ESTUDIO BASE PARA LA REGLAMENTACIÓN DE CORRIENTES DE LOS RÍOS BURITACA, GAIRA, TORIBIO, CÓRDOBA, ORIHUECA Y SEVILLA, A PARTIR DE LA OFERTA Y DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO

CONTRATO DE CONSULTORÍA NO 215 DEL 2015

INFORME FINAL

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL MAGDALENA

CORPAMAG

Santa Marta, Septiembre de 2016

CORPAMAG – ORANGEL DE JESÚS NORIEGA

Carlos F. Diazgranados Martínez

Director

Paul Laguna Panetta

Secretario General

Alfredo Martínez Gutiérrez

Subdirección de Gestión Ambiental

Yuri Hurtado García

Jefe Oficina de Planeación

Ena Lobo Ropain

Subdirección de Educación Ambiental

Karen Forero Bula

Subdirección Técnica

Semiranis Sosa Tapias

Jefe Oficina Jurídica

Luis Francisco Báez

Profesional Especializado
(Oficina Planeación)

Orangel de Jesús Noriega

Representante Legal

Autores

Yeison Gutiérrez Rojas

Orangel de Jesús Noriega

Carlos Fonseca Gamba

Colaboradores

Duvan Pérez Peluffo

Cindy Guzmán Gutiérrez

Oscar Angarita Medrano

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1: CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA

RESUMEN 25
INTRODUCCIÓN 26
OBJETIVO 26
INFORMACIÓN REQUERIDA 27
MARCO TEÓRICO 28
Localización Y Generalidades 28
Zonificación Y Codificación 28
Parámetros Morfométricos Y Red De Drenaje 31
Características Climáticas 34
CUENCA DEL RÍO BURITACA 34
Localización Y Generalidades 34
Zonificación Y Codificación 35
Parámetros Morfométricos Y Red De Drenaje 35
Características Climáticas 38
CUENCA DEL RÍO GAIRA 40
Localización Y Generalidades 40
Zonificación Y Codificación 41
Parámetros Morfométricos Y Red De Drenaje 41
Características Climáticas 44
CUENCA DEL RÍO TORIBIO 47
Localización Y Generalidades 47
Zonificación Y Codificación 48
Parámetros Morfométricos Y Red De Drenaje 48
Características Climáticas 50
CUENCA DEL RÍO CÓRDOBA 53
Localización Y Generalidades 53

Zonificación Y Codificación 54
Parámetros Morfométricos Y Red De Drenaje 54
Características Climáticas 57
CUENCA DE LA QUEBRADA ORIHUECA 60
Localización Y Generalidades 60
Zonificación Y Codificación 61
Parámetros Morfométricos Y Red De Drenaje 61
Características Climáticas 63
CUENCA DEL RÍO SEVILLA 66
Localización Y Generalidades 66
Zonificación Y Codificación 68
Parámetros Morfométricos Y Red De Drenaje 68
Características Climáticas 70
RESUMEN DE RESULTADOS 74
CONCLUSIONES 74
CAPÍTULO 2: OFERTA HÍDRICA
RESUMEN 76
INTRODUCCIÓN 77
OBJETIVO 77
INFORMACIÓN REQUERIDA 78
DEFINICIONES 78
BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL 79
OFERTA HÍDRICA SUPERFICIAL AÑO MEDIO 81
Oferta Hídrica Año Medio A Partir De Caudal Medio 82
Índice De Regulación Hídrica (Irh) 83
Oferta Hídrica Año Medio A Partir De Balance Hídrico 84
Índice De Aridez (Ia) 84
CUENCA DEL RÍO BURITACA 85
Balance Hídrico Superficial 85

Oferta Hídrica Superficial Año Medio 87
Oferta hídrica por balance hídrico 87
Índice de aridez (IA) 88
CUENCA DEL RÍO GAIRA 89
Balance Hídrico Superficial 89
Oferta Hídrica Superficial Año Medio 91
Oferta hídrica a partir de caudal medio 91
Oferta hídrica a partir de balance hídrico 93
Índice de aridez (IA) 93
Régimen Hidrológico *94*
CUENCA DEL RÍO TORIBIO 95
Balance Hídrico Superficial 95
Oferta Hídrica Superficial Año Medio 97
Oferta hídrica por balance hídrico 97
Índice de aridez (IA) 98
CUENCA DEL RÍO CÓRDOBA 99
Balance Hídrico Superficial 99
Oferta Hídrica Superficial Año Medio 101
Oferta hídrica por balance hídrico 101
Índice de aridez (IA) 102
CUENCA DE LA QUEBRADA ORIHUECA 103
Balance Hídrico Superficial 103
Oferta Hídrica Superficial Año Medio 105
Oferta hídrica a partir de caudal medio 105
Oferta hídrica por balance hídrico 107
Índice de aridez (IA) 107
Régimen Hidrológico 108
CUENCA DEL RÍO SEVILLA 109
Balance Hídrico Superficial 109
Oferta Hídrica Superficial Año Medio 111

Oferta hídrica a partir de caudal medio 111
Oferta hídrica por balance hídrico 113
Índice de aridez (IA) 113
Régimen Hidrológico 114
RESUMEN DE RESULTADOS 115
CONCLUSIONES 116
CAPÍTULO 3: CAUDAL AMBIENTAL
INTRODUCCIÓN 117
OBJETIVOS 119
Objetivo General 119
METODOLOGIA 120
Caudal Ecológico Método 7q10 120
Índice De Reducción Hídrica (Irh) 121
Mínimo Histórico 122
Porcentaje De Descuento 122
Caudal Por Reducción 122
RESULTADOS 123
Cuenca Del Río Buritaca 123
Índice 7Q10 123
Índice de Regulación Hídrica (IRH) 136
Mínimo Histórico 136
Caudal por Porcentaje de Descuento 137
Caudal por Reducción al 25% (calidad) 138
Comparación De Los Métodos De Estimación De Caudales Ecológicos. 138
Factor de Reducción del 25% para la cuenca del río Buritaca, en la estación Buritaca. 138
Comparación de los métodos de estimación de Caudales Ecológicos. 140
Cuenca Del Rio Gaira 141
Índice 7Q10 141
Índice de Regulación Hídrica (IRH) 155

Mínimo Histórico 157
Caudal por Porcentaje de Descuento 157
Caudal por Reducción del 25% (Calidad) 158
Factor de Reducción del 25% de la cuenca del río Gaira, en la estación Minca 158
Comparación de los métodos de estimación de Caudales Ecológicos 160
Cuenca De La Quebrada Orihueca 161
Índice 7Q10 161
Índice de Regulación Hídrica (IRH) 173
Mínimo Histórico 175
Caudal por Porcentaje de Descuento 175
Caudal por Reducción del 25% (Calidad) 176
Factor De Reducción Del 25% De La Cuenca De La Quebrada Orihueca, En La Estación Sta Rosalia. 176
Comparación de los métodos de estimación de Caudales Ecológicos 178
Cuenca Del Rio Sevilla 179
Índice 7Q10 179
Índice de Regulación Hídrica (IRH) 202
Mínimo Histórico 204
Caudal por Porcentaje de Descuento 206
Caudal por Reducción del 25% (Calidad) 208
Factor De Reducción Del 25% Para La Cuenca Del Río Sevilla, En La Estación Canal Florida. 209
Comparación de los métodos de estimación de Caudales Ecológicos. 211

CAPÍTULO 4: DEMANDA HÍDRICA

INTRODUCCIÓN 213
OBJETIVOS 215
INFORMACIÓN REQUERIDA 215
METODOLOGÍA 216
Demanda Hidrica Total 216
Índice De Escasez 217
Demanda Hídrica Por Sector Productivo 217

RESULTADOS 218
Cuenca Del Río Buritaca 219
Demanda Hidrica Estimada 219
Índice de Escasez 221
Demanda Hídrica Por Sectores Productivos 222
Índice de Escasez Por Sectores Productivos 224
Demanda hídrica concesionada 224
Cuenca Del Río Gaira 225
Demanda Hídrica Estimada 225
Índice de Escasez 227
Demanda Hídrica Por Sectores Productivos 228
Índice de Escasez Por Sectores Productivos 229
Demanda Hídrica Concesionada 230
Cuenca Del Rio Toribio 232
Demanda Hidrica Estimada 232
Índice de Escasez 234
Demanda Hídrica por Sectores Productivos 235
Índice de Escasez por Sectores Productivos 236
Demanda Hídrica Concesionada 237
Cuenca Del Rio Córdoba 239
Demanda Hidrica Estimada 239
Índice de Escasez 241
Demanda Hídrica por Sector Productivo 242
Índice de escasez por Sector Productivo 244
Demanda Concesionada 245
Quebrada Orihueca 247
Demanda Hidrica 247
Índice de escasez 249
Demanda Hídrica por Sector productivo 249
Índice de escasez por Sector productivo 251
Demanda Concesionada 252

Cuenca Del Rio Sevilla 253
Demanda Hidrica Estimada 253
Índice de escasez 255
Demanda por Sector Productivo 256
Índice de Escasez por Sector Productivo 257
Demanda Concesionada 258
BIBLIOGRAFIA 260
Normatividad Consultada 262
Abreviaturas Y Siglas Y Convenciones 262

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de codificación de cuencas hidrográficas. 29
Figura 2. Mapa de zonificación hidrográfica de Colombia. 30
Figura 3. Codificación de una cuenca en el nivel I y nivel II de desagregación. 31
Figura 4. Tipos de Curva hipsométrica. 33
Figura 5. Localización de la cuenca del rio Buritaca 35
Figura 6. Curva hipsométrica de la cuenca del río Buritaca. 36
Figura 7. Red de drenaje y órdenes de corriente en la cuenca del río Buritaca. 37
Figura 8. Valores medios anuales de precipitación y evaporación para la cuenca del rio Buritaca. 38
Figura 9. Valores medios anuales de Temperatura media y humedad relativa para la cuenca del rio Buritaca. 39
Figura 10. Localización de la cuenca del rio Gaira 40
Figura 11. Curva hipsométrica de la cuenca del río Gaira 42
Figura 12. Red de drenaje y órdenes de corriente en la cuenca del río Gaira 43
Figura 13. Valores medios anuales de precipitación para la cuenca del rio Gaira. 44
Figura 14. Valores medios anuales de evaporación para la cuenca del rio Gaira. 45
Figura 15. Valores medios anuales de temperatura media para la cuenca del rio Gaira. 45
Figura 16. Valores medios anuales de humedad relativa para la cuenca del rio Gaira. 46
Figura 17. Localización de la cuenca del rio Toribio 47
Figura 18. Curva hipsométrica de la cuenca del río Toribio 49
Figura 19. Red de drenaje y órdenes de corriente en la cuenca del río Toribio 49
Figura 20. Valores medios anuales de precipitación para la cuenca del rio Toribio. 51
Figura 21. Valores medios anuales de evaporación para la cuenca del rio Toribio. 51
Figura 22. Valores medios anuales de temperatura media para la cuenca del rio Toribio. 52
Figura 23. Valores medios anuales de humedad relativa para la cuenca del rio Toribio. 52
Figura 24. Localización de la cuenca del rio Córdoba 54
Figura 25. Curva hipsométrica de la cuenca del río Córdoba. 55
Figura 26. Red de drenaje y órdenes de corriente en la cuenca del río Córdoba. 56
Figura 27. Valores medios anuales de precipitación para la cuenca del rio Córdoba. 57

Figura 28. Valores medios anuales de evaporación para la cuenca del rio Córdoba. 58
Figura 29. Valores medios anuales de temperatura media para la cuenca del rio Córdoba. 58
Figura 30. Valores medios anuales de humedad relativa para la cuenca del rio Córdoba. .. 59
Figura 31. Localización de la cuenca de la quebrada Orihueca. 60
Figura 32. Curva hipsométrica de la cuenca de la quebrada Orihueca. 62
Figura 33. Red de drenaje y órdenes de corriente en la cuenca de la quebrada Orihueca. ... 62
Figura 34. Valores medios anuales de precipitación para la cuenca de la quebrada Orihueca. 64
Figura 35. Valores medios anuales de evaporación para la cuenca de la quebrada Orihueca. 64
Figura 36. Valores medios anuales de temperatura media para la cuenca de la quebrada Orihueca. 65
Figura 37. Valores medios anuales de humedad relativa para la cuenca de la quebrada Orihueca. 65
Figura 38. Localización de la cuenca del río Sevilla. 67
Figura 39. Curva hipsométrica de la cuenca del río Sevilla 69
Figura 40. Red de drenaje y órdenes de corriente en la cuenca del río Sevilla. 69
Figura 41. Valores medios anuales de precipitación para la cuenca del río Sevilla. 71
Figura 42. Valores medios anuales de evaporación para la cuenca del río Sevilla. 71
Figura 43. Valores medios anuales de temperatura media para la cuenca del río Sevilla. ... 72
Figura 44. Valores medios anuales de humedad relativa para la cuenca del río Sevilla. 72
Figura 45. Esquema metodológico para la determinación de la oferta hídrica superficial .. 82
Figura 46. Volúmenes requeridos para la obtención del IRH. 83
Figura 47. Valores medios de Precipitación y Evapotranspiración real para la cuenca del río Buritaca. 86
Figura 48. Escorrentía media anual para la cuenca del río Buritaca. 86
Figura 49. Índice de aridez en la cuenca del río Buritaca. 88
Figura 50. Valores medios de Precipitación para la cuenca del río Gaira. 89
Figura 51. Valores medios de Evapotranspiración real para la cuenca del río Gaira. 90
Figura 52. Escorrentía media anual para la cuenca del río Gaira 90

Figura 53. Localización de la estación MINCA con curva de duración de caudales a nivel mensual. 92

Figura 54. Índice de aridez en la cuenca del río Gaira. 93

Figura 55. Régimen hidrológico en la estación MINCA. 94

Figura 56. Valores medios de Precipitación para la cuenca del río Toribio. 95

Figura 57. Valores medios de Evapotranspiración real para la cuenca del río Toribio. 96

Figura 58. Escorrentía media anual para la cuenca del río Toribio. 96

Figura 59. Índice de aridez en la cuenca del río Toribio. 98

Figura 60. Valores medios de Precipitación para la cuenca del río Córdoba. 99

Figura 61. Valores medios de Evapotranspiración real para la cuenca del río Córdoba. 100

Figura 62. Escorrentía media anual para la cuenca del río Córdoba. 100

Figura 63. Índice de aridez en la cuenca del río Córdoba. 102

Figura 64. Valores medios de Precipitación para la cuenca de la quebrada Orihueca. 103

Figura 65. Valores medios de Evapotranspiración real para la cuenca de la quebrada Orihueca. 104

Figura 66. Escorrentía media anual para la cuenca de la quebrada Orihueca. 104

Figura 67. Localización de la estación STA ROSALIA y curva de duración de caudales a nivel mensual. 106

Figura 68. Índice de aridez en la cuenca de la quebrada Orihueca. 107

Figura 69. Régimen hidrológico en la estación STA ROSALIA. 108

Figura 70. Valores medios de Precipitación para la cuenca del río Sevilla. 109

Figura 71. Valores medios de Evapotranspiración real para la cuenca del río Sevilla. 110

Figura 72. Escorrentía media anual para la cuenca del río Sevilla. 110

Figura 73. Localización de la estación CANAL FLORIDA y curva de duración de caudales a nivel mensual. 112

Figura 74. Índice de aridez en la cuenca del río Sevilla. 113

Figura 75. Régimen hidrológico en la estación CANAL FLORIDA. 114

Figura 76. Variación del caudal en la estación Buritaca de la cuenca del rio Buritaca. 136

Figura 77. Curva de duración de caudales diarios multianuales, con series históricas desde 2005 hasta 2013 de la cuenca del río Buritaca, en la estación Buritaca. 137

Figura 78. Variación mensual multianual del caudal medio de la cuenca del río Buritaca en la estación Buritaca con series históricas desde 2005 a 2013. 138

Figura 79. Caudales medio mensuales multianuales con series históricas desde 2005 a 2013 de la cuenca del río Buritaca, en la estación Buritaca. 139

Figura 80. Variación del caudal en la estación Buritaca de la cuenca del rio Gaira. 155

Figura 81. Caudal ecológico del río Gaira, con base en el Q75% y un IRH menor a 0,5 de la curva de duración de caudales diarios con series históricas desde 1978 hasta el 2013 de la estación La Minca. 156

Figura 82. Curva de duración de Caudales diarios multianuales, con series históricas desde 1978 a 2013, de la cuenca del Rio Gaira en la estación Minca. 157

Figura 83. Variación mensual multianual del caudal medio de la cuenca del río Gaira en la estación Minca con series históricas desde 1978 a 2013. 158

Figura 84. Caudales medio mensuales multianuales con series históricas desde 1978 a 2013 de la cuenca del río Gaira, en la estación Minca. 159

Figura 85. Variación del caudal en la estación Buritaca de la cuenca del rio Orihueca. 173

Figura 86. Caudal ecológico de la Quebrada Orihueca, con base en el Q75% y un IRH menor a 0,5 de la curva de duración de caudales diarios con series históricas desde 1970 hasta el 2013 de la estación El Sta Rosalia. 174

Figura 87. Curva de duración de Caudales diarios multianuales, con series históricas desde 1970 a 2013, de la cuenca de la Quebrada Orihueca en la estación Sta Rosalía. 175

Figura 88. Variación mensual multianual del caudal medio de la cuenca de la Quebrada Orihueca en la estación Sta Rosalia con series históricas desde 1970 a 2013. 176

Figura 89. Caudales medio mensuales multianuales con series históricas desde 1970 a 2013 de la cuenca del río Orihueca, en la estación Sta Rosalia. 177

Figura 90. Variación del caudal en la estación Buritaca de la cuenca del rio Sevilla. 202

Figura 91. Caudal ecológico del río Sevilla, con base en el Q75% y un IRH menor a 0,5 de la curva de duración de caudales diarios con series históricas desde 1967 hasta 2013 de la estación La Canal Florida. 203

Figura 92. Caudal ecológico del río Sevilla, con base en el Q75% y un IRH menor a 0,5 de la curva de duración de caudales diarios con series históricas desde 1982 hasta el 2011 de la estación Pte Sevilla. 204

Figura 93. Curva de duración de Caudales diarios multianuales, con series históricas desde 1967 a 2013, de la cuenca del Rio Sevilla, en la estación Canal Florida. 205

Figura 94. Curva de duración de Caudales diarios multianuales, con series históricas desde 1982 a 2011, de la cuenca del Rio Sevilla en la estación Pte Sevilla. 206

Figura 95. Variación mensual multianual del caudal medio de la cuenca del río Sevilla en la estación Canal Florida con series históricas desde 1967 a 2013. 207

Figura 96. Variación mensual multianual del caudal medio de la cuenca del río Sevilla en la estación Pte Sevilla con series históricas desde 1982 a 2011. 208

Figura 97. Caudales medio mensuales multianuales con series históricas desde 1967 a 2013 de la cuenca del río Sevilla, en la estación Canal Florida. 209

Figura 98. Caudales medio mensuales multianuales con series históricas desde 1982 a 2011 de la cuenca del río Sevilla, en la estación Pte Sevilla. 210

Figura 99. Demanda hídrica en porcentaje de los usos que se le dan al recurso hídrico en las seis cuencas en estudio. 218

Figura 100. Demanda hídrica concesionada en porcentaje de los usos que se le dan al recurso hídrico en las seis cuencas en estudio. 219

Figura 101. Demanda hídrica en porcentaje de los usos que se le dan al recurso hídrico en la cuenca del río Buritaca. 220

Figura 102. Porcentaje de la demanda hídrica anual para las coberturas CORINE Land Cover de la cuenca del río Buritaca. 220

Figura 103. Demanda hídrica de la cuenca del río Buritaca. 221

Figura 104. Demanda hídrica por sectores productivos en la cuenca del río Buritaca. 223

Figura 105. Demanda hídrica por sectores productivos de la cuenca del río Buritaca. 224

Figura 106. Demanda hídrica en porcentaje de los usos que se le dan al recurso hídrico en la cuenca del río Gaira. 225

Figura 107. Porcentaje de la demanda hídrica anual para las coberturas CORINE Land Cover de la cuenca del río Gaira. 226

Figura 108. Demanda hídrica de la cuenca del río Gaira. 227

Figura 109. Demanda hídrica por sectores productivos en la cuenca del río Gaira. 228

Figura 110. Demanda hídrica por sectores productivos de la cuenca del río Gaira. 229

Figura 111. Porcentaje de demanda de las concesiones otorgadas en la cuenca del rio Gaira. 231

Figura 112. Porcentajes de los usos de las concesiones otorgadas en la cuenca del río Gaira. 231

Figura 113. Demanda hídrica en porcentaje de los usos que se le dan al recurso hídrico en la cuenca del río Toribio. 232

Figura 114. Porcentaje de la demanda hídrica anual para las coberturas CORINE Land Cover de la cuenca del río Toribio. 233

Figura 115. Demanda hídrica de la cuenca del río Toribio. 234

Figura 116. Demanda hídrica por sectores productivos en la cuenca del río Toribio. 235

Figura 117. Demanda hídrica de la cuenca del río Toribio. 236

Figura 118. Porcentaje de demanda de las concesiones otorgadas en la cuenca del rio Toribio. 238

Figura 119. Porcentajes de los usos de las concesiones otorgadas en la cuenca del río Toribio. 239

Figura 120. Demanda hídrica en porcentaje de los usos que se le dan al recurso hídrico en la cuenca del río Córdoba. 240

Figura 121. Porcentaje de la demanda hídrica anual para las coberturas CORINE Land Cover de la cuenca del río Córdoba. 240

Figura 122. Demanda hídrica de la cuenca del río Córdoba. 241

Figura 123. Demanda hídrica por sector productivo de la cuenca del río Córdoba. 243

Figura 124. Demanda hídrica por sector productivo de la cuenca del río Córdoba. 244

Figura 125. Porcentaje de demanda de las concesiones otorgadas en la cuenca del rio Córdoba. 246

Figura 126. Porcentajes de los usos de las concesiones otorgadas en la cuenca del río Córdoba. 246

Figura 127. Demanda hídrica en porcentaje de los usos que se le dan al recurso hídrico en la Quebrada Orihueca. 247

Figura 128. Porcentaje de la demanda hídrica anual para las coberturas CORINE Land Cover de la cuenca del río Quebrada Orihueca. 248

Figura 129. Demanda hídrica de la Quebrada Orihueca. 249

Figura 130. Demanda hídrica por sector productivo en la Quebrada Orihueca. 250

Figura 131. Demanda hídrica por sector productivo de la Quebrada Orihueca. 251

Figura 132. Porcentaje de demanda de las concesiones otorgadas en la cuenca del rio Orihueca. 252

Figura 133. Demanda hídrica en porcentaje de los usos que se le dan al recurso hídrico en la cuenca del río Sevilla. 253

Figura 134. Porcentaje de la demanda hídrica anual para las coberturas CORINE Land Cover de la cuenca del río Sevilla. 254

Figura 135. Demanda hídrica de la cuenca del río Sevilla. 255

Figura 136. Demanda hídrica por sector productivo en la Quebrada Orihueca. 256

Figura 137. Demanda hídrica por sector productivo de la cuenca del río Sevilla. 257

Figura 138. Porcentaje de demanda de las concesiones otorgadas en la cuenca del rio Sevilla. 259

Figura 139. Porcentajes de los usos de las concesiones otorgadas en la cuenca del río Sevilla. 259

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Código de áreas y zonas hidrográficas 29
Tabla 2. Parámetros morfométricos de la cuenca del río Buritaca 35
Tabla 3. Resumen del análisis de la red de drenaje de la cuenca del río Buritaca 37
Tabla 4. Parámetros morfométricos de la cuenca del río Gaira 41
Tabla 5. Resumen del análisis de la red de drenaje de la cuenca del río Gaira 43
Tabla 6. Parámetros morfométricos de la cuenca del río Toribio 48
Tabla 7. Resumen del análisis de la red de drenaje de la cuenca del río Toribio. 50
Tabla 8. Parámetros morfométricos de la cuenca del río Córdoba 55
Tabla 9. Resumen del análisis de la red de drenaje de la cuenca del río Córdoba. 56
Tabla 10. Parámetros morfométricos de la cuenca de la quebrada Orihueca. 61
Tabla 11. Resumen del análisis de la red de drenaje de la cuenca de la quebrada Orihueca. 63
Tabla 12. Parámetros morfométricos de la cuenca del río Sevilla. 68
Tabla 13. Resumen del análisis de la red de drenaje de la cuenca del río Sevilla. 70
Tabla 14. Resumen de parámetros morfométricos en las cuencas estudiadas. 74
Tabla 15. Clasificación del IRH 84
Tabla 16. Clasificación del IA 85
Tabla 17. Oferta hídrica superficial para la cuenca del río Buritaca por balance hídrico 87
Tabla 18. Clasificación del IA para la cuenca del río Buritaca. 88
Tabla 19. Oferta hídrica superficial para la cuenca del río Gaira por series de caudal medio. 92
Tabla 20. Clasificación del IRH para la cuenca del río Gaira. 93
Tabla 21. Oferta hídrica superficial para la cuenca del río Gaira por balance hídrico. 93
Tabla 22. Clasificación del IA para la cuenca del río Gaira. 94
Tabla 23. Oferta hídrica superficial para la cuenca del río Toribio por balance hídrico. 97
Tabla 24. Clasificación del IA para la cuenca del río Toribio. 98
Tabla 25. Oferta hídrica superficial para la cuenca del río Córdoba por balance hídrico. 101
Tabla 26. Clasificación del IA para la cuenca del río Córdoba. 102

Tabla 27. Oferta hídrica superficial para la cuenca de la quebrada Orihueca por series de caudal medio. 106

Tabla 28. Clasificación del IRH para la cuenca de la quebrada Orihueca. 107

Tabla 29. Oferta hídrica superficial para la cuenca de la quebrada Orihueca por balance hídrico. 107

Tabla 30. Clasificación del IA para la cuenca de la quebrada Orihueca. 108

Tabla 31. Oferta hídrica superficial para la cuenca del río Sevilla por series de caudal medio. 112

Tabla 32. Clasificación del IRH para la cuenca del río Sevilla. 113

Tabla 33. Oferta hídrica superficial para la cuenca del río Sevilla por balance hídrico. 113

Tabla 34. Clasificación del IA para la cuenca del río Sevilla. 114

Tabla 35. Resumen de la oferta hídrica superficial en las cuencas estudiadas. 115

Tabla 36. Datos de las estaciones ubicadas en las cuencas en estudio. 120

Tabla 37. Resumen de caudales ecológicos para el río Buritaca, por mes y las distribuciones de mejor ajuste para los valores mínimos, de las medias móviles cada 7 días con series históricas desde 2005 – 2013. 123

Tabla 38. Valores mínimos de la media móvil cada 7 días, de la serie de registros diarios de caudales de la estación *Buritaca* desde 2005 hasta el 2013. 124

Tabla 39. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Enero. 124

Tabla 40. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Febrero. 125

Tabla 41. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Marzo. 126

Tabla 42. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Abril. 127

Tabla 43. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Mayo. 128

Tabla 44. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Junio. 129

Tabla 45. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Julio. 130

Tabla 46. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Agosto. 131

Tabla 47. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Septiembre. 132

Tabla 48. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Octubre. 133

Tabla 49. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Noviembre. 134

Tabla 50. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Diciembre. 135

Tabla 51. Caudales medio mensuales multianuales con series históricas desde 2005 a 2013 de la cuenca Buritaca, en la estación Buritaca. 138

Tabla 52. Factores de reducción aplicada a la cuenca del río Buritaca, en la estación Buritaca. 140

Tabla 53. Caudal Ambiental estimado en la estación Buritaca. 140

Tabla 54. Resumen de caudales ecológicos para el río Gaira, por mes y las distribuciones de mejor ajuste para los valores mínimos, de las medias móviles cada 7 días con series históricas desde 1978 – 2013. 141

Tabla 55. Valores mínimos de la media móvil cada 7 días, de la serie de registros diarios de caudales de la estación *Minca* desde 1978 hasta el 2013. 142

Tabla 56. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Enero. 143

Tabla 57. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Febrero. 144

Tabla 58. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Marzo. 145

Tabla 59. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Abril. 146

Tabla 60. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Mayo. 147

Tabla 61. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Junio. 148

Tabla 62. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Julio. 149

Tabla 63. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Agosto. 150

Tabla 64. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Septiembre. 151

Tabla 65. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Octubre. 152

Tabla 66. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Noviembre. 153

Tabla 67. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Diciembre. 154

Tabla 68. Estimación del IRH para la estación Minca situada en la cuenca del río Gaira. 155

Tabla 69. Caudales medio mensuales multianuales con series históricas desde 1974 a 2013 de la cuenca del río Gaira, en la estación Minca. 158

Tabla 70. Factores de reducción aplicada a la cuenca del río Gaira, en la estación Minca. 159

Tabla 71. Caudal Ambiental estimado en la estación Minca. 160

Tabla 72. Resumen de caudales ecológicos para la estación *Sta Rosalia*, por cada mes y las distribuciones de mejor ajuste para los valores mínimos, de las medias móviles cada 7 días con series históricas desde 1970 – 2013. 161

Tabla 73. Valores mínimos de la media móvil cada 7 días, de la serie de registros diarios de caudales de la estación *Sta Rosalia* desde 1970 hasta 2013. 162

Tabla 74. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Enero. 163

Tabla 75. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Febrero. 164

Tabla 76. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Marzo. 165

Tabla 77. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Abril. 166

Tabla 78. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Mayo. 166

Tabla 79. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Junio. 167

Tabla 80. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Julio. 168

Tabla 81. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Agosto. 169

Tabla 82. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Septiembre. 170

Tabla 83. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Octubre. 170

Tabla 84. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Noviembre. 171

Tabla 85. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Diciembre. 172

Tabla 86. Estimación del IRH para la estación Sta Rosalia situada en el río Orihueca. 173

Tabla 87. Caudales medio mensuales multianuales con series históricas desde 1970 a 2013 de la cuenca del río Orihueca, en la estación Sta Rosalia. 176

Tabla 88. Factores de reducción aplicada a la cuenca del río Orihueca, en la estación Sta Rosalia. 177

Tabla 89. Caudal Ambiental estimado en la estación Sta Rosalia en la cuenca del río Orihueca. 178

Tabla 90. Resumen de caudales ecológicos para la Cuenca del rio Sevilla por mes y las distribuciones de mejor ajuste para los valores mínimos, de las medias móviles cada 7 días con series históricas desde 1967 – 2013 para la estación Canal Florida y desde 1982-2011 para la estación Pte Sevilla. 179

Tabla 91. Valores mínimos de la media móvil cada 7 días, de la serie de registros diarios de caudales de la estación Canal Florida desde 1967 hasta el 2013. 180

Tabla 92. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Enero. 181

Tabla 93. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Febrero. 182

Tabla 94. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Marzo. 183

Tabla 95. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Abril. 184

Tabla 96. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Mayo. 184

Tabla 97. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para junio. 185

Tabla 98. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Julio. 186

Tabla 99. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Agosto. 187

Tabla 100. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Septiembre. 188

Tabla 101. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Octubre. 188

Tabla 102. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Noviembre. 189

Tabla 103. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Diciembre. 190

Tabla 104. Valores mínimos de la media móvil cada 7 días, de la serie de registros diarios de caudales de la estación *Pte Sevilla* desde 1982 hasta 2011. 191

Tabla 105. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Enero. 192

Tabla 106. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Febrero. 193

Tabla 107. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Marzo. 193

Tabla 108. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Abril. 194

Tabla 109. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Mayo. 195

Tabla 110. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Junio. 196

Tabla 111. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Julio. 197

Tabla 112. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Agosto. 197

Tabla 113. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Septiembre. 198

Tabla 114. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Octubre. 199

Tabla 115. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Noviembre. 200

Tabla 116. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Diciembre. 201

Tabla 117. Estimación del IRH para la estación Canal Florida y Pte Sevilla situado en la cuenca del río Sevilla. 202

Tabla 118. Caudales medio mensuales multianuales con series históricas desde 1967 a 2013 de la cuenca del río Sevilla, en la estación Canal Florida. 209

Tabla 119. Caudales medio mensuales multianuales con series históricas desde 1982 hasta 2011 de la cuenca del río Sevilla, en la estación Pte Sevilla. 209

Tabla 120. Factores de reducción aplicada a la cuenca del río Sevilla, en la estación Canal Florida y Pte Sevilla. 210

Tabla 121. Caudal Ambiental estimado en la estación Canal Florida y Pte Sevilla. 211

Tabla 122. Clasificación de la demanda hídrica por categoría según la resolución 865 de 217

Tabla 123. Índice de escasez cuenca del rio Buritaca. Fuente: autores. 222

Tabla 124. Índice de escasez cuenca del rio Buritaca. Fuente: CORPAMAG. 222

Tabla 125. Índice de escasez cuenca del rio Buritaca. Fuente: autores. 224

Tabla 126. Índice de escasez cuenca del rio Gaira. Fuente: autores. 227

Tabla 127. Índice de escasez cuenca del rio Gaira. Fuente: CORPAMAG. 228

Tabla 128. Índice de escasez por sectores productivos en cuenca del rio Gaira. Fuente: autores. 229

Tabla 129. Concesiones otorgadas en la cuenca del rio Gaira. 230

Tabla 130. Índice de escasez cuenca del rio Toribio. Fuente: autores. 234

Tabla 131. Índice de escasez cuenca del rio Toribio. Fuente: CORPAMAG. 235

Tabla 132. Índice de escasez por sectores productivos en cuenca del rio Toribio. Fuente: autores. 237

Tabla 133. Concesiones otorgadas en la cuenca del rio Toribio. 237

Tabla 134. Índice de escasez cuenca del rio Córdoba. Fuente: autores. 241

Tabla 135. Índice de escasez cuenca del rio Córdoba. Fuente: CORPAMAG. 242

Tabla 136. Índice de escasez por sectores productivos cuenca del rio Córdoba. Fuente: autores..... 244

Tabla 137. Concesiones otorgadas en la cuenca del rio Córdoba. 245

Tabla 138. Índice de escasez cuenca del rio Orihueca. Fuente: autores..... 249

Tabla 139. Índice de escasez por sector productivo cuenca del rio Orihueca. Fuente: autores. 251

Tabla 140. Concesiones otorgadas en la cuenca del rio Orihueca..... 252

Tabla 141. Índice de escasez cuenca del rio Sevilla. Fuente: autores. 255

Tabla 142. Índice de escasez cuenca del rio Sevilla. Fuente: CORPAMAG. 256

Tabla 143. Índice de escasez por sector productivo en cuenca del rio Sevilla. Fuente: autores. 258

Tabla 144. Concesiones otorgadas en la cuenca del rio Sevilla. 258

CAPÍTULO 1: CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA

RESUMEN

En el presente documento se realiza la caracterización morfométrica e hidroclimática de las cuencas hidrográficas de los ríos Buritaca, Gaira, Toribio, Córdoba, Orihueca y Sevilla; como base para su reglamentación y complemento para el estudio de inventario de oferta y disponibilidad del recurso hídrico en el departamento del Magdalena.

Como primera medida se presenta la localización y generalidades de cada cuenca, junto con su zonificación y codificación, según las recomendaciones del estudio de Zonificación y Codificación de Cuencas Hidrográficas del IDEAM.

Posteriormente se presentan los parámetros morfométricos más importantes para cada cuenca, calculados a partir de la cartografía oficial del IGAC a escala 1:25.000 y de Modelos de Elevación Digital (DEM) con resolución de 30m x 30m, junto con el análisis de la red de drenaje.

Finalmente se realiza una descripción hidroclimática en cada una de las cuencas, resaltando el comportamiento de las variables hidrometereológicas más importantes, tales como precipitación, temperatura, humedad y evaporación en sus valores medios anuales y en su ciclo anual.

INTRODUCCIÓN

Las condiciones climáticas de Colombia han venido cambiado radicalmente en los últimos años principalmente por la actividad antrópica que ha generado un cambio en los patrones del clima a nivel mundial. Lo anterior trae como consecuencia, entre otras cosas, temporadas invernales y secas mucho más fuertes y prolongadas en el tiempo, incrementando o limitando la cantidad de agua que llega al territorio y que es aprovechada por los seres vivos y sus ecosistemas. Según esto, se hace imperante tener un conocimiento adecuado del comportamiento del recurso hídrico en el territorio nacional, en cuanto a su cantidad y calidad, y de esta manera controlar y planear su uso optimizando cada gota del preciado líquido.

En muchas regiones de Colombia no existen estudios acerca del recurso hídrico y por lo tanto se hace necesario desarrollar estrategias de conocimiento y difusión del estado del agua en cada región del país. Como primera medida se deben conocer las características físicas, geométricas y mofométricas de la unidad de análisis hidrológico, es decir de la cuenca hidrográfica, que junto con el conocimiento hidroclimático en dicha unidad, constituyen la base de la planeación del recurso hídrico.

Los diferentes tipos de interacciones en una cuenca hidrográfica, determinan la susceptibilidad de esta a ser impactadas en términos de inundación o escases de agua, lo cual permite planear, gestionar, aprovechar, proteger y conservar el recurso hídrico logrando mejorar la calidad de vida de las comunidades de acuerdo con sus necesidades.

OBJETIVO

Realizar la caracterización morfométrica e hidroclimática de las cuencas hidrográficas de los ríos Buritaca, Gaira, Toribio, Córdoba, Orihueca y Sevilla.

INFORMACIÓN REQUERIDA

❖ Cartografía oficial del departamento del Magdalena a escala 1:25.000, suministrada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), la cual incluye curvas de nivel cada 25 m, red de drenaje, cuerpos de agua, vías, etc.

❖ Modelos de Elevación Digital (DEM) de la zona, obtenidos de la misión ASTER GDEM, un sensor remoto operado por la NASA (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer – Global Digital Elevation Model), con resolución espacial de 30m x 30m.

❖ Informacion hidrometereológica historica de la zona, suministrada por el Instituto de Hidrologia, Meteorologia y Estudios Ambietales (IDEAM), tales como precipitación, temperatura, humedad y evaporación.

MARCO TEÓRICO

LOCALIZACIÓN Y GENERALIDADES

Se presenta la localización geográfica de cada una de las cuencas junto con sus características más importantes. Para ello se tuvo en cuenta la cartografía oficial, la morfometría de cada cuenca y la información consignada en las páginas oficiales de los municipios de la región.

ZONIFICACIÓN Y CODIFICACIÓN

La zonificación y codificación de las cuencas hidrográficas en Colombia permite conocer la delimitación, distribución y jerarquización de cada una de ellas en territorio nacional, con fines de gestión del recurso hídrico y aplicación de políticas y planes de ordenación y manejo de cuencas que se vienen implementando en los POMCAS.

Según el documento de Zonificación y codificación de cuencas hidrográficas del IDEAM, existen tres grandes grupos de clasificación y jerarquización de cuencas, los cuales se describen a continuación.

1. **Áreas hidrográficas:** corresponden a las grandes regiones o vertientes hidrográficas del país, es decir aquellas cuencas que agrupan un conjunto de ríos con sus afluentes que desembocan en un mismo mar. Las cinco áreas hidrográficas de Colombia son Caribe, Orinoco, Amazonas, Pacifico y Magdalena-Cauca. Esta última aunque drena al Mar Caribe, se toma como un área independiente debido a la importancia socioeconómica y poblacional que representa para el país.

2. **Zonas hidrográficas:** cuencas que tributan sus aguas directamente a un área hidrográfica. En Colombia existe un total de 40 zonas hidrográficas.

3. **Subzonas hidrográficas:** cuencas que tributan sus aguas a una zona hidrográfica, son 311 a nivel nacional.

CODIFICACIÓN

El código de identificación de cuencas hidrográficas está compuesto por un consecutivo numérico de 10 dígitos, tal como se muestra en el ejemplo de la figura 1.

Figura 1. Sistema de codificación de cuencas hidrográficas.
Fuente. Zonificación y Codificación de Cuencas Hidrográficas, IDEAM (2013).

Los primeros cuatro dígitos del código corresponden a la zonificación hidrográfica nacional, mientras que los seis restantes deben ser asignados por la corporación autónoma respectiva.

El primer digito corresponde al área hidrográfica (de 1 a 5), el segundo digito corresponde a la zona hidrográfica (de 1 a 9), tal como se muestra en la tabla 1, según lo indicado en el mapa de la figura 2

Tabla 1. Código de áreas y zonas hidrográficas

ZH	CARIBE (1)	MAGDALENA CAUCA (2)	ORINOCO (3)	AMAZONAS (4)	PACÍFICO (5)
1	Atrato-Darién	Alto Magdalena	Inírida	Guainía	Mira
2	Caribe-Litoral	Saldaña	Guaviare	Vaupés	Patía
3	Sinú	Medio Magdalena	Vichada	Apaporis	Tapaje Amarales -Dagua - directos
4	Caribe-Urabá	Sogamoso	Tomo	Caquetá	San Juan
5	Caribe-La Guajira	Bajo Magdalena-Cauca-San Jorge	Meta	Yarí	Baudó - directos Pacífico
6	Catatumbo	Cauca	Casanare	Caguán	Pacífico - directos
7	Caribe islas (San Andrés, Providencia, Santa Catalina)	Nechí	Arauca	Putumayo	Pacífico islas
8		Cesar	Orinoco directos	Amazonas - directos	
9		Bajo Magdalena	Apure	Napo	

El código del área se encuentra entre paréntesis en la primera fila de la tabla.
Fuente. Zonificación y Codificación de Cuencas Hidrográficas, IDEAM (2013).

