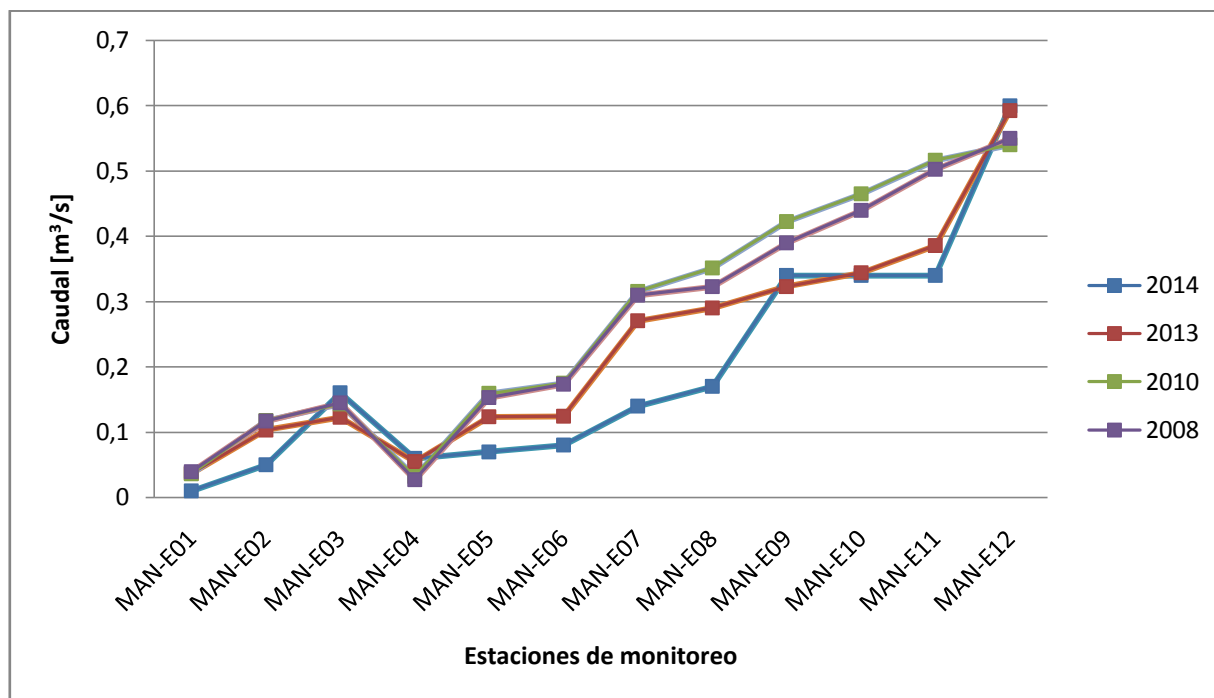
OXIGENO DISUELTO				
Estaciones	2014	2013	2010	2008
MAN-E01	8,03	7,3	6,85	7,6
MAN-E02	8,18	2,9	6,5	3,9
MAN-E03	8,29	4,9	6,65	6,8
MAN-E04	7,94	3	5,1	5,7
MAN-E05	7,01	1,8	2,85	2,2
MAN-E06	4,86	1,7	3,45	3,4
MAN-E07	5,19	2,7	3,7	3,4
MAN-E08	5,58	4,8	2,25	0,5
MAN-E09	5,15	2,3	1,3	2,7
MAN-E10	7,12	2	0,8	1,9
MAN-E11	6,64	1,9	1,3	1,8
MAN-E12	2,69	2,9	2	3,4