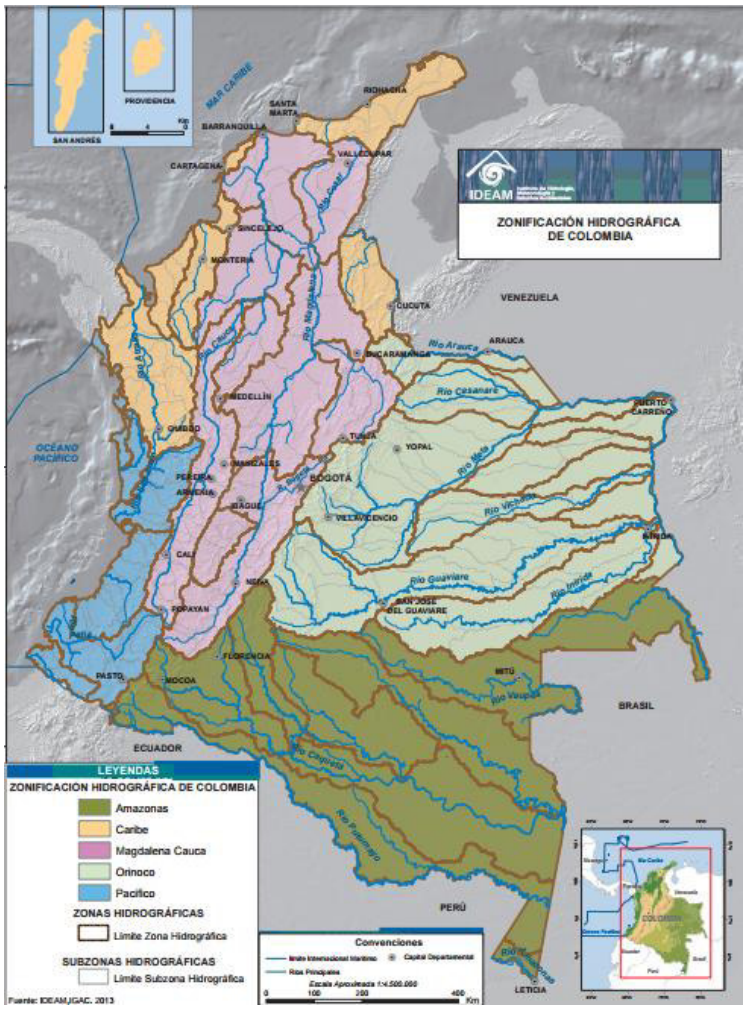


Figura 2. Mapa de zonificación hidrográfica de Colombia.
Fuente. Zonificación y Codificación de Cuencas Hidrográficas, IDEAM (2013).

El tercer y cuarto digito corresponde a la subzona hidrográfica (de 01 a 34), los cuales pueden ser consultados en los anexos del estudio de Zonificación y Codificación de Cuencas Hidrográficas del IDEAM.

Los seis dígitos siguientes se asignan a partir del punto de entrega o desembocadura (A) y en sentido anti horario empezando por la derecha con el digito 01 hasta regresar al punto A. Las cuencas internas se enumeran después de terminar aquellas que se encuentran en los límites de la unidad de la misma manera como se dijo anteriormente.

El quinto y sexto dígito indican el número de la unidad hidrográfica en el nivel I de desagregación de las subzonas. El séptimo y octavo dígito indican el número de unidad hidrográfica nivel II, producto de la desagregación de las unidades hidrográficas de nivel I. El noveno y décimo dígito indican el número de unidad hidrográfica nivel III, producto de la

desagregación de las unidades hidrográficas de nivel II. En caso de que la cuenca no cuente con algún nivel de desagregación se deben dejar por defecto los dígitos 00.

A manera de ejemplo, se presenta en la figura 3, la codificación de las cuencas en una zona del departamento de Antioquia.

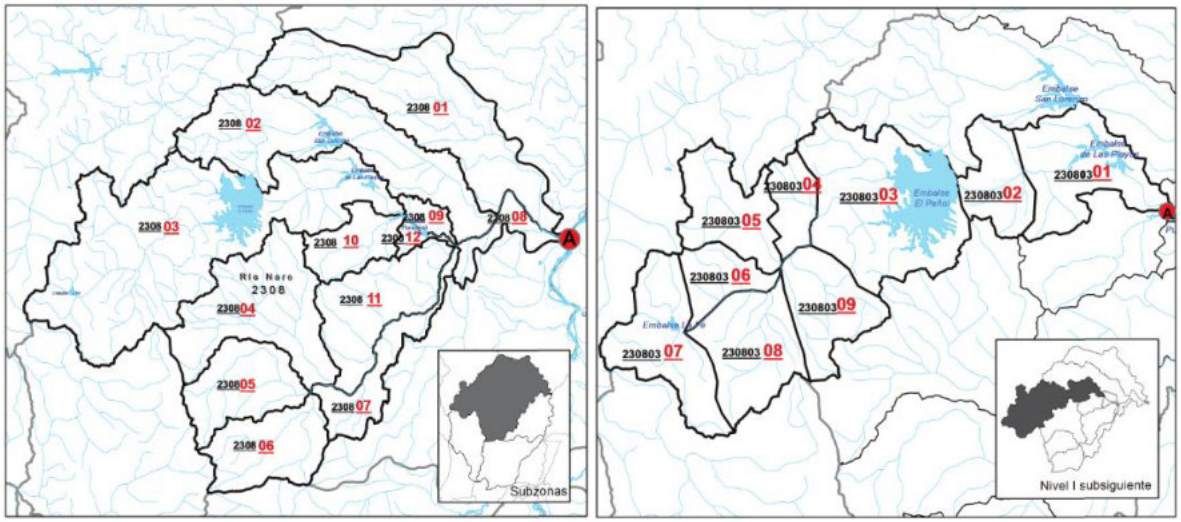


Figura 3. Codificación de una cuenca en el nivel I y nivel II de desagregación.
Fuente. Zonificación y Codificación de Cuencas Hidrográficas, IDEAM (2013).

PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS Y RED DE DRENAJE

La caracterización morfométrica es un insumo fundamental para comprender la geometría y relieve de una cuenca, que determinan el comportamiento hidrológico en relación a la generación de caudales a partir de eventos de precipitación. Los parámetros morfométricos se obtuvieron a partir de Modelos de Elevación Digital (DEM) y cartografía oficial a escala 1:25.000. A continuación se listan los principales parámetros calculados.

Área, perímetro, Longitud cauce principal, cotas máximas y mínimas de la cuenca y el cauce principal, pendiente cauce principal y de la cuenca.

Altura media de la cuenca: definida por el percentil 50 de la curva hipsométrica, donde las áreas quedan igualmente repartidas.

Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad (Kc): es un parámetro adimensional que indica la forma de la cuenca. Es la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de área igual a la de la cuenca. Su valor nunca será menor a 1 y en la medida de que Kc se acerque a este valor, la forma de la cuenca tenderá a parecerse a la de un circulo y por ende podrá concentrar grandes volúmenes de agua produciendo mayores avenidas;

valores mayores de Kc indican cuencas alargadas con menos capacidad de concentrar grandes volúmenes de agua disminuyendo el riesgo por avenidas torrenciales.

$$\mathrm{Kc} = \frac{0{,}28\mathrm{P}}{\sqrt{\mathrm{A}}}$$

Donde P es el perímetro de la cuenca en Km y A es el área de la cuenca en Km²

Factor de forma de Horton (Hf): parámetro adimensional para describir la forma de la cuenca. Es la relación entre el área de la cuenca, y el cuadrado de la longitud del cauce principal. Valores bajos (entre 0 y 1) indican cuencas con tendencia al alargamiento, que estarán menos sujetas a crecientes, mientras que valores mayores (>1) indican cuencas circulares con mayor susceptibilidad a crecientes.

$$\mathrm{Hf} = \frac{\mathrm{A}}{\mathrm{Lc}^2}$$

Donde A es el área de la cuenca en Km² y Lc es la longitud del cauce principal en Km

Densidad de drenaje: relación entre la longitud total de las corrientes en la cuenca y el área total de la misma. Su rango de variación puede estar entre 0,5 y 3,5. Valores altos indican buen drenaje en la cuenca y evacuación rápida de las aguas, mientras que valores bajos indican drenaje pobre y evacuación más lenta de las aguas en la cuenca.

$$\mathrm{Dd} = \frac{\sum Lc_i}{\mathrm{A}}$$

Donde A es el área de la cuenca en Km² y Lc es la longitud de los cauces en Km

Curva hipsométrica: Curva que representa el relieve de la cuenca en términos de área acumulada y altura sobre el nivel del mar, en otras palabras es el porcentaje de área de la cuenca que existe por encima de una cota determinada. La curva hipsométrica sirve como un indicador de la edad de la cuenca, tal como se muestra en la figura 4.

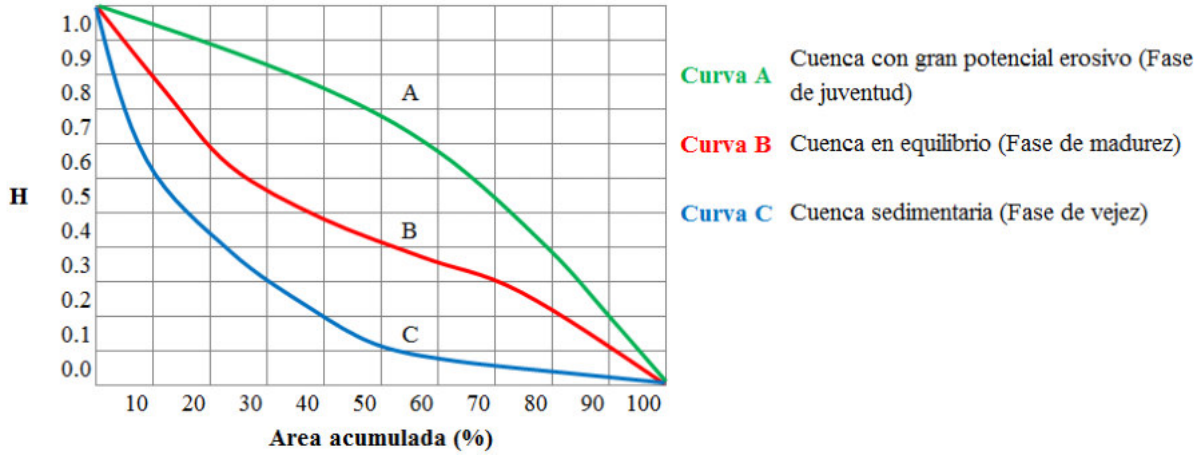


Figura 4. Tipos de Curva hipsométrica.

Para analizar la red de drenaje se calcularon los órdenes de las corrientes con su respectiva longitud y frecuencia, además de las leyes de Horton de bifurcación y longitud, las cuales se describen a continuación.

Relación de bifurcación: Es la relación entre el número de cauces de cualquier orden (Ni) y el número de cauces del siguiente orden superior (Ni+1).

$$\mathrm{RB} = \frac{Ni}{\mathrm{Ni} + 1}$$

Relación de longitud: Es la relación entre la longitud total de los cauces de orden i+1 (Li+1) y la longitud total de los cauces de orden i (Li).

$$\mathrm{RL} = \frac{Li + 1}{\mathrm{Li}}$$

Cabe aclarar que muchos de los parámetros asociados a la red de drenaje son altamente susceptibles a las escala del mapa utilizado, por lo tanto pueden variar significativamente al cambiar la escala de trabajo.

CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

A partir de la información hidrometeorológicas recopilada para el departamento del Magdalena y sus áreas circundantes (registros históricos), se generaron mapas con los valores medios de precipitación, evaporación, temperatura y humedad relativa para cada una de las cuencas de análisis, junto con los mapas del ciclo anual de cada variable para condiciones medias.

El análisis de calidad, homogeneidad y consistencia de las series hidrometereológicas se presenta en un informe anexo, en donde se identifican las estaciones consistentes y homogéneas, las cuales son adecuadas para usar en el presente estudio.

La generación de los mapas se realizó con las estaciones identificadas como homogéneas y consistentes disponibles en el departamento del Magdalena y sus alrededores, interpolando los valores con el método de la distancia inversa (IDW).

Así mismo se presentan como anexos, los mapas del ciclo anual para cada variable y para cada cuenca.

CUENCA DEL RÍO BURITACA

LOCALIZACIÓN Y GENERALIDADES

La cuenca del río Buritaca se encuentra ubicada en la vertiente norte de la Sierra Nevada de Santa Marta, aproximadamente entre las coordenadas: 10°59'N y 11°16'N de latitud, y 73°59'W y 73°43'W de longitud. El río nace cerca de la cuchilla Cuinue, a una altura aproximada de 2.300 msnm y desemboca en el mar Caribe a la altura del centro poblado de Buritaca. Al este limita con la cuenca hidrográfica del río Don Diego, al oeste con la cuenca hidrográfica del río Guachaca, al norte con el Mar Caribe y al sur con la cuenca alta del río Frío (figura 5).

Figura 5. Localización de la cuenca del rio Buritaca

La cuenca cuenta con aproximadamente 30.260 hectáreas. La longitud del río Buritaca es de 57,8 kilómetros y presenta un caudal promedio de 68,6 m³/s a la altura de la estación BURITACA, ubicada en la parte baja de la cuenca, 2 km aguas arriba de la desembocadura.

Los principales afluentes del río Buritaca son: quebrada Naculundicue, quebrada Doasangue, quebrada Nina, quebrada Unión, quebrada Corea, quebrada Unión, entre otras. Sus principales centros poblados son Machete Pelao y Buritaca junto a la desembocadura del río.

La cuenca del río Buritaca tiene la particularidad de acoger gran parte de la cultura indígena Tayrona, ya que en su parte alta se encuentra la antigua ciudad indígena, denominada Ciudad Perdida, y además es hogar de muchas personas pertenecientes a tribus indígenas de la región.

ZONIFICACIÓN Y CODIFICACIÓN

Según lo expuesto en el marco teórico, la codificación para la cuenca del río Buritaca es:

$$\overbrace{\substack{\text{Área}\\ \text{Caribe}}}^{1}\quad \overbrace{\substack{\text{Zona}\\ \text{Caribe-Guajira}}}^{5}\quad \overbrace{\substack{\text{Subzona}\\ \text{Mendihuaca-Guachaca-Buritaca}}}^{09}\quad \overbrace{\substack{\text{Nivel I}\\ \text{Buritaca}}}^{01}$$

PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS Y RED DE DRENAJE

En la tabla 2 se presentan los parámetros morfométricos más importantes calculados para la cuenca del río Buritaca.

Tabla 2. Parámetros morfométricos de la cuenca del río Buritaca

Parámetro	Valor
Área (km²)	302,60
Perímetro (km)	109,15
Cota mayor cuenca (msnm)	3.323
Cota menor cuenca (msnm)	0
Cota mayor cauce principal (msnm)	2.400
Cota menor cauce principal (msnm)	0
Longitud del cauce principal (km)	57,89
Pendiente del cauce principal (m/m)	0,04
Pendiente media de la cuenca (%)	52
Altura media cuenca (msnm)	887,74
Índice de Gravelius (Kc)	1,75
Factor de forma de Horton (Hf)	0,09
Densidad de drenaje (Dd) (Km/Km²)	1,79

Curva hipsométrica: La curva hipsométrica de la cuenca del río Manzanares (figura 6), indica una cuenca en fase de madurez con tendencia a envejecimiento, el relieve promedio de la cuenca es muy uniforme a excepción de la zona alta, la cual presenta pendientes mucho mayores con un alto potencial de erosión.

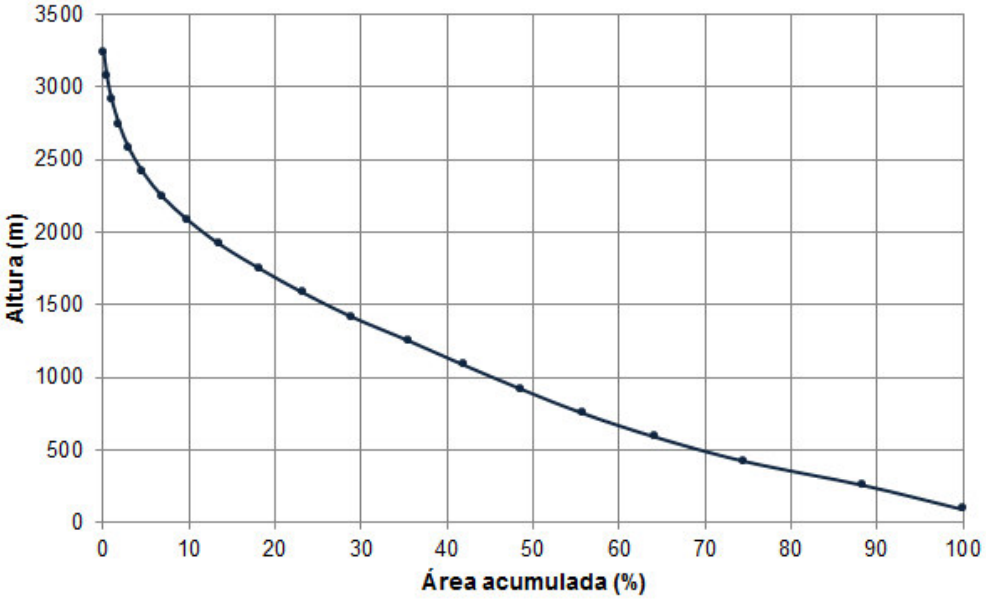


Figura 6. Curva hipsométrica de la cuenca del río Buritaca.

Red de drenaje: La red de drenaje se obtuvo directamente del DEM, comparando los resultados con la cartografía oficial. Con la escala trabajada se alcanzaron hasta 6 órdenes de corriente en la cuenca según la clasificación de Strahler, tal como se muestra en la figura 7.

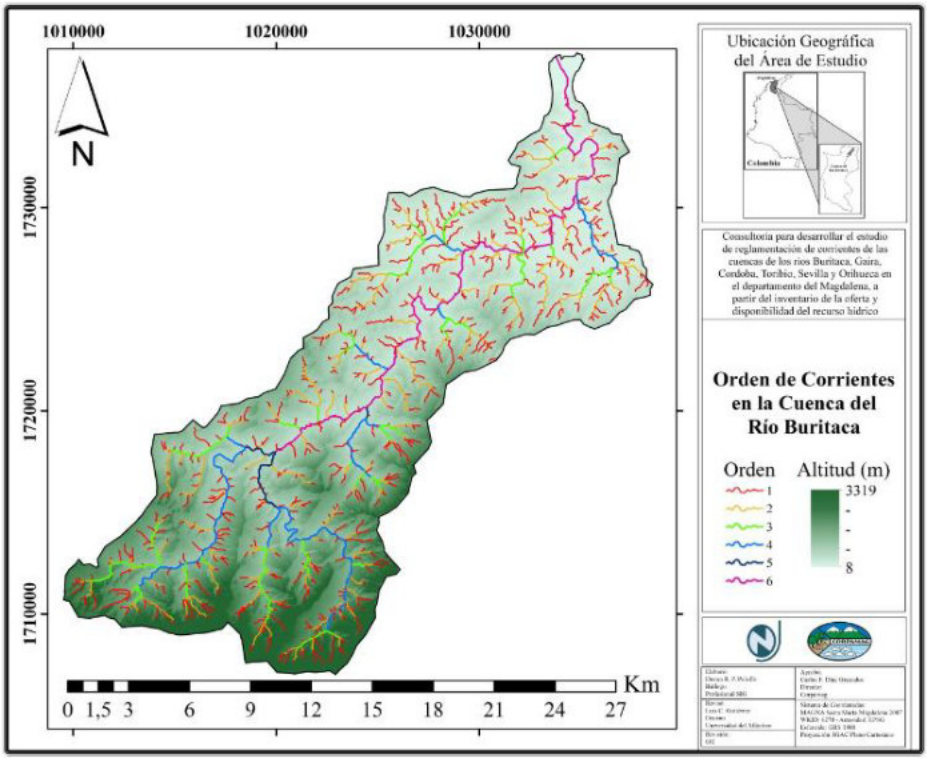


Figura 7. Red de drenaje y órdenes de corriente en la cuenca del río Buritaca.

El análisis de la red de drenaje de la cuenca del río Buritaca, se resume en la tabla 3.

Tabla 3. Resumen del análisis de la red de drenaje de la cuenca del río Buritaca

Orden	Cantidad de corrientes	Longitud total (Km)	Frecuencia (%)	Relación de bifurcación	Relación de longitud
1	1.564	262,24	48	2,28	0,52
2	685	136,67	25	3,02	0,40
3	227	54,65	10	1,17	0,82
4	194	44,58	8	6,26	0,15
5	31	6,58	1	0,17	5,93
6	185	39,06	7		
TOTAL / MEDIA	**2.886**	**544**	**100**	**2,58**	**1,56**

En base a los parámetros morfométricos calculados y a la red de drenaje de la cuenca del río Buritaca, se tiene una cuenca mediana de tipo alargado, con un rango de altitudes amplio que van desde los 0 msnm en la parte baja hasta los 3.323 msnm en la parte alta. Posee una red de drenaje regular, lo cual disminuye el riesgo a ser afectada por crecidas súbitas.

CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

En la 8 y 9 se presentan los mapas con valores promedio anual de cada una de las variables analizadas.

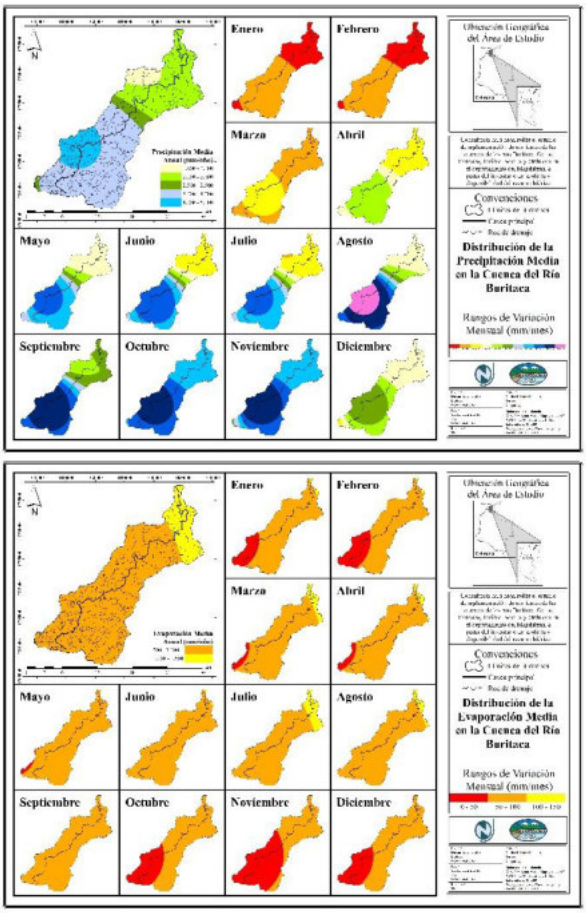


Figura 8. Valores medios anuales de precipitación y evaporación para la cuenca del rio Buritaca.

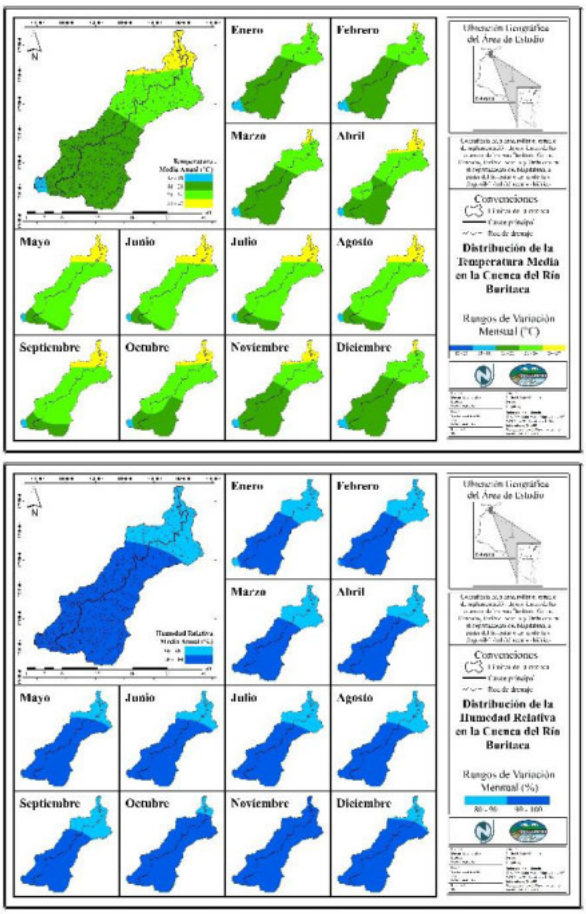


Figura 9. Valores medios anuales de Temperatura media y humedad relativa para la cuenca del rio Buritaca.

La precipitación media sobre la cuenca varía entre 1.890,7 mm/año en la cuenca baja y 4.059,7 mm/año en la cuenca alta. La temperatura media anual esta entre los 15,7°C en la parte más alta de la cuenca y los 25,3°C en la parte baja. Los valores de evaporación se encuentran entre 578,3 y 1.190,7 mm/año, mientras que la humedad relativa varía entre 88% y 92,2%. El comportamiento de cada una de las variables está estrechamente relacionado con el relieve de la cuenca, ya que las condiciones en la parte alta son completamente diferentes a las establecidas en la cuenca baja, lo cual obedece a la teoría de pisos térmicos que se presenta sobre todo en regiones tropicales donde la influencia del relieve es determinante.

Analizando el ciclo anual de cada variable en la cuenca del río Buritaca, se aprecia que los valores de precipitación son mínimos entre enero y marzo con valores inferiores a 150 mm/mes, y máximos entre agosto y noviembre con valores que superan los 500 mm/mes. En cuanto a la temperatura se observa que los meses más cálidos están en la segunda mitad del año con valores de hasta 27°C. La evaporación por su parte tiene sus valores mínimos entre

octubre y febrero, mientras que la humedad relativa permanece relativamente constante a lo largo del año.

CUENCA DEL RÍO GAIRA

LOCALIZACIÓN Y GENERALIDADES

La cuenca del río Gaira se encuentra ubicada en la vertiente noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, aproximadamente entre las coordenadas: 11°05'N y 11°13'N de latitud, y 74°14'W y 74°01'W de longitud. El río nace en la estrella hídrica de San Lorenzo, a una altura aproximada de 2.200 msnm y desemboca en el mar Caribe en el sector del Rodadero en Santa Marta. Al este limita con la cuenca hidrográfica del río Guachaca, al oeste con el mar Caribe, al norte con la cuenca hidrográfica del río Manzanares y la ciudad de Santa Marta, al sur con la cuenca hidrográfica del río Toribio (figura 10)

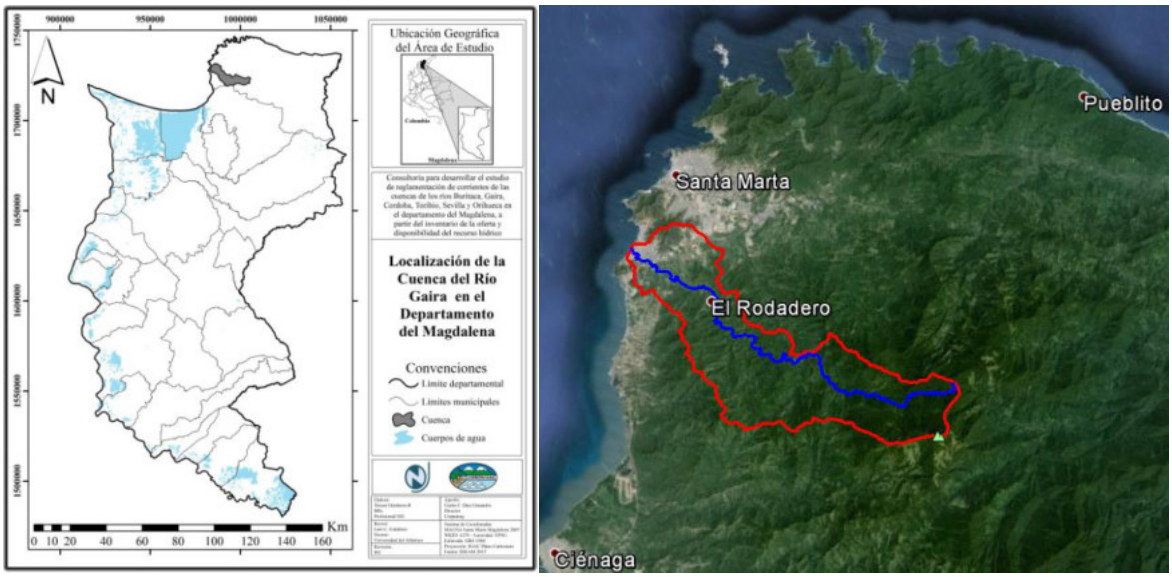


Figura 10. Localización de la cuenca del rio Gaira

La cuenca cuenta con aproximadamente 10.875 hectáreas. La longitud del río Gaira es de 33,95 kilómetros y tiene un caudal promedio anual de 2,7 m³/s a la altura de la estación MINCA ubicada en el centro poblado del mismo nombre.

Los principales afluentes del río Gaira son: quebrada El Palmar, quebrada Las Mercedes, quebrada Agua Dulce, quebrada La Macanilla, entre otras. Sus principales centros poblados son Minca, Gaira y el Rodadero.

El río Gaira proporciona una parte del agua de abastecimiento a la ciudad de Santa Marta y a los municipios de Gaira y el Rodadero. Debido a que en la cuenca baja del río se encuentran importantes asentamientos poblacionales, las aguas son contaminadas con desechos urbanos e industriales.

ZONIFICACIÓN Y CODIFICACIÓN

Según lo expuesto en el marco teórico, la codificación para la cuenca del río Gaira es:

$$\overbrace{1}^{\substack{\text{Área}\\ \text{Caribe}}}\ \overbrace{5}^{\substack{\text{Zona}\\ \text{Caribe-Guajira}}}\ \overbrace{01}^{\substack{\text{Subzona}\\ \text{Piedras-Manzanares y otros directos Caribe}}}\ \overbrace{03}^{\substack{\text{Nivel I}\\ \text{Gaira}}}$$

PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS Y RED DE DRENAJE

En la tabla 4 se presentan los parámetros morfométricos más importantes de la cuenca del río Gaira.

Tabla 4. Parámetros morfométricos de la cuenca del río Gaira

Parámetro	Valor
Área (km²)	108,75
Perímetro (km)	67,79
Cota mayor cuenca (msnm)	2.872
Cota menor cuenca (msnm)	0
Cota mayor cauce principal (msnm)	2.200
Cota menor cauce principal (msnm)	0
Longitud del cauce principal (km)	33,95
Pendiente del cauce principal (m/m)	0,06
Pendiente media de la cuenca (%)	33,74
Altura media cuenca (msnm)	778,68
Índice de Gravelius (Kc)	1,82
Factor de forma de Horton (Hf)	0,09
Densidad de drenaje (Dd) (Km/Km²)	1,95

Curva hipsométrica: La curva hipsométrica de la cuenca del río Gaira (figura 11), representa una cuenca en fase de madurez en la cual se han presentado procesos erosivos sobre todo en las partes media y baja de la cuenca, mientras que en su parte alta existe un gran potencial de erosión.

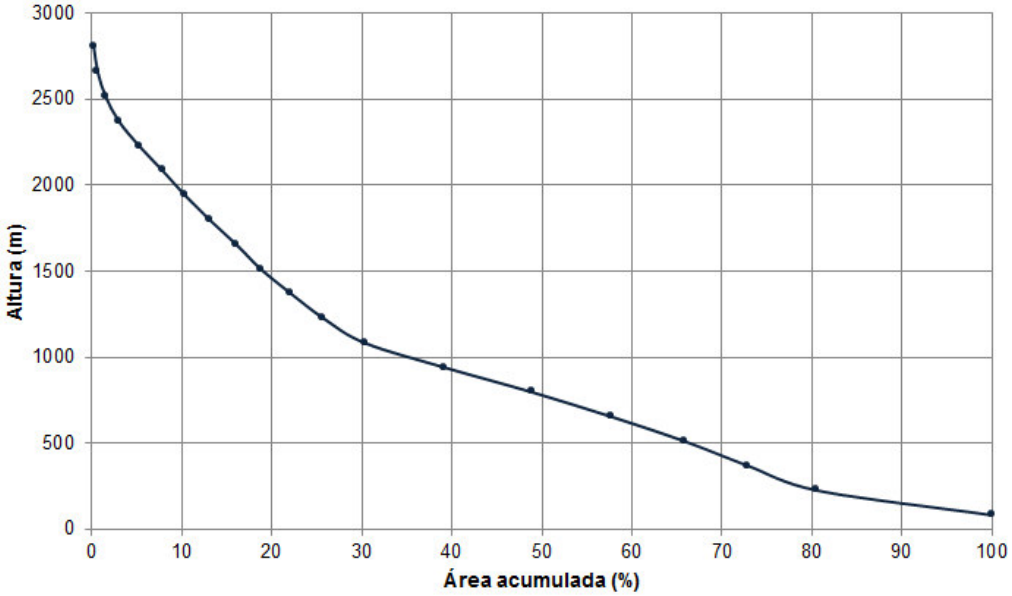


Figura 11. Curva hipsométrica de la cuenca del río Gaira

Red de drenaje: La red de drenaje se obtuvo directamente del DEM, comparando los resultados con la cartografía oficial. Con la escala trabajada se alcanzaron hasta 5 órdenes de corriente en la cuenca según la clasificación de Strahler, tal como se muestra en la figura 12.

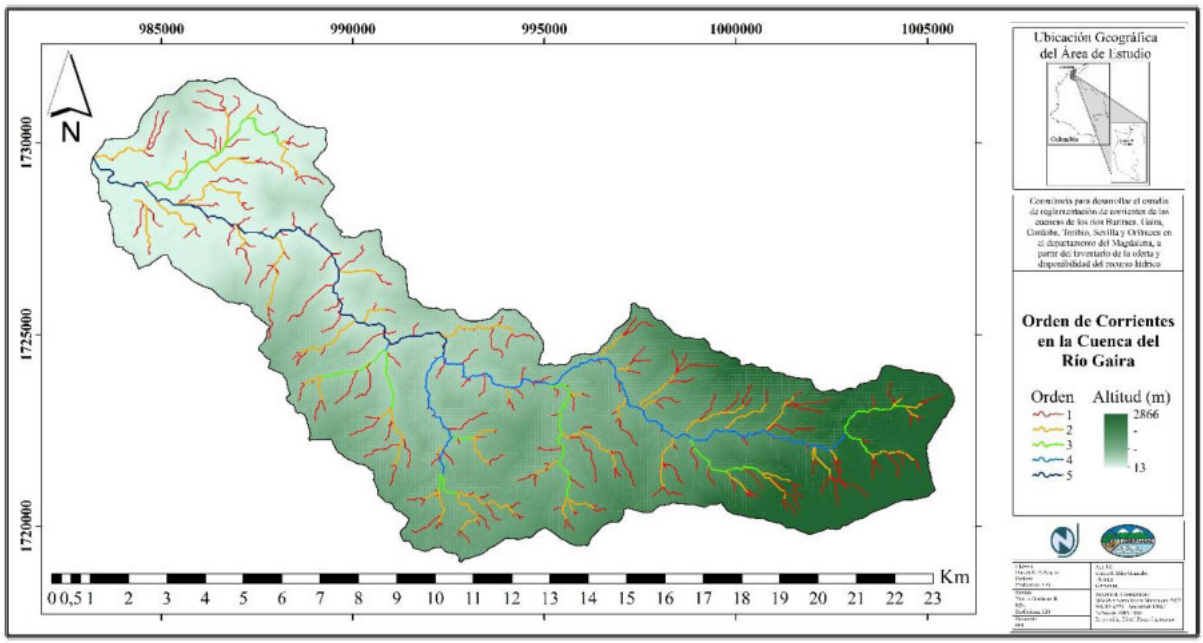


Figura 12. Red de drenaje y órdenes de corriente en la cuenca del río Gaira

El análisis de la red de drenaje de la cuenca del río Gaira, se resume en la tabla 5.

Tabla 5. Resumen del análisis de la red de drenaje de la cuenca del río Gaira

Orden	Cantidad de corrientes	Longitud total (Km)	Frecuencia (%)	Relación de bifurcación	Relación de longitud
1	473	104,13	49	2,13	0,53
2	222	54,81	26	2,96	0,38
3	75	20,76	10	0,95	0,90
4	79	18,69	9	1,55	0,77
5	51	14,37	7		
TOTAL / MEDIA	**900**	**213**	**100**	**1,90**	**0,64**

Teniendo en cuenta los parámetros morfométricos analizados anteriormente, se concluye que la cuenca del río Gaira es pequeña y de tipo alargado, lo cual favorece su respuesta ante eventos fuertes de precipitación, presenta una red de drenaje regular disminuyendo el riesgo a presentar crecidas súbitas.

CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

En las figuras 13-16 se presentan los mapas con valores promedio anual de cada una de las variables analizadas.

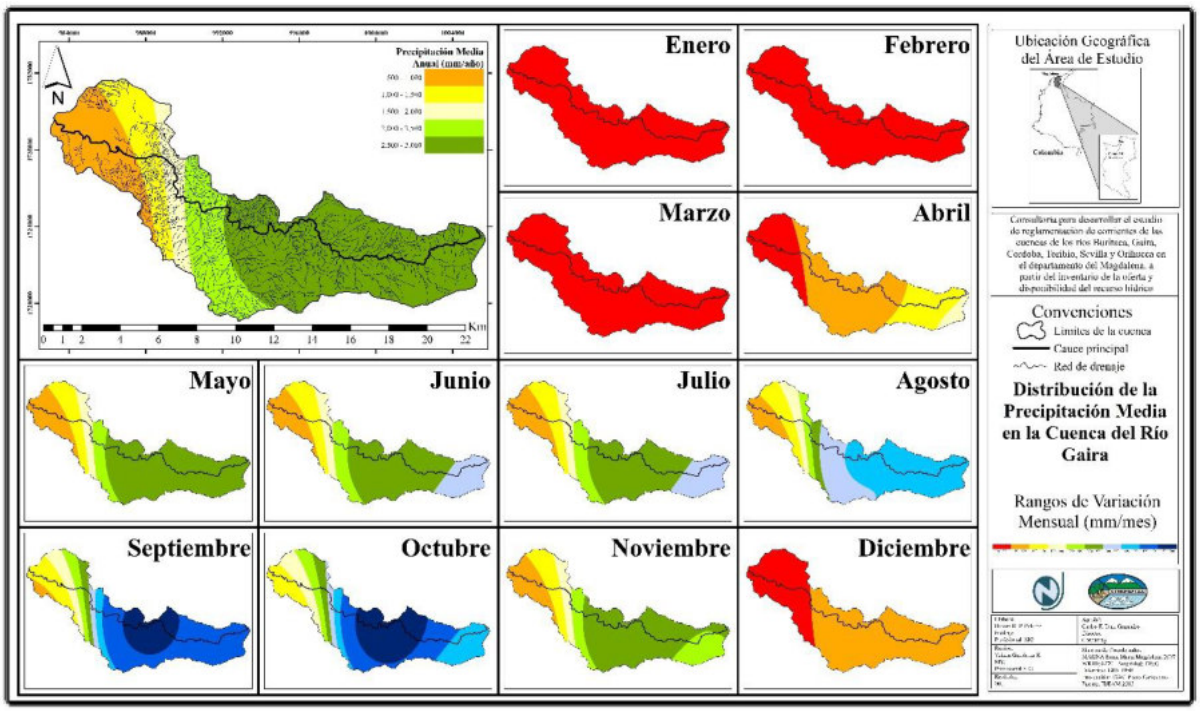


Figura 13. Valores medios anuales de precipitación para la cuenca del rio Gaira.

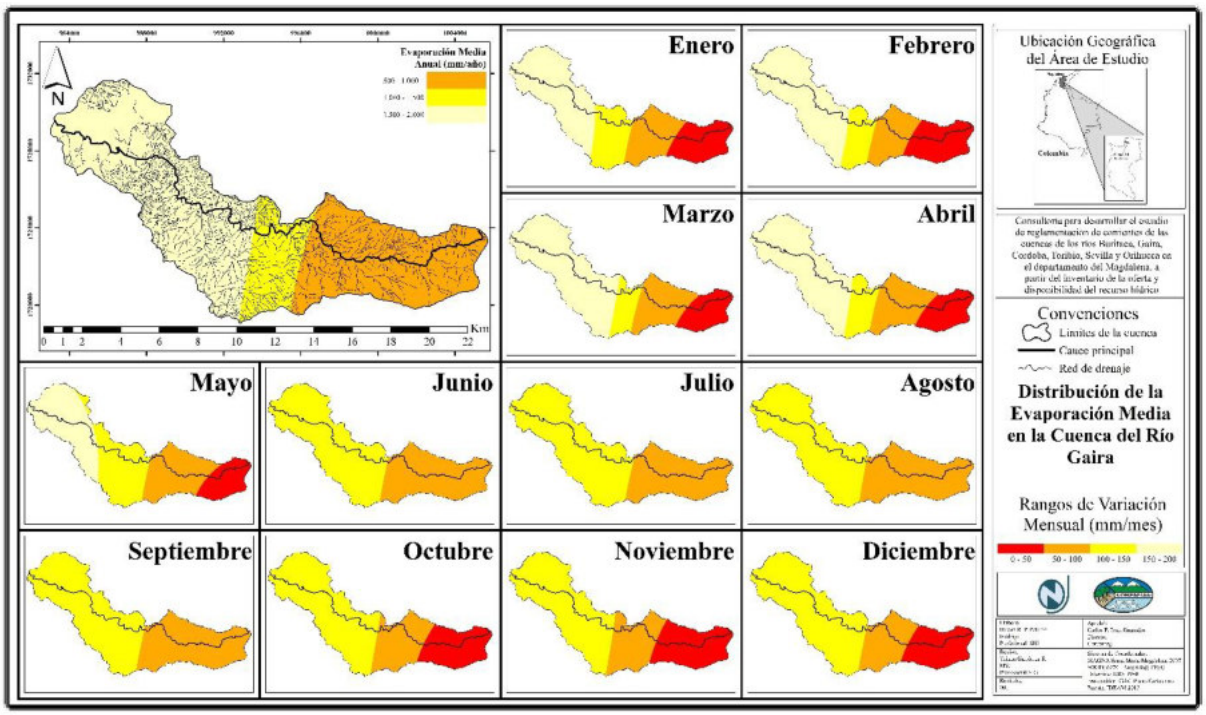


Figura 14. Valores medios anuales de evaporación para la cuenca del rio Gaira.