Tabla 60. Demanda Química de Oxígeno histórico de la quebrada Manizales

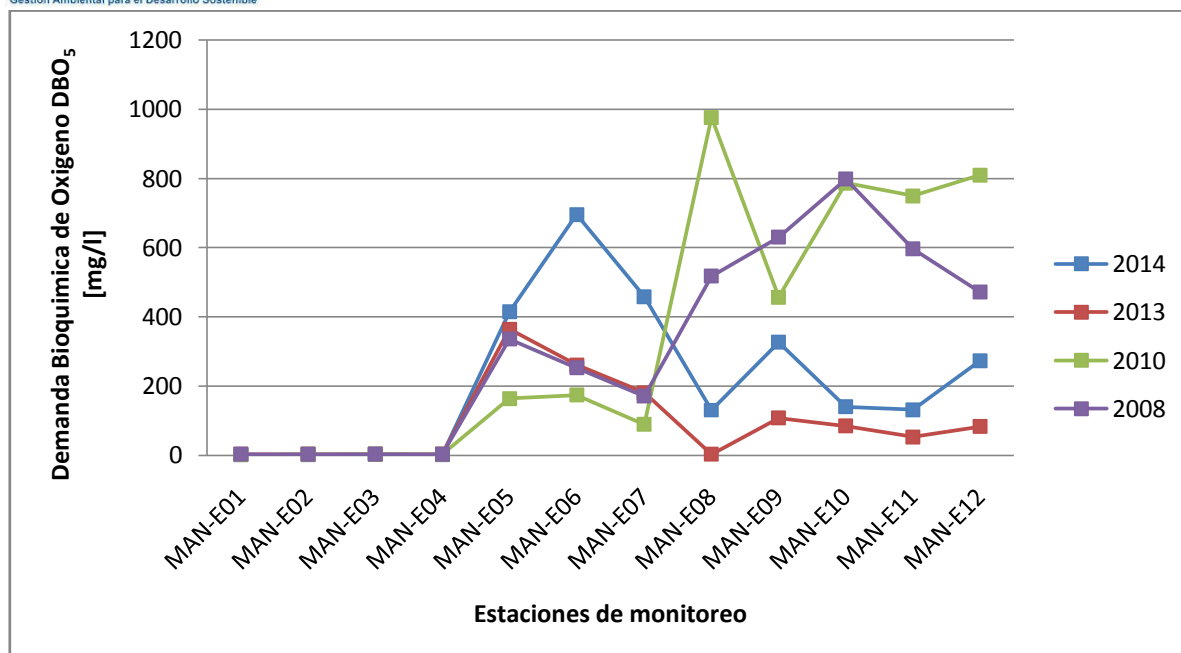
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO				
ESTACIÓN	2014	2013	2010	2008
MAN-E01	13,56	4	5,14	1,54
MAN-E02	13,61	18	11,44	8
MAN-E03	13,56	11	13,13	2,69
MAN-E04	13,56	11	3,71	2,46
MAN-E05	733	512	1073	164
MAN-E06	740	391	810	174
MAN-E07	643	217	392	89
MAN-E08	194,88	6	976	6
MAN-E09	376	185	1070	457
MAN-E10	250	142	1225	787
MAN-E11	200	41	785	749
MAN-E12	407,7	148	705	810

Tabla 61. Sólidos Suspendidos Totales histórico de la quebrada Manizales

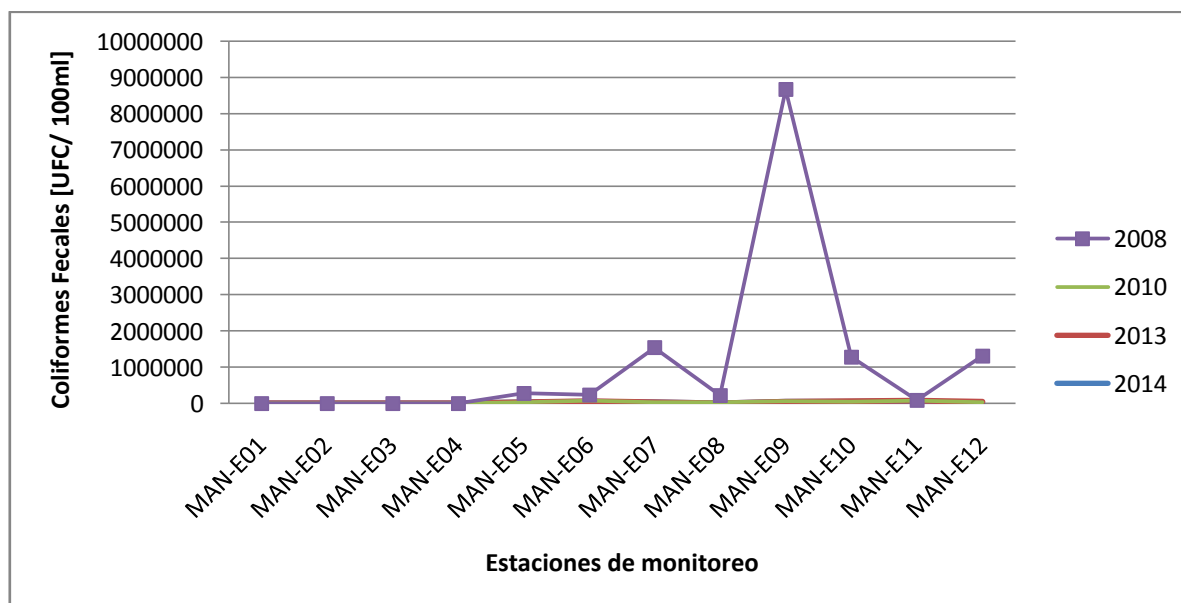
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES				
ESTACIÓN	2014	2013	2010	2008
MAN-E01	17	6	12	3
MAN-E02	571	827	306	136
MAN-E03	387	109	217	1241
MAN-E04	230	379	89	159
MAN-E05	164	284	158	107
MAN-E06	238	258	142	214
MAN-E07	188	216	182	106
MAN-E08	279	39	190	203
MAN-E09	142	161	163	150
MAN-E10	146	134	277	173
MAN-E11	134	163	270	174
MAN-E12	353	148	235	222



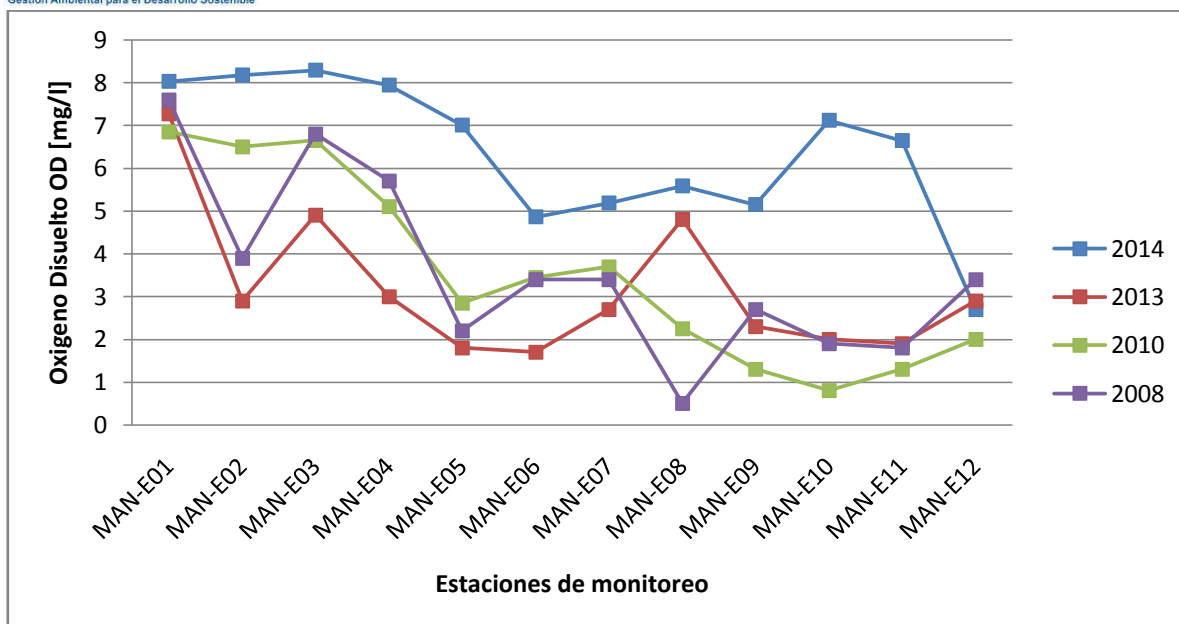
Gráfica 124. Comportamiento histórico del caudal de la quebrada Manizales