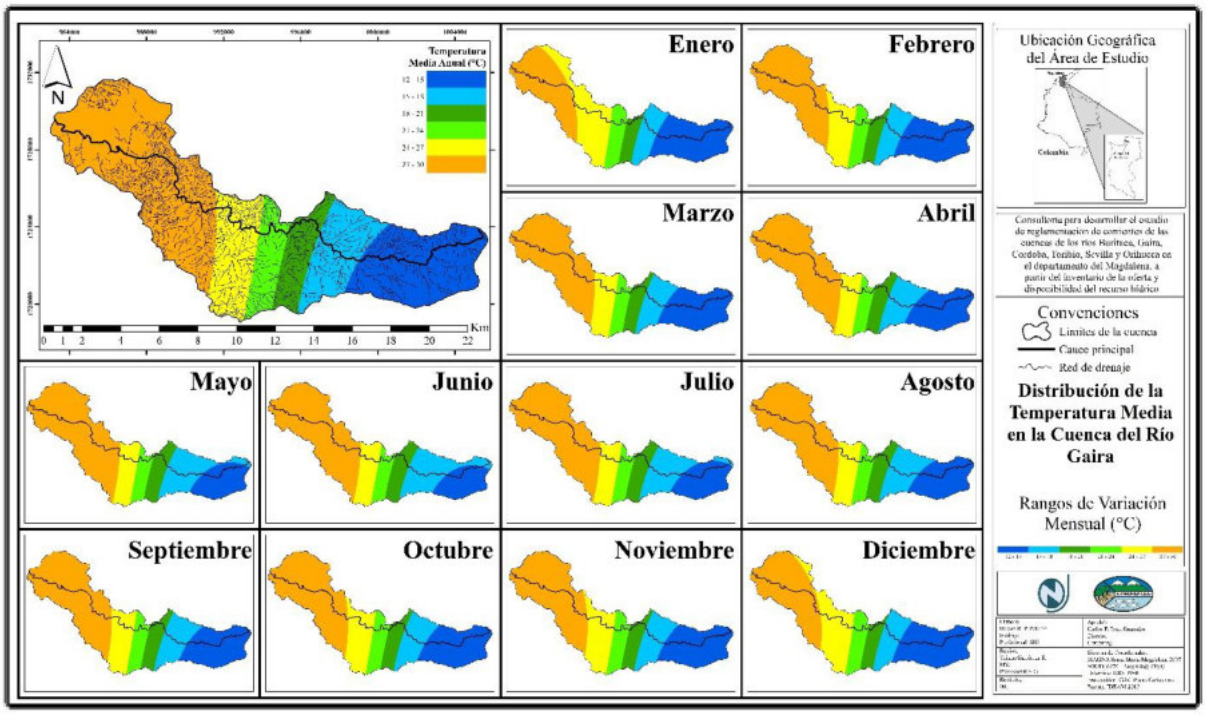


Figura 15. Valores medios anuales de temperatura media para la cuenca del rio Gaira.

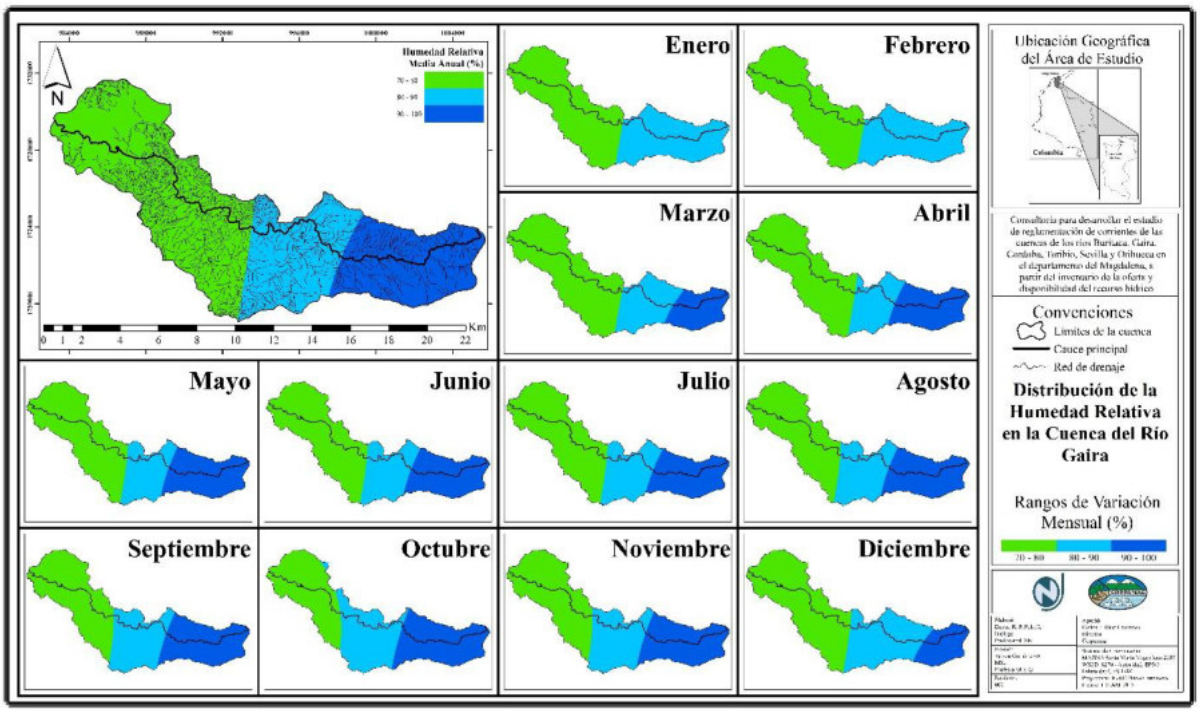


Figura 16. Valores medios anuales de humedad relativa para la cuenca del rio Gaira.

La precipitación media sobre la cuenca varía entre 533,9 mm/año en la cuenca baja y 2.691,4 mm/año en la cuenca alta. La temperatura media anual esta entre los 13,6°C en la parte más alta de la cuenca y los 28,6°C en la parte baja. Los valores de evaporación se encuentran entre 566,4 y 1.809,1 mm/año, mientras que la humedad relativa varía entre 75,6% y 91,9%. El comportamiento de cada una de las variables está estrechamente relacionado con el relieve de la cuenca, ya que las condiciones en la parte alta son completamente diferentes a las establecidas en la cuenca baja, lo cual obedece a la teoría de pisos térmicos que se presenta sobre todo en regiones tropicales donde la influencia del relieve es determinante.

Analizando el ciclo anual de cada variable en la cuenca del río Gaira, se aprecia que los valores de precipitación son mínimos entre diciembre y marzo con valores inferiores a 100 mm/mes, y máximos entre agosto y octubre con valores cercanos a los 500 mm/mes. En cuanto a la temperatura se observa que se mantiene muy regular a lo largo del año con valores cercanos a los 27°C en la cuenca baja y 15°C en la cuenca alta. La evaporación por su parte presenta valores más homogéneos entre junio y septiembre, mientras que la humedad relativa permanece relativamente constante a lo largo del año con valores inferiores a 80% en la cuenca baja y mayores a 90% en la cuenca alta.

CUENCA DEL RÍO TORIBIO

LOCALIZACIÓN Y GENERALIDADES

La cuenca del río Toribio se encuentra ubicada en la vertiente occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, aproximadamente entre las coordenadas: 11°01'N y 11°07'N de latitud, y 74°14'W y 74°01'W de longitud. El río nace en la estrella hídrica de San Lorenzo, a una altura aproximada de 2.400 msnm y desemboca en el Mar Caribe a la altura de la Hacienda Papare. Al este limita con la cuenca hidrográfica del río Guachaca, al oeste con el Mar Caribe, al norte con la cuenca del río Gaira y al sur con la cuenca hidrográfica del río Córdoba (figura 17).

Figura 17. Localización de la cuenca del rio Toribio

La cuenca cuenta con aproximadamente 10.784 hectáreas. La longitud del río Toribio es de 33,43 Km.

Los principales afluentes del río Toribio son: quebrada Viernes Santo, quebrada La Tagua, quebrada Malabrigo, quebrada Santa Bárbara, quebrada El Líbano, quebrada Marinca, quebrada El Guayabo, entre otras.

En la actualidad el río Toribio se ha convertido en una fuente secundaria de agua para la ciudad de Santa Marta, ya que debido a las largas temporadas de sequía que afronta la región, las fuentes primarias han disminuido considerablemente sus caudales.

ZONIFICACIÓN Y CODIFICACIÓN

Según lo expuesto en el marco teórico, la codificación para la cuenca del río Toribio es:

$$\overbrace{1}^{\substack{Área\\Caribe}}\quad \overbrace{5}^{\substack{Zona\\Caribe-Guajira}}\quad \overbrace{01}^{\substack{Subzona\\Piedras-Manzanares\ y\ otros\ directos\ Caribe}}\quad \overbrace{04}^{\substack{Nivel\ I\\Toribio}}$$

PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS Y RED DE DRENAJE

En la tabla 6 se presentan los parámetros morfométricos más importantes de la cuenca del río Toribio.

Tabla 6. Parámetros morfométricos de la cuenca del río Toribio

Parámetro	Valor
Área (km²)	107,84
Perímetro (km)	56,60
Cota mayor cuenca (msnm)	2.840
Cota menor cuenca (msnm)	0
Cota mayor cauce principal (msnm)	2.400
Cota menor cauce principal (msnm)	0
Longitud del cauce principal (km)	33,43
Pendiente del cauce principal (m/m)	0,07
Pendiente media de la cuenca (%)	39,24
Altura media cuenca (msnm)	861,98
Índice de Gravelius (Kc)	1,52
Factor de forma de Horton (Hf)	0,09
Densidad de drenaje (Dd) (Km/Km²)	1,82

Curva hipsométrica: La curva hipsométrica del rio Toribio representa una cuenca en fase intermedia o de madurez, presentando una pendiente muy homogénea en la mayoría de su longitud, excepto en la parte alta donde es más pronunciada, lo que indica que en la parte alta existe un gran potencial de erosión.

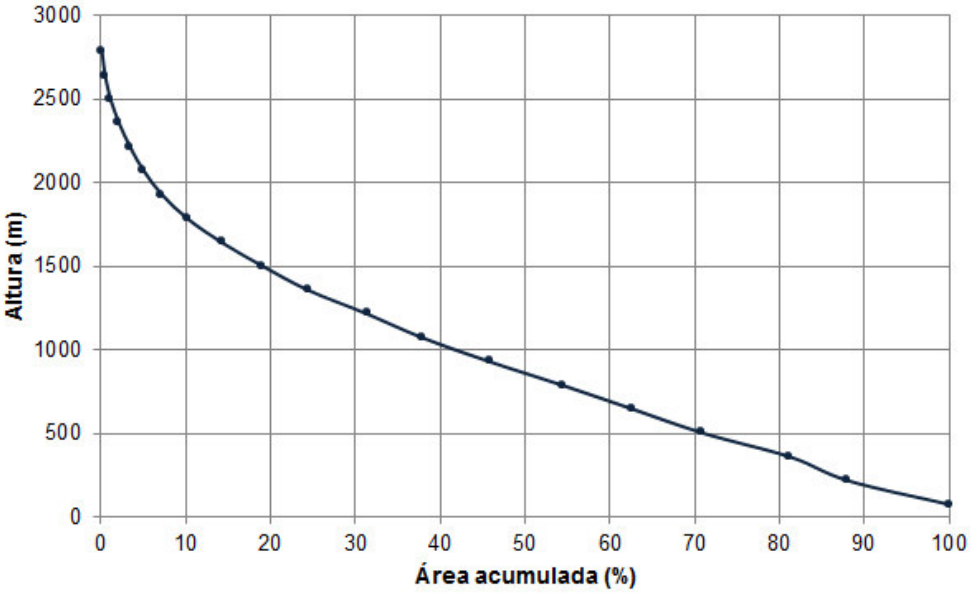


Figura 18. Curva hipsométrica de la cuenca del río Toribio

Red de drenaje: La red de drenaje se obtuvo directamente del DEM, comparando los resultados con la cartografía oficial. Con la escala trabajada se alcanzaron hasta 5 órdenes de corriente en la cuenca según la clasificación de Strahler, tal como se muestra en la figura 19.

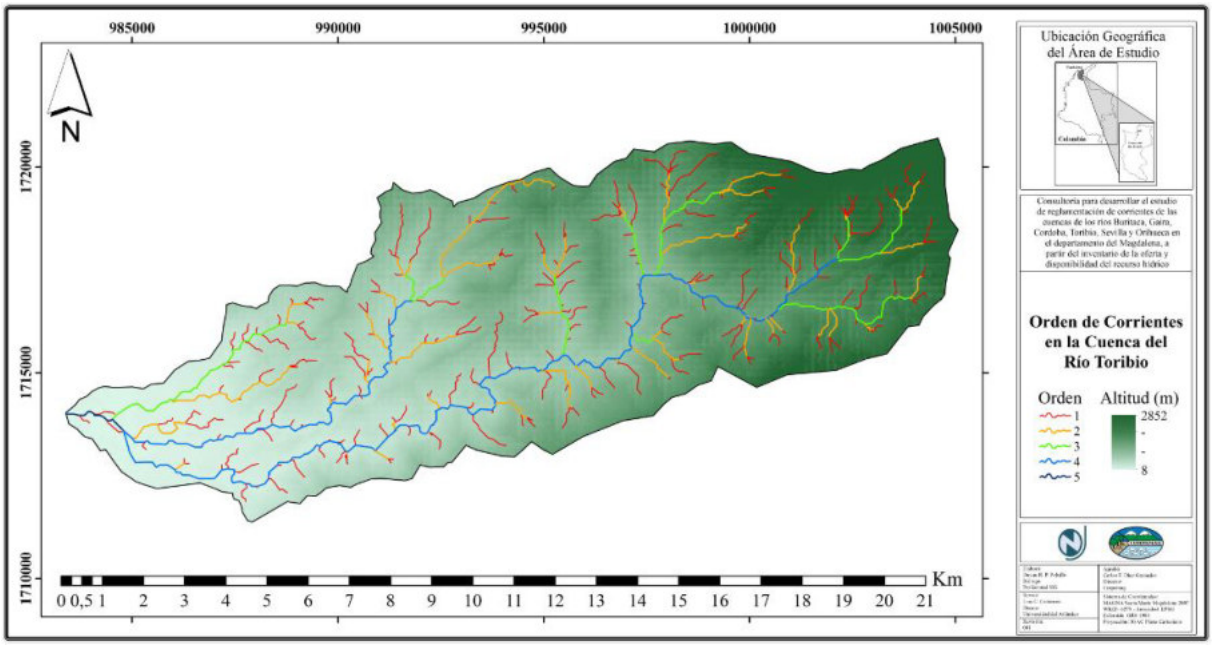


Figura 19. Red de drenaje y órdenes de corriente en la cuenca del río Toribio

El análisis de la red de drenaje de la cuenca del río Toribio, se resume en la tabla 7.

Tabla 7. Resumen del análisis de la red de drenaje de la cuenca del río Toribio.

Orden	Cantidad de corrientes	Longitud total (Km)	Frecuencia (%)	Relación de bifurcación	Relación de longitud
1	410	90,45	46	2,27	0,50
2	181	45,32	23	2,03	0,51
3	89	23,08	12	0,77	1,58
4	116	36,40	18	23,20	0,04
5	5	1,62	1		
TOTAL / MEDIA	**801**	**197**	**100**	**7,07**	**0,66**

Teniendo en cuenta los parámetros morfométricos y la red de drenaje de la cuenca del río Toribio, se concluye que es una cuenca relativamente pequeña de tipo alargado con pendientes pronunciadas y una red de drenaje regular, que permite la salida del agua con una velocidad intermedia.

CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

En las figuras 20-23 se presentan los mapas con valores promedio anual de cada una de las variables analizadas.

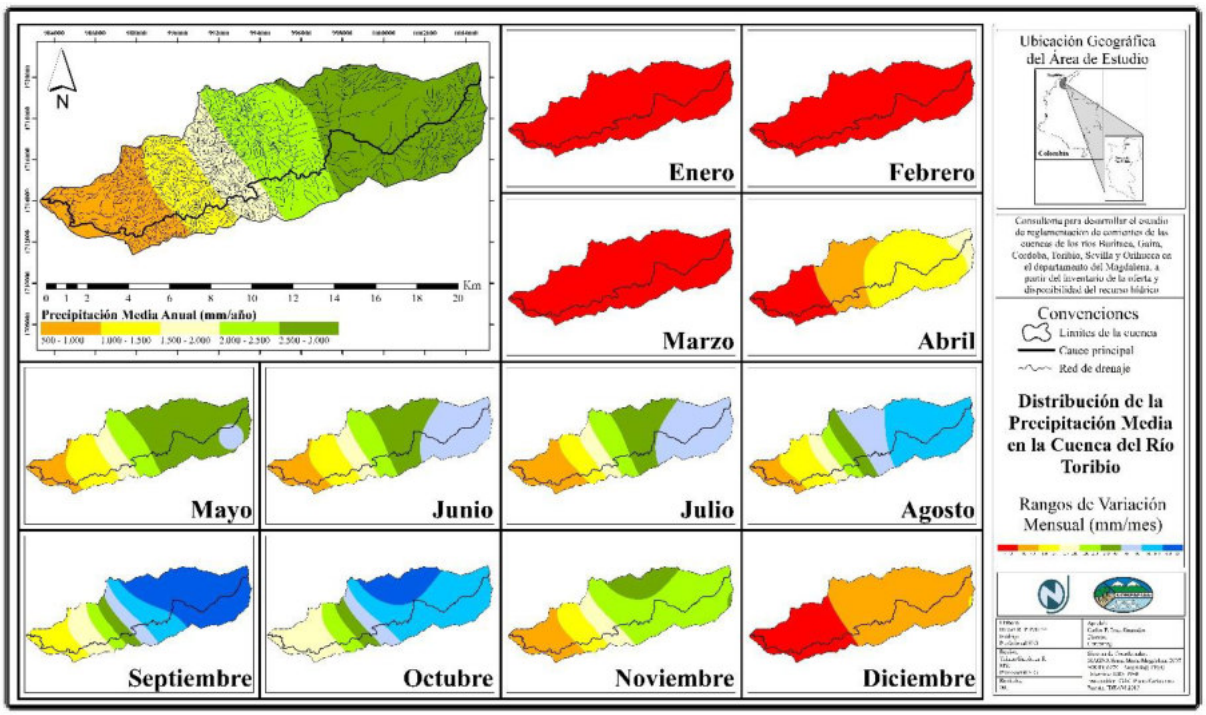


Figura 20. Valores medios anuales de precipitación para la cuenca del rio Toribio.

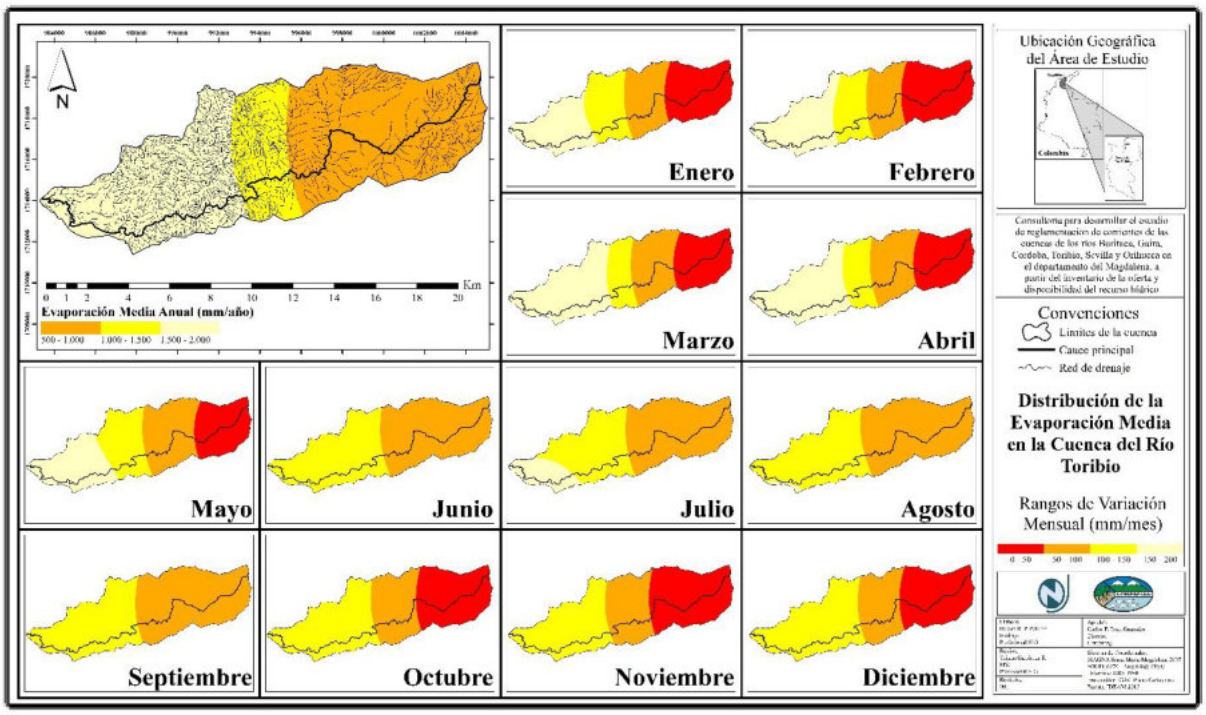


Figura 21. Valores medios anuales de evaporación para la cuenca del rio Toribio.

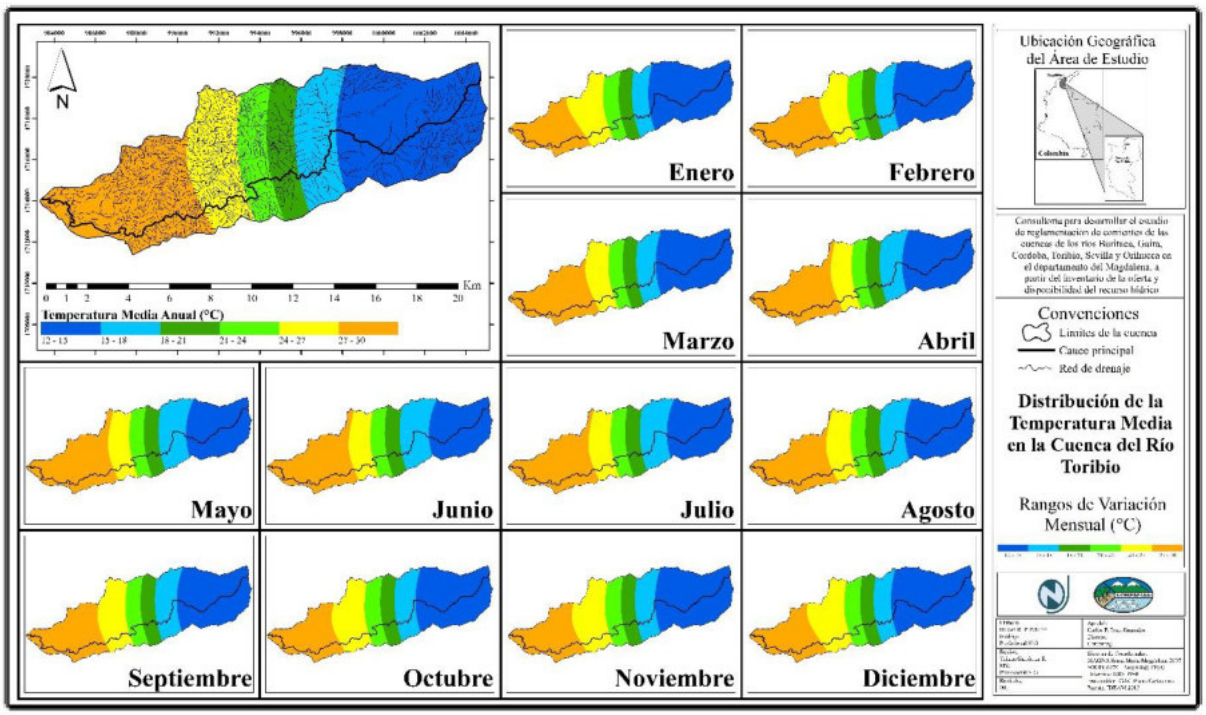


Figura 22. Valores medios anuales de temperatura media para la cuenca del rio Toribio.

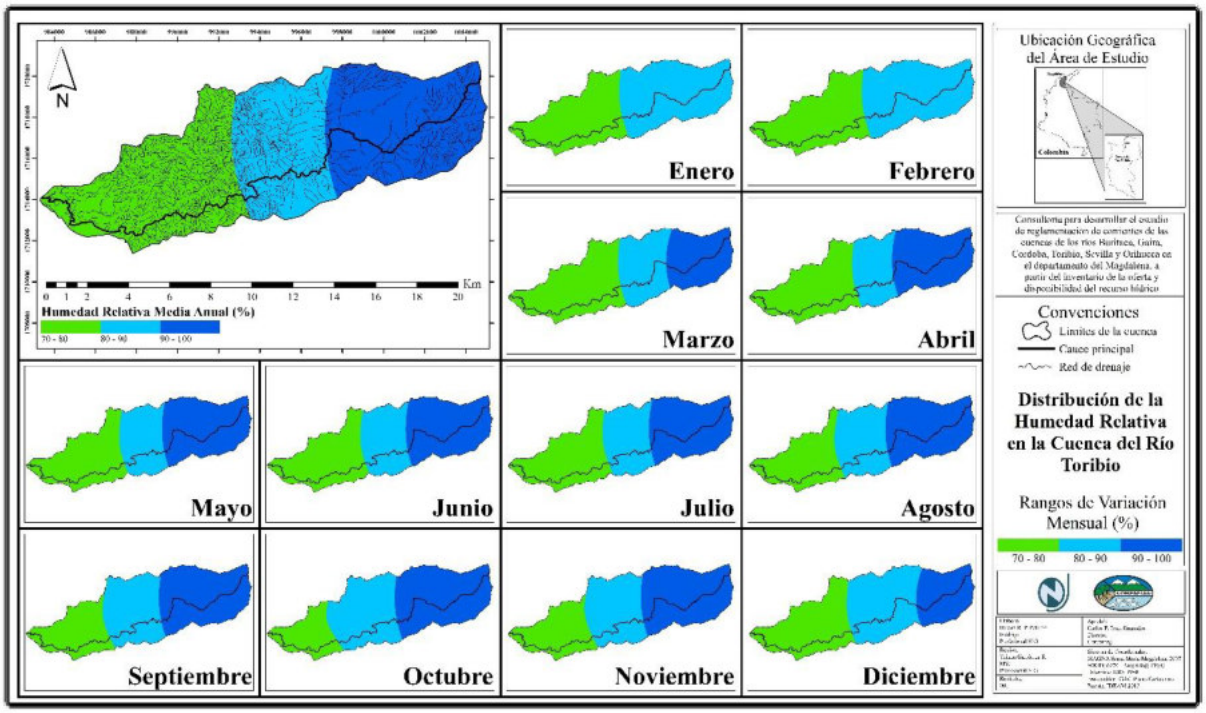


Figura 23. Valores medios anuales de humedad relativa para la cuenca del rio Toribio.

La precipitación media sobre la cuenca varía entre 742,4 mm/año en la cuenca baja y 2.698,7 mm/año en la cuenca alta. La temperatura media anual esta entre los 13,5°C en la parte más alta de la cuenca y los 28,4°C en la parte baja. Los valores de evaporación se encuentran entre 564,7 y 1.838,7 mm/año, mientras que la humedad relativa varía entre 75,1% y 92%. El comportamiento de cada una de las variables está estrechamente relacionado con el relieve de la cuenca, ya que las condiciones en la parte alta son completamente diferentes a las establecidas en la cuenca baja, lo cual obedece a la teoría de pisos térmicos que se presenta sobre todo en regiones tropicales donde la influencia del relieve es determinante.

Analizando el ciclo anual de cada variable en la cuenca del río Toribio, se aprecia que los valores de precipitación son mínimos entre enero y marzo con valores inferiores a 50 mm/mes en toda la cuenca, y máximos entre agosto y octubre con valores cercanos a los 450 mm/mes en la cuenca alta. En cuanto a la temperatura se observa que se mantiene muy regular en la cuenca a lo largo del año, con valores cercanos a los 27°C en la cuenca baja y 15°C en la cuenca alta. La evaporación por su parte presenta valores muy regulares en todo el año con valores inferiores a 50 mm/mes en la cuenca alta y cercanos a 150 mm/mes en la cuenca baja, mientras que la humedad relativa tiene sus valores mínimos en enero y febrero, y muy homogéneos el resto del año con valores inferiores a 80% en la cuenca baja y mayores a 90% en la cuenca alta.

CUENCA DEL RÍO CÓRDOBA

LOCALIZACIÓN Y GENERALIDADES

La cuenca del río Córdoba se encuentra ubicada en la vertiente noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, aproximadamente entre las coordenadas: 10°59'N y 11°05'N de latitud, y 73°59'W y 74°14'W de longitud. El río nace cerca de la cuchilla San Lorenzo, a una altura aproximada de 2.400 msnm y desemboca en el mar Caribe en el sitio conocido como Costa Verde, zona carbonera del municipio de Ciénaga. Al este limita con las cuencas hidrográficas de los ríos Guachaca y Buritaca, al oeste con el mar Caribe, al norte con la cuenca hidrográfica del río Toribio y al sur con la cuenca hidrográfica del río Frío y el centro Poblado del municipio de Ciénaga (figura 24).

Figura 24. Localización de la cuenca del rio Córdoba

La cuenca cuenta con aproximadamente 12.438 hectáreas. La longitud del río Córdoba es de 47,29 Km.

Los principales afluentes del río Córdoba son: quebrada La Sierrita, quebrada El Quindío, quebrada Lourdes, quebrada El Cano, entre otras. Su principal centro poblado es Cordobita en la cuenca baja.

Actualmente el río Córdoba se ha convertido en una fuente alternativa de agua para la ciudad de Santa Marta y el municipio de Ciénaga, gracias a su riqueza hídrica, favorecida por la conservación de la cuenca media y alta.

ZONIFICACIÓN Y CODIFICACIÓN

Según lo expuesto en el marco teórico, la codificación para la cuenca del río Córdoba es:

$$\overbrace{1}^{\substack{Área\\Caribe}} \quad \overbrace{5}^{\substack{Zona\\Caribe-Guajira}} \quad \overbrace{01}^{\substack{Subzona\\Piedras-Manzanares\ y\ otros\ directos\ Caribe}} \quad \overbrace{05}^{\substack{Nivel\ I\\Córdoba}}$$

PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS Y RED DE DRENAJE

En la tabla 8 se presentan los parámetros morfométricos más importantes de la cuenca del río Córdoba.

Tabla 8. Parámetros morfométricos de la cuenca del río Córdoba

Parámetro	Valor
Área (km²)	124,38
Perímetro (km)	71,80
Cota mayor cuenca (msnm)	2.501
Cota menor cuenca (msnm)	0
Cota mayor cauce principal (msnm)	2.400
Cota menor cauce principal (msnm)	0
Longitud del cauce principal (km)	47,29
Pendiente del cauce principal (m/m)	0,05
Pendiente media de la cuenca (%)	48,36
Altura media cuenca (msnm)	1.059,53
Índice de Gravelius (Kc)	1,80
Factor de forma de Horton (Hf)	0,05
Densidad de drenaje (Dd) (Km/Km²)	1,74

Curva hipsométrica: La curva hipsométrica de la cuenca del río Córdoba hace referencia a una cuenca en estado de madurez o equilibrio, con gran potencial erosivo, con una altura media mayor a los 1.000 msnm, lo cual indica que sigue siendo relativamente joven.

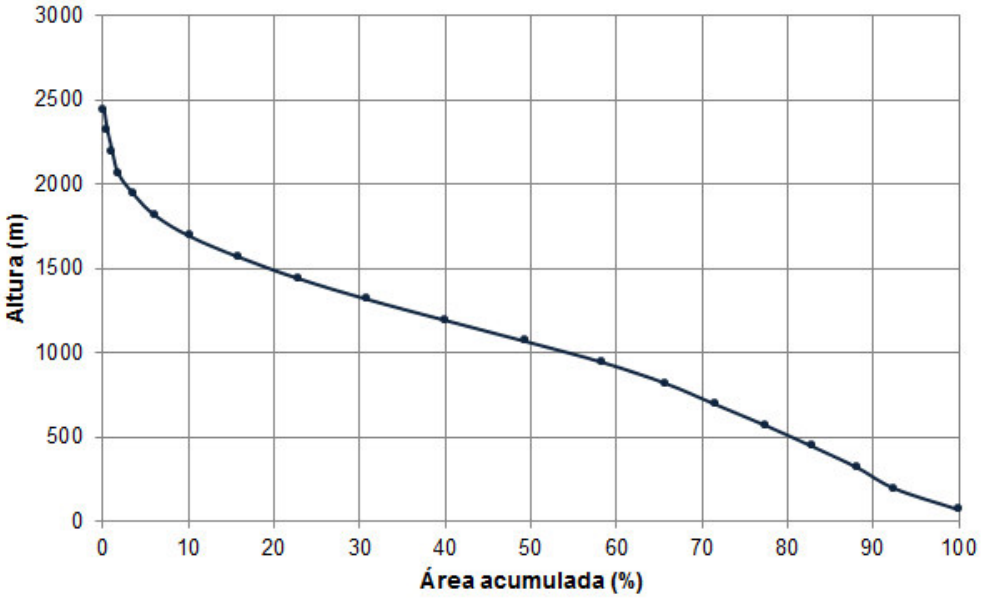


Figura 25. Curva hipsométrica de la cuenca del río Córdoba.

Red de drenaje: La red de drenaje se obtuvo directamente del DEM, comparando los resultados con la cartografía oficial. Con la escala trabajada se alcanzaron hasta 5 órdenes de corriente en la cuenca según la clasificación de Strahler, tal como se muestra en la figura 26.

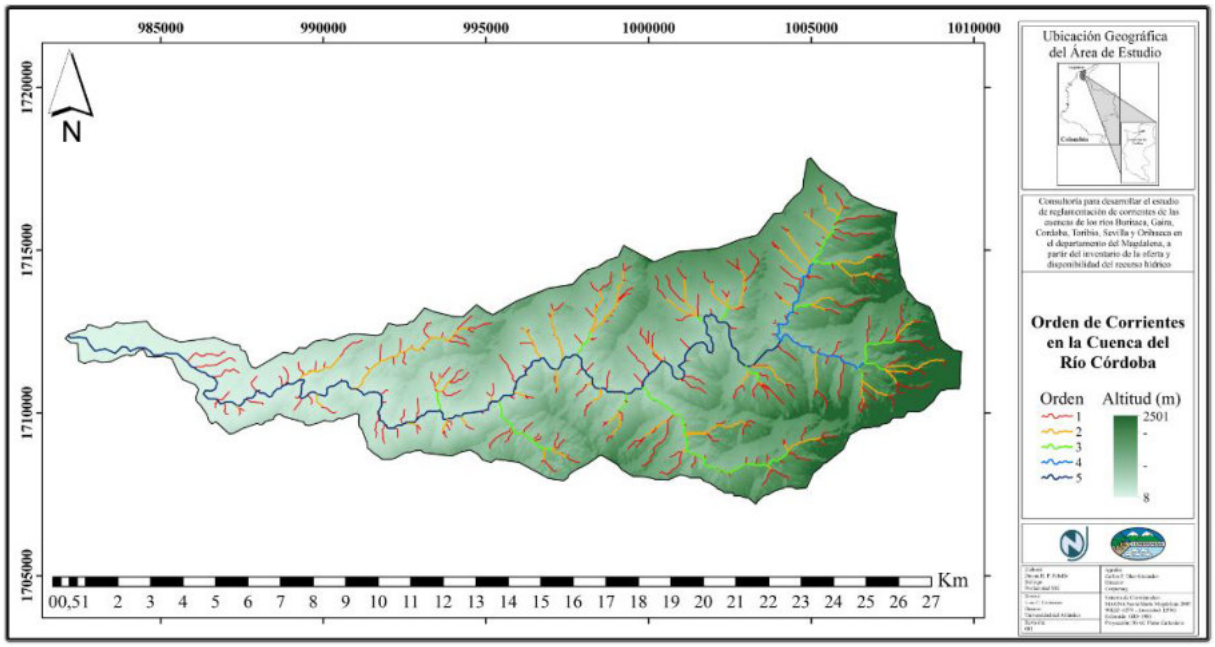


Figura 26. Red de drenaje y órdenes de corriente en la cuenca del río Córdoba.

El análisis de la red de drenaje de la cuenca del río Córdoba, se resume en la tabla 9

Tabla 9. Resumen del análisis de la red de drenaje de la cuenca del río Córdoba.

Orden	Cantidad de corrientes	Longitud total (Km)	Frecuencia (%)	Relación de bifurcación	Relación de longitud
1	591	103,73	48	1,80	0,50
2	329	51,50	24	3,92	0,37
3	84	19,23	9	2,47	0,35
4	34	6,68	3	0,26	5,30
5	129	35,43	16		
TOTAL / MEDIA	**1.167**	**217**	**100**	**2,11**	**1,63**

Teniendo en cuenta los parámetros morfométricos y la red de drenaje de la cuenca del río Córdoba, se concluye que es una cuenca relativamente pequeña con topografías y pendientes muy pronunciadas, con tendencia al alargamiento que evita la acumulación de grandes

volúmenes de agua, Tiene una red de drenaje intermedia favoreciendo el rápido drenaje de las aguas lluvias.

CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

En las figuras 27-30 se presentan los mapas con valores promedio anual de cada una de las variables analizadas.

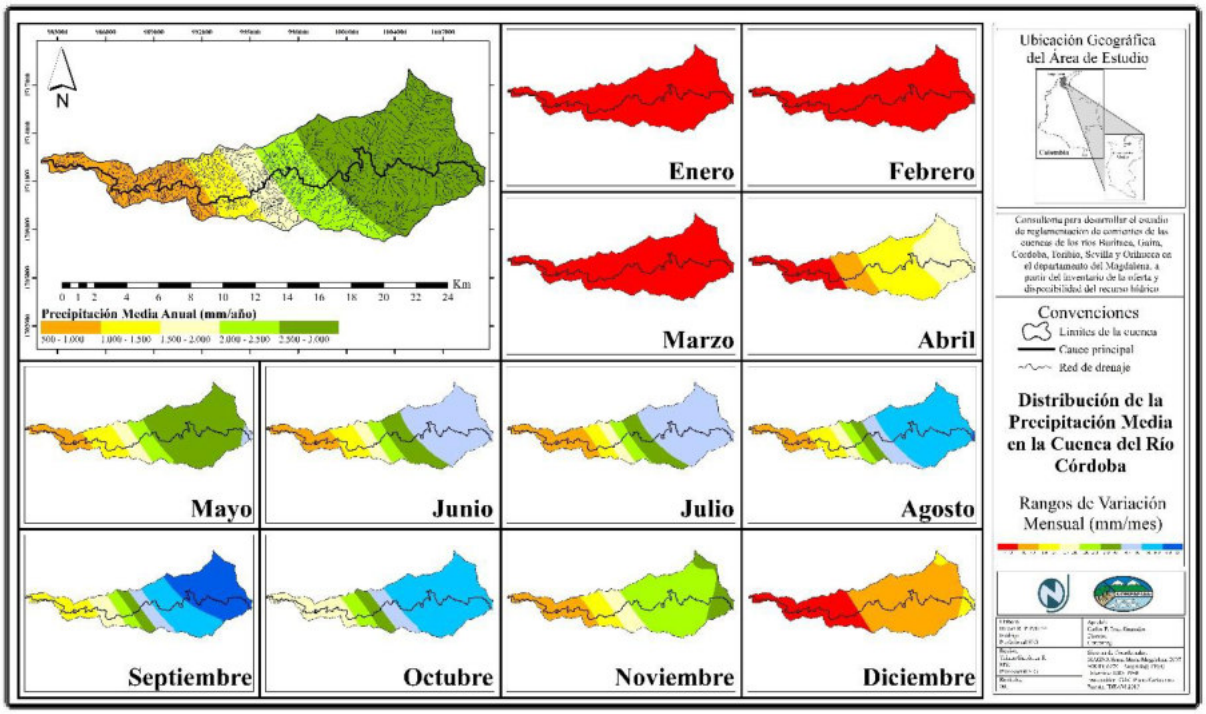


Figura 27. Valores medios anuales de precipitación para la cuenca del rio Córdoba.

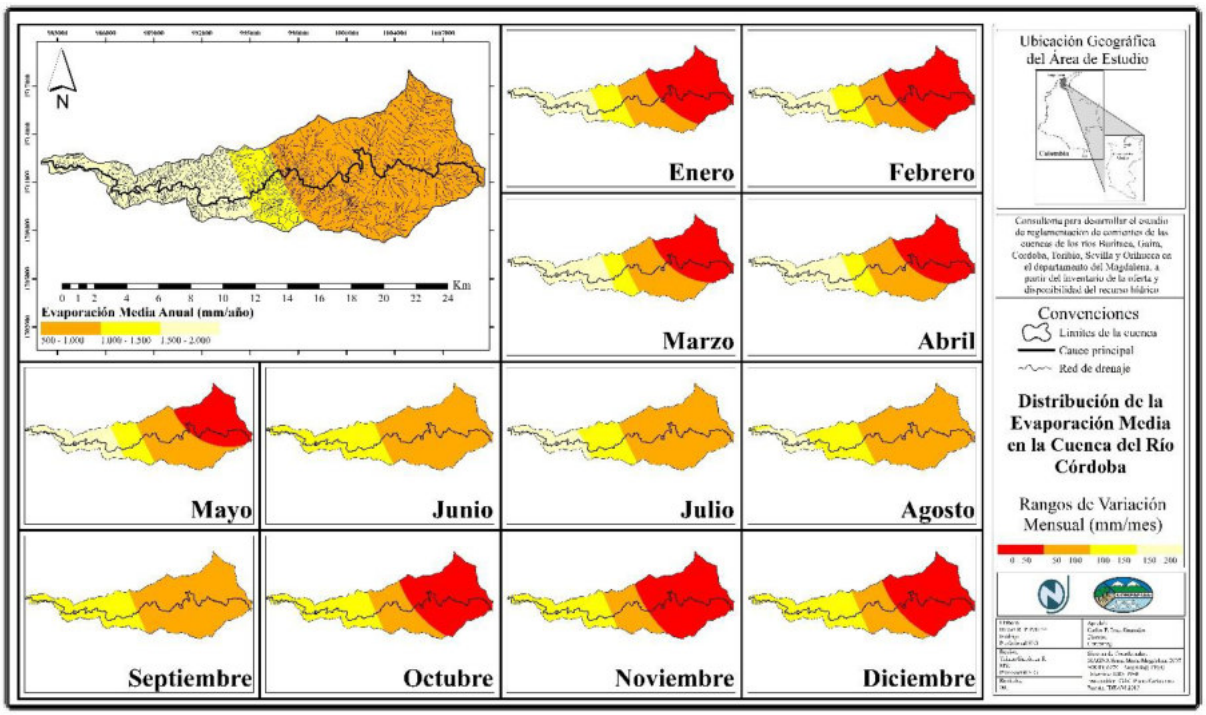


Figura 28. Valores medios anuales de evaporación para la cuenca del rio Córdoba.