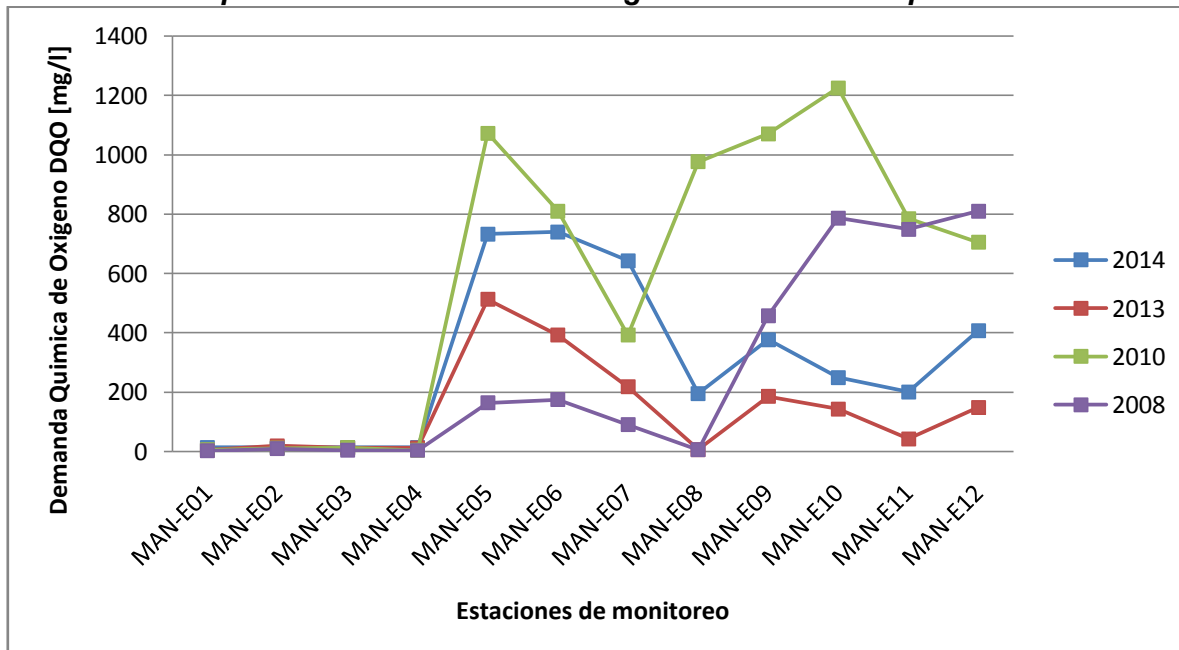
Gráfica 125. Comportamiento histórico de la Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO_5 de la quebrada Manizales



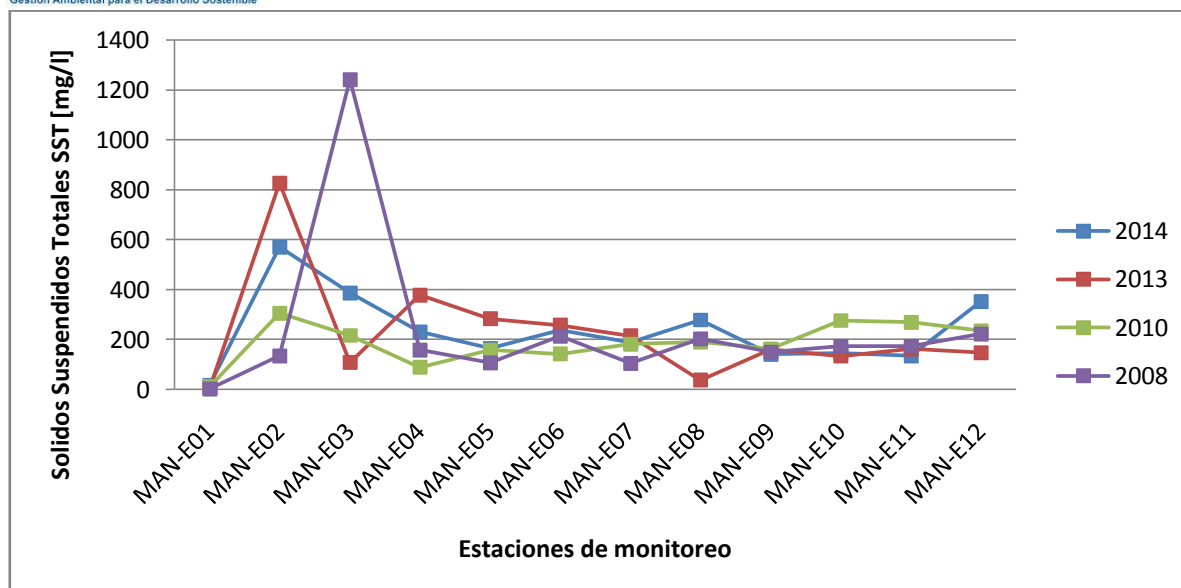
Gráfica 126. Comportamiento histórico de los Coliformes fecales de la quebrada Manizales



Gráfica 127. Comportamiento histórico del oxígeno disuelto de la quebrada Manizales



Gráfica 128. Comportamiento histórico de la Demanda Química de Oxígeno DQO de la quebrada Manizales



Gráfica 129. Comportamiento histórico de los Sólidos Suspendedos Totales de la quebrada Manizales.

En el primer sector de la quebrada Manizales comprendido entre las estaciones denominadas MAN-E1 Blanco y Después de la Bocatoma del Acueducto La Enea MAN-E4, se observa que la Quebrada presenta una buena calidad fisicoquímica en sus aguas. Esto se refleja en los altos niveles de OD en las estaciones de monitoreo con concentraciones entre 8 a 7 mg/l OD, excepto en los estudios de 2008 y 2013 en los cuales los niveles bajan de manera directa en las primeras estaciones, debido posiblemente a contaminación de residuos urbanos o a factores ajenos al medio como la medición de dicha variable por los responsables del estudio, es claro que las aguas superficiales en sus nacimientos presentan niveles altos de oxígeno debido a la calidad y a la poca influencia del hombre en el medio, por lo cual es razonable encontrar valores con altos porcentajes de saturación debido a las características morfológicas de la quebrada.

El comportamiento de los parámetros de análisis, como lo son DBO, Coliformes Fecales, Oxígeno disuelto y DQO, en el primer tramo presenta niveles muy bajos y característicos de las fuentes superficiales en sus nacimientos, esto se puede apreciar de manera clara en las gráficas 124 a 129, es de suma importancia entender que las condiciones del medio presentan una muy buena calidad del

agua que al final en su recorrido se verá afectado de manera directa con los cambios de sus propiedades físicas y químicas debido a los continuos vertimientos industriales. Los valores de OD son consecuencia de la poca contaminación que se presenta en este sector y de la gran capacidad de oxigenación (reaireación) de la corriente, generada por las altas tasas de reaireación ocasionadas por la gran turbulencia del flujo, típica en ríos de montaña en donde se presentan macro rugosidades (grandes rocas) a lo largo de su trayectoria y pendientes muy pronunciadas, en las cuales el flujo alcanza gran velocidad y turbulencia.

La poca contaminación en este sector de la quebrada Manizales también se evidencia en otros parámetros indicadores de contaminación orgánica e inorgánica, tales como la DBO5 y la DQO. La DBO5 en las estaciones monitoreo de este sector presenta bajas concentraciones, estando estas en el rango entre 1,0 y 3,0 mg/l DBO5. De igual forma, la DQO en las estaciones monitoreo de este sector presenta bajas concentraciones, estando estas en el rango entre 10 a 13 mg/l de DQO.

Sin embargo, los SST en este primer sector grafica 128 presentan valores elevados, tal es el caso del sector posterior a la estación Blanco (E-1) en donde se presenta un incremento considerable en las concentraciones de SST, mas sin embargo en el estudio actual se puede observar que el comportamiento de dicha variable ha mejorado, la contaminación o presencia de materiales disueltos en los nacimientos de la quebrada han reducido de manera proporcional respecto a los demás estudios.

En el segundo tramo de estudio entre las estaciones Acueducto la enea MAN-E4 y antes de la quebrada guayabal MAN-E8, se puede observar el gran deterioro de la calidad del agua Dicho deterioro se refleja en un descenso importante en el valor del OD, desde valores de 5,1 mg/l OD, hasta 0,5 mg/l OD en el estudio del 2008, como se aprecia en los perfiles de la gráfica 127, es de suma importancia resaltar que las mejores condiciones de oxígeno disuelto fueron alcanzadas en el estudio actual 2014 ya que el menor valor reportado fue de 4,86 mg/l, en las gráficas 125 de los históricos de la demanda bioquímica de oxígeno se puede apreciar que el valor más alto se alcanzó en el estudio de 2010 alcanzando valores de 900 mg/l,

esto debido a los aportes de la quebrada cimitarra y tesorito en el transcurso de la quebrada, para el estudio actual las condiciones varían de manera significativa ya que las cargas de DBO son más bajas en promedio que en los demás estudios, el valor máximo alcanzado es en la estación E06 debido al aporte industrial del parque industrial de Malteria y la contaminación que es aportada por la quebrada cimitarra a la fuente de estudio. Caso similar presenta la gráfica 128 en todos el tramo de análisis ya que como podemos observar las mayores concentraciones son alcanzadas en el estudio del 2010 seguidas de los estudios del 2014 (actuales), esto se debe a los aportes generados por la quebrada cimitarra y tesorito sobre las cuales industrias como Progel y el parque industrial Juanchito, vierten en gran medida contaminantes que afectan la calidad del agua.