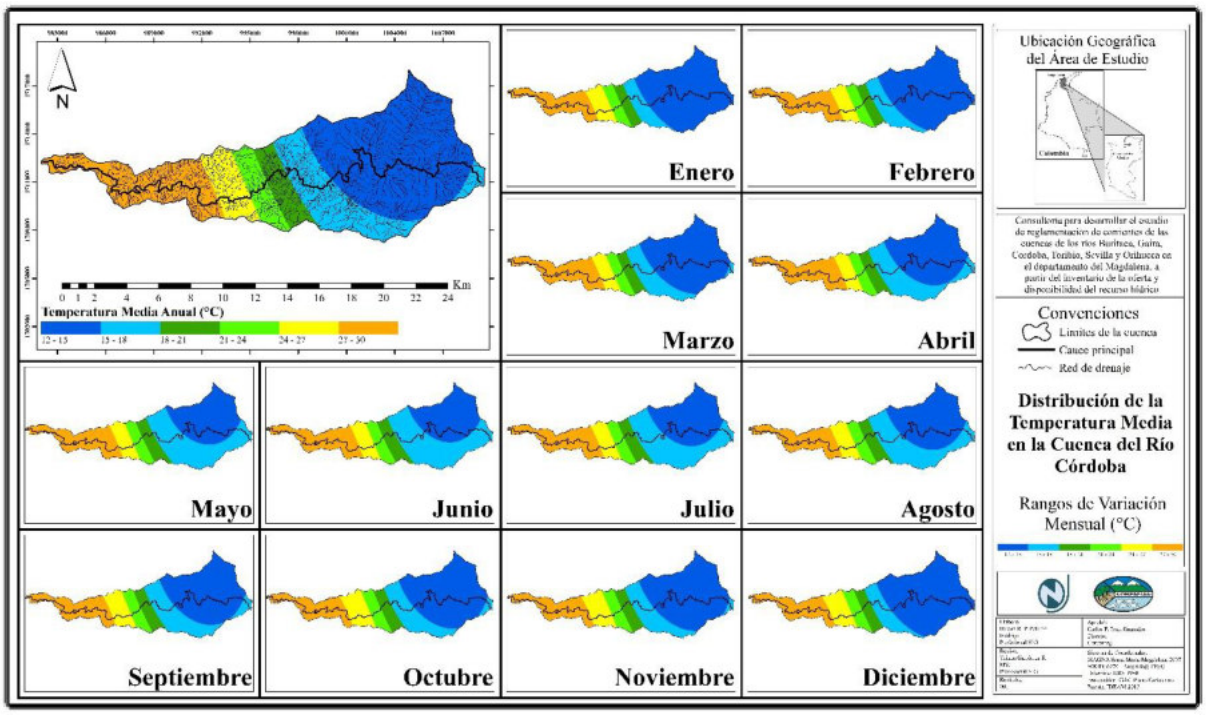


Figura 29. Valores medios anuales de temperatura media para la cuenca del rio Córdoba.

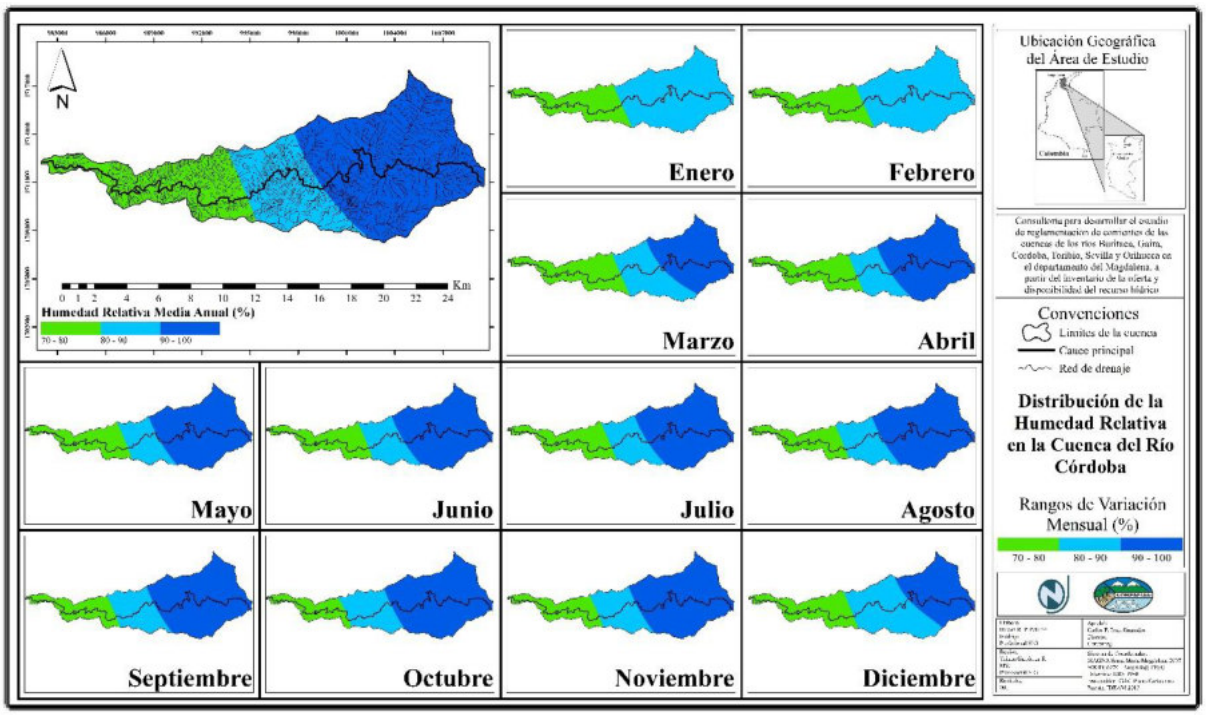


Figura 30. Valores medios anuales de humedad relativa para la cuenca del rio Córdoba.

La precipitación media sobre la cuenca varía entre 732,5 mm/año en la cuenca baja y 2.880,1 mm/año en la cuenca alta. La temperatura media anual esta entre los 13,5°C en la parte alta de la cuenca y los 28,5°C en la parte baja. Los valores de evaporación se encuentran entre 564,7 y 1.843,8 mm/año, mientras que la humedad relativa varía entre 75% y 92%. El comportamiento de cada una de las variables está estrechamente relacionado con el relieve de la cuenca, ya que las condiciones en la parte alta son completamente diferentes a las establecidas en la cuenca baja, lo cual obedece a la teoría de pisos térmicos que se presenta sobre todo en regiones tropicales donde la influencia del relieve es determinante.

Analizando el ciclo anual de cada variable en la cuenca del río Córdoba, se aprecia que los valores de precipitación son mínimos entre enero y marzo con valores inferiores a 50 mm/mes en toda la cuenca, y máximos entre agosto y octubre con valores cercanos a los 400 mm/mes en la cuenca alta. En cuanto a la temperatura se observa que no presenta cambios considerables a lo largo del año, con valores cercanos a los 30°C en la cuenca baja y 12°C en la cuenca alta. La evaporación por su parte presenta valores mínimos entre octubre y diciembre inferiores a 50 mm/mes en la cuenca alta, mientras que la humedad relativa tiene sus valores mínimos en enero y febrero, y muy homogéneos el resto del año con valores inferiores a 80% en la cuenca baja y mayores a 90% en la cuenca alta.

CUENCA DE LA QUEBRADA ORIHUECA

LOCALIZACIÓN Y GENERALIDADES

La cuenca de la quebrada Orihueca se encuentra ubicada en la vertiente occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, aproximadamente entre las coordenadas: 10°46'N y 10°54'N de latitud, y 74°01'W y 74°14'W de longitud. La quebrada nace cerca de la cuchilla de San Javier de la Sierra, a una altura aproximada de 1.600 msnm y desemboca en el río Sevilla a los 4 msnm cerca de Gramalefe. Al este, oeste y sur limita con la cuenca hidrográfica del río Sevilla y al norte con la cuenca hidrográfica del río Frío (figura 31).

Figura 31. Localización de la cuenca de la quebrada Orihueca.

La cuenca cuenta con aproximadamente 18.102 hectáreas. La longitud de la quebrada Orihueca es de 32,90 Km y tiene un caudal medio de 2,18 m³/s a la altura de la estación limnimétrica SANTA ROSALIA, ubicada en la cuenca media en cercanías al centro poblado del mismo nombre.

Los principales afluentes de la quebrada Orihueca son: quebrada La India, quebrada San Benito, quebrada Guaimaro, quebrada La Nevera, quebrada Mohama y quebrada La Tal. Sus principales centros poblados son La Gran Vía, Orihueca, Manzanares y Santa Rosalía.

La quebrada Orihueca, hace parte de la zona bananera del departamento del Magdalena, y por lo tanto sus aguas son usadas de manera intensiva para el cultivo de banano.

ZONIFICACIÓN Y CODIFICACIÓN

Según lo expuesto en el marco teórico, la codificación para la cuenca de la quebrada Orihueca es:

$$\overbrace{\substack{\text{Área}\\ \text{Magdalena–Cauca}}}^{2}\ \overbrace{\substack{\text{Zona}\\ \text{Bajo Magdalena}}}^{9}\ \overbrace{\substack{\text{Subzona}\\ \text{Cga Grande de Santa Marta}}}^{06}\ \overbrace{\substack{\text{Nivel I}\\ \text{Frio–Sevilla}}}^{02}\ \overbrace{\substack{\text{Nivel II}\\ \text{Sevilla}}}^{02}\ \overbrace{\substack{\text{Nivel III}\\ \text{Orihueca}}}^{02}$$

PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS Y RED DE DRENAJE

En la tabla 10 se presentan los parámetros morfométricos más importantes de la cuenca de la quebrada Orihueca.

Tabla 10. Parámetros morfométricos de la cuenca de la quebrada Orihueca.

Parámetro	Valor
Área (km²)	181,03
Perímetro (km)	63,73
Cota mayor cuenca (msnm)	1.973
Cota menor cuenca (msnm)	4
Cota mayor cauce principal (msnm)	1.600
Cota menor cauce principal (msnm)	4
Longitud del cauce principal (km)	32,90
Pendiente del cauce principal (m/m)	0,05
Pendiente media de la cuenca (%)	29,77
Altura media cuenca (msnm)	320,32
Índice de Gravelius (Kc)	1,32
Factor de forma de Horton (Hf)	0,16
Densidad de drenaje (Dd) (Km/Km²)	1,67

Curva hipsométrica: La curva hipsométrica de la cuenca de la quebrada Orihueca presenta una forma bastante irregular con fuertes pendientes en la parte alta, donde existe un gran potencial erosivo debido a la juventud del terreno, mientras que en su parte baja se aprecia una llanura en más del 40% del área acumulada, lo que indica una cuenca en fase de vejez o sedimentaria.

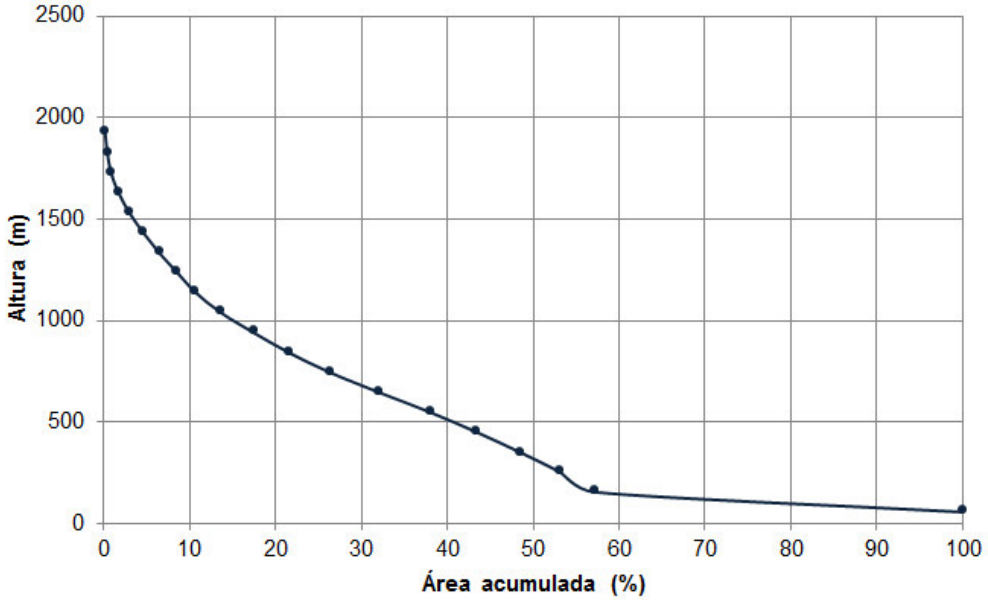


Figura 32. Curva hipsométrica de la cuenca de la quebrada Orihueca.

Red de drenaje: La red de drenaje se obtuvo directamente del DEM, comparando los resultados con la cartografía oficial. Con la escala trabajada se alcanzaron hasta 5 órdenes de corriente en la cuenca según la clasificación de Strahler, tal como se muestra en la figura 33.

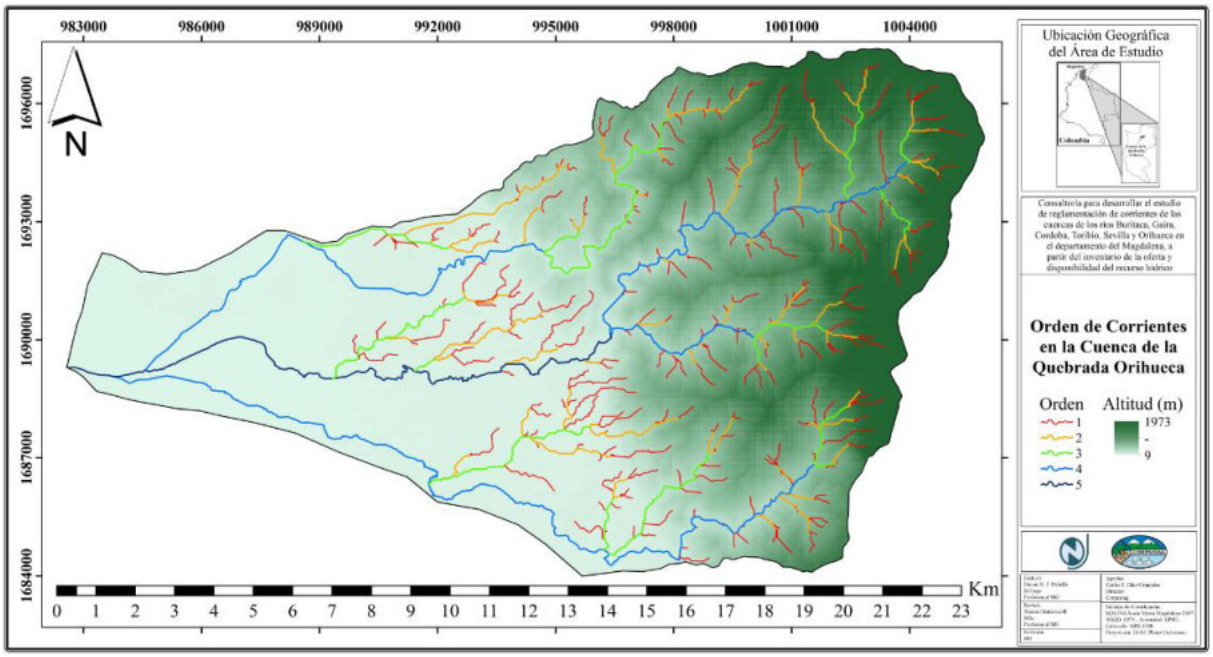


Figura 33. Red de drenaje y órdenes de corriente en la cuenca de la quebrada Orihueca.

El análisis de la red de drenaje de la cuenca de la quebrada Orihueca, se resume en la tabla 11.

Tabla 11. Resumen del análisis de la red de drenaje de la cuenca de la quebrada Orihueca.

Orden	Cantidad de corrientes	Longitud total (Km)	Frecuencia (%)	Relación de bifurcación	Relación de longitud
1	632	128,55	42	1,84	0,47
2	343	61,03	20	2,18	0,67
3	157	41,06	14	1,71	1,35
4	92	55,62	18	9,20	0,31
5	10	17,35	6		
TOTAL / MEDIA	**1.234**	**304**	**100**	**3,73**	**0,70**

Teniendo en cuenta los análisis realizados anteriormente, se puede concluir que la cuenca de la quebrada Orihueca es relativamente grande para tratarse de una quebrada, presenta un rango de alturas intermedio con pendientes muy pronunciadas en su parte alta y llanuras en su parte baja, presenta una forma con tendencia circular con gran capacidad de almacenar agua lluvia y una red de drenaje pobre que impide la evacuación rápida de la escorrentía.

CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

En las figuras 34-37 se presentan los mapas con valores promedio anual de cada una de las variables analizadas.

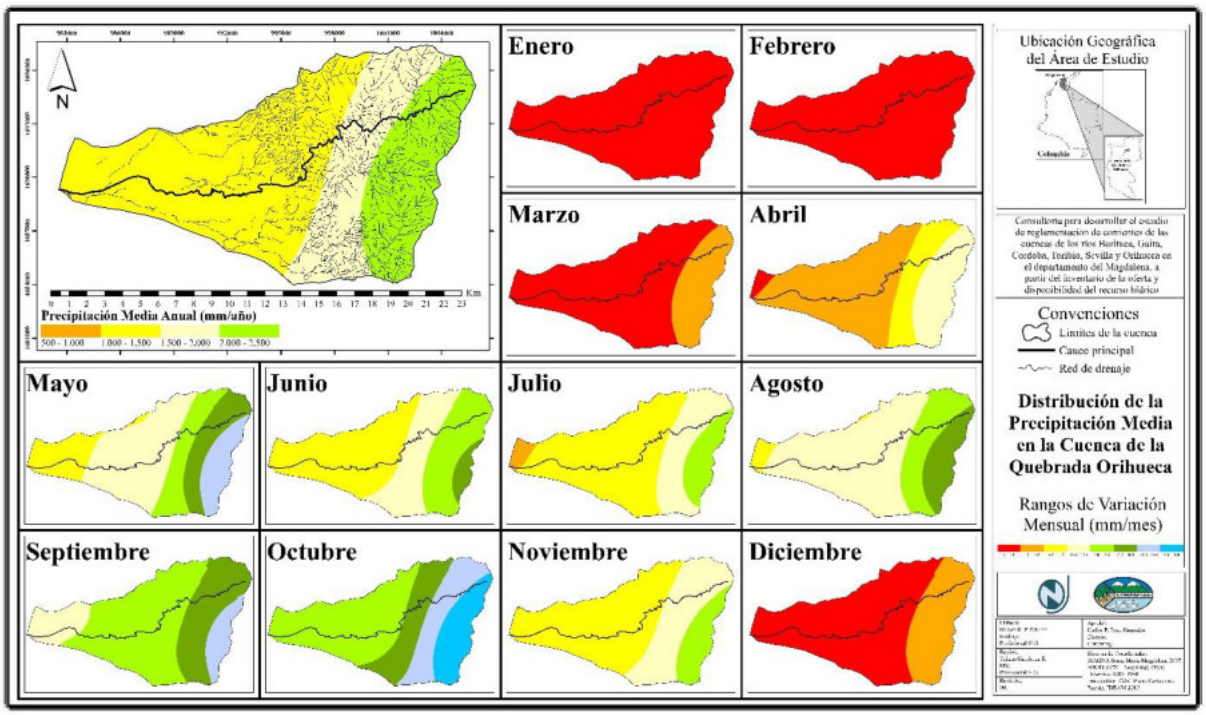


Figura 34. Valores medios anuales de precipitación para la cuenca de la quebrada Orihueca.

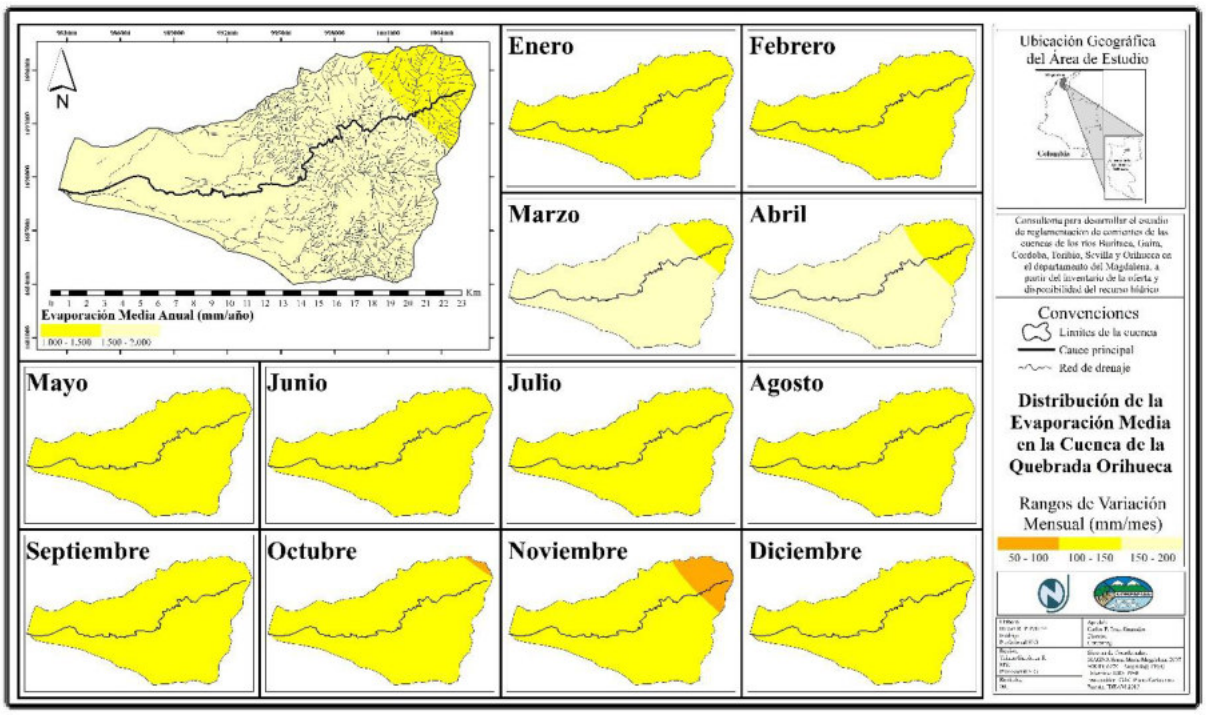


Figura 35. Valores medios anuales de evaporación para la cuenca de la quebrada Orihueca.

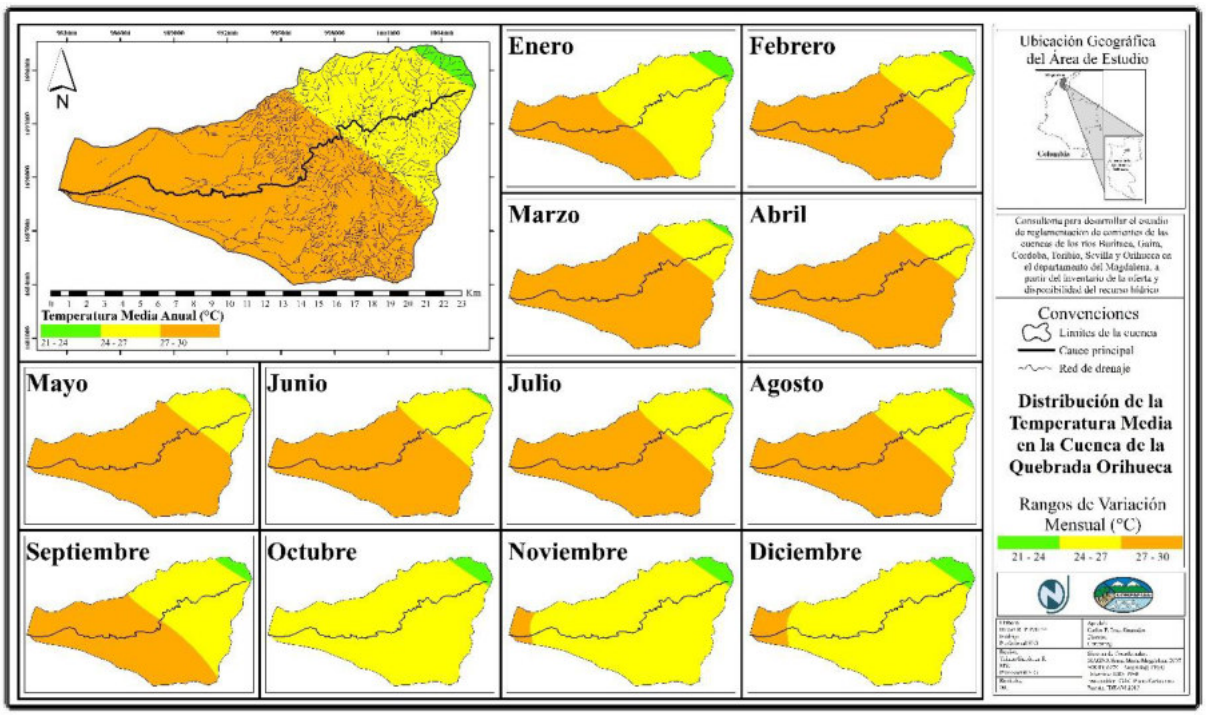


Figura 36. Valores medios anuales de temperatura media para la cuenca de la quebrada Orihueca.

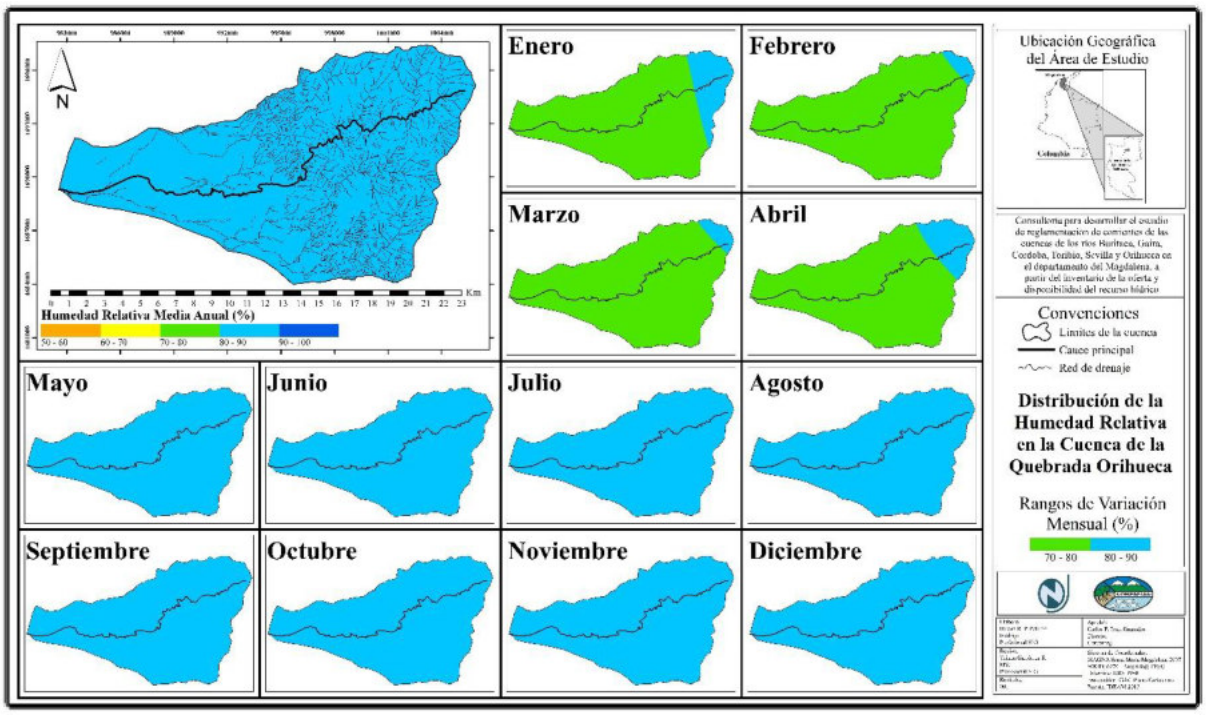


Figura 37. Valores medios anuales de humedad relativa para la cuenca de la quebrada Orihueca.

La precipitación media sobre la cuenca varía entre 996.5 mm/año en la cuenca baja y 2.369,9 mm/año en la cuenca alta. La temperatura media anual esta entre los 23,1°C en la parte alta de la cuenca y los 27,6°C en la parte baja. Los valores de evaporación se encuentran entre 1.298,5 y 1.653,3 mm/año, mientras que la humedad relativa varía entre 80% y 84,5%. El comportamiento de cada una de las variables está estrechamente relacionado con el relieve de la cuenca, ya que las condiciones en la parte alta son completamente diferentes a las establecidas en la cuenca baja, lo cual obedece a la teoría de pisos térmicos que se presenta sobre todo en regiones tropicales donde la influencia del relieve es determinante.

Analizando el ciclo anual de cada variable en la cuenca de la quebrada Orihueca, se observa que los valores de precipitación son mínimos entre diciembre y marzo con valores inferiores a 50 mm/mes en la mayor parte de la cuenca, y alcanzando valores máximos en mayo y octubre con 350 mm/mes en la cuenca alta. La temperatura disminuye un poco en los últimos tres meses del año, manteniéndose muy homogénea el resto del tiempo con valores de 28°C en la parte baja y 22°C en la parte alta. La evaporación por su parte, se mantiene constante en la mayoría del año a excepción de marzo y abril donde alcanza valores máximos cercanos a 200 mm/mes. En cuanto a la humedad relativa, tiene sus valores mínimos en enero y abril, inferiores al 80%, mientras que el resto del año permanece constante con valores superiores a 80%.

CUENCA DEL RÍO SEVILLA

LOCALIZACIÓN Y GENERALIDADES

La cuenca del río Sevilla se encuentra ubicada en la vertiente occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, aproximadamente entre las coordenadas: 10°39'N y 10°55'N de latitud, y 73°51'W y 74°20'W de longitud. El río nace en la cuchilla El Placer, a una altura aproximada de 4.000 msnm y desemboca en la Ciénaga Grande de Santa Marta. Al este limita con la cuenca hidrográfica del río Don Diego, al oeste con la Ciénaga Grande de Santa Marta, al norte con las cuencas hidrográficas de la quebrada Orihueca y el río Frío y al sur con las cuencas hidrográficas de los ríos Tucurinca y Aracataca (figura 38).

Figura 38. Localización de la cuenca del río Sevilla.

La cuenca cuenta con aproximadamente 41.562 hectáreas. La longitud del río Sevilla es de 89,36 Km y presenta un caudal medio de 12,45 m³/s a la altura de la estación limnimétrica CANAL FLORIDA, la cual se encuentra en la cuenca media en cercanías al centro poblado San José de Kennedy.

Los principales afluentes del río Sevilla son: quebrada El Chorro, quebrada Cebolleta, quebrada Venado, río Gallina, río Sevillita, caño Mocho, río Cherua, quebrada Maquencal, entre otros. Sus principales centros poblados son Palmor, San José de Kennedy, Sevilla, Estacíon Sevilla, Guacamayal y Palomar.

El río Sevilla es uno de los más importantes de la región occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, ya que es fuente de agua potable para las poblaciones que se asientan en sus riveras e inclusive para la ciudad de Santa Marta. Además sus aguas son usadas para el cultivo de banano y palma africana.

ZONIFICACIÓN Y CODIFICACIÓN

Según lo expuesto en el marco teórico, la codificación para la cuenca del río Sevilla es:

$$\overbrace{2}^{\substack{Área\\ Magdalena-Cauca}}\quad \overbrace{9}^{\substack{Zona\\ Bajo\ Magdalena}}\quad \overbrace{06}^{\substack{Subzona\\ Cga\ Grande\ de\ Santa\ Marta}}\quad \overbrace{02}^{\substack{Nivel\ I\\ Frio-Sevilla}}\quad \overbrace{02}^{\substack{Nivel\ II\\ Sevilla}}$$

PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS Y RED DE DRENAJE

En la tabla 12 se presentan los parámetros morfométricos más importantes de la cuenca del río Sevilla.

Tabla 12. Parámetros morfométricos de la cuenca del río Sevilla.

Parámetro	Valor
Área (km²)	415,62
Perímetro (km)	160,64
Cota mayor cuenca (msnm)	4.456
Cota menor cuenca (msnm)	3
Cota mayor cauce principal (msnm)	4.000
Cota menor cauce principal (msnm)	3
Longitud del cauce principal (km)	89,36
Pendiente del cauce principal (m/m)	0,04
Pendiente media de la cuenca (%)	34,30
Altura media cuenca (msnm)	1.130
Índice de Gravelius (Kc)	2,20
Factor de forma de Horton (Hf)	0,05
Densidad de drenaje (Dd) (Km/Km²)	1,49

Curva hipsométrica: La curva hipsométrica de la cuenca del río Sevilla presenta una cuenca en etapa de equilibrio (madurez) en la mayoría de su territorio, a excepción de la parte baja donde se presenta una cuenca en fase sedimentaria con amplias llanuras de inundación

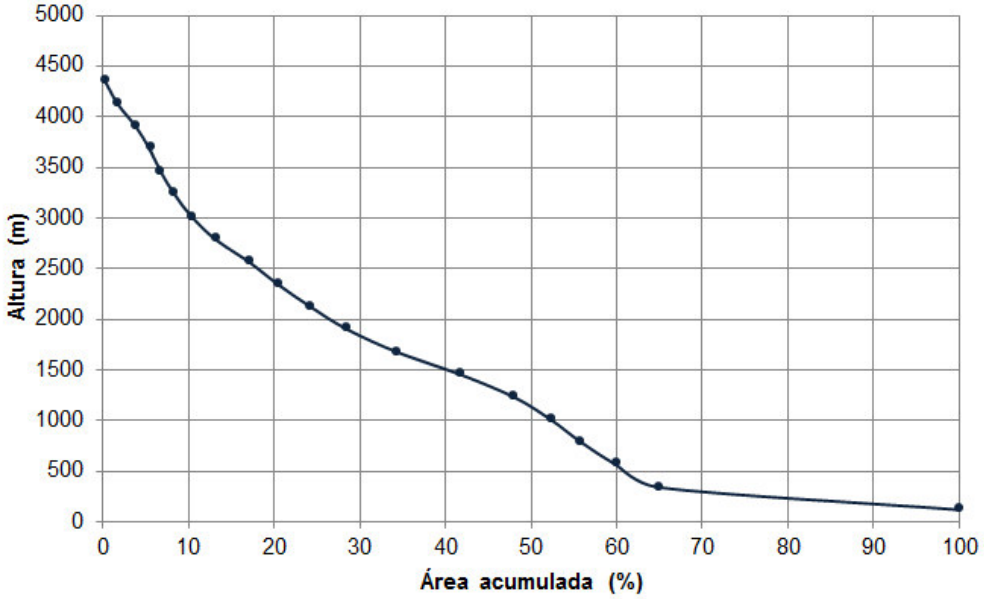


Figura 39. Curva hipsométrica de la cuenca del río Sevilla

Red de drenaje: La red de drenaje se obtuvo directamente del DEM, comparando los resultados con la cartografía oficial. Con la escala trabajada se alcanzaron hasta 5 órdenes de corriente en la cuenca según la clasificación de Strahler, tal como se muestra en figura 40.

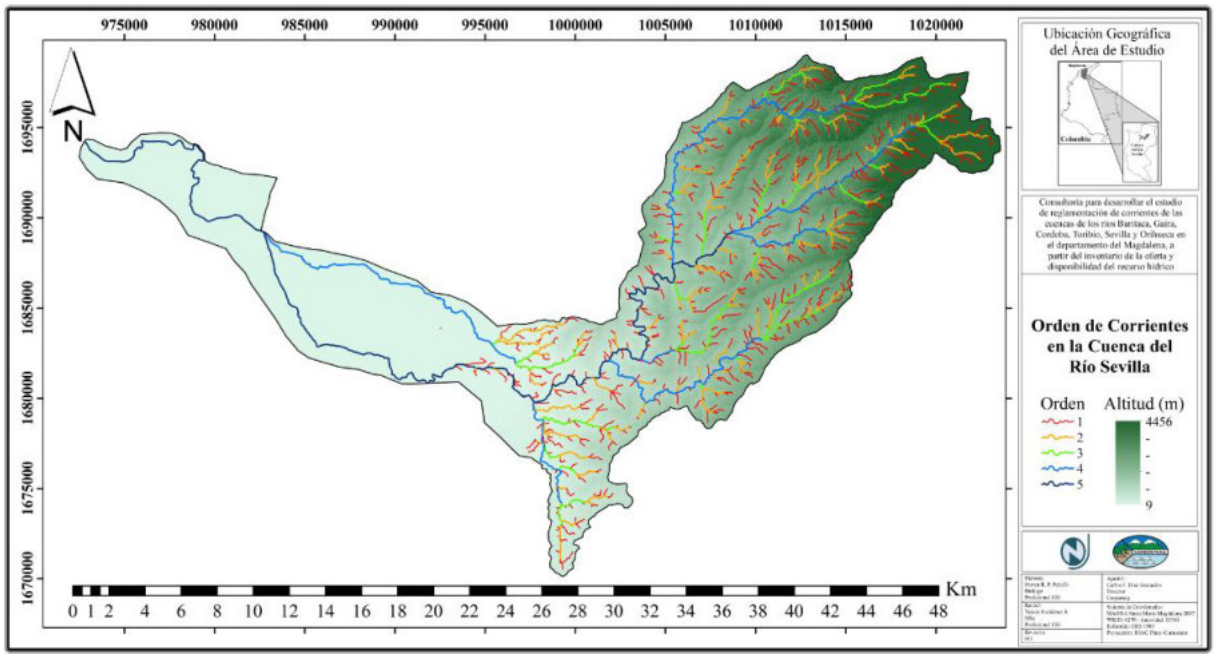


Figura 40. Red de drenaje y órdenes de corriente en la cuenca del río Sevilla.

El análisis de la red de drenaje de la cuenca del río Sevilla, se resume en la tabla 13.

Tabla 13. Resumen del análisis de la red de drenaje de la cuenca del río Sevilla.

Orden	Cantidad de corrientes	Longitud total (Km)	Frecuencia (%)	Relación de bifurcación	Relación de longitud
1	1.313	266,79	43	2,10	0,50
2	626	133,56	21	2,20	0,51
3	285	68,77	11	1,03	1,25
4	276	86,08	14	2,26	0,77
5	122	66,65	11		
TOTAL / MEDIA	**2.622**	**622**	**100**	**1,90**	**0,76**

Según los análisis morfométricos realizados anteriormente, la cuenca del río Sevilla es de tamaño intermedio, presentando un rango de altitudes muy variadas que van desde los 3 a los 4.456 msnm, presenta una forma irregular de tipo alargado con una red de drenaje intermedia que favorece la acumulación de las aguas de escorrentía.

CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

En las figuras 41-44 se presentan los mapas con valores promedio anual de cada una de las variables analizadas.

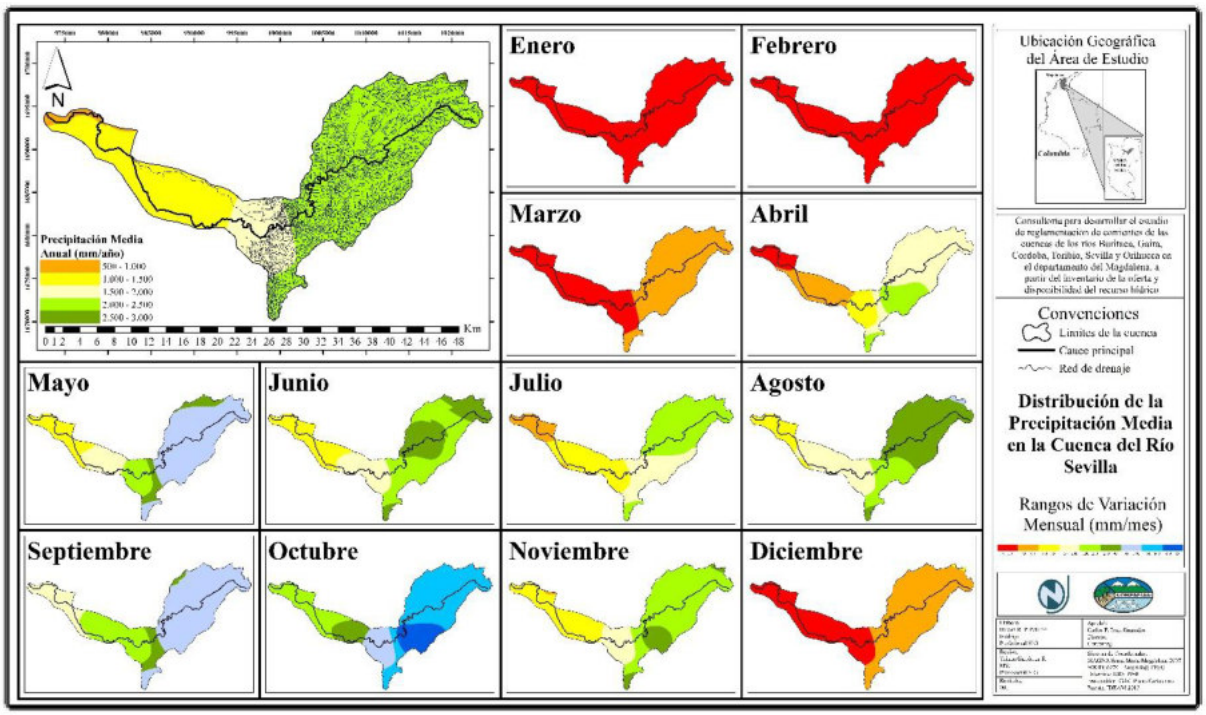


Figura 41. Valores medios anuales de precipitación para la cuenca del río Sevilla.

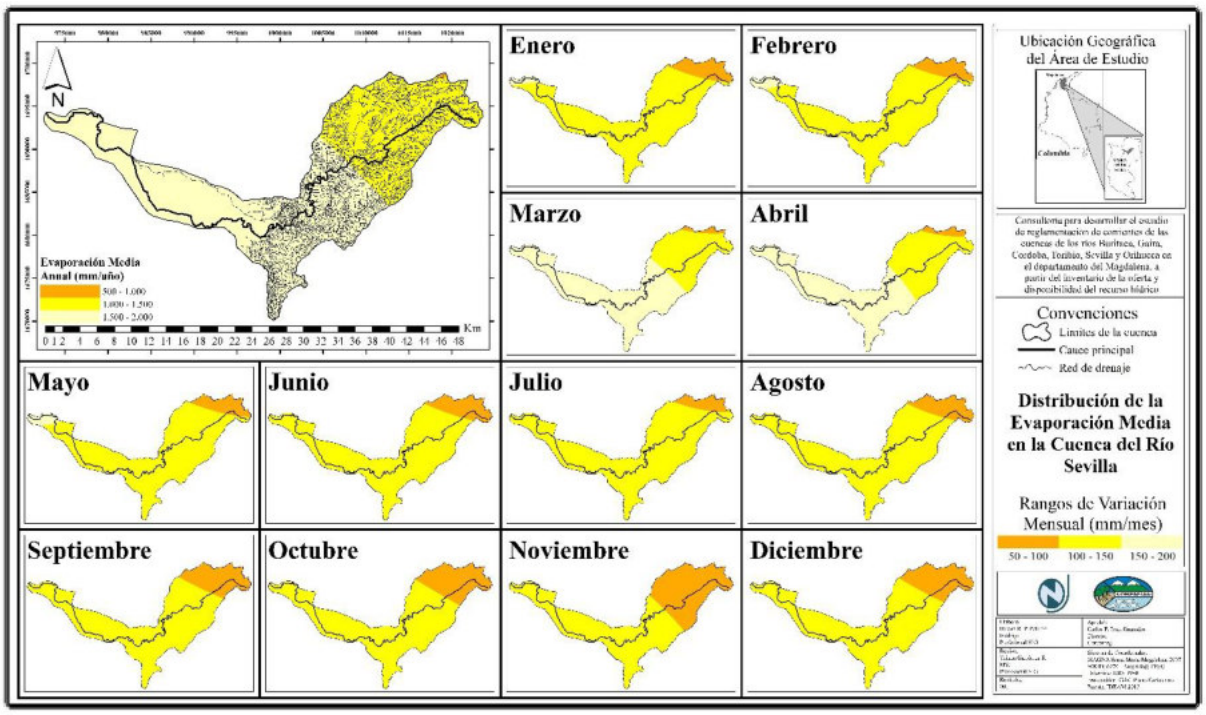


Figura 42. Valores medios anuales de evaporación para la cuenca del río Sevilla.

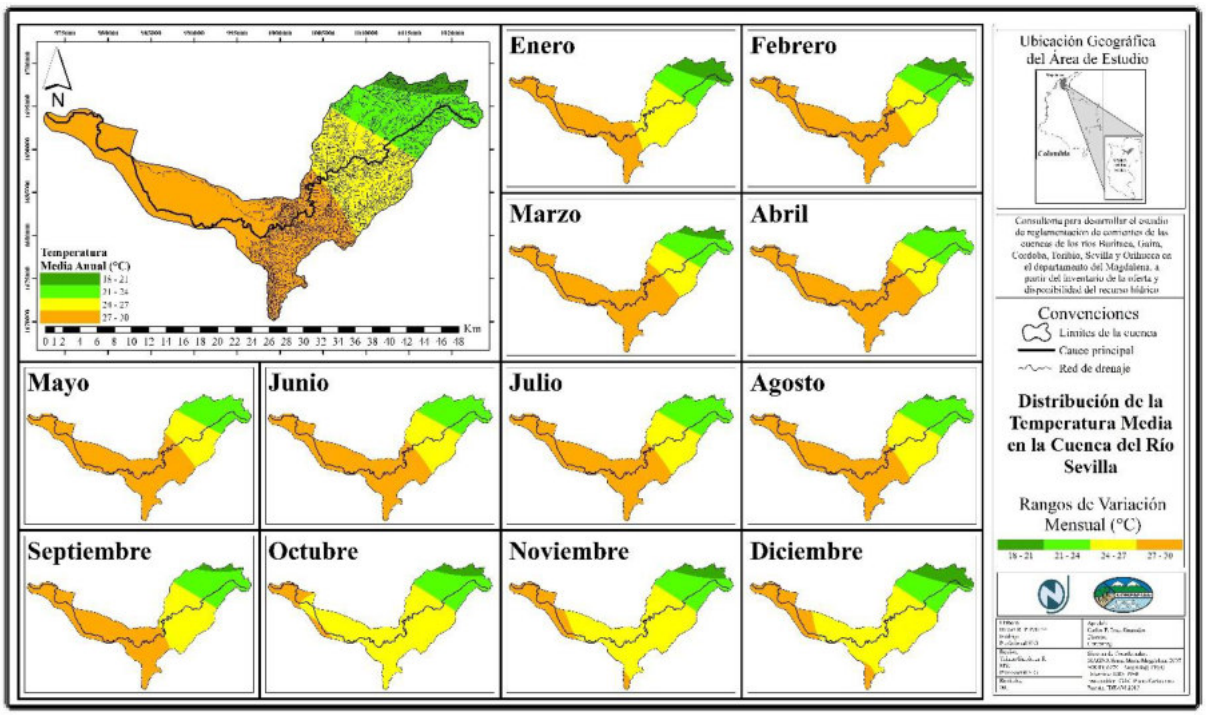


Figura 43. Valores medios anuales de temperatura media para la cuenca del río Sevilla.

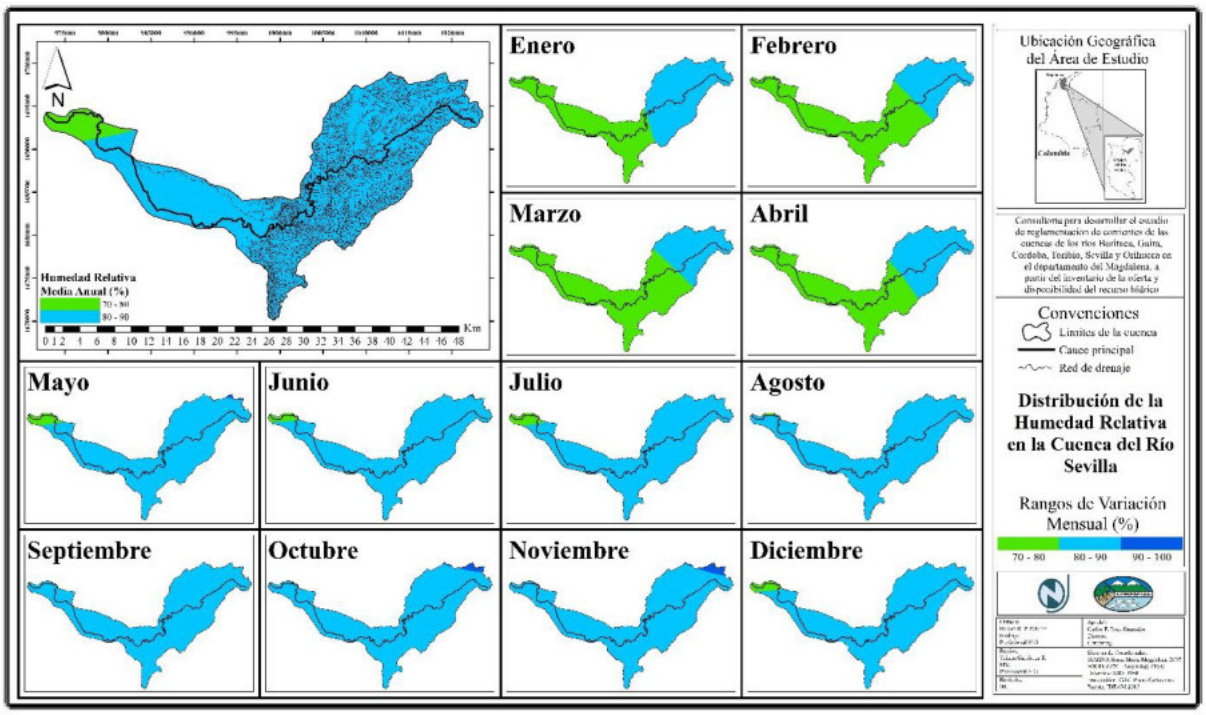


Figura 44. Valores medios anuales de humedad relativa para la cuenca del río Sevilla.

La precipitación media sobre la cuenca varía entre 938.1 mm/año en la cuenca baja y 2.559,5 mm/año en la cuenca alta. La temperatura media anual esta entre los 20,1°C en la parte alta de la cuenca y los 27,8°C en la parte baja. Los valores de evaporación se encuentran entre 979,9 y 1.746,1 mm/año, mientras que la humedad relativa varía entre 78,1% y 89,6%. El comportamiento de cada una de las variables está estrechamente relacionado con el relieve de la cuenca, ya que las condiciones en la parte alta son completamente diferentes a las establecidas en la cuenca baja, lo cual obedece a la teoría de pisos térmicos que se presenta sobre todo en regiones tropicales donde la influencia del relieve es determinante.

Analizando el ciclo anual de cada variable en la cuenca del río Sevilla, se observa que los valores de precipitación son mínimos entre diciembre y marzo con valores inferiores a 50 mm/mes en la mayor parte de la cuenca, mientras que los valores máximos se presentan mayo, septiembre y octubre acercándose a los 400 mm/mes en algunas partes de la cuenca media. La temperatura media se mantiene muy homogénea a lo largo del año, con valores cercanos a los 28°C en la cuenca baja y 20°C en la cuenca alta. La evaporación por su parte, se mantiene constante en la mayoría del año a excepción de marzo y abril donde alcanza valores máximos cercanos a 200 mm/mes. En cuanto a la humedad relativa, tiene sus valores mínimos entre enero y abril, cercanos al 70% en la cuenca baja y media, mientras que el resto del año permanece constante con valores cercanos al 90%.

RESUMEN DE RESULTADOS

En la Tabla se muestra el resumen de los parámetros morfométricos calculados para las cuencas analizadas.

Tabla 14. Resumen de parámetros morfométricos en las cuencas estudiadas.

Parámetro	Cuenca					
	Buritaca	**Gaira**	**Toribio**	**Córdoba**	**Orihueca**	**Sevilla**
Área (km²)	302,60	108,75	107,84	124,38	181,03	415,62
Perímetro (km)	109,15	67,79	56,60	71,80	63,73	160,64
Cota mayor cuenca (msnm)	3.323	2.872	2.840	2.501	1.973	4.456
Cota menor cuenca (msnm)	0	0	0	0	4	3
Cota mayor cauce principal (msnm)	2.400	2.200	2.400	2.400	1.600	4.000
Cota menor cauce principal (msnm)	0	0	0	0	4	3
Longitud del cauce principal (km)	57,89	33,95	33,43	47,29	32,90	89,36
Pendiente del cauce principal (m/m)	0,04	0,06	0,07	0,05	0,05	0,04
Pendiente media de la cuenca (%)	52	33,74	39,24	48,36	29,77	34,30
Altura media cuenca (msnm)	887,74	778,68	861,98	1.059,53	320,32	1.130
Índice de Gravelius (Kc)	1,75	1,82	1,52	1,80	1,32	2,20
Factor de forma de Horton (Hf)	0,09	0,09	0,09	0,05	0,16	0,05
Densidad de drenaje (Dd) (Km/Km²)	1,79	1,95	1,82	1,74	1,67	1,49

CONCLUSIONES

❖ Los parámetros morfométricos relacionados con la red de drenaje pueden variar significativamente al cambiar la escala de trabajo, ya que dependen del número y longitud de las corrientes de la cuenca, los cuales fueron obtenidos directamente del DEM ajustando la resolución deseada porque en muchos casos la cartografía oficial estaba incompleta, sobre todo en las partes bajas de las cuencas que drenan hacia la Ciénaga Grande de Santa Marta.

❖ La red de drenaje obtenida con el DEM ofrece buenos resultados en las partes altas de las cuencas, donde la topografía exhibe grandes cambios entre curvas de nivel, sin embargo en las partes bajas al no haber grandes diferencias de altura, no es muy confiable ya que las redes de drenaje obtenidas no se ajusta a la realidad.

❖ El detalle y la confiabilidad de los mapas hidroclimáticos de cada cuenca depende del número de estaciones utilizadas para la interpolación. Los mapas de evaporación, temperatura y humedad relativa tienen una gran incertidumbre ya que la interpolación se hizo con muy pocas estaciones, 12, 24 y 24 respectivamente. La precipitación media en cambio,

presenta mayor consistencia ya que se utilizaron 143 estaciones distribuidas en todo el departamento y zonas adyacentes.

En la mayoría de las cuencas analizadas se observa que las variables climáticas tales como precipitación, humedad y temperatura, están estrechamente relacionadas con la altitud de la zona, ya que en las cuencas altas donde hay mayor cantidad de bosque nativo aumenta la precipitación y la humedad relativa, además la temperatura es menor, mientras que en las partes bajas disminuye la precipitación y aumenta la temperatura. Lo anterior es consecuente con el concepto de pisos térmicos que se desarrolla en las regiones tropicales, donde el relieve se constituye como un factor modificador del clima en una región. Adicionalmente se evidencia que la precipitación obedece a características orográficas, ya que en las regiones montañosas el agua es recirculada constantemente.

CAPÍTULO 2: OFERTA HÍDRICA

RESUMEN

En el presente documento se presenta el balance hídrico superficial de largo plazo y la oferta hídrica superficial para año hidrológico medio en las cuencas hidrográficas de los ríos Buritaca, Gaira, Toribio, Córdoba, Orihueca y Sevilla, como base para su reglamentación y complemento para el estudio de inventario de oferta y disponibilidad del recurso hídrico en el departamento del Magdalena.

El balance hídrico de largo plazo permite trabajar con los valores promedio de las variables involucradas en el balance de agua. El resultado se muestra en mapas de precipitación, evapotranspiración real y escorrentía para cada cuenca, junto con un cálculo para valores medios.

En cuanto a la oferta hídrica se siguieron dos metodologías recomendadas en el Estudio Nacional de Agua del IDEAM (2014). La primera de ellas trabaja con series de caudal medio y curvas de duración de caudal, para determinar caudales medios, ambientales y disponibles, además del Índice de Regulación Hídrica para cada cuenca. La segunda se basa en el balance hídrico de largo plazo para condiciones medias y en la obtención del Índice de Aridez para cada cuenca.

Adicionalmente se presenta el régimen hidrológico a nivel temporal (ciclo anual) para las estaciones limnimétricas localizadas en las cuencas de interés en condiciones hidrológicas de año medio, seco y húmedo.

INTRODUCCIÓN

Colombia es uno de los países con mayor oferta de agua a nivel mundial, debido a su posición geográfica privilegiada y a sus características bioclimáticas, propias de la región tropical. Factores que ofrecen lluvias sobre el territorio nacional la mayor parte del año. Sin embargo muchas poblaciones y actividades económicas se ubican en zonas con déficit de agua o con deficiente administración de la misma, que afectan la disponibilidad del recurso para uso humano e industrial.

El balance hídrico superficial es una de las primeras metodologías que debe usarse para abordar temas relacionados con la oferta y disponibilidad de agua en una región. El balance hídrico consiste en determinar la cantidad de agua que existe en diferentes estados dentro de un volumen de control, teniendo como fundamento el balance de materia y la ecuación de continuidad. Básicamente es un balance entre las entradas y las salidas de agua en una unidad de análisis, que para este caso es la cuenca hidrográfica.

La oferta hídrica superficial hace referencia al volumen de agua continental, almacenada en los cuerpos de agua superficiales en un periodo determinado de tiempo. Es el agua que fluye por la superficie del suelo que no se infiltra o se evapora y se concentra en los cauces de los ríos o en los cuerpos de agua lénticos (IDEAM 2014).

La oferta hídrica superficial puede ser sintetizada y espacializada por medio de dos índices que relacionan las condiciones hidrometereológicas de una región con las condiciones físicas del terreno. Estos índices son el de regulación y retención hídrica (IRH) y el índice de aridez (IA). El régimen hidrológico explica el comportamiento temporal de la oferta y describe la heterogeneidad en la respuesta hidrológica como resultado de la posición geográfica de nuestro país, el variado régimen de lluvias y las características físicas y biológicas de las cuencas.

OBJETIVO

Realizar el balance hídrico de largo plazo y determinar la oferta hídrica total y disponible para las cuencas hidrográficas de los ríos Buritaca, Gaira, Toribio, Córdoba, Orihueca y Sevilla.

INFORMACIÓN REQUERIDA

❖ Cartografía oficial del departamento del Magdalena a escala 1:25.000, suministrada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), la cual incluye curvas de nivel cada 25 m, red de drenaje, cuerpos de agua, vías, etc.

❖ Modelos de Elevación Digital (MED) de la zona, obtenidos de la misión del Sensor remoto operado por la NASA, ASTER GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer – Global Digital Elevation Model), con resolución espacial de 30m x 30m.

❖ Informacion hidrometereológica de la zona, suministrada por el Instituto de Hidrologia, Meteorologia y Estudios Ambietales (IDEAM), tales como precipitación y caudal.

DEFINICIONES

Como primera medida es necesario tener claros los conceptos a los cuales se hace referencia en este documento, por lo tanto se presenta a continuación la definición de cada uno de ellos.

Balance hídrico: evaluación de las entradas, las salidas y las variaciones en el almacenamiento de una masa de agua en un determinado período de tiempo (UNESCO 2012).

Régimen hidrológico: variaciones del estado y de las características de una masa de agua que se repiten de forma regular en el tiempo y en el espacio y que muestran patrones estacionales o de otros tipos (UNESCO 2012).

Oferta hídrica superficial total: volumen de agua continental, almacenada en los cuerpos de agua superficiales en un periodo determinado de tiempo. Es el agua que fluye por la superficie del suelo que no se infiltra o se evapora y se concentra en los cauces de los ríos o en los cuerpos de agua lénticos (IDEAM 2014).

Caudal ambiental: de acuerdo con el Decreto 3930 de 2010, se define como: "Volumen de agua necesario en términos de calidad, cantidad, duración y estacionalidad para el sostenimiento de los ecosistemas acuáticos y para el desarrollo de las actividades socioeconómicas de los usuarios aguas abajo de la fuente de la cual dependen tales ecosistemas" (MAVDT 2010).

Oferta hídrica superficial disponible: volumen de agua promedio que resulta de sustraer a la oferta hídrica total superficial el volumen de agua que garantizaría el uso para el funcionamiento de los ecosistema y de los sistemas fluviales, y en alguna medida un caudal mínimo para usuarios que dependen de las fuentes hídricas asociadas a estos ecosistemas (caudal ambiental) (IDEAM 2014)

Índice de regulación hídrica (IRH): este índice mide la capacidad de retención de humedad de las cuencas con base en la distribución de las series de frecuencias acumuladas de los caudales diarios. Este índice se mueve en el rango entre 0 y 1, y los valores más bajos son los que se interpretan como de menor regulación. (IDEAM 2010).

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

Año hidrológico medio: está definido por los caudales medios mensuales multianuales de la serie histórica de caudales medios.

Año hidrológico húmedo: está definido por los caudales máximos de los medios mensuales multianuales de la serie de caudales medios mensuales (incluye períodos de los eventos El Niño y La Niña).

Año hidrológico seco: está definido por los caudales mínimos de los medios mensuales multianuales de la serie de caudales medios mensuales (incluye períodos de los eventos El Niño y La Niña).

Rendimiento hídrico: es la cantidad de agua por unidad de superficie en un intervalo de tiempo dato, normalmente un año (IDEAM 2014). Las unidades convencionales para presentar esta variable son L/s/Km²

BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL

Para formular el balance hídrico, se considera la ecuación diferencial de conservación de masa dentro de una cuenca hidrográfica, que se define como:

$$\frac{dS}{dt} = P(t) - ET(t) - ESC(t)$$

Donde dS/dt representa el almacenamiento de agua en el suelo y en los acuíferos, P(t) y E(t) son la precipitación y la evapotranspiración real en la cuenca y ESC(t) representa la escorrentía de la cuenca. Todas las variables se encuentran en función del tiempo (t).

Al integrar la ecuación de balance hídrico en el largo plazo (mayor a 15 años), el cambio en el almacenamiento se vuelve despreciable en comparación con los demás términos (dt se hace grande), y los valores de P(t), ET(t) y ESC(t), se pueden reemplazar por los valores promedio de largo plazo (Álvarez *Et al.* 2008), Según lo anterior, se tiene:

$$ESC = P - ET$$

Donde ESC es la escorrentía promedio en mm, P es la precipitación promedio en mm y ET es la evapotranspiración real promedio en mm.

A nivel mensual, el almacenamiento de agua en las cuencas no siempre es conocido, como tampoco los valores de aportes, retornos, transvases e infiltración, de ahí que la ecuación de balance simplificada no se considera representativa a dicha escala, mientras que en el largo plazo estas variables no se tienen en cuenta.

Precipitación

Los valores de precipitación se obtuvieron directamente de datos puntuales de los registros históricos de las estaciones pluviométricas en el departamento del Magdalena y sus alrededores. Los valores usados en el balance se obtienen del promedio anual multianual de lluvia en cada estación. Posteriormente son interpolados espacialmente para todas las cuencas y se calcula un valor promedio para cada una de ellas.

Evapotranspiración real

En consonancia con la metodología aplicada en el Estudio Nacional del Agua (IDEAM y MADS 2015), la evapotranspiración real se estimó por el método de Budyko (1974), el cual genera los mejores resultados en el balance hídrico para Colombia.

$$\mathrm{ETR} = \left[\mathrm{ETP} * \mathrm{P} * \tanh\left(\frac{\mathrm{P}}{\mathrm{ETP}}\right) * \left[1 - \cosh\left(\frac{\mathrm{ETP}}{\mathrm{P}}\right) + \sinh\left(\frac{\mathrm{ETP}}{\mathrm{P}}\right)\right]\right]^{1/2}$$

Donde ETR es la evapotranspiración real (mm/año), ETP es la evapotranspiración potencial (mm/año) y P es la precipitación media en la cuenca (mm/año).

Evapotranspiración potencial

La evapotranspiración potencial se estimó por medio de la ecuación de Cenicafé. Esta metodología permite calcular la evapotranspiración potencial (ETP) de forma sencilla, pues en dicha ecuación la ETP solo depende de la elevación sobre el nivel del mar. La ecuación para su cálculo fue producto de una regresión elaborada por Cenicafé entre los valores de evapotranspiración y la altura sobre el nivel del mar. Las estimaciones de ETP fueron obtenidas al aplicar el método de Penman a los datos de las estaciones climáticas de Colombia (Jaramillo 2006).

$$\mathrm{ETP} = 1017{,}17 * \mathrm{e}^{(-0{,}0002\,\mathrm{h})}$$

Donde ETP es la evapotranspiración potencial (mm/año) y h es la elevación sobre el nivel del mar (m).

La determinación del balance hídrico en cada cuenca, sigue dos enfoques, uno espacial y otro promedio. Por lo tanto se presenta el balance en términos espaciales (mapas de precipitación, evapotranspiración real y escorrentía) y el balance con valores promedio para cada cuenca.

El análisis de calidad, homogeneidad y consistencia de las series de precipitación se presenta en un informe anexo al presente documento.

OFERTA HÍDRICA SUPERFICIAL AÑO MEDIO

Según el Estudio Nacional del Agua del 2014, desarrollado por el IDEAM, la oferta hídrica superficial para año hidrológico medio se puede calcular por tres métodos, que son:

a. Balance hídrico: Para cuencas hidrográficas con registros de variables climatológicas e hidrológicas mayor de 10 años, situación está que permite estimar la oferta hídrica media anual. Esta se basa en el balance hídrico de largo plazo para la condición hidrológica de año medio, en el que puede considerarse que el cambio del almacenamiento de agua en el volumen de control es nulo (Álvarez *Et al.* 2008), por lo tanto la escorrentía es igual a la precipitación menos la evapotranspiración sobre la unidad de análisis. Según lo anterior, esta metodología trabaja con series de precipitación, con la cual se estima la evapotranspiración real y potencial, y la escorrentía. De la misma manera se presenta la caracterización del régimen hídrico a partir del índice de aridez (IA) para cada cuenca.

b. Caudal medio puntual en las corrientes de interés: Cuando la cuenca posee registros históricos de caudal medio en su cauce principal. Esta metodología se basa en un análisis de frecuencias (curva de duración de caudales), para obtener la oferta hídrica superficial total (Caudal medio), el caudal ambiental y la oferta hídrica superficial disponible (Caudal medio menos Caudal ambiental). Además como parte de la caracterización del régimen hidrológico, con las mismas series de caudal, se puede calcular el índice de regulación y retención hídrica (IRH) para cada cuenca.

c. Relación lluvia-escorrentía: Cuando las cuencas no poseen registros de caudal se requiere utilizar métodos lluvia-escorrentía para determinar el caudal a la salida, sin embargo este método requiere de gran cantidad de información y por lo tanto no se usará en este estudio.

OFERTA HÍDRICA AÑO MEDIO A PARTIR DE CAUDAL MEDIO

Según el Estudio Nacional del Agua, cuando existe información histórica confiable de los caudales con series extensas, el caudal medio anual del río es la oferta hídrica total de esa cuenca. Según lo anterior, para cuencas que poseen información histórica de caudales, se trabajó con un análisis de frecuencias a través de la curva de duración de caudales para determinar oferta hídrica y caudal ambiental, tal como lo muestra el esquema de figura 45.

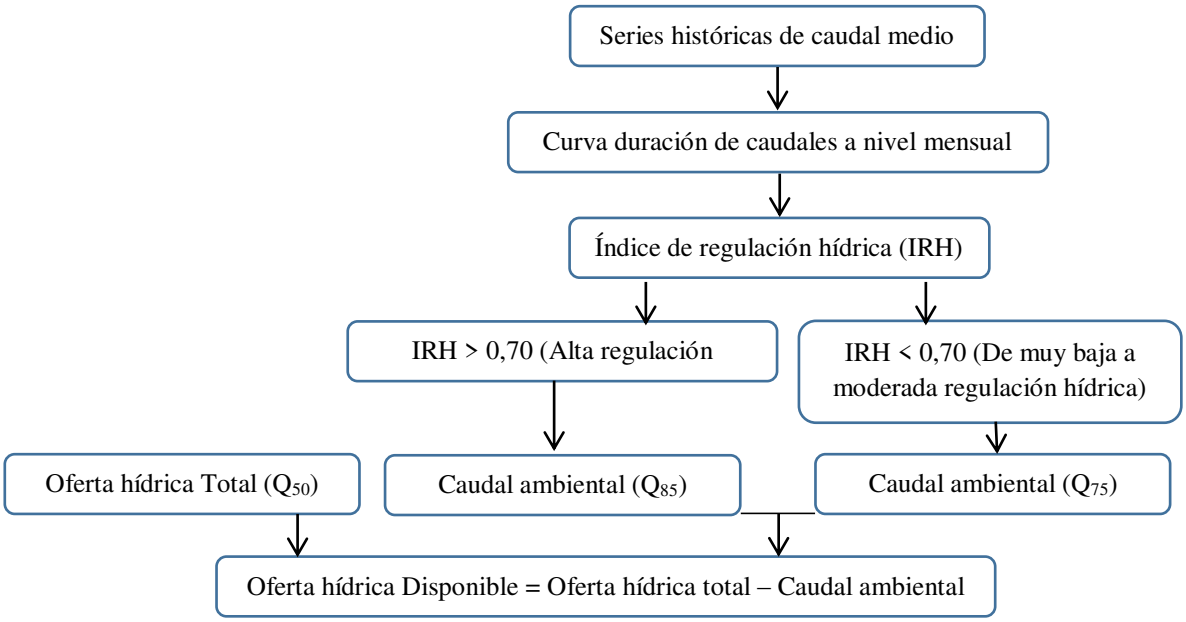


Figura 45. Esquema metodológico para la determinación de la oferta hídrica superficial
Fuente. Estudio Nacional del Agua (IDEAM y MADS 2015)

En la construcción de la curva de duración de caudales, se usó la fórmula de Weibull para la estimación de la probabilidad de excedencia.

ÍNDICE DE REGULACIÓN HÍDRICA (IRH)

La obtención del IRH se basa fundamentalmente en la curva de duración de caudales medios diarios para las estaciones seleccionadas. Es la relación entre el volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea del caudal medio y el correspondiente al área total bajo la curva de duración de caudales medios diarios, tal como lo muestra la siguiente fórmula y la figura 46.

$$\mathrm{IRH} = \frac{\mathrm{VP}}{\mathrm{VT}}$$

Donde IRH es el Índice de retención y regulación hídrica (adimensional), VP es el volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea del caudal medio (m³), VT es el volumen total representado por el área bajo la curva de duración de caudales diarios (m³).

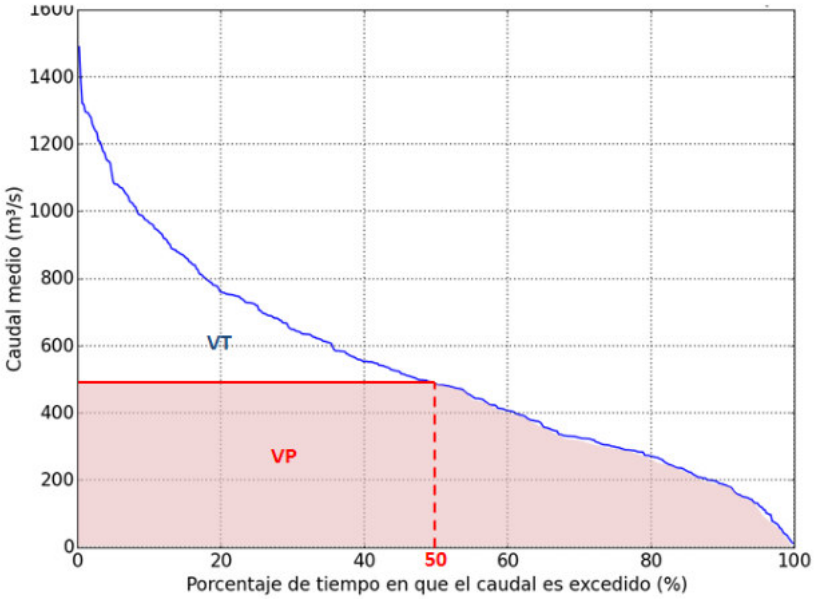


Figura 46. Volúmenes requeridos para la obtención del IRH.

Según el índice de regulación hídrica, la cuenca se puede clasificar en cinco categorías diferentes de retención y regulación, tal como se muestra en la tabla 15.

Tabla 15. Clasificación del IRH

Rango de variación del IRH	Capacidad de retención de la cuenca
Menor a 0,5	Muy baja
0,5 – 0,65	Baja
0,65 – 0,75	Moderada
0,75 – 0,85	Alta
Mayor a 0,85	Muy alta

Fuente: IDEAM 2010

OFERTA HÍDRICA AÑO MEDIO A PARTIR DE BALANCE HÍDRICO

La segunda metodología para la estimación de la de la oferta hídrica superficial para condición hidrológica de año medio, consiste en hacer uso de la ecuación de balance hídrico sobre las unidades de estudio. El balance se realizó a nivel anual con el modelo de largo plazo para la condición hidrológica de año medio, en el que puede considerarse que el cambio del almacenamiento de agua en el volumen de control es nulo (Álvarez *Et al.* 2008), por lo que la escorrentía es igual a la precipitación menos la evapotranspiración sobre la unidad de análisis, tal como lo muestra la siguiente ecuación:

$$\mathrm{ESC} = \mathrm{P} - \mathrm{ETR}$$

Donde ESC es la escorrentía hídrica superficial (mm), P es la precipitación (mm) y ETR es la evapotranspiración real (mm).

Con la estimación de la escorrentía media en la cuenca, es posible obtener un caudal promedio a la salida de la cuenca y un rendimiento hídrico medio, relacionando los valores de escorrentía con el área de cada cuenca.

ÍNDICE DE ARIDEZ (IA)

Como se dijo anteriormente, el índice de aridez es un parámetro para determinar de manera cualitativa, la excedencia o déficit de agua en una región. Para la obtención del indicador, se utilizan las ecuaciones de Budyko (1974) en el cálculo de la evapotranspiración real (ETR), y la ecuación de Cenicafé en el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP), ya que esta última es una adaptación de la ecuación de Penman-Monteith (recomendada por la FAO 2006) a las condiciones del país. La fórmula de cálculo del índice de aridez es la siguiente:

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

Donde IA es el índice de aridez (adimensional), ETP es la evapotranspiración potencial (mm) y ETR es la evapotranspiración real (mm).

La deficiencia o excedencia de agua se puede clasificar según el índice de aridez en siete categorías, tal como lo muestra la tabla16.

Tabla 16. Clasificación del IA

Rango de variación del IA	Descripción	Color
Menor a 0,15	Altos excedentes de agua	
0,15 – 0,19	Excedentes de agua	
0,20 – 0,29	Moderado y excedentes de agua	
0,30 – 0,39	Moderado	
0,40 – 0,49	Moderado y deficitario de agua	
0,50 – 0,59	Deficitario de agua	
Mayor a 0,60	Altamente deficitario de agua	

Fuente. IDEAM 2010.

CUENCA DEL RÍO BURITACA

BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL

A continuación se presenta el balance hídrico superficial de largo plazo para la cuenca del río Buritaca, tanto en su componente espacial como para los valores promedio.

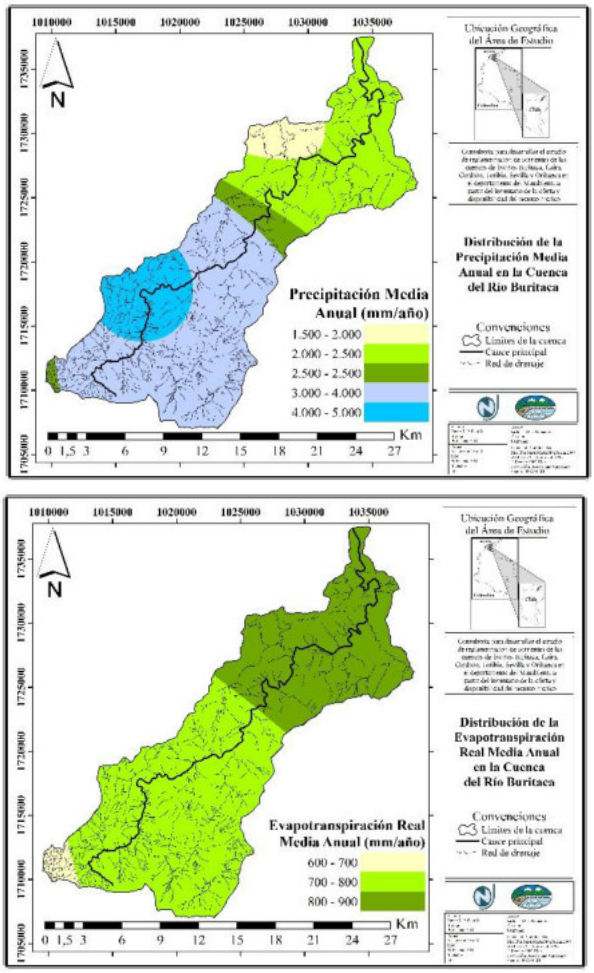


Figura 47. Valores medios de Precipitación y Evapotranspiración real para la cuenca del río Buritaca.

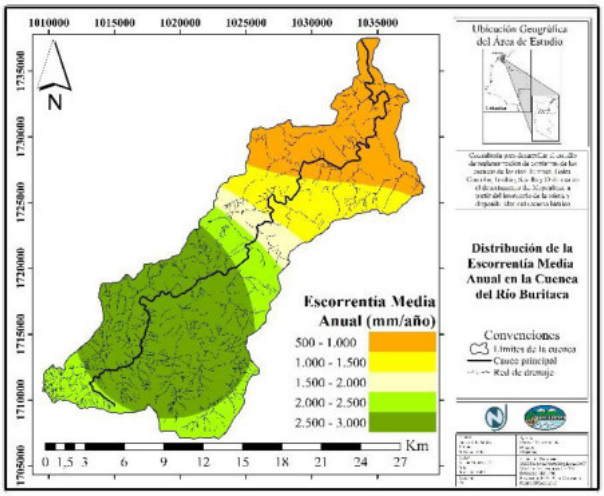


Figura 48. Escorrentía media anual para la cuenca del río Buritaca.

Los valores de precipitación en la cuenca del río Buritaca varían entre 1.890,7 mm/año en la parte baja y 4.059,7 mm/año en la parte alta de la cuenca. La evapotranspiración real se encuentra entre 653,2 mm/año y 865,33 mm/año, mientras que los valores de escorrentía fluctúan entre 833,9 mm/año en la cuenca baja y 2.860 mm/año en las zonas altas.

Balance hídrico para valores promedio

El balance hídrico superficial para valores promedio en la cuenca está dado por:

$$ESC = P - ET = 2.789{,}1\ mm - 793{,}8\ mm = 1.995{,}3\ mm$$

Según lo anterior, aproximadamente el 71% del agua precipitada en la cuenca se convierte en escorrentía directa.

OFERTA HÍDRICA SUPERFICIAL AÑO MEDIO

A pesar de que en la cuenca baja del río Buritaca se cuenta con una estación limnimétrica que registra caudales medios diarios, esta no puede ser utilizada ya que solamente tiene un registro de 8 años, lo cual no es representativo para calcular valores medios de largo plazo para realizar balance y oferta hídrica. Según esto, se presenta la oferta hídrica solamente por el método de balance hídrico.

Oferta hídrica por balance hídrico

A partir de la ecuación de balance hídrico descrita anteriormente se calculó la oferta hídrica superficial de año medio para la cuenca del rio Buritaca, tal como se resume en tabla 17.

Tabla 17. Oferta hídrica superficial para la cuenca del río Buritaca por balance hídrico

Área (km²)	Precipitación media (mm/año)	Evapotranspiración real media (mm/año)	Escorrentía media (mm/año)	Caudal medio (m³/s)	Oferta anual (Mm³)	Rendimiento hídrico (L/s/Km²)
302,60	2789,10	793,80	1995,30	19,15	603,78	63,27

Índice de aridez (IA)

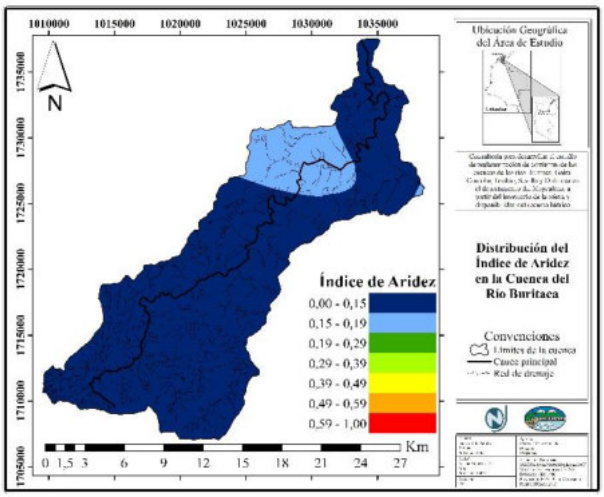


Figura 49. Índice de aridez en la cuenca del río Buritaca.

Según el mapa de la figura 49 los valores del Índice de Aridez en la cuenca del río Buritaca varían de 0,05 en la cuenca alta a 0,16 en la cuenca baja, con un valor promedio en la cuenca de 0,09; que la clasifica como una cuenca con altos excedentes de agua (tabla 18).

Tabla 18. Clasificación del IA para la cuenca del río Buritaca.

Rango de variación del IA	Descripción	Color
Menor a 0,15	Altos excedentes de agua	

Los resultados obtenidos anteriormente por la metodología de balance hídrico, indican un rendimiento hídrico mayor al de la región caribe que es de 56,4 L/s/km² y al rendimiento promedio nacional que es de 56 L/s/km², por lo tanto se puede concluir que la cuenca del río Buritaca presenta una buena oferta hídrica en relación a la oferta regional. Lo anterior, sin duda, ofrece una alternativa de aprovechamiento del recurso hídrico en esta zona que puede suplir las necesidades agrícolas y de agua potable en las poblaciones cercanas a la cuenca.

CUENCA DEL RÍO GAIRA

BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL

A continuación se presenta el balance hídrico superficial de largo plazo para la cuenca del río Gaira, tanto en su componente espacial como para los valores promedio.

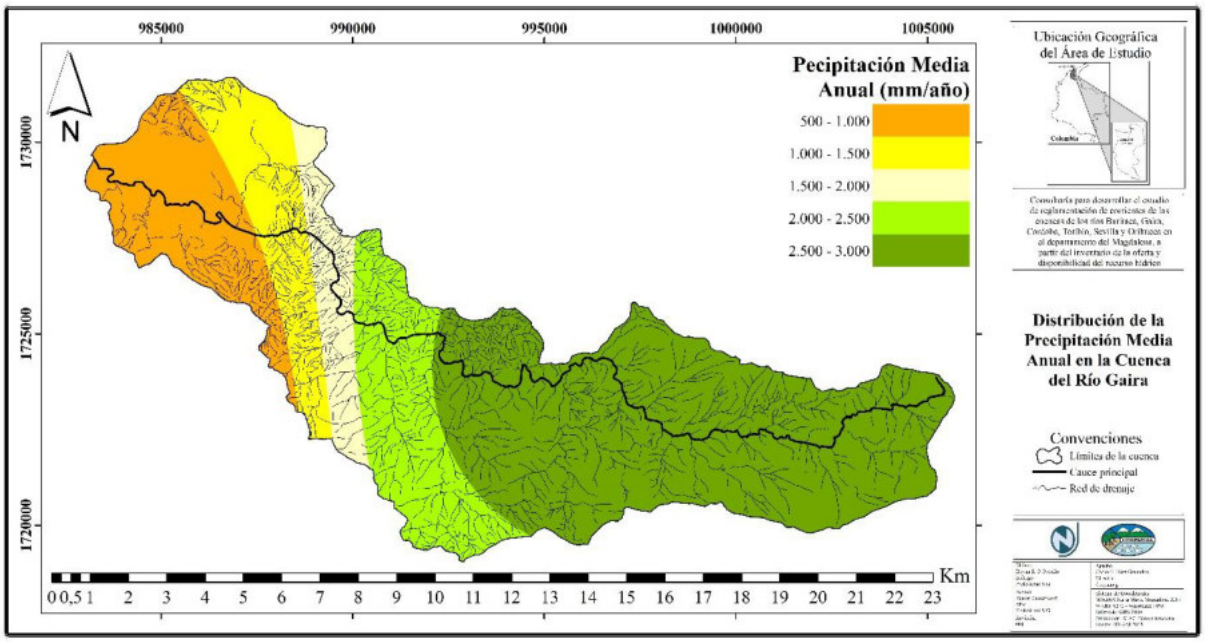


Figura 50. Valores medios de Precipitación para la cuenca del río Gaira.