El comportamiento de los Sólidos Suspendidos Totales en las estaciones de estudio MAN-E04 a MAN-E08, presentan un comportamiento estable, esto debido a que la masa de agua va aumentando de manera lineal según lo que se puede apreciar en la gráfica 124, ayudando esto a diluir los contaminantes que son vertidos a las fuentes superficiales, en la gráfica 129 muestra lo estable que son los Sólidos Suspendidos Totales en el transcurso de la quebrada Manizales. Los valores promedios oscilan entre 150mg/l y 230 mg/l.

En el sector comprendido entre la estación E-8 Antes Q. Guayabal y E-12 Antes de la desembocadura al río Chinchiná se presenta una leve recuperación en la calidad del agua de la quebrada Manizales al inicio de este sector, entre las estaciones E-8 y E-9, con un ligero aumento en las concentraciones de OD y una disminución en los valores de DBO5 y DQO graficas 125 y 128. Esta recuperación en la calidad del agua de la quebrada Manizales en este sector está asociado al vertimiento de tributarios con calidad de agua mucho mejor que el de la fuente estudio, claro está que para los estudios realizados en el año 2008 y 2010 las variables en dicho tramo presentan un comportamiento ascendente, específico de las condiciones del monitoreo. En la gráfica 126 donde se muestra el comportamiento de los Coliformes, se puede observar que para el año 2008 presentan una tendencia algo atípico respecto a las demás estudios, siendo esto un indicativo de que pueden existir algunos problemas en las descargas generados en dicho periodo sobre todo por parte del tributario de la quebrada

guayabal. En la gráfica 127 de oxígeno disuelto podemos apreciar que el valor final de la concentración en los diferentes proyectos alcanza valores bajos en la última estación MAN-E12, esto atribuido a las descargas de aguas residuales domesticas del barrio la enea, afectando dicho parámetro.

8. CONCLUSIONES

En el presente estudio emitido como trabajo final de las actividades desarrollado por ONG servicios ambientales de caldas, en el segundo periodo del 2014, se obtuvo información primaria para determinar las condiciones actuales de la Quebrada Manizales; dentro de los aspectos más relevantes está cuantificar y determinar la calidad del agua, para ello se midieron parámetros fisicoquímicos, de las diferentes estaciones, abarcando tributarios y vertimientos establecidos en la red de monitoreo de la corporación que son de gran interés para la fuente de estudio.

Para cuantificar el volumen de agua, nos apoyamos en la medición de caudal, en cada una de las 24 estaciones, teniendo en cuenta, que en las fuentes superficiales, dicho parámetro, siempre tiende a aumentar, desde su nacimiento hasta su desembocadura, gracias a los aportes de los tributarios y posibles infiltraciones que se den en este medio. Es de suma importancia, que la cantidad de agua siempre este en aumento, ya que a medida que se recorre la fuente, se vierten sobre la misma, contaminantes industriales y domésticos, los cuales pueden ser diluidos y depurados gracias a sus procesos biológicos e hidrológicos.

Uno de los aspectos más relevantes en la cuantificación del agua de la Quebrada Manizales, es que aumenta de manera considerable desde su nacimiento, pero se puede apreciar, un gran cambio, en el transcurso de las 12 estaciones, la captación de agua, entre las estaciones E04 y E05, presentando una disminución de caudal considerable, hecho el cual es atribuible a la captación de líquido que realiza la empresa Acueducto La Enea, para su tratamiento y distribución a algunas empresas del sector de Maltería en la ciudad de Manizales. Algo similar ocurre más adelante en las estaciones E9 y E11, en la cual, el caudal sufre un cambio, debido a condiciones propias del sistema, a pesar de los aportes de la quebrada cristales el caudal no varía de manera significativa, mostrándose constantes en dicho tramo, debido específicamente al dinamismo propio que posee la microcuenca de la quebrada Manizales.

Es importancia precisar que la medición de caudal contribuye al estudio realizado, pero también juega un papel principal la medición de las variables fisicoquímicas,

que nos ayudan a determinar la calidad del agua, por lo cual se determinaron los diferentes índices de calidad y de contaminación, esto con el fin de identificar y evidenciar los problemas de la Quebrada en estudio, como primera premisa queremos exponer el grado de contaminación que se presenta en la mayoría de las estaciones de la quebrada Manizales, para lo cual se determinaron los índices de calidad (ICA-IDEAM e ICA-CETESB), mostrándonos que desde las estaciones MAN-E04(tabla 23) en adelante, la clasificación del agua se encuentra en condiciones desde Mala a Pésima, según la formulación, apoyada en variables como lo son: Demanda Biológica de Oxígeno, Coliformes Totales, oxígeno disuelto, Turbidez, pH y algunos nutrientes de relevancia, en los sistemas acuáticos, esto se atribuye, a las grandes descargas, generadas por las actividades industriales y domésticas, la carga contaminante entregada a la Quebrada Manizales supera los procesos de autodepuración natural y de oxidación biológica que no son suficientes para alcanzar el estado inicial, pese a que en algunos tramos logra tener una leve recuperación, como se aprecia en las estaciones E7 – E08 correspondiente al punto del vertimiento industrial de la licorera de caldas. Actualmente la empresa en mención no realiza procesos de fermentación y destilación de alcohol etílico a lo cual podría atribuirse la variación porcentual del 5% en los índices de calidad. También es de suma importancia resaltar la leve recuperación generada en las estaciones E09 – E12, con un variación del 7%.

El análisis de los índices de contaminación, índice de contaminación orgánico (ICOMO), índice de contaminación por sólidos suspendidos totales (ICOSUS) e índice de contaminación por minerales (ICOMI), aportan valiosa información en el estudio actual, que nos ayuda a proponer e identificar los focos de contaminación, que se presentan en la Quebrada. De lo cual podemos inferir que:

Al realizar el cálculo del índice de contaminación por minerales (ICOMI) con base en la información de los estudios realizados en los años 2009 y 2010, con el propósito establecer el comportamiento histórico de dicha variable, se concluye que la Quebrada en estudio presentaba un recuperación significativa en la actualidad, ya que entre las estaciones MAN-E05 a MAN-E12 se alcanzan porcentajes del 58% en la zona de estudio, conjetura avalada por la estrecha

relación que existe entre el parámetro de dureza y el cálculo del índice de contaminación por minerales (ICOMI).

La contaminación por minerales representado en el índice ICOMI, aunque varía de manera paulatina, su comportamiento se mantiene estable, lo que llama la atención es que sus variaciones se debe a la presencia de actividad humana, explotación minera o industrial que afectan la fuente superficial desde la estación E02 en adelante, pasando a presentar condiciones de mediana contaminación.

El índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) en la quebrada Manizales a partir de la estación E02 presenta una disminución paulatina en la calidad del agua, pasando de Mala a Muy Alta contaminación, esto se atribuye a los diferentes tributarios como lo son la quebrada cimitarra (industrias como Progel y Descafecol) y quebrada tesorito (parque industrial Juanchito y minas), claro está, que además, de los antes mencionados, en todo el recorrido se pueden encontrar vertimientos domésticos e industrias, como Surtipieles, que tienen una gran influencia en la calidad del agua de la quebrada Manizales, no está de más mencionar que los valores más altos de demanda biológica de oxígeno y Coliformes fecales se alcanzan en las estaciones E05 - E08, valores de relación directa con el índice ICOMO y donde entran los vertimientos antes mencionados (Progel, Parque industrial, Surtipieles etc).

El índice de contaminación con sólidos suspendidos totales(ICOSUS) presenta un comportamiento análogo al anteriormente mencionado, ya que la calidad del agua, se ve afectada desde la estación E02 hasta desembocar en el Rio Chinchiná , es claro que la presencia de vertimiento industriales y explotación minera son los grandes actores de dicha situación.

En el estudio sobre las diferentes características de la quebrada Manizales, también se involucró, de manera directa, sus principales tributarios, como lo son: la quebrada cimitarra, quebrada tesorito, quebrada cristales y la quebrada 2615-002-098-003, analizadas, en diferentes puntos estratégicos, con el fin de apreciar el aporte de contaminación, sobre la quebrada principal. En la quebrada cimitarra los índices de calidad y contaminación, presentan un comportamiento estable, y congruente con la realidad, ya que el punto establecido como blanco, no presenta

ninguna alteración, por actividad humana e industrial (Progel y Descafecol). En la quebrada tesorito se deben de hacer algunas observaciones ya que su comportamiento presenta una alteración en su punto establecido como blanco, el índice de contaminación ICOMO presenta una clasificación de Muy Alta, posiblemente por presencia de material orgánico de origen doméstico o actividades industriales (beneficio de oro), por lo cual para dicho punto se proponer la adición de una estación representativa de un blanco sobre las coordenadas 851399.81 1048379.7.