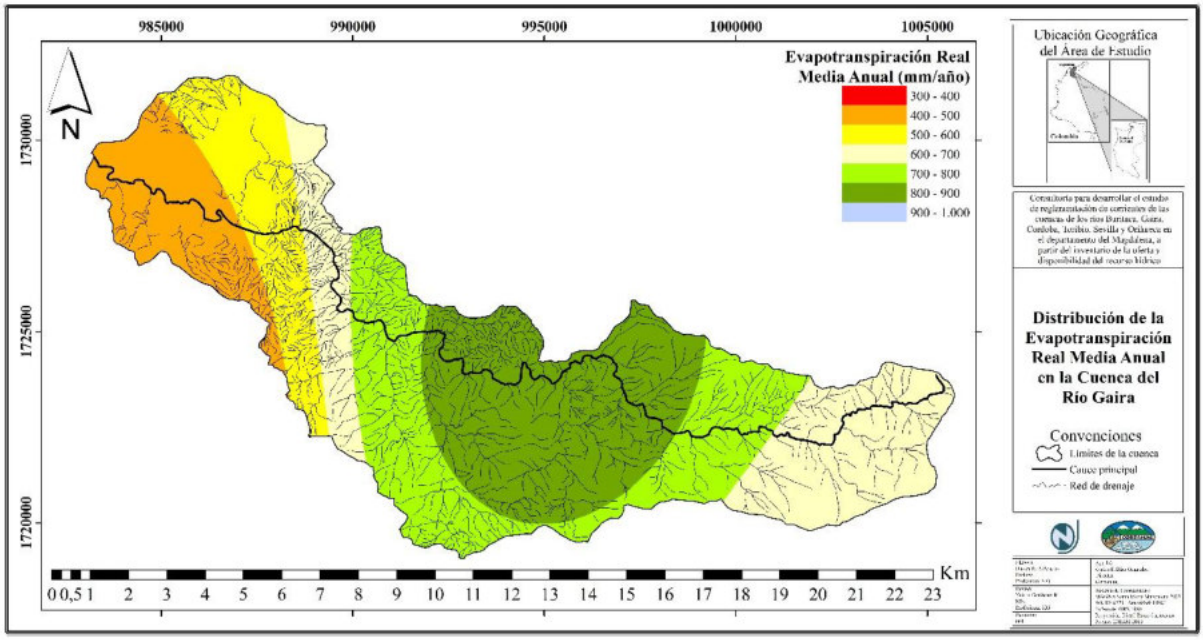


Figura 51. Valores medios de Evapotranspiración real para la cuenca del río Gaira.

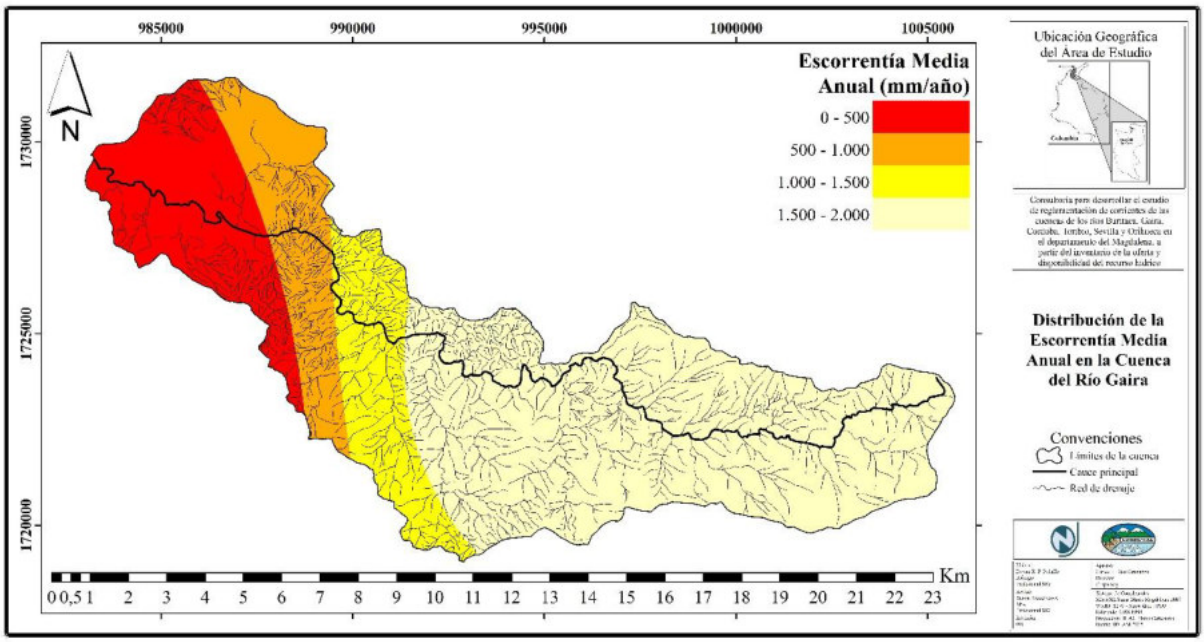


Figura 52. Escorrentía media anual para la cuenca del río Gaira

Los valores de precipitación en la cuenca del río Gaira varían entre 533,9 mm/año en la parte baja y 2691,4 mm/año en la parte alta de la cuenca. La evapotranspiración real se encuentra entre 428,4 mm/año y 814,2 mm/año, mientras que los valores de escorrentía fluctúan entre 79,2 mm/año en la cuenca baja y 1858,8 mm/año en las zonas altas.

Balance hídrico para valores promedio

El balance hídrico superficial para valores promedio es:

$$ESC = P - ET = 1933{,}90\ mm - 685{,}12\ mm = 1248{,}78\ mm$$

Según lo anterior, aproximadamente el 64% del agua precipitada en la cuenca se convierte en escorrentía directa.

OFERTA HÍDRICA SUPERFICIAL AÑO MEDIO

Para el caso de la cuenca del río Gaira, se presenta el balance hídrico superficial por las dos metodologías mencionadas en el marco teórico (caudal medio y balance hídrico), ya que se cuenta con una estación limnimétrica en la parte media de la cuenca, la cual posee registros históricos de caudales medios a nivel diario con suficiente longitud y calidad (Estación MINCA).

Oferta hídrica a partir de caudal medio

En la figura 53 se presenta la localización de la estación MINCA con la respectiva curva de duración de caudales a nivel mensual, junto con los valores del IRH, caudal medio, caudal ambiental y caudal disponible.

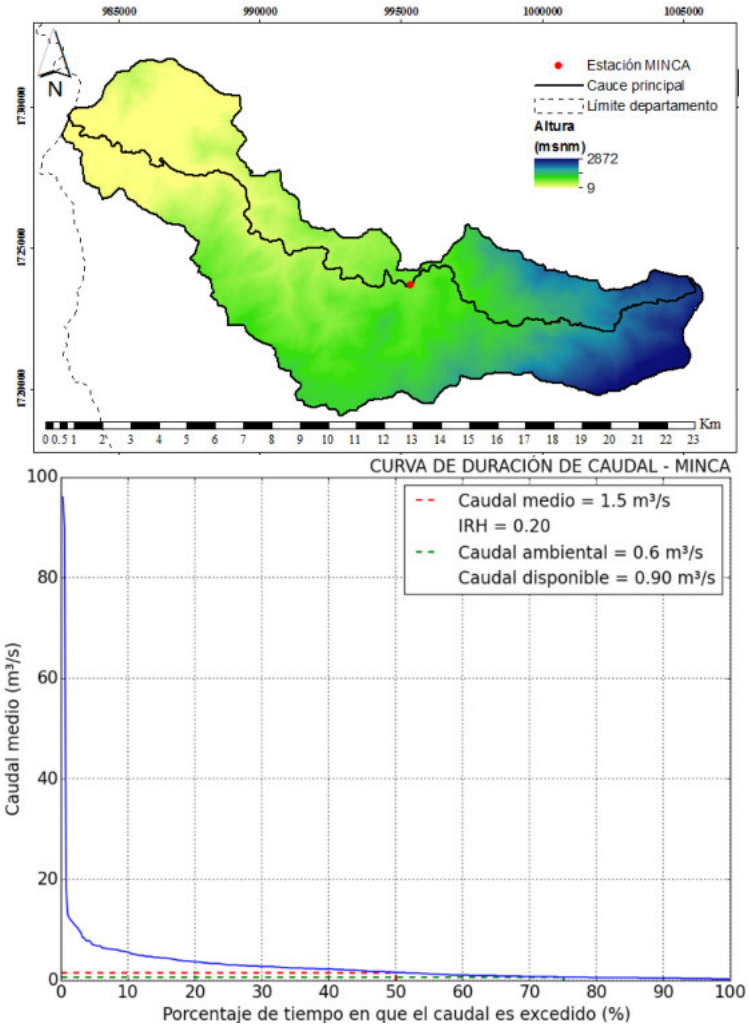


Figura 53. Localización de la estación MINCA con curva de duración de caudales a nivel mensual.

Con los valores obtenidos en la gráfica anterior se calcula la oferta hídrica superficial total y disponible, tal como se muestra en la tabla 19.

Tabla 19. Oferta hídrica superficial para la cuenca del río Gaira por series de caudal medio.

Área (km²)	IRH	Caudal Total (m³/s)	Caudal ambiental (m³/s)	Caudal disponible (m³/s)	Oferta total (Millones de m³)	Oferta disponible (Millones de m³)	Rendimiento hídrico (L/s/Km²)
108.75	0,2	1,50	0,60	0,90	47,304	28,38	13,79

Según el IRH obtenido, la cuenca del río Gaira se clasifica como de muy baja capacidad de retención de agua (tabla 20).

Tabla 20. Clasificación del IRH para la cuenca del río Gaira.

Rango de variación del IRH	Capacidad de retención de la cuenca
Menor a 0,5	Muy Baja

Oferta hídrica a partir de balance hídrico

A partir de la ecuación de balance hídrico descrita anteriormente, se calculó la oferta hídrica superficial de año medio para la cuenca del rio Gaira, tal como se resume en la tabla 21.

Tabla 21. Oferta hídrica superficial para la cuenca del río Gaira por balance hídrico.

Área (km²)	Precipitación media (mm/año)	Evapotranspiración real media (mm/año)	Escorrentía media (mm/año)	Caudal medio (m³/s)	Oferta anual (Mm³)	Rendimiento hídrico (L/s/Km²)
108,75	1933,90	685,12	1248,78	4,31	135,80	39,60

Índice de aridez (IA)

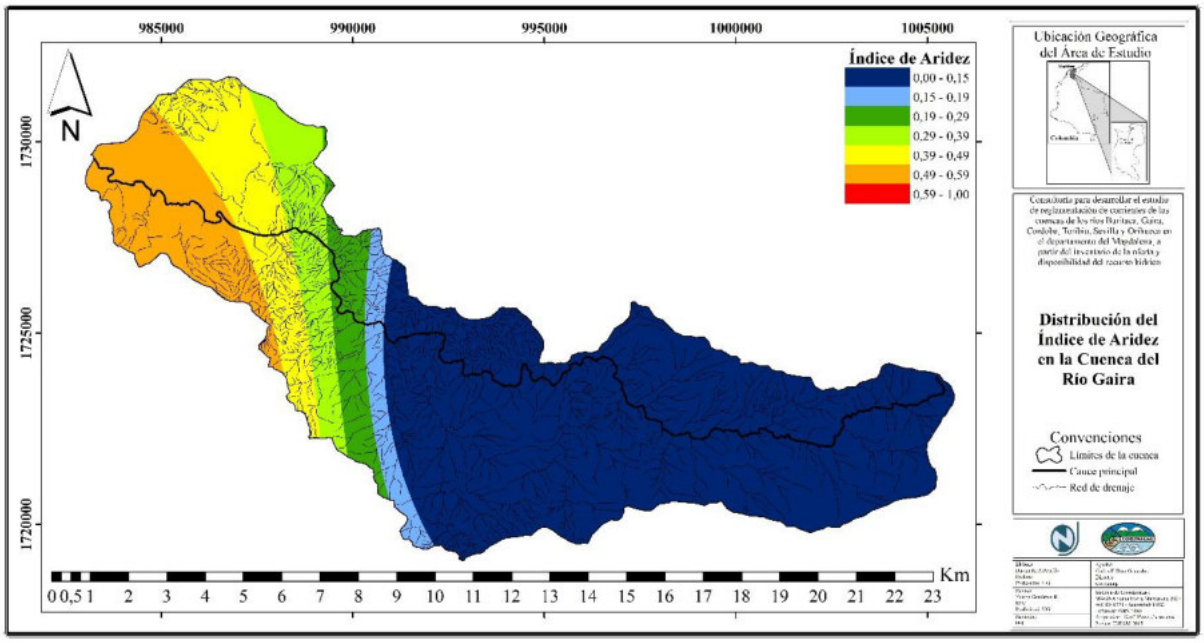


Figura 54. Índice de aridez en la cuenca del río Gaira.

Según el mapa de la figura 54 los valores del Índice de Aridez en la cuenca del río Gaira varían de 0,06 en la cuenca alta a 0,57 en la cuenca baja, con un valor promedio en la cuenca de 0,21; que la clasifica como una cuenca con moderados y excedentes de agua (tabla 22).

Tabla 22. Clasificación del IA para la cuenca del río Gaira.

Rango de variación del IA	Descripción	Color
0,20 – 0,29	Moderado y excedentes de agua	

Los rendimientos hídricos obtenidos para la cuenca del rio Gaira por los métodos aplicados son de 13,79 L/s/km² por caudal medio y 39,60 L/s/km² por balance hídrico. Estos valores difieren considerablemente, ya que la estimación de caudales a partir de precipitación en el método de balance hídrico ofrece una incertidumbre asociada a las características físicas y morfométricas de la cuenca, mientras que para la metodología de caudales medios son datos puntuales mucho más confiables. Sin embargo hay que tener en cuenta que la estación MINCA no se encuentra a la salida de la cuenca y por lo tanto los valores no representan a la totalidad del área.

Estos rendimientos se encuentran por debajo del rendimiento para la región caribe que es de 56,4 L/s/km² y del nacional que es de 56 L/s/km².

RÉGIMEN HIDROLÓGICO

A continuación se presenta el régimen hidrológico (ciclo anual) de los caudales en la estación MINCA, para condición de año medio, húmedo y seco.

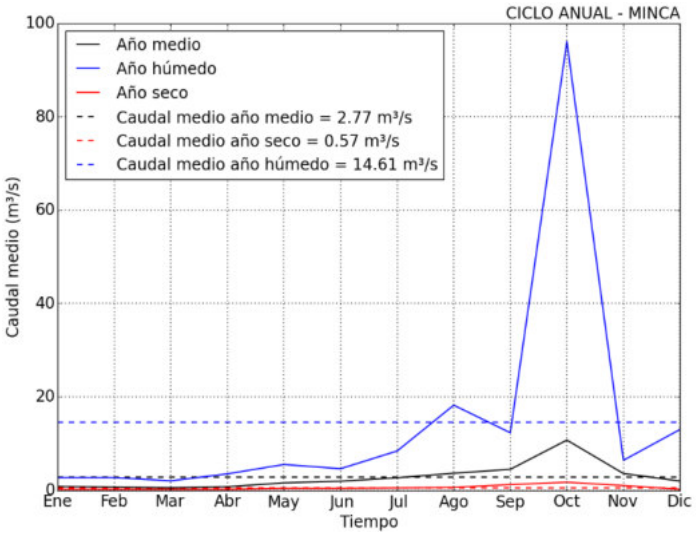


Figura 55. Régimen hidrológico en la estación MINCA.

El régimen hidrológico en la cuenca del río Gaira exhibe un régimen monomodal con caudales máximos en el mes de octubre, y caudales mínimos en marzo. Los valores medios de caudal para condiciones medias, secas y húmedas son 2,77 m³/s; 0,57 m³/s y 14,61 m³/s respectivamente.

CUENCA DEL RÍO TORIBIO

BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL

A continuación se presenta el balance hídrico superficial de largo plazo para la cuenca del río Toribio, tanto en su componente espacial como para los valores promedio.

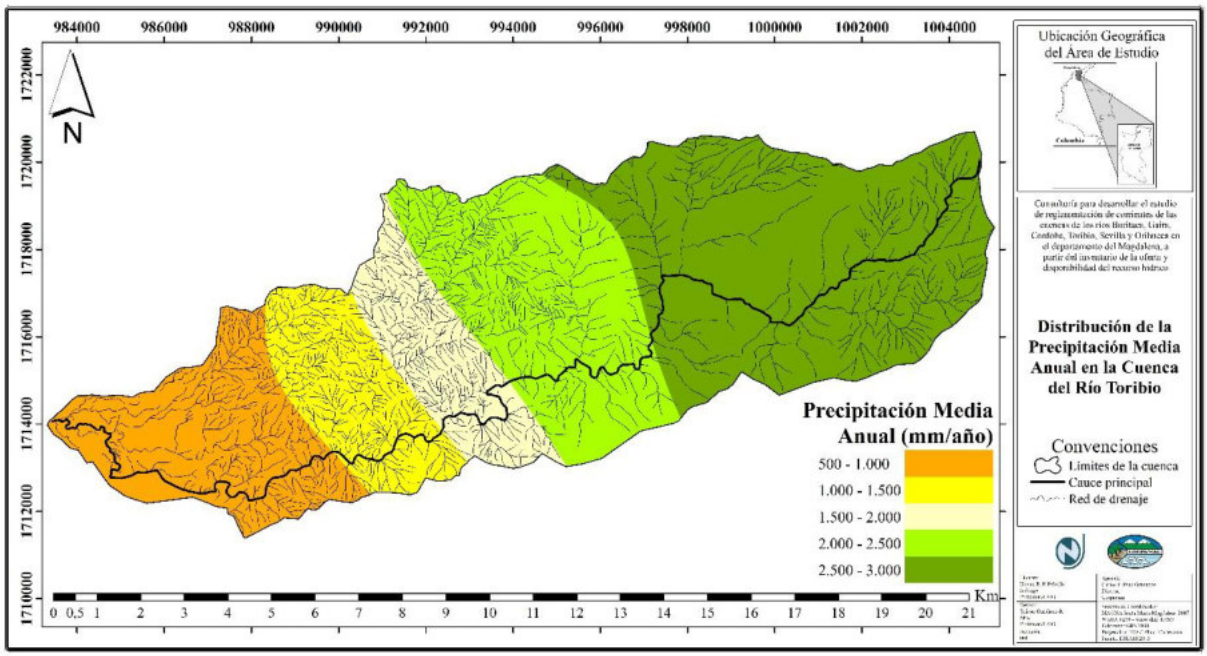


Figura 56. Valores medios de Precipitación para la cuenca del río Toribio.

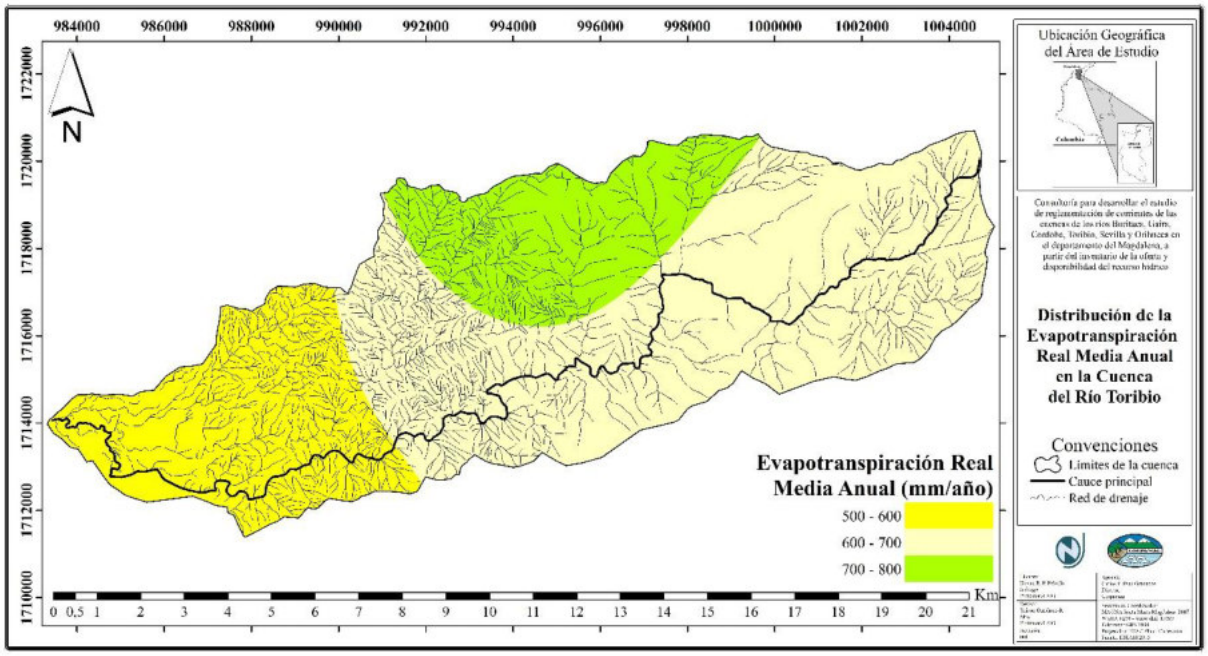


Figura 57. Valores medios de Evapotranspiración real para la cuenca del río Toribio.

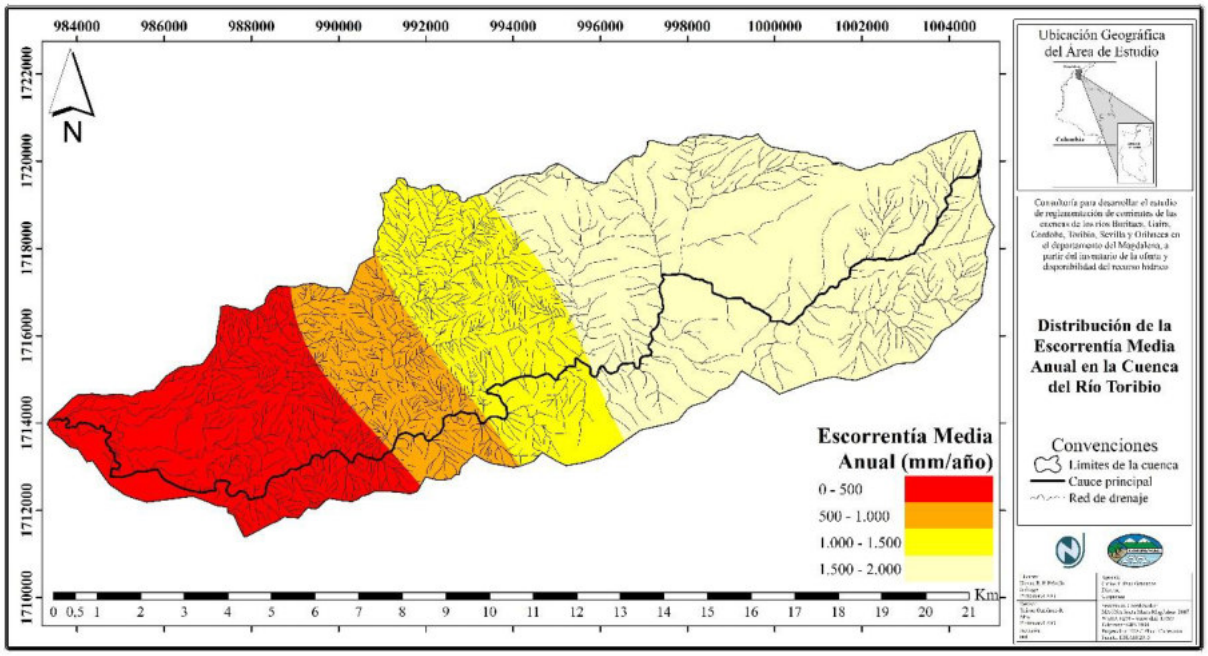


Figura 58. Escorrentía media anual para la cuenca del río Toribio.

Los valores de precipitación en la cuenca del río Toribio varían entre 742,4 mm/año en la parte baja y 2.698,7 mm/año en la parte alta de la cuenca. La evapotranspiración real se

encuentra entre 507,6 mm/año y 799,5 mm/año; mientras que los valores de escorrentía fluctúan entre 141,08 mm/año en la cuenca baja y 1.942,35 mm/año en las zonas altas.

Balance hídrico para valores promedio

El balance hídrico superficial para valores promedio es:

$$ESC = P - ET = 1860{,}7\ mm - 643{,}8\ mm = 1216{,}9\ mm$$

Según lo anterior, aproximadamente el 65% del agua precipitada en la cuenca se convierte en escorrentía directa.

OFERTA HÍDRICA SUPERFICIAL AÑO MEDIO

Para el caso de la cuenca del río Toribio se presenta la oferta hídrica solamente por el método de balance hídrico, ya que no se cuenta con una estación limnimétrica que permita conocer los caudales en el cauce principal.

Oferta hídrica por balance hídrico

A partir de la ecuación de balance hídrico descrita anteriormente, se calculó la oferta hídrica superficial de año medio para la cuenca del rio Toribio, tal como se resume en tabla 23.

Tabla 23. Oferta hídrica superficial para la cuenca del río Toribio por balance hídrico.

Área (km²)	Precipitación media (mm/año)	Evapotranspiración real media (mm/año)	Escorrentía media (mm/año)	Caudal medio (m³/s)	Oferta anual (Mm³)	Rendimiento hídrico (L/s/Km²)
107,84	1860,70	643,80	1216,90	4,16	131,23	38,59

Índice de aridez (IA)

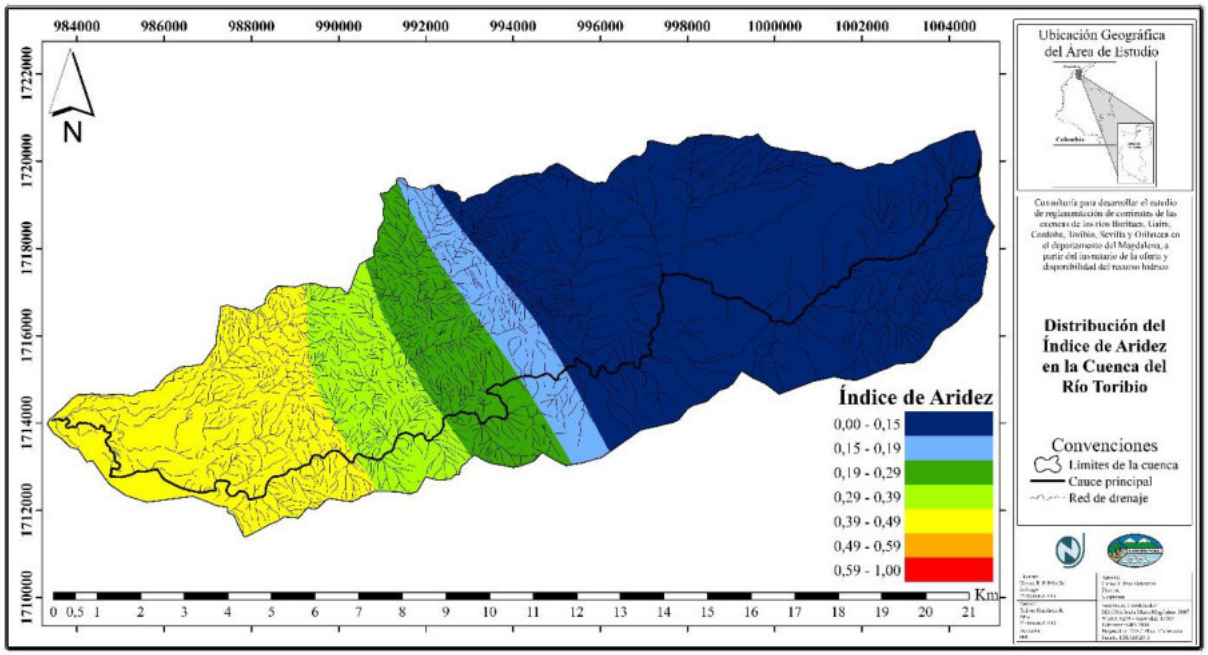


Figura 59. Índice de aridez en la cuenca del río Toribio.

Según el mapa de la figura 59 los valores del Índice de Aridez en la cuenca del río Toribio varían de 0,06 en la cuenca alta a 0,47 en la cuenca baja, con un valor promedio en la cuenca de 0,20; que la clasifica como una cuenca con moderados y excedentes de agua (tabla 24).

Tabla 24. Clasificación del IA para la cuenca del río Toribio.

Rango de variación del IA	Descripción	Color
0,20 – 0,29	Moderado y excedentes de agua	

El rendimiento hídrico en la cuenca del río Toribio está por debajo del promedio regional en el caribe colombiano que es de 56,4 L/s/km² y del nacional que es de 56 L/s/km².

CUENCA DEL RÍO CÓRDOBA

BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL

A continuación se presenta el balance hídrico superficial de largo plazo para la cuenca del río Córdoba, tanto en su componente espacial como para los valores promedio.

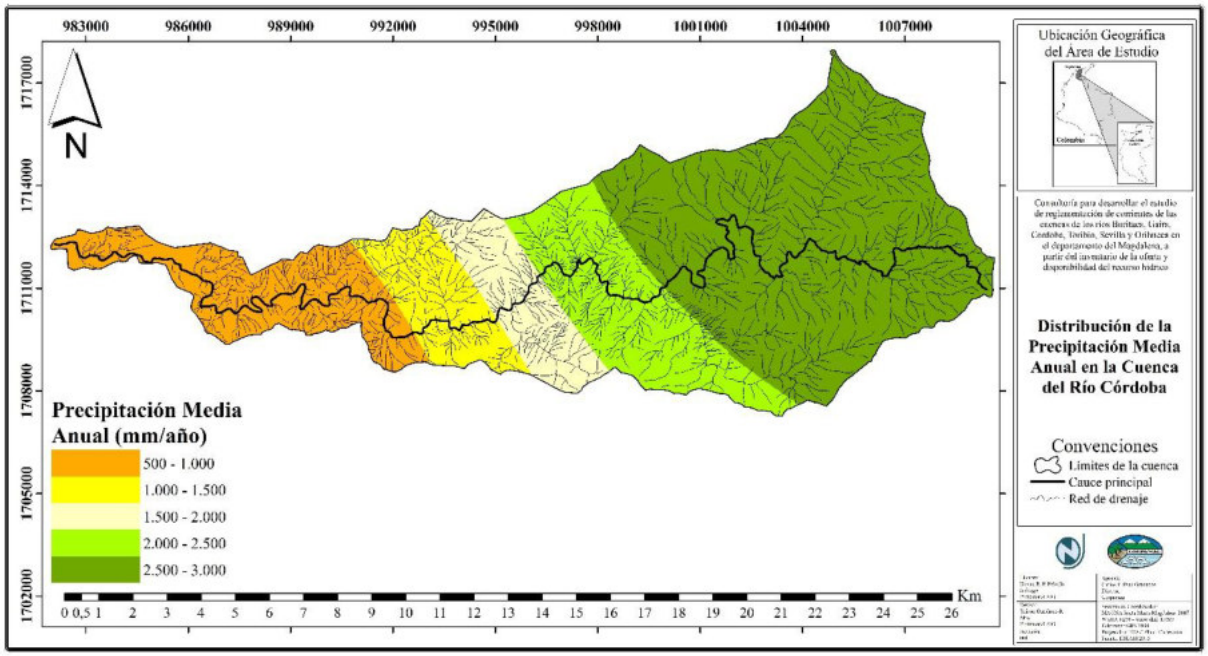


Figura 60. Valores medios de Precipitación para la cuenca del río Córdoba.

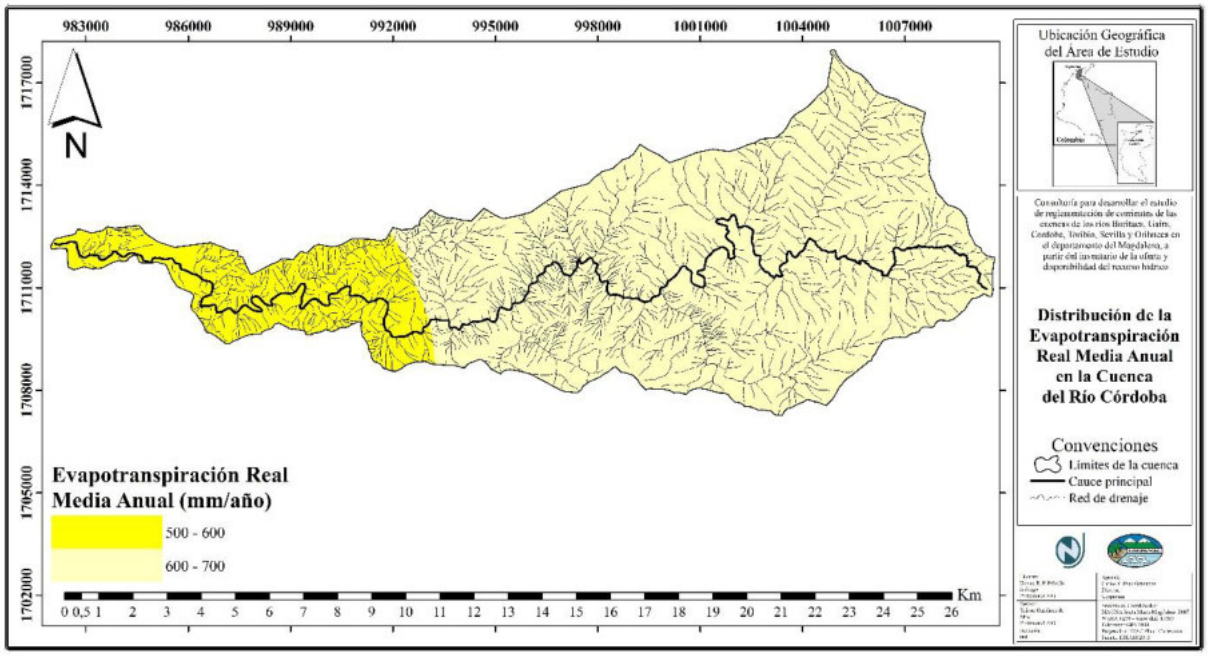


Figura 61. Valores medios de Evapotranspiración real para la cuenca del río Córdoba.

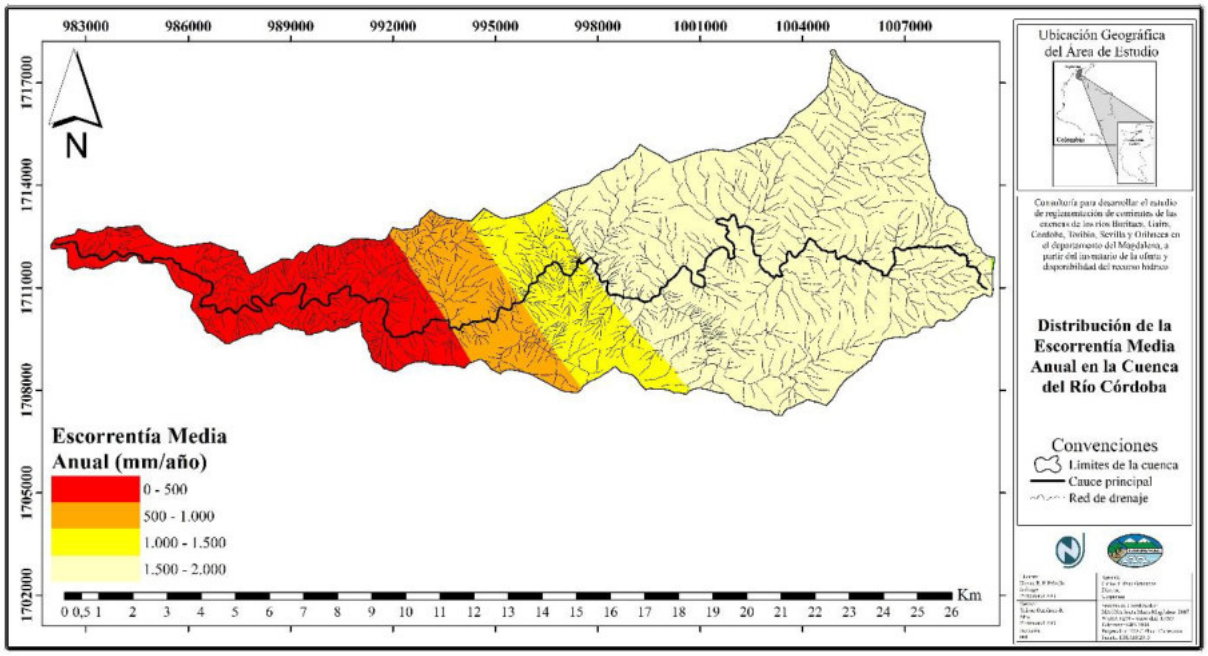


Figura 62. Escorrentía media anual para la cuenca del río Córdoba.

Los valores de precipitación en la cuenca del río Córdoba varían entre 732,5 mm/año en la parte baja y 2.880,1 mm/año en la parte alta de la cuenca. La evapotranspiración real se encuentra entre 549,1 mm/año y 654,2 mm/año; mientras que los valores de escorrentía

fluctúan entre 115,3 mm/año en la parte más baja de la cuenca y 2.007,7 mm/año en las zona más elevada.

Balance hídrico para valores promedio

El balance hídrico superficial para valores promedio es:

$$ESC = P - ET = 196.804\ mm - 620{,}20\ mm = 1.347{,}84\ mm$$

Según lo anterior, aproximadamente el 68% del agua precipitada en la cuenca se convierte en escorrentía directa.

OFERTA HÍDRICA SUPERFICIAL AÑO MEDIO

Para el caso de la cuenca del río Córdoba se presenta la oferta hídrica superficial solamente por el método de balance hídrico, ya que no se cuenta con una estación limnimétrica que permita conocer los caudales en el cauce principal.

Oferta hídrica por balance hídrico

A partir de la ecuación de balance hídrico descrita anteriormente, se calculó la oferta hídrica superficial de año medio para la cuenca del rio Córdoba, tal como se resume en tabla 25.

Tabla 25. Oferta hídrica superficial para la cuenca del río Córdoba por balance hídrico.

Área (km²)	Precipitación media (mm/año)	Evapotranspiración real media (mm/año)	Escorrentía media (mm/año)	Caudal medio (m³/s)	Oferta anual (Mm³)	Rendimiento hídrico (L/s/Km²)
124,38	1968,04	620,20	1347,84	5,32	167,64	42,74

Índice de aridez (IA)

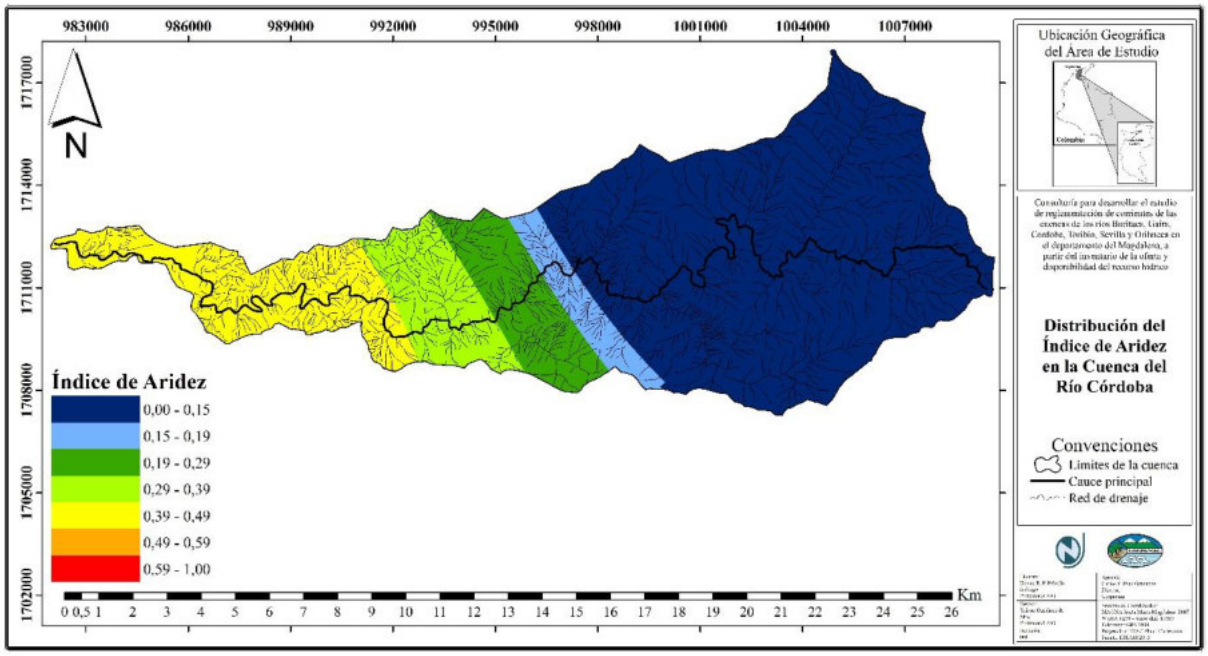


Figura 63. Índice de aridez en la cuenca del río Córdoba.

Según el mapa de la figura 63 los valores del Índice de Aridez en la cuenca del río Córdoba varían de 0,06 en la cuenca alta a 0,45 en la cuenca baja, con un valor promedio en la cuenca de 0,17; que la clasifica como una cuenca con excedentes de agua (tabla 26).

Tabla 26. Clasificación del IA para la cuenca del río Córdoba.

Rango de variación del IA	Descripción	Color
0,15 – 0,19	Excedentes de agua	

Los resultados obtenidos en la cuenca del río Córdoba, muestran que la cuenca presenta una oferta hídrica buena con altos excedentes de agua y un rendimiento hídrico que se encuentra por debajo de los valores medios de la región Caribe y del país que son de 56,4 L/s/km² y 56 L/s/km² respectivamente.

CUENCA DE LA QUEBRADA ORIHUECA

BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL

A continuación se presenta el balance hídrico superficial de largo plazo para la cuenca de la quebrada Orihueca, tanto en su componente espacial como para los valores promedio.

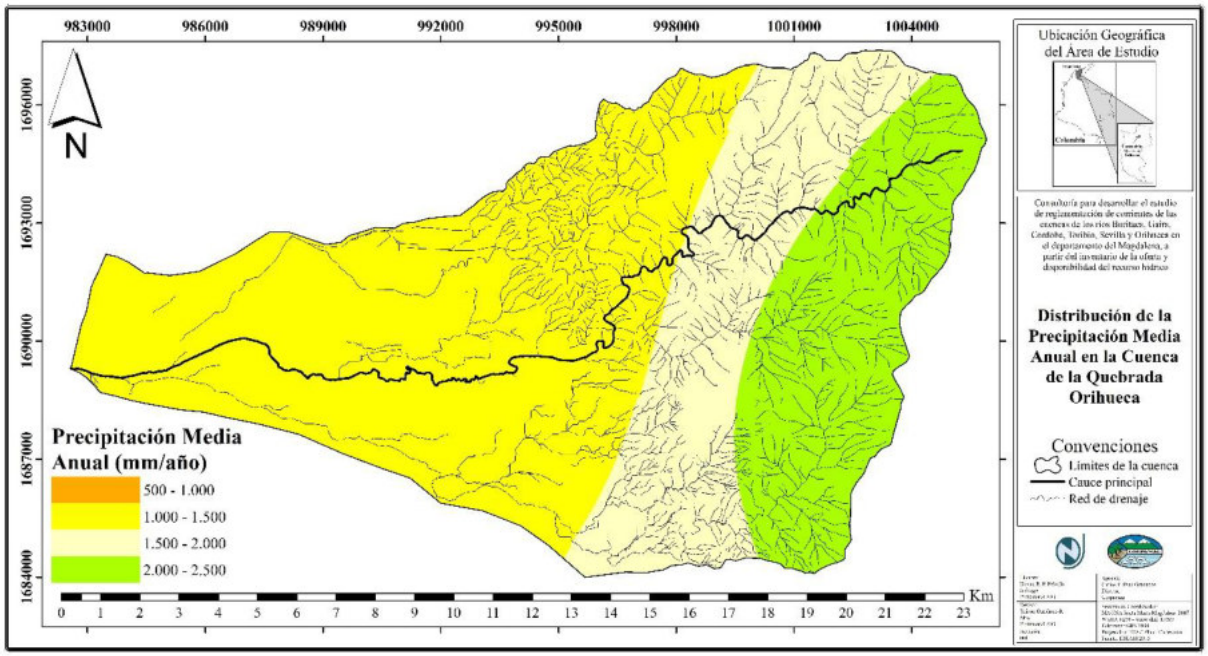


Figura 64. Valores medios de Precipitación para la cuenca de la quebrada Orihueca.

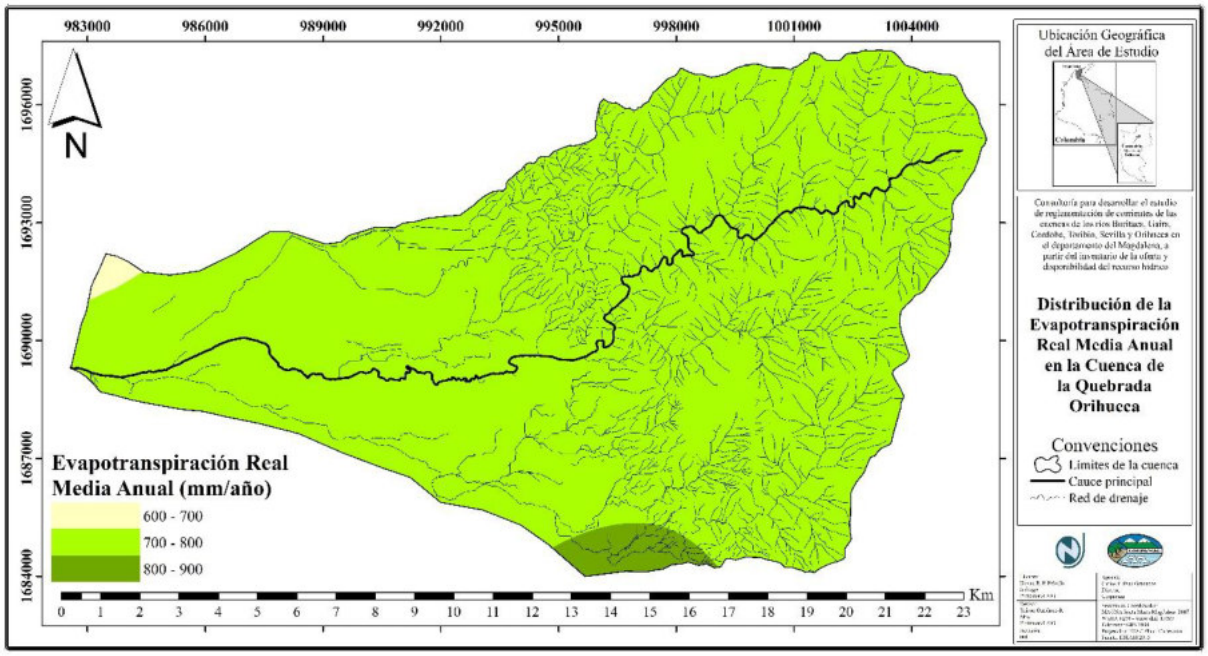


Figura 65. Valores medios de Evapotranspiración real para la cuenca de la quebrada Orihueca.

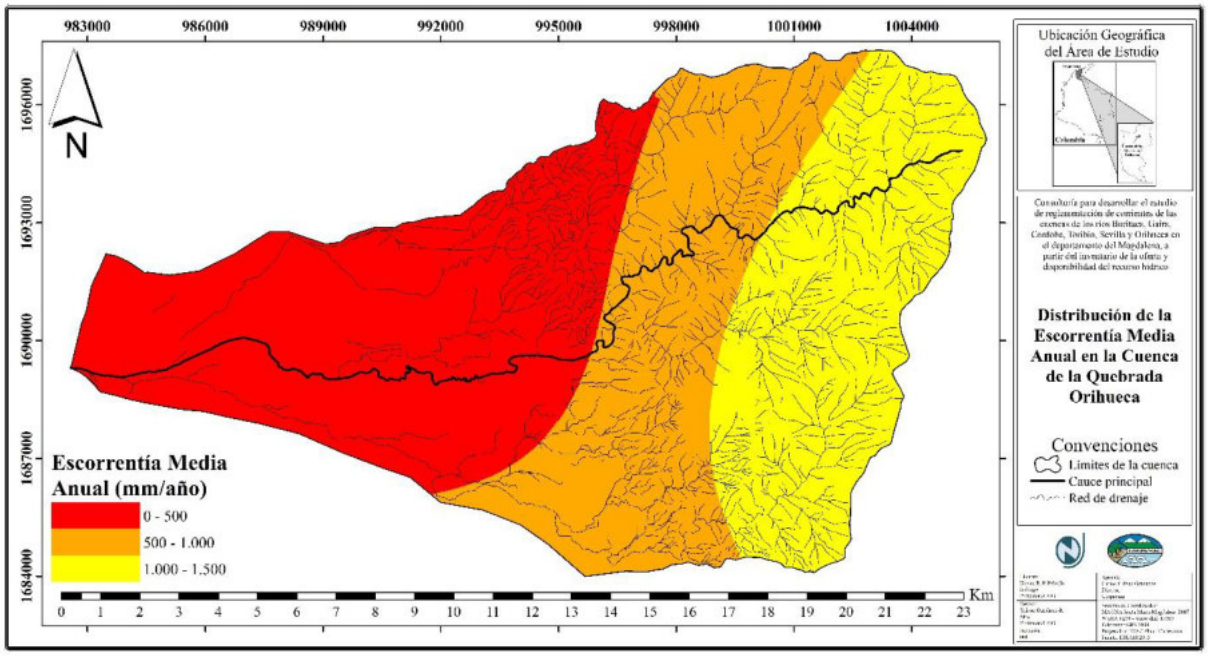


Figura 66. Escorrentía media anual para la cuenca de la quebrada Orihueca.

Los valores de precipitación en la cuenca de la quebrada Orihueca varían entre 996,5 mm/año y 2.369,9 mm/año. La evapotranspiración real se encuentra entre 682,3 mm/año y 812,7

mm/año, mientras que los valores de escorrentía fluctúan entre 280,8 mm/año y 1.484,6 mm/año.

Balance hídrico para valores promedio

El balance hídrico superficial para valores promedio es:

$$ESC = P - ET = 1.505{,}1\ mm - 754{,}2\ mm = 750{,}9\ mm$$

Según lo anterior, aproximadamente el 50% del agua precipitada en la cuenca se convierte en escorrentía directa.

OFERTA HÍDRICA SUPERFICIAL AÑO MEDIO

Para el caso de la cuenca de la quebrada Orihueca, se presenta el balance hídrico superficial por las dos metodologías mencionadas en el marco teórico, ya que se cuenta con una estación limnimétrica en la parte media de la cuenca, la cual posee registros históricos de caudales medios a nivel diario (Estación STA ROSALIA).

Oferta hídrica a partir de caudal medio

En la figura 67 se presenta la localización de la estación STA ROSALIA junto con su respectiva curva de duración de caudales a nivel mensual, además de los valores del IRH, caudal medio, caudal ambiental y caudal disponible.

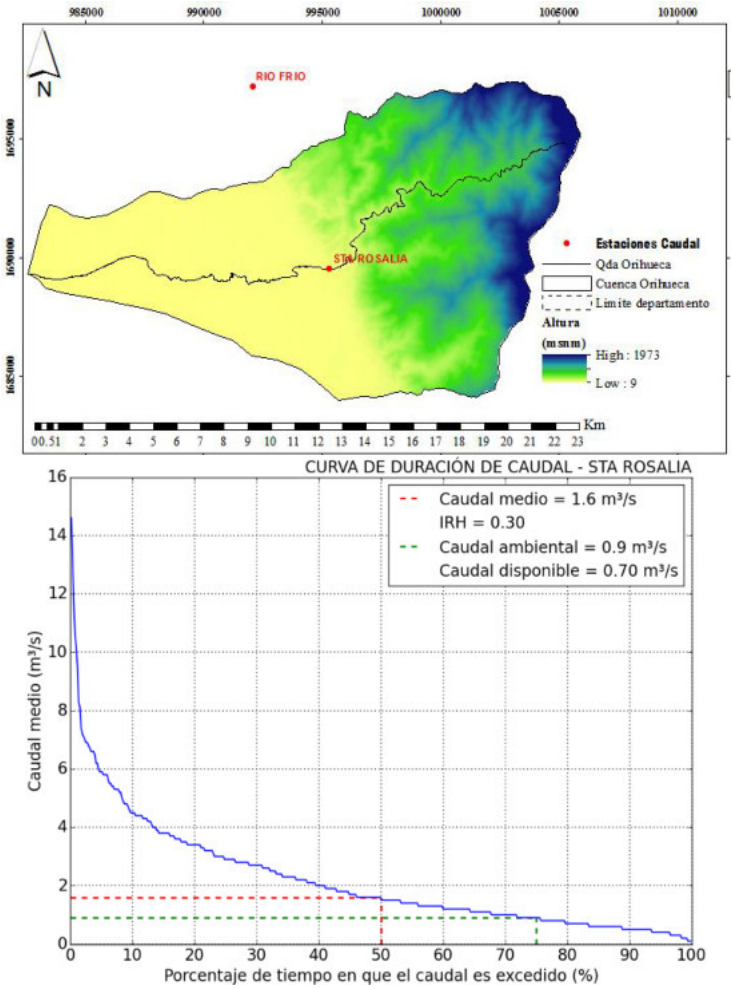


Figura 67. Localización de la estación STA ROSALIA y curva de duración de caudales a nivel mensual.

Con los valores obtenidos en la gráfica anterior se calcula la oferta hídrica superficial total y disponible para la cuenca, tal como se muestra en tabla 27.

Tabla 27. Oferta hídrica superficial para la cuenca de la quebrada Orihueca por series de caudal medio.

Área (km²)	IRH	Caudal Total (m³/s)	Caudal ambiental (m³/s)	Caudal disponible (m³/s)	Oferta total (Millones de m³)	Oferta disponible (Millones de m³)	Rendimiento hídrico total (L/s/Km²)
181,03	0,3	1,60	0,90	0,70	50,46	22,08	8,84

Según el IRH obtenido, la cuenca de la quebrada Orihueca se clasifica como de muy baja capacidad de retención de agua (tabla 28).

Tabla 28. Clasificación del IRH para la cuenca de la quebrada Orihueca.

Rango de variación del IRH	Capacidad de retención de la cuenca
Menor a 0,5	Muy baja

Oferta hídrica por balance hídrico

A partir de la ecuación de balance hídrico descrita en el marco teórico, se calculó la oferta hídrica superficial de año medio para la cuenca de la quebrada Orihueca, tal como se resume en la tabla 29.

Tabla 29. Oferta hídrica superficial para la cuenca de la quebrada Orihueca por balance hídrico.

Área (km²)	Precipitación media (mm/año)	Evapotranspiración real media (mm/año)	Escorrentía media (mm/año)	Caudal medio (m³/s)	Oferta anual (Mm³)	Rendimiento hídrico (L/s/Km²)
181,03	1.505,10	754,20	750,9	4,31	135,94	23,81

Índice de aridez (IA)

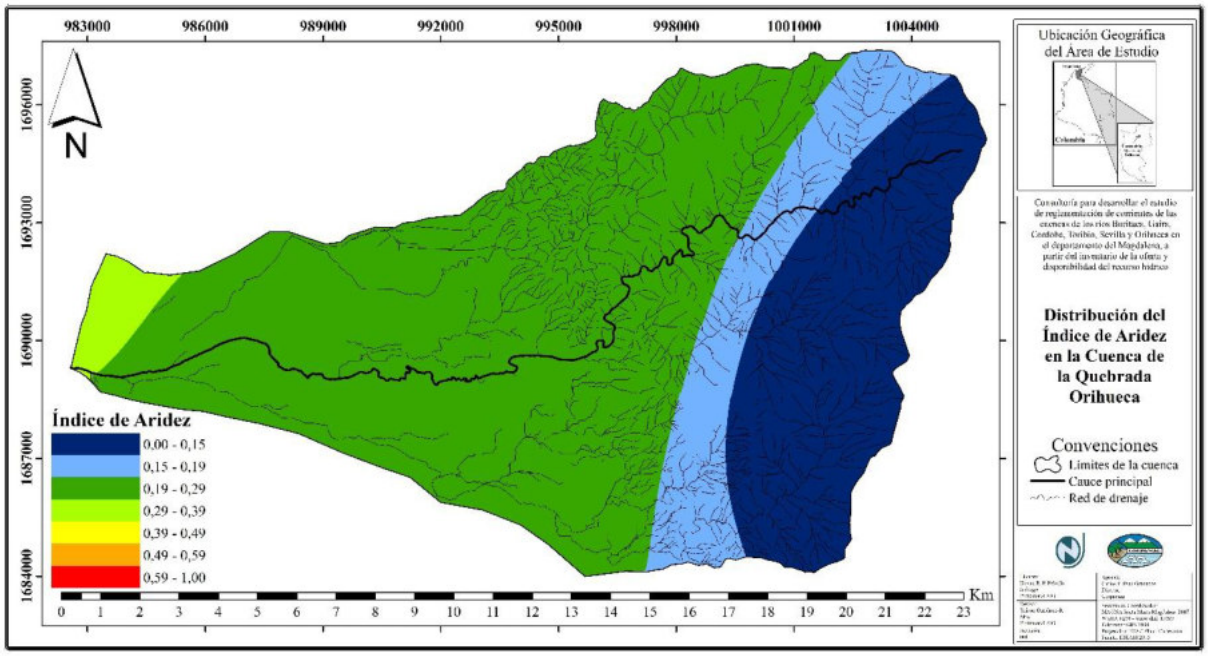


Figura 68. Índice de aridez en la cuenca de la quebrada Orihueca.

Según el mapa de la figura 68 los valores del Índice de Aridez en la cuenca de la quebrada Orihueca varían de 0,09 en la cuenca alta a 0,32 en la cuenca baja, con un valor promedio en

la cuenca de 0,21; que la clasifica como una cuenca con moderados y excedentes de agua (tabla 30).

Tabla 30. Clasificación del IA para la cuenca de la quebrada Orihueca.

Rango de variación del IA	Descripción	Color
0,20 – 0,29	Moderado y excedentes de agua	

Según lo anterior, se observa que los resultados de oferta hídrica obtenidos a partir de balance hídrico son mayores que los obtenidos por caudal medio, lo cual puede justificarse gracias a que cuando se trabaja con valores promedio de largo plazo se sobreestiman los resultados. Sin embargo se debe tener en cuenta que la estación limnimétrica STA ROSALIA está ubicada en la cuenca media, por lo tanto los resultados obtenidos por el método de caudal medio no representan a la totalidad del área de la cuenca.

Los resultados obtenidos por las dos metodologías indican rendimientos hídricos mucho más bajos que el de la región caribe que es de 56,4 L/s/km² y el nacional que es de 56 L/s/km².

Régimen hidrológico

A continuación se presenta el régimen hidrológico a nivel temporal (ciclo anual) de los caudales en la estación STA ROSALIA, para condición de año medio, húmedo y seco.

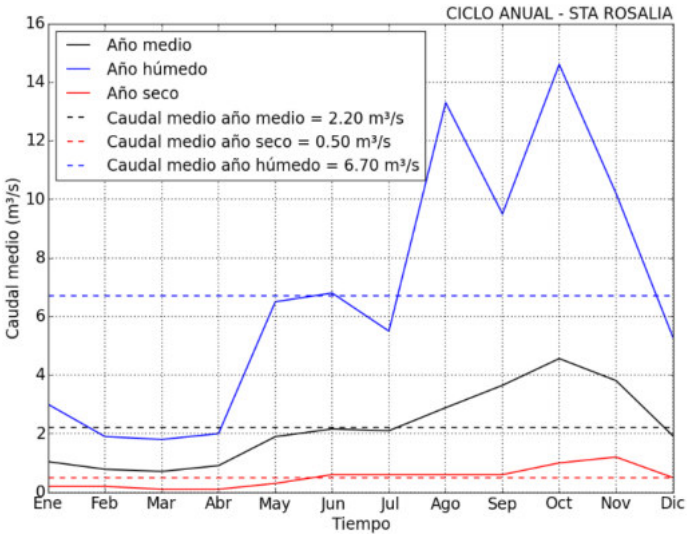


Figura 69. Régimen hidrológico en la estación STA ROSALIA.

El régimen hidrológico en la cuenca de la quebrada Orihueca exhibe un régimen monomodal con una temporada invernal en la segunda mitad del año, alcanzando valores pico en el mes

de octubre y valores mínimos en el mes de marzo. Los valores medios de caudal para condiciones medias, secas y húmedas son 2,20 m³/s; 0,50 m³/s y 6,70 m³/s respectivamente.

CUENCA DEL RÍO SEVILLA

BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL

A continuación se presenta el balance hídrico superficial de largo plazo para la cuenca del río Sevilla, tanto en su componente espacial como para los valores promedio.

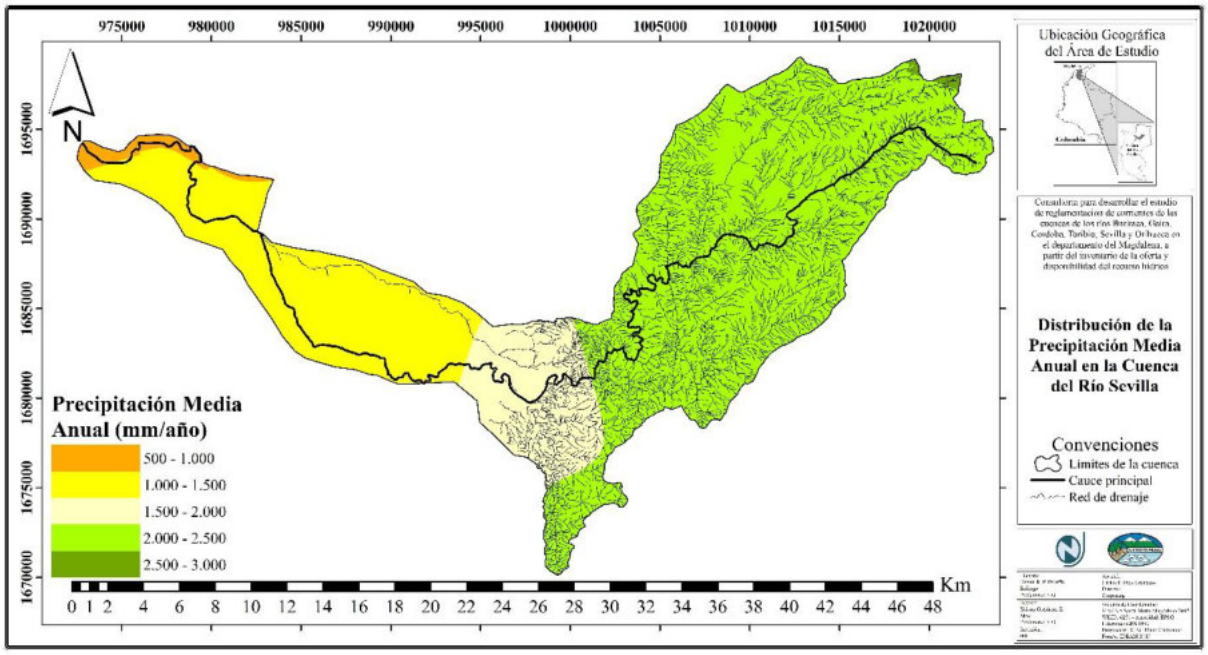


Figura 70. Valores medios de Precipitación para la cuenca del río Sevilla.

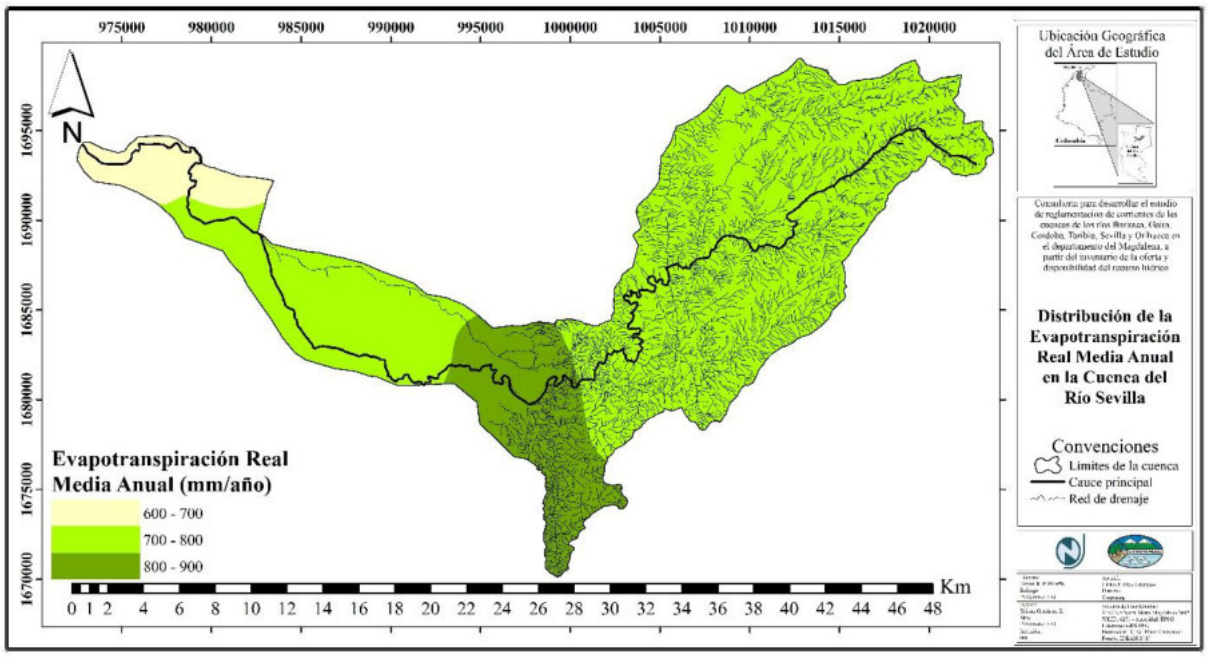


Figura 71. Valores medios de Evapotranspiración real para la cuenca del río Sevilla.

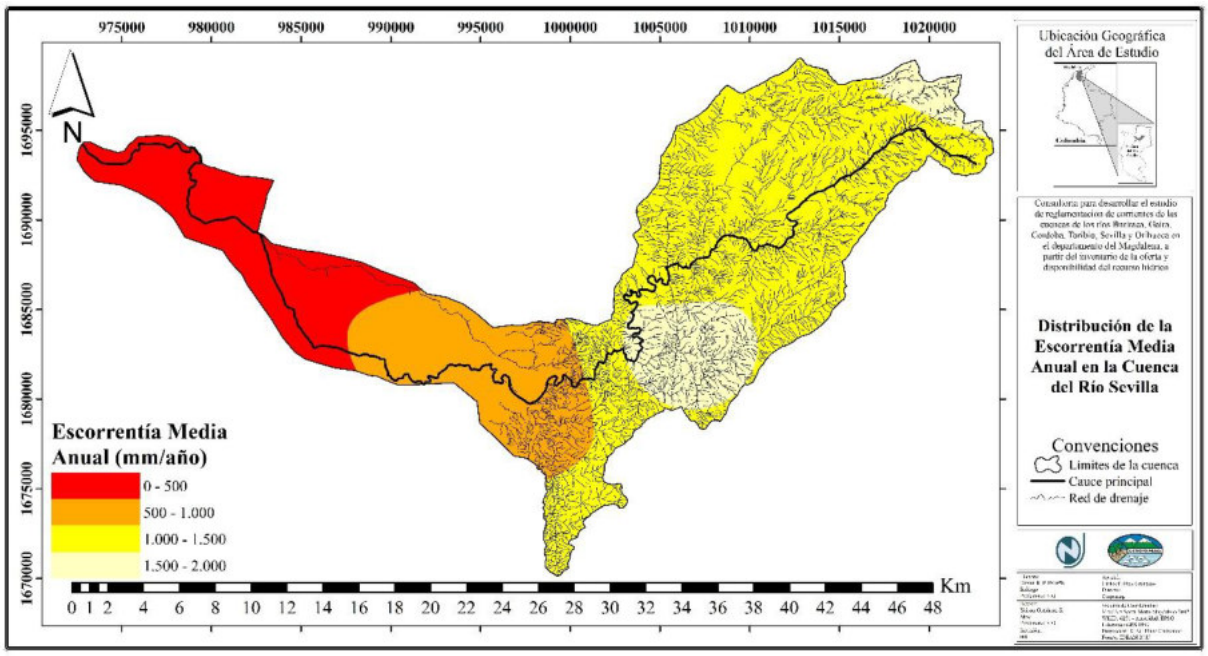


Figura 72. Escorrentía media anual para la cuenca del río Sevilla.

Los valores de precipitación en la cuenca del río Sevilla varían entre 938,1 mm/año en la cuenca baja y 2559,5 mm/año en la cuenca alta. La evapotranspiración real se encuentra entre

638,2 mm/año y 838,4 mm/año; mientras que los valores de escorrentía fluctúan entre 256,4 mm/año y 1635,9 mm/año.

Balance hídrico para valores promedio

El balance hídrico superficial para valores promedio es:

$$ESC = P - ET = 1.871{,}7\ mm - 764{,}3\ mm = 1.107{,}4\ mm$$

Según lo anterior, aproximadamente el 59% del agua precipitada en la cuenca se convierte en escorrentía directa.

OFERTA HÍDRICA SUPERFICIAL AÑO MEDIO

Para el caso de la cuenca del río Sevilla, se presenta el balance hídrico superficial por las dos metodologías mencionadas en el marco teórico, ya que se cuenta con una estación limnimétrica en la parte media de la cuenca, la cual posee registros históricos de caudales medios a nivel diario (Estación CANAL FLORIDA).

Oferta hídrica a partir de caudal medio

En la figura 73 se presenta la localización de la estación CANAL FLORIDA junto con la respectiva curva de duración de caudales a nivel mensual, además de los valores del IRH, caudal medio, caudal ambiental y caudal disponible.

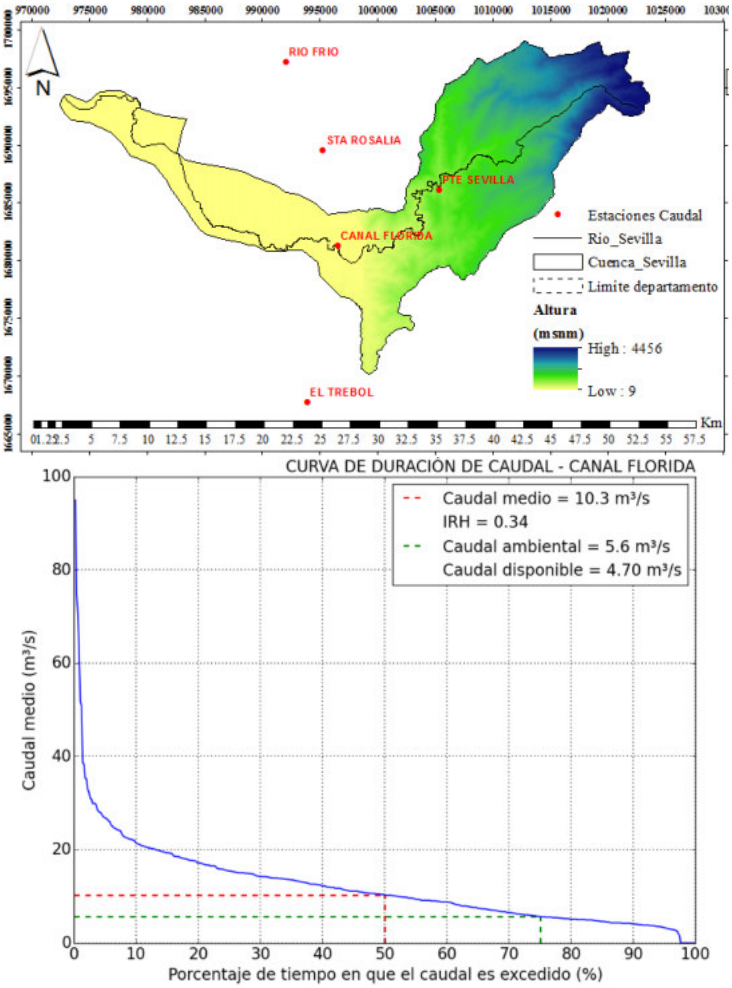


Figura 73. Localización de la estación CANAL FLORIDA y curva de duración de caudales a nivel mensual.

Con los valores obtenidos en la gráfica anterior se calcula la oferta hídrica superficial total y disponible, tal como se muestra en la tabla 31.

Tabla 31. Oferta hídrica superficial para la cuenca del río Sevilla por series de caudal medio.

Área (km²)	IRH	Caudal Total (m³/s)	Caudal ambiental (m³/s)	Caudal disponible (m³/s)	Oferta total (Millones de m³)	Oferta disponible (Millones de m³)	Rendimiento hídrico total (L/s/Km²)
415,62	0,34	10,30	5,60	4,70	324,82	148,22	24,78

Según el IRH obtenido anteriormente, la cuenca del río Sevilla se clasifica como de muy baja capacidad de retención de agua (tabla 32).

Tabla 32. Clasificación del IRH para la cuenca del río Sevilla.

Rango de variación del IRH	Capacidad de retención de la cuenca
Menor a 0,5	Muy baja

Oferta hídrica por balance hídrico

A partir de la ecuación de balance hídrico descrita anteriormente, se calculó la oferta hídrica superficial de año medio para la cuenca del río Sevilla, tal como se resume en la tabla 33.

Tabla 33. Oferta hídrica superficial para la cuenca del río Sevilla por balance hídrico.

Área (km²)	Precipitación media (mm/año)	Evapotranspiración real media (mm/año)	Escorrentía media (mm/año)	Caudal medio (m³/s)	Oferta anual (Mm³)	Rendimiento hídrico (L/s/Km²)
415,62	1.871,70	764,30	1.107,40	14,59	460,26	35,12

Índice de aridez (IA)

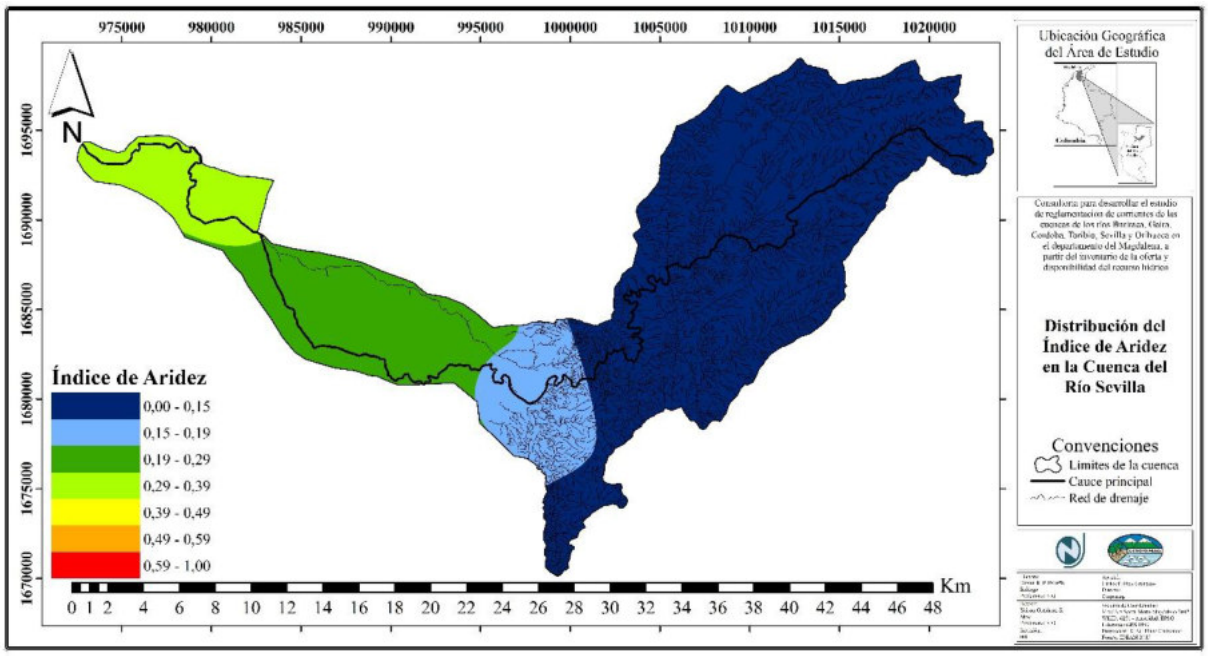


Figura 74. Índice de aridez en la cuenca del río Sevilla.

Según el mapa de la figura 74 los valores del Índice de Aridez en la cuenca del río Sevilla varían de 0,08 en la cuenca alta a 0,37 en la cuenca baja, con un valor promedio en la cuenca de 0,15; que la clasifica como una cuenca con excedentes de agua (tabla 34).

Tabla 34. Clasificación del IA para la cuenca del río Sevilla.

Rango de variación del IA	Descripción	Color
0,15 – 0,19	Excedentes de agua	

Como se dijo anteriormente, los resultados varían en función de la metodología empleada, siendo mayores con el balance hídrico de largo plazo. Así mismo, se hace la aclaración que la estación CANAL FLORIDA no se encuentra a la salida de la cuenca, por lo tanto no representa la totalidad de su área.

Los resultados obtenidos por las dos metodologías indican rendimientos hídricos menores al de la región caribe que es de 56,4 L/s/km² y al nacional que es de 56 L/s/km².

Régimen hidrológico

A continuación se presenta el régimen hidrológico temporal (ciclo anual) de los caudales en la estación CANAL FLORIDA, para condición de año medio, húmedo y seco.

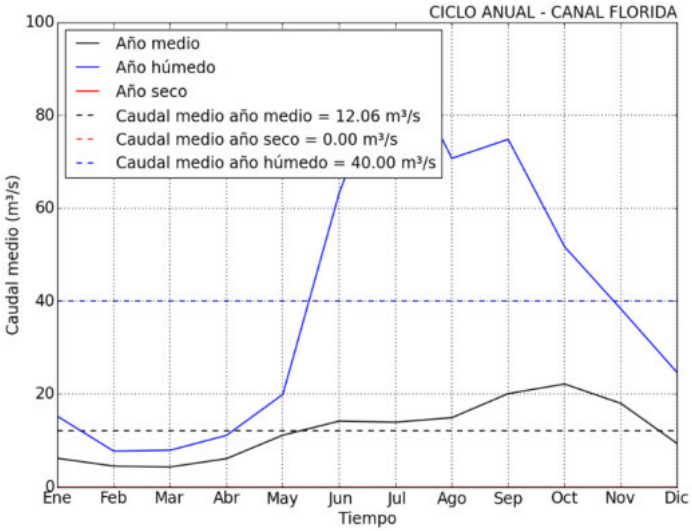


Figura 75. Régimen hidrológico en la estación CANAL FLORIDA.

El régimen hidrológico en la cuenca del río Sevilla exhibe un régimen monomodal, donde los valores máximos varían en función de la condición hidrológica, por ejemplo para año húmedo el pico se presenta en julio mientras que para año medio el pico está en octubre. Por otro lado, se observa que los valores del ciclo anual de año seco son cero, esto es debido a

que en uno o más años se presentó sequia total en el cauce. Los valores medios de caudal para condiciones medias, secas y húmedas son 12,06 m³/s, 0 m³/s y 40 m³/s respectivamente.

RESUMEN DE RESULTADOS

En la Tabla 35 se presenta el resumen de los cálculos realizados para obtener la oferta hídrica superficial en cada una de las cuencas analizadas.

Tabla 35. Resumen de la oferta hídrica superficial en las cuencas estudiadas.

Parámetro	**Cuenca**					
	Buritaca	**Gaira**	**Toribio**	**Córdoba**	**Orihueca**	**Sevilla**
IRH	-	0,20	-	-	0,30	0,34
Oferta total anual por caudal medio (Millones de m³)	-	28,38	-	-	22,08	148,22
Rendimiento hídrico total por caudal medio (L/s/Km²)	-	13,79	-	-	8,84	24,78
Oferta total anual por balance hídrico (Millones de m³)	603,78	135,80	131,23	167,64	135,94	460,26
Rendimiento hídrico total por balance hídrico (L/s/Km²)	63,27	39,60	38,59	42,74	23,81	35,12
Índice de Aridez	0,09	0,21	0,20	0,17	0,21	0,15
Régimen hidrológico	-	Monomodal	-	-	Monomodal	Monomodal

CONCLUSIONES

❖ Los resultados obtenidos para oferta hídrica y rendimiento hídrico calculados por la metodología de caudales medios, muestran valores mucho menores que aquellos calculados por la metodología de balance hídrico. Lo anterior evidencia la sobreestimación de caudales cuando se usan métodos indirectos de cálculo, ya que al no tener en cuenta las condiciones físicas de la cuenca y trabajar con valores promedio de largo plazo se omiten factores como la retención y almacenamiento superficial, infiltración y percolación de aguas a los acuíferos. Por lo tanto la manera más confiable de obtener la oferta hídrica de una cuenca es a través del monitoreo y registro de caudales a la salida de la misma.

❖ El régimen hidrológico de las cuencas obedece a un régimen monomodal, es decir que se presenta una temporada de lluvias en la segunda mitad del año, alcanzando valores pico de caudal entre agosto y octubre, mientras que la temporada cálida tiene lugar en la primera mitad del año, alcanzando caudales mínimos en el mes de marzo. Lo anterior es consecuente con el comportamiento de la Zona de Convergencia Intertropical que se mueve a lo largo del año en la región ecuatorial del planeta.

❖ Analizando los valores del Índice de regulación hídrica en las cuencas donde se pudo establecer, se aprecia que en todos los casos es menor a 0,5; lo que indica que las cuencas tienen muy baja capacidad de retener y regular el agua lluvia, es decir que gran parte del agua lluvia se convierte en escorrentía. Factores como la deforestación y el uso intensivo de las tierras para cultivos y crianza de ganado, favorecen los procesos de erosión y aumentan la escorrentía superficial directa, minimizando los procesos de almacenamiento superficial, infiltración y recarga de acuíferos.

CAPÍTULO 3: CAUDAL AMBIENTAL

INTRODUCCIÓN

Actualmente el calentamiento global, sumado a la sobreexplotación de los recursos naturales y la poca concientización de los manejos del recurso hídrico, han dado como resultado una crisis por la escasez de agua a nivel global; En los últimos años esta crisis se ha vuelto más evidente, los fenómenos naturales y las sequias han generado la necesidad de reformar o crear leyes que puedan promover una gestión adecuada del recurso hídrico (Ministerio de Relaciones Exteriores 2009).

Ante este escenario se han planteado lineamientos y metodologías hacia los caudales ambientales, como una herramienta importante dentro del contexto de la Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH), esta implementación se aprecia como una herramienta innovadora para garantizar el desarrollo sostenible mediante su establecimiento, promover la gestión y el desarrollo de las cuencas asociadas con el fin de maximizar el bienestar socio-económico de una manera equitativa, sin vulnerar los estabilidad de los ecosistemas (GWP e INBO 2009).

El término caudal ecológico o ambiental como actualmente es llamado, ha pasado históricamente por un sin número conceptos que hacen referencia a la cantidad y calidad de agua, a la biota, al ecosistema, a los bienes y servicios que las cuencas hidrográficas aportan, entre otros, todo este proceso gracias a que se ha demostrado la importancia y el impacto que tiene el caudal para los ecosistemas (Parra 2012).

El caudal ambiental es definido como la "*cantidad y calidad de los recursos hídricos necesarios para mantener el hábitat del río y su entorno en buenas condiciones, considerando las necesidades de las poblaciones humanas, animales y vegetales, así como los requerimientos físicos para mantener su estabilidad y cumplir funciones tales como el flujo de dilución, capacidad de conducción de sólidos, recarga de acuíferos, mantenimiento de las características estéticas y paisajísticas del medio y amortiguación de los extremos climatológicos e hidrológicos"* (Vélez y Ríos 2004). Después de los usos de agua en las diferentes actividades humanas hay que mantener un caudal para la naturaleza, que sirve para conservar la biodiversidad y las funciones ambientales, para poder prevenir los conflictos en donde la demanda sea mucho mayor que la oferta de agua.

Para la estimación de caudal ambiental existen diversos métodos, como los holísticos que consideran la biota y la geomorfología de las cuencas, los métodos hidráulicos que se basan en la sección transversal de los ríos, los métodos de simulación de hábitat por medio de la

cual se hacen predicciones acerca del caudal optimo necesario para acentuar poblaciones y el método hidrológico o de caudales históricos que parte de la premisa que las comunidades acentuadas en los ríos están adaptadas a estos ambientes y se encuentran sometidas a las variaciones que este pueda presentar (Jamett y Rodríguez 2013).

Para efectos del presente estudio se tiene en cuenta para la estimación del caudal ambiental el método hidrológico el cual se basa en el análisis estadístico de los regímenes de caudales históricos, dentro de estos se realizaran aplicaciones en las metodologías:

- 7Q10 propuesta por Chiang y Johnson, 1976
- Método del Índice de Regulación Hídrica (IRH) propuesta por el IDEAM.
- Porcentaje de Descuento
- Método Caudal Ecológico por reducción.
- Índices con la curva de duración de caudales.

OBJETIVOS

Obtención de caudal ecológico a través de los métodos 7Q10, IRH, Porcentaje de Descuento, Caudal Ecológico por reducción e Índices de curva de duración para las cuencas de los ríos Buritaca, Gaira, Orihueca y Sevilla.

Objetivo General

- Ofrecer información alternativa para la toma de decisiones entorno a la gestión del recurso hídrico, ofreciendo topes mínimos a los cuales las corrientes pueden llegar para garantizar su funcionamiento a lo largo del tiempo.

- Aplicación de las metodologías de Índice 7Q10, Caudales Mínimos Históricos: Curvas de Caudales, Porcentaje de Descuentos, Caudal ecológico por Reducción e IRH en registros históricos obtenidos del IDEAM.