En la quebrada Cristales, se puede apreciar un comportamiento calificado como Anormal en su índice de contaminación ICOMI, ya que en el Punto Blanco ECR01 presenta una variación del 30% respecto a la segunda estación ECR02, posiblemente por presencia de compuesto de calcio, carbonatos y cloruros etc.

En la quebrada 2615-002-098-003, en el Blanco ETB01, se observa que el índice ICOMO calculado se clasifica dentro del rango de Alta Contaminación, esto se debe a que aguas arriba existen descargar domésticas y comerciales (Vivero del SENA y Hotel Ares) que afectan el índice, por lo cual para dicho punto se proponer la adición de una estación sobre las coordenadas 848633.60 104780620.

Para finalizar según lo obtenido en las tablas número 42 a 53, en cuanto a las comparaciones de los parámetros fisicoquímicos con la normatividad ambiental, se aprecia que a pesar de la contaminación presente en la quebrada Manizales, pueden potencializarse usos como: flora y fauna, pecuario, recreativo y agrícola, ya que cumple con el decreto 1594/84.

De acuerdo con la información arrojada por el estudio se infiere que entre las estaciones MAN-E01 a MAN-E03 se cumplen con los criterios establecidos en la resolución 469 de 2014, emitida por la Corporación Autónoma Regional de Caldas, en la cual se estipulan los diferentes usos del agua en la Quebrada Manizales. En las estaciones restantes se presentan descargas tanto de tributarios de gran influencia como de diferentes vertimientos industriales afectando la calidad de la fuente de manera directa, incumpliendo dicha resolución.

9. RECOMENDACIONES

Una de las principales características en la medición de un blanco, es observar aguas abajo como es el comportamiento de los diferentes vertimientos sobre dicha fuente además de apreciar el grado de contaminación de la misma en su recorrido normal, por lo cual el objetivo principal de la estación **ET01**, dentro de la Red de Monitoreo para la Quebrada Manizales, es establecer las condiciones iniciales de la Quebrada Tesorito antes de recibir vertimientos, sin embargo esta condición no se cumple, ya que la estación en mención se encuentra ubicada en una zona donde ya se encuentra intervenida por vertimientos especialmente generados en el proceso de beneficio de oro, dicha situación se estableció mediante recorrido a la zona encontrando que la fuente tributaria quebrada Volcanes realiza aportes significativos en la quebrada en estudio, en las coordenadas 851399,81 1048379,7, por tal motivo se recomienda ajustar la estación **ET01**, antes de dicha ubicación, garantizando la representatividad del muestreo y su posterior análisis refleje el verdadero impacto realizado las condiciones cambiantes 851453,38 1048332 Blanco propuesto para la Quebrada Tesorito.

Validación de las coordenadas de estudio en campo disminuyendo así los errores de la georeferenciación en los procesos de medición teniendo en cuenta los ajustes que fueron necesarios de acuerdo a la descripción de cada estación las cuales no coinciden con las coordenadas establecidas por la corporación autónoma regional de caldas en sus sistema de información geográfica

10. REFERENCIAS

CETESB (2002). Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental de Brasil. Índice de calidad del agua con fines de abastecimiento al público (IAP).

Corporación Autónoma Regional de Caldas, CORPOCALDAS y Fundación SANEAR (2010) Caracterización y evaluación de la calidad del agua de la Quebrada Manizales Informe Final. Manizales

Corporación Autónoma Regional de Caldas, CORPOCALDAS y Fundación SANEAR (2010) Caracterización del Agua de la quebrada Manizales, Informe Final. Manizales.

Corporación Autónoma Regional de Caldas, CORPOCALDAS y Fundación SANEAR (2009) Caracterización del Agua de la quebrada Manizales, Informe Final. Manizales.

Corporación Autónoma Regional de Caldas, CORPOCALDAS y PROAGUA (2005). Caracterización y Evaluación de la Calidad del Agua de la quebrada Manizales. Manizales.

Corporación Autónoma Regional de Caldas, CORPOCALDAS y Universidad del Caldas. Hojas metodológicas de los indicadores propuestos para calidad del agua superficial. Manizales. Departamento de Caldas.

Von Sperling, M. (2005). Introducción a la calidad del agua y al tratamiento de aguas residuales. Universidad de Federal de Minas Gerais.

Vásquez G. (2009). Calidad de las aguas naturales epicontinentales con base en su caracterización físico-química. Caudal Ambiental, conceptos, experiencias y desafíos. Programa Editorial Universidad del Valle. Cali.