- Calcular el caudal ecológico para cada una de las estaciones situadas en la cuenca de los ríos Buritaca, Gaira, Orihueca y Sevilla.

METODOLOGIA

El cálculo de caudal ecológico se realizó por los métodos 7Q10, Índice de Regulación Hídrica (IRH), Mínimo Histórico, Porcentaje de Descuento del 25% y porcentaje por Reducción del 25% de Calidad, utilizando datos históricos de estaciones ubicadas en las cuencas de los ríos Buritaca, Gaira, Orihueca y Sevilla obtenidos del IDEAM (Tabla 36); para el caso de los ríos Toribio y Córdoba no fue posible el cálculo de los caudales ecológicos debido a la carencia de estaciones limnimétricas o limnigráficas a lo largo de toda la cuenca.

Tabla 36. Datos de las estaciones ubicadas en las cuencas en estudio.

CÓDIGO	CUENCA	ESTACIÓN	AÑOS
15017080	Río Buritaca	Buritaca	Enero de 2005 a Diciembre del 2013
15017030	Río Gaira	Minca	Enero de 1978 a Septiembre del 2013
29067040	Río Orihueca	Sta Rosalia	Marzo de 1970 a Diciembre del 2013
29067050	Río Sevilla	Canal Florida	Agosto de 1967 a Diciembre del 2013
29067160	Rio Sevilla	Pte Sevilla	Agosto de 1982 a Diciembre del 2011

CAUDAL ECOLÓGICO MÉTODO 7Q10

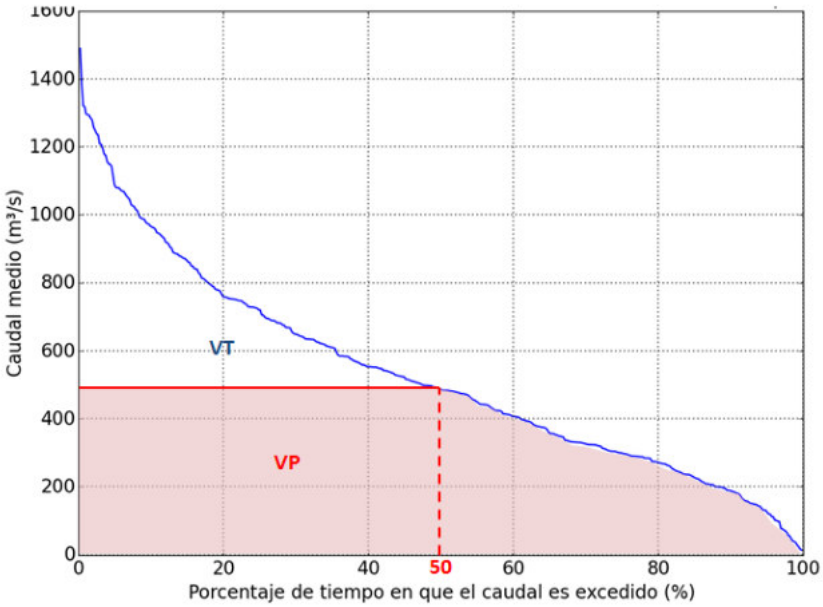
- El cálculo del índice 7Q10, fue realizado a partir de los caudales medios diarios, para lo cual fue necesaria la ejecución de análisis de homogeneidad y consistencias para la optimización de los resultados.
- Las series de caudales que resultaron consistentes y homogéneas se ordenaron por año y por meses.
- Con los datos organizados se calculó la media (promedio) móvil de 7 días para cada uno de los meses, de cada año que presentaban los registros históricos con los que se trabajó y los cuales fueron obtenidos por medio del Instituto de Hidrología, Metodología y estudios ambientales (IDEAM), con entre 35 y 50 años de registros, todo esto con el objetivo de estimar el caudal promedio semanal (MADS, ANLA.2013).
- Luego se procedió a escoger el valor mínimo de los promedios de 7 días obtenidos en la media móvil, para posteriormente con dichos resultados realizar un análisis de distribución.
- Para hallar la distribución de mejor ajuste para cada mes da cada una de las estaciones inmersas en las cuencas de los ríos Buritaca, Gaira, Orihueca y Sevilla se realizó un análisis de distribución de comparaciones alternas con la ayuda del programa estadístico Statgrafhics Centurión Versión 16.2.04 y de acuerdo a esas distribuciones extraer el caudal mínimo con retorno de 10 años para cada mes (MADS, ANLA.2013).
- Ya obtenido el resultado de la mejor distribución con esta se realizó una prueba de valores críticos para cada mes, para obtener así a una frecuencia de 0,1 el caudal ecológico mínimo con retorno de 10 años.

ÍNDICE DE REDUCCIÓN HÍDRICA (IRH)

Este índice mide la capacidad de retención de humedad de las cuencas con base en la distribución de las series de frecuencias acumuladas de los caudales diarios. Este índice se mueve en el rango entre 0 y 1, y los valores más bajos son los que se interpretan como de menor regulación. (IDEAM, 2010).

La obtención de este indicador se basó fundamentalmente en la curva de duración de caudales medios diarios para las estaciones seleccionadas. Su estimación resulta de la relación entre el volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea del caudal medio y el correspondiente al área total bajo la curva de duración de caudales diarios

$$IRH = \frac{VP}{VT}$$



Donde IRH: Índice de retención y regulación hídrica, VP: Volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea del caudal medio VT: Volumen total representado por el área bajo la curva de duración de caudales diarios.

MÍNIMO HISTÓRICO

Esta se realizó a partir de las curvas de caudales medios diarios, que propone como caudal mínimo ecológico, el caudal promedio multianual de los últimos 50 años de los registros históricos del IDEAM, en este caso se procedió a organizar los datos de las estaciones ya descritas. Luego se aplicó la ecuación de probabilidad de Weibull:

$$P = \frac{m}{n+1}$$

(Donde P es la probabilidad, n es el total de valores y m es el rango de un valor en una lista ordenada de mayor a menor (m=1 para el valor máximo)

que permite ordenar los datos por la probabilidad de ocurrencia que se presente y de esta forma realizar la curva de duración de caudales diarios y/o mensuales (CDC), representada con una curva de frecuencia acumulada que muestra el porcentaje del tiempo en que cierto caudal es igualado o excedido a un valor máximo de 97,5%.

PORCENTAJE DE DESCUENTO

Se realizó por medio de curvas que representan la variación mensual multianual de los caudales con los datos de los últimos 50 años de las estaciones. Por medio de este método se obtuvo el caudal ecológico mediante la obtención del caudal a partir del 25% del mes más crítico de una serie mensual multianual para la obtención del índice de escasez.

CAUDAL POR REDUCCIÓN

Este método establece que el caudal ecológico corresponde a un valor del 25% de los promedios mensuales multianuales obtenidos de las estaciones pertenecientes a los caudales de estudios.

RESULTADOS

CUENCA DEL RÍO BURITACA

Índice 7Q10

Para la cuenca del Rio Buritaca se muestra un resumen de las distribuciones que mejor ajuste tuvieron en la estación *Buritaca* para cada mes, dichos ajuste se realizaron con datos de caudales medios diarios desde 2005 hasta el 2013, además de los caudales ecológicos mínimos para cada mes con retorno de 10 años como se puede observar en la tabla 37.

Estación Buritaca

Tabla 37. Resumen de caudales ecológicos para el río Buritaca, por mes y las distribuciones de mejor ajuste para los valores mínimos, de las medias móviles cada 7 días con series históricas desde 2005 – 2013.

ESTACIÓN	BURITACA	
MES	DISTRIBUCIÓN DE MEJOR AJUSTE	VALOR DE CAUDAL (m^3/s) 0,1
Enero	Gaussiana Inversa	7,18734
Febrero	Gaussiana Inversa	5,84671
Marzo	Gaussiana Inversa	5,11609
Abril	Gaussiana Inversa	5,34558
Mayo	Gaussiana Inversa	8,59586
Junio	Gaussiana Inversa	12,4509
Julio	Gaussiana Inversa	12,4347
Agosto	Gaussiana Inversa	14,716
Septiembre	Gaussiana Inversa	14,5347
Octubre	Loglogística	11,466
Noviembre	Gaussiana Inversa	12,8266
Diciembre	Gaussiana Inversa	9,64611

Para la estación *Buritaca* se presentan en la tabla 38. Los valores de los registros mínimos obtenidos a partir de la media móvil cada 7 días de cada mes y de cada año. Posteriormente se presenta el análisis estadístico de la evaluación de las distribuciones y la comparación de distribuciones por cada mes y así mismo, la escogencia del caudal mínimo por 7Q10 para un periodo de retorno de 10 años.

Tabla 38. Valores mínimos de la media móvil cada 7 días, de la serie de registros diarios de caudales de la estación *Buritaca* desde 2005 hasta el 2013.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2005	25,17	23,74	8,97	9,05	25,96	28,53	28,61	24,91	27,67	28,79	32,92	14,51
2006	9,14	9,14	9,07	9,32	27,39	31,92	23,69	32,41	40,70	38,38	47,64	29,80
2007	23,09	16,61	15,68	16,04	31,44	26,99	34,27	64,80	43,30	38,54	123,33	94,18
2008	163,63	88,27	160,09	169,56	185,54	168,39	256,26	205,77	240,01	267,43	267,43	220,51
2009	208,30	206,49	192,47	167,17	163,94	153,40	200,70	248,67	220,54	11,28	13,15	7,89
2010	5,73	4,04	3,90	4,13	4,95	10,65	13,28	16,77	15,54	15,64	15,54	20,47
2011	22,67	18,29	21,41	20,75	27,12	29,51	26,70	26,75	26,05	26,38	26,75	33,61
2012	20,92	17,10	17,07	17,48	21,10	18,88	21,97	23,30	24,68	27,44	25,43	23,16
2013	15,82	14,82	14,46	15,86	19,48	22,94	19,83	22,66	21,31	22,16	24,61	18,10

Enero

La distribución que mejor ajuste presentó fue la Gaussiana Inversa, al observar la frecuencia de datos, teniendo en cuenta que el periodo de retorno es igual a 1/Frecuencia, el caudal mínimo ecológico para el mes de enero con un periodo de retorno de 10 años es igual a 7,187 m^3/s como se muestra en la tabla 39.

Tabla 39. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Enero

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Gaussiana Inversa	2	-42,9235	0,297129
Birnbaum-Saunders	2	-43,2794	0,350169
Lognormal	2	-43,5503	0,301974
Loglogística	2	-43,6055	0,252901
Weibull	2	-44,7777	0,343707
Gamma	2	-44,9518	0,374698
Exponencial	1	-45,0564	0,410245
Uniforme	2	-47,7998	0,681811
Valor Extremo Más Grande	2	-48,5342	0,420622
Laplace	2	-48,6502	0,330619
Pareto	1	-49,4232	0,410987
Logística	2	-50,8721	0,366304
Normal	2	-51,1758	0,431299
Valor Extremo Más Chico	2	-53,0766	0,425559

Área Cola Inferior (<=)	*Gaussiana Inversa*	*Normal*
0,01	3,28996	-120,467
0,1	7,18734	-41,6887
0,5	26,6471	54,9411

0,9	130,949	151,571
0,99	411,546	230,349

Febrero

La distribución que mejor se ajustó a los datos de caudales medios diarios para esta estación fue la Gaussiana Inversa, teniendo en cuenta cual fue la distribución que mejor se ajustó y observando la frecuencia de los datos y sabiendo que el periodo de retorno equivale a 1/frecuencia, se obtuvo que para esta estación en el segundo mes del año el caudal ecológico mínimo con periodo de retorno de 10 años es igual a 5,846 m^3/s, como lo muestra la tabla 40.

Tabla 40. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Febrero.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Gaussiana Inversa	2	-41,0748	0,246008
Loglogística	2	-41,4511	0,200278
Birnbaum-Saunders	2	-41,4648	0,301299
Lognormal	2	-41,5115	0,252519
Weibull	2	-42,8255	0,299397
Gamma	2	-43,0254	0,332975
Exponencial	1	-43,1143	0,362768
Valor Extremo Más Grande	2	-46,4787	0,380194
Laplace	2	-46,5596	0,334395
Pareto	1	-47,0008	0,399867
Uniforme	2	-47,7944	0,68047
Logística	2	-48,8975	0,329335
Normal	2	-49,9414	0,40042
Valor Extremo Más Chico	2	-52,5321	0,384999

Área Cola Inferior (<=)	*Gaussiana Inversa*	*Normal*
0,01	2,67925	-108,65
0,1	5,84671	-39,9679
0,5	21,6013	44,2778
0,9	105,435	128,523
0,99	329,747	197,205

Marzo

En el mes de Marzo en la estación *Buritaca*, la distribución que mejor se ajustó a los valores de los registros mínimos obtenidos a partir de la media móvil cada 7 días para este mes fue la de Gaussiana Inversa, teniendo en cuenta dicha distribución y que el periodo de retorno

equivale a 1/frecuencia, el caudal ecológico mínimo con periodo de retorno de 10 años es igual a 5,116 m^3/s, como lo muestra la tabla 41.

Tabla 41. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Marzo.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Gaussiana Inversa	2	-41,2824	0,264917
Birnbaum-Saunders	2	-41,7368	0,334858
Lognormal	2	-42,067	0,272524
Loglogística	2	-42,103	0,211068
Weibull	2	-43,3647	0,318852
Gamma	2	-43,6691	0,356524
Exponencial	1	-44,0695	0,425141
Pareto	1	-46,447	0,402176
Uniforme	2	-47,1552	0,684921
Valor Extremo Más Grande	2	-48,1984	0,411637
Laplace	2	-48,3032	0,370798
Logística	2	-50,5693	0,359038
Normal	2	-50,8429	0,426898
Valor Extremo Más Chico	2	-52,6971	0,424277

Área Cola Inferior (<=)	*Gaussiana Inversa*	*Normal*
0,01	2,28613	-119,803
0,1	5,11609	-43,8856
0,5	20,5425	49,2356
0,9	119,211	142,357
0,99	423,62	218,275

Abril

La distribución que mejor se ajustó a los valores de los registros mínimos obtenidos a partir de la media móvil cada 7 días para este mes fue la Gaussiana, teniendo en cuenta dicha distribución y que el periodo de retorno equivale a 1/frecuencia, el caudal ecológico mínimo con periodo de retorno de 10 años es igual a 5,345 m^3/s, como lo muestra la tabla 42.

Tabla 42. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Abril.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Gaussiana Inversa	2	-41,1945	0,280659
Birnbaum-Saunders	2	-41,6245	0,344718
Lognormal	2	-41,9453	0,286345
Loglogística	2	-41,9852	0,227775
Weibull	2	-43,231	0,330455
Gamma	2	-43,4949	0,365915
Exponencial	1	-43,7856	0,425075
Uniforme	2	-45,9769	0,677312
Pareto	1	-46,603	0,402094
Valor Extremo Más Grande	2	-47,7401	0,417225
Laplace	2	-47,8334	0,363638
Logística	2	-50,1009	0,36352
Normal	2	-50,3246	0,43061
Valor Extremo Más Chico	2	-52,1026	0,429673

Área Cola Inferior (<=)	*Gaussiana Inversa*	*Normal*
0,01	2,40611	-111,873
0,1	5,34558	-40,2035
0,5	20,9376	47,7067
0,9	115,099	135,617
0,99	392,653	207,286

Mayo

La distribución que mejor ajuste presentó fue la Gaussiana Inversa, para este mes el caudal ecológico mínimo con retorno de 10 años es igual a 8,595 m^3/s, como lo muestra la tabla 43.

Tabla 43. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Mayo.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Gaussiana Inversa	2	-44,2909	0,2611
Birnbaum-Saunders	2	-44,3722	0,30193
Loglogística	2	-44,3799	0,256943
Lognormal	2	-44,4195	0,286738
Weibull	2	-45,2647	0,335304
Gamma	2	-45,2776	0,355098
Exponencial	1	-45,2802	0,350019
Uniforme	2	-46,7661	0,631092
Valor Extremo Más Grande	2	-47,7313	0,397287
Laplace	2	-47,8392	0,296561
Logística	2	-49,9872	0,353304
Normal	2	-50,2161	0,421032
Pareto	1	-51,4608	0,463615
Valor Extremo Más Chico	2	-52,01	0,422041

Área Cola Inferior (<=)	*Gaussiana Inversa*	*Normal*
0,01	4,01263	-101,342
0,1	8,59586	-30,5318
0,5	30,0098	56,3244
0,9	131,788	143,181
0,99	382,498	213,991

Junio

Para el mes de Junio, la distribución que mejor ajuste presentó fue Gaussiana Inversa, el caudal ecológico mínimo con periodo de retorno de 10 años es igual a 12,450 m^3/s, como lo muestra la tabla 44.

Tabla 44. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Junio.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Gaussiana Inversa	2	-43,1834	0,332684
Birnbaum-Saunders	2	-43,4482	0,35894
Loglogística	2	-43,6025	0,265518
Lognormal	2	-43,6111	0,322068
Gamma	2	-44,8255	0,377736
Weibull	2	-44,9585	0,357976
Exponencial	1	-44,9968	0,334972
Uniforme	2	-45,5485	0,642936
Valor Extremo Más Grande	2	-46,7256	0,401609
Laplace	2	-46,9094	0,294373
Logística	2	-49,0065	0,355666
Normal	2	-49,2284	0,423245
Valor Extremo Más Chico	2	-51,0112	0,42407
Pareto	1	-52,5322	0,484925

Área Cola Inferior (<=)	*Gaussiana Inversa*	*Normal*
0,01	6,22495	-86,7011
0,1	12,4509	-23,2503
0,5	36,1622	54,5789
0,9	118,17	132,408
0,99	280,46	195,859

Julio

La distribución que mejor ajuste presentó fue Gaussiana Inversa, el caudal ecológico mínimo con periodo de retorno de 10 años es igual a 12,434 m^3/s, como lo muestra la tabla 45.

Tabla 45. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Julio.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Gaussiana Inversa	2	-44,7858	0,34321
Birnbaum-Saunders	2	-45,266	0,382571
Loglogística	2	-45,395	0,243324
Lognormal	2	-45,4857	0,32197
Weibull	2	-47,0916	0,353816
Gamma	2	-47,1679	0,384416
Exponencial	1	-47,1692	0,38842
Uniforme	2	-49,4368	0,691392
Valor Extremo Más Grande	2	-50,2017	0,415002
Laplace	2	-50,2661	0,380229
Logística	2	-52,588	0,360466
Normal	2	-52,9071	0,427751
Pareto	1	-53,5011	0,507661
Valor Extremo Más Chico	2	-54,8251	0,422637

Área Cola Inferior (<=)	*Gaussiana Inversa*	*Normal*
0,01	5,94466	-143,136
0,1	12,4347	-47,6477
0,5	40,5527	69,4789
0,9	158,444	186,606
0,99	424,261	282,094

Agosto

La distribución que mejor ajuste Presentó fue la de Gaussiana Inversa, el caudal ecológico mínimo con retorno de 10 años es igual a 14,716 m^3/s, como lo muestra la tabla 46.

Tabla 46. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Agosto.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Gaussiana Inversa	2	-45,6976	0,306919
Birnbaum-Saunders	2	-46,043	0,334037
Lognormal	2	-46,3359	0,288065
Loglogística	2	-46,4491	0,237359
Gamma	2	-47,7101	0,331696
Weibull	2	-47,7346	0,305476
Exponencial	1	-47,7371	0,312027
Uniforme	2	-49,0168	0,599224
Valor Extremo Más Grande	2	-50,185	0,356616
Laplace	2	-50,7225	0,412005
Logística	2	-52,4139	0,294269
Normal	2	-52,6285	0,347284
Valor Extremo Más Chico	2	-54,4381	0,34787
Pareto	1	-55,0673	0,525048

Área Cola Inferior (<=)	*Gaussiana Inversa*	*Normal*
0,01	7,16353	-132,129
0,1	14,716	-39,5517
0,5	45,7214	74,0044
0,9	165,318	187,561
0,99	419,99	280,138

Septiembre

Para el mes de Septiembre la distribución que mejor ajuste presentó fue la de Gaussiana Inversa, para este mes el caudal ecológico mínimo con retorno de 10 años es igual a 14,534 m^3/s, como lo muestra la tabla 47.

Tabla 47. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Septiembre.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Gaussiana Inversa	2	-45,5443	0,295457
Birnbaum-Saunders	2	-45,9245	0,331498
Lognormal	2	-46,162	0,278972
Loglogística	2	-46,1697	0,201786
Gamma	2	-47,631	0,346078
Weibull	2	-47,6458	0,32233
Exponencial	1	-47,6524	0,331754
Uniforme	2	-48,7237	0,654109
Valor Extremo Más Grande	2	-50,1812	0,374952
Laplace	2	-50,5849	0,393747
Logística	2	-52,5021	0,335965
Normal	2	-52,7235	0,409018
Valor Extremo Más Chico	2	-54,5068	0,414135
Pareto	1	-54,8864	0,516875

Área Cola Inferior (<=)	*Gaussiana Inversa*	*Normal*
0,01	7,07144	-135,012
0,1	14,5347	-41,4509
0,5	45,2219	73,3111
0,9	163,872	188,073
0,99	416,934	281,634

Octubre

En el mes de Octubre en la estación *Buritaca,* la distribución que mejor se ajustó a los valores de los registros mínimos obtenidos a partir de la media móvil cada 7 días para este mes fue la Loglogística, teniendo en cuenta dicha distribución y que el periodo de retorno equivale a 1/frecuencia, el caudal ecológico mínimo con periodo de retorno de 10 años es igual a 11,466 m^3/s, como lo muestra la tabla 48.

Tabla 48. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Octubre.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Loglogística	2	-41,5656	0,199053
Gaussiana Inversa	2	-42,1217	0,339732
Lognormal	2	-42,357	0,302161
Birnbaum-Saunders	2	-42,7502	0,37597
Weibull	2	-44,6767	0,352531
Gamma	2	-44,6827	0,385159
Exponencial	1	-44,7145	0,371456
Laplace	2	-46,7275	0,306749
Valor Extremo Más Grande	2	-47,0083	0,394416
Logística	2	-49,78	0,342482
Uniforme	2	-49,9119	0,782467
Pareto	1	-51,2649	0,503966
Normal	2	-51,8162	0,459249
Valor Extremo Más Chico	2	-54,8196	0,45491

Área Cola Inferior (<=)	*Loglogística*	*Normal*
0,01	4,3461	-135,452
0,1	11,466	-50,8636
0,5	27,8911	52,8933
0,9	67,8452	156,65
0,99	178,991	241,239

Noviembre

Para el mes de Noviembre la distribución que mejor ajuste arrojó fue la de Gaussiana Inversa, el caudal ecológico mínimo con retorno de 10 años es igual a 12,826 m^3/s, como lo muestra la tabla 49.

Tabla 49. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Noviembre.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Gaussiana Inversa	2	-44,3898	0,24383
Birnbaum-Saunders	2	-44,7793	0,275422
Loglogística	2	-44,8547	0,175655
Lognormal	2	-44,884	0,228028
Gamma	2	-46,4134	0,283675
Weibull	2	-46,4348	0,254335
Exponencial	1	-46,4424	0,264968
Valor Extremo Más Grande	2	-48,7858	0,314164
Laplace	2	-49,2182	0,366073
Uniforme	2	-49,8459	0,64214
Logística	2	-51,126	0,288798
Normal	2	-52,0714	0,356057
Pareto	1	-53,4477	0,506778
Valor Extremo Más Chico	2	-54,6024	0,357225

Área Cola Inferior (<=)	*Gaussiana Inversa*	*Normal*
0,01	6,25108	-129,674
0,1	12,8266	-42,6522
0,5	39,7296	64,0889
0,9	142,974	170,83
0,99	362,064	257,852

Diciembre

La distribución que mejor ajuste arrojó fue la de Gaussiana Inversa, para este mes el caudal ecológico mínimo con retorno de 10 años es igual a 9,646 m^3/s, como lo muestra la tabla 50.

Tabla 50. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Diciembre.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Gaussiana Inversa	2	-42,5474	0,243206
Loglogística	2	-42,9013	0,172093
Birnbaum-Saunders	2	-42,9131	0,281688
Lognormal	2	-42,9637	0,234408
Weibull	2	-44,4307	0,282864
Gamma	2	-44,4355	0,307904
Exponencial	1	-44,4495	0,297524
Valor Extremo Más Grande	2	-46,862	0,338308
Laplace	2	-47,2971	0,324165
Uniforme	2	-48,2356	0,656811
Logística	2	-49,2208	0,30062
Normal	2	-50,2868	0,380284
Pareto	1	-50,6764	0,454784
Valor Extremo Más Chico	2	-52,8922	0,371553

Área Cola Inferior (<=)	*Gaussiana Inversa*	*Normal*
0,01	4,6487	-107,551
0,1	9,64611	-36,1821
0,5	30,7782	51,3589
0,9	116,062	138,9
0,99	303,364	210,268

El caudal ambiental (7Q10) promedio para la estación Buritaca en la Cuenca del río Buritaca es de 10,01 m^3/s; con un comportamiento a lo largo del año en dos fases, una que va de enero a abril en el cual tiende a bajar de 7,187 m^3/s a 5,345 m^3/s y otro que se presenta de mayo a diciembre en el que predominan grandes variaciones en las que el caudal se mueve entre los 8,595 m^3/s y los 14,716 m^3/s (Figura 76)

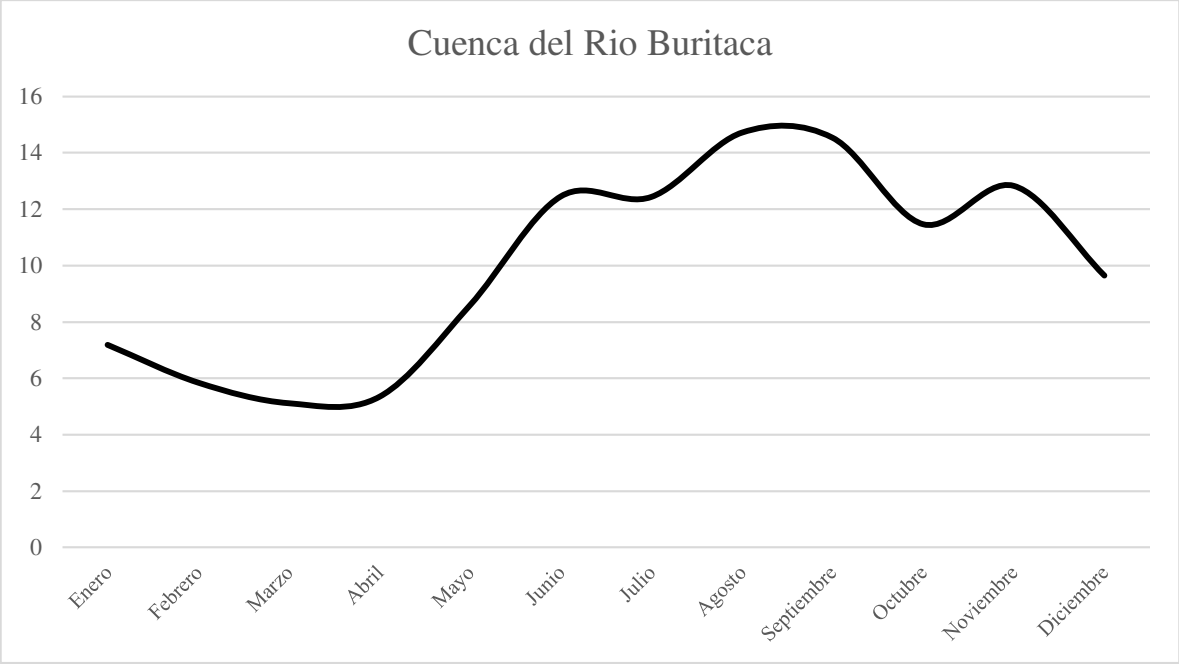


Figura 76. Variación del caudal en la estación Buritaca de la cuenca del rio Buritaca.

Índice de Regulación Hídrica (IRH)

La corrida de secuencias de computo del IRH la estación BURITACA no cuenta con suficientes datos que apoyen la aplicación de éste índice, por lo cual no fue calculado y la toma de decisiones al respecto de su caudal ecológico debe basarse en la utilización de los índices restantes que implican menor rigurosidad para éste efecto y ofrecen otro acercamiento al respecto de ésta temática.

Mínimo Histórico

El caudal ecológico para la cuenca der río Buritaca en la estación Buritaca, conforme al caudal mínimo histórico que permanece el 97,5% del periodo comprendido entre 1974 hasta el 2013 es de 5,5 m^3/s.

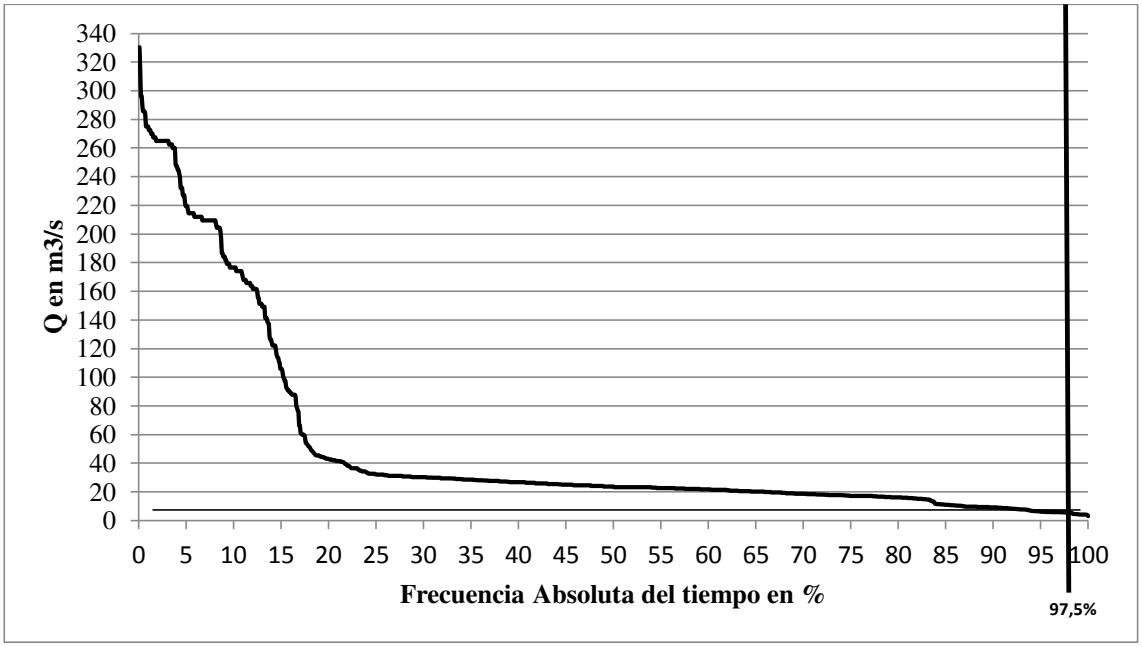


Figura 77. Curva de duración de caudales diarios multianuales, con series históricas desde 2005 hasta 2013 de la cuenca del río Buritaca, en la estación Buritaca.

Caudal por Porcentaje de Descuento

El promedio multianual más bajo de caudal en la estación Buritaca Ubicada en la cuenca del río Buritaca es de 17,53 m^3/s, lo cual significa que al obtener la reducción del 25% de este caudal arrojó un valor de 4,38 m^3/s como caudal ecológico.

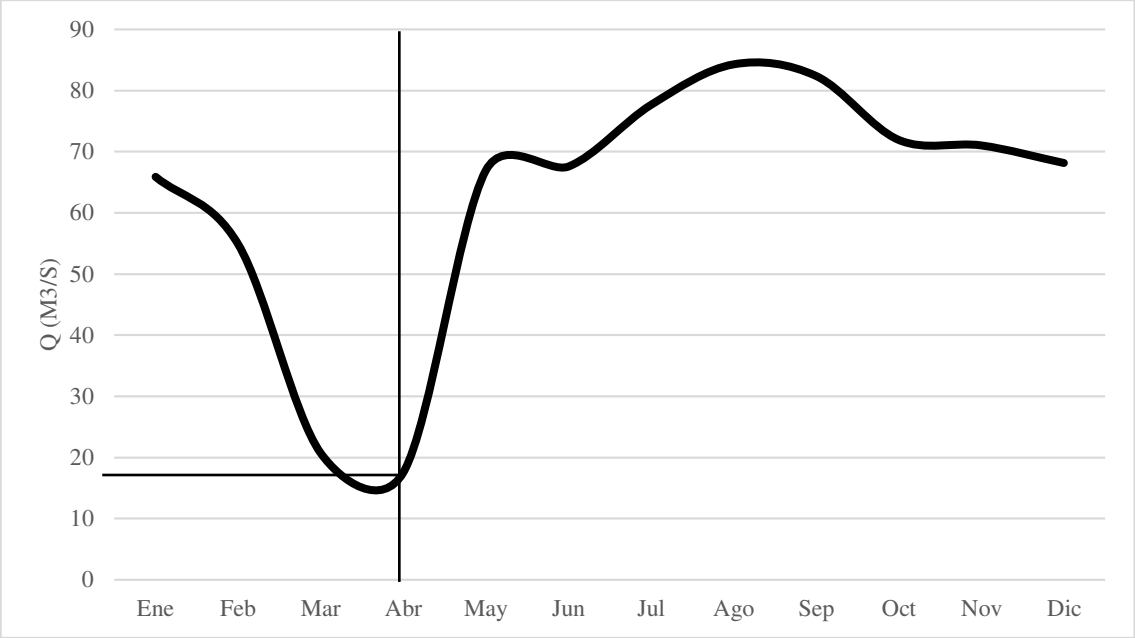


Figura 78. Variación mensual multianual del caudal medio de la cuenca del río Buritaca en la estación Buritaca con series históricas desde 2005 a 2013.

Caudal por Reducción al 25% (calidad)

En la estación Buritaca el promedio de caudal mensual multianual es de 62,42 m^3/s, lo que corresponde a que el 25% de reducción de este caudal es de 15,60 m^3/s como caudal ecológico por reducción de calidad de agua para esta estación.

Comparación de los métodos de estimación de Caudales Ecológicos.

Factor de Reducción del 25% para la cuenca del río Buritaca, en la estación Buritaca.

Tabla 51. Caudales medio mensuales multianuales con series históricas desde 2005 a 2013 de la cuenca Buritaca, en la estación Buritaca.

Q (m^3/s)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Prom
Medio	65,91	54,88	20,70	17,54	66,97	67,59	77,67	84,31	82,40	71,95	71,05	68,17	62,42

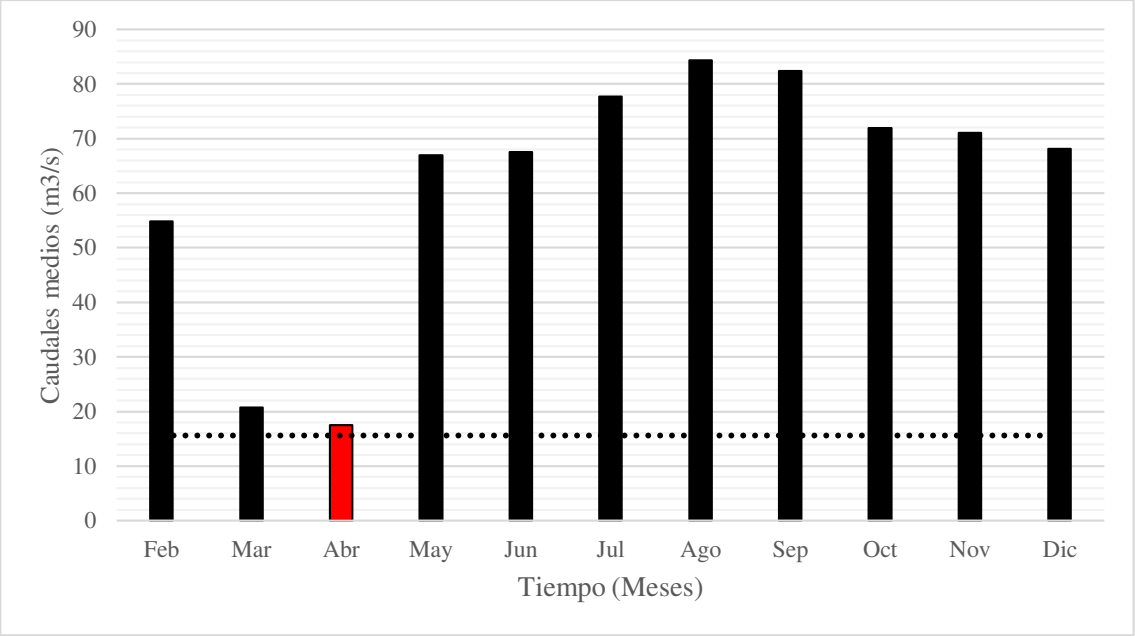


Figura 79. Caudales medio mensuales multianuales con series históricas desde 2005 a 2013 de la cuenca del río Buritaca, en la estación Buritaca.

En la tabla 51 y la figura 79 se observan los caudales medio mensuales multianuales de la estación Buritaca. Se observa que el mes de Febrero presenta los niveles más bajo de caudal con un valor de 17,54 m^3/s; el caudal promedio para esta estación es de 62,42 m^3/s; en la tabla 52 se puede ver detalladamente estos valores y la simplificación de los dos métodos de reducción de caudales por calidad y descuento, donde el caudal por estos métodos es de 19,98 m^3/s. (Tabla 53).

Tabla 52. Factores de reducción aplicada a la cuenca del río Buritaca, en la estación Buritaca.

Caudales (Q m^3/s)	**Valor (m^3/s)**
Caudal medio mensual multianual	62,42
Caudal medio mensual multianual más bajo	17,54
Caudal Ambiental, reducción del 25%	Caudal medio mensual multianual * 25% =15,60
Caudal de reducción del 25%	Caudal medio mensual multianual más bajo * 25%= 4,38
Caudal Ambiental por Reducción + Caudal por Descuento	19,98

Comparación de los métodos de estimación de Caudales Ecológicos.

Como resultado de los cálculos de la curva de caudales al $Q_{97,5\%}$ y los factores de reducción del 25% del caudal ambiental y caudal de calidad, se obtiene los caudales ambientales de la cuenca del río Buritaca en la estación Buritaca.

Tabla 53. Caudal Ambiental estimado en la estación Buritaca.

INDICE	**CAUDAL (m^3/s)**
7Q10	10,01
IRH	
$Q_{97,5\%}$ de la curva de duración de caudales	5,5
Factores de Reducción del 25% de calidad y 25% caudal ambiental.	19,98

Como resultado de los valores obtenido, se puede observar que el índice que registra el dato más elevado es el Factor de Reducción del 25% de calidad y 25% caudal ambiental. Siendo de 19,98 m3/s para la estación Buritaca mientras que el método de Curvas de Duración de Caudales al $Q_{97,5}$%, presentó el valor más bajo con 5,5 m^3/s. (Tabla 53)

Con estos resultados se infiere que el método más propicio para medición de caudal ecológico en la estación Buritaca, ubicado en la cuenca del río Buritaca es el Factor de Reducción del 25% de calidad y 25% caudal ambiental,

CUENCA DEL RIO GAIRA

Índice 7Q10

Para la cuenca del rio Gaira se muestra un resumen de las distribuciones que mejor ajuste tuvieron en la estación rio Minca para cada mes, dichos ajuste se realizaron con datos de caudales medios diarios desde 1978 hasta el 2013, además de los caudales ecológicos mínimos para cada mes con retorno de 10 años como se puede observar en la tabla 54.

Estación Minca

Tabla 54. Resumen de caudales ecológicos para el río Gaira, por mes y las distribuciones de mejor ajuste para los valores mínimos, de las medias móviles cada 7 días con series históricas desde 1978 – 2013.

ESTACIÓN	**MINCA**	
MES	**DISTRIBUCIÓN DE MEJOR AJUSTE**	**VALOR DE CAUDAL (m^3/s) 0,1**
Enero	Loglogística	0,30968
Febrero	Loglogística	0,233205
Marzo	Gaussiana Inversa	0,193316
Abril	Loglogística	0,197265
Mayo	Loglogística	0,216973
Junio	Loglogística	0,364191
Julio	Birnbaum-Saunders	0,387458
Agosto	Gaussiana Inversa	0,444827
Septiembre	Gamma	0,722256
Octubre	Birnbaum-Saunders	1,08265
Noviembre	Valor Extremo Más Grande	0,789732
Diciembre	Lognormal	0,396893

Para la estación *Minca* se presentan en la tabla 55. Los valores de los registros mínimos obtenidos a partir de la media móvil cada 7 días de cada mes y de cada año.

Tabla 55. Valores mínimos de la media móvil cada 7 días, de la serie de registros diarios de caudales de la estación *Minca* desde 1978 hasta el 2013.

Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1978	0,40	0,40	0,17	0,34	0,31	0,50	1,51	1,60	2,06	1,86	2,28	0,72
1979	0,50	0,49	0,43	0,43	0,73	1,50	1,25	1,79	3,39	3,87	2,29	1,07
1980	0,72	0,43	0,43	0,43	0,43	0,50	0,44	0,71	1,00	1,61	1,12	0,50
1981	0,45	0,17	0,17	0,33	4,54	4,29	2,74	0,89				
1982			0,17	0,20	0,62	0,72	0,39	0,43	0,74	3,16	0,93	0,50
1983	0,44	0,15	0,16	0,19	0,48	0,48	0,83	1,01	3,15	2,63	0,21	0,15
1984	0,14	0,30	0,30	0,30	0,31	0,56	0,72	0,50	2,22	4,06	4,58	3,17
1985	2,41	2,07	1,35	1,22	1,35	1,35	1,54	3,23	5,19	4,27	3,46	3,19
1986	0,82	0,49	0,35	0,35	0,35	0,69	0,37	0,69	0,46	5,13	0,80	0,46
1987	0,20	0,20	0,20	0,21	1,33	0,65	0,72	7,42	4,85	6,74	1,55	0,45
1988					0,20	0,27	1,59	5,50	2,01	7,05	1,71	0,63
1989	0,43	0,62	0,63	0,53	0,52	0,43	0,53	0,89	2,14	0,83	1,84	1,20
1990	0,63	0,53	0,46	0,13	0,50	1,03	0,76	0,55	0,91	2,79	1,39	1,36
1991	0,62	0,59	0,48	0,42	0,38	0,45	0,31	0,37	0,63	0,94	0,96	0,54
1992	0,42	0,31	0,31	0,31	0,65	0,63	1,36	0,54	1,04	2,20	1,32	0,70
1993	0,62	0,47	0,38	0,38	0,94	0,69	0,58	0,54	3,38	1,29	1,34	0,70
1994	0,53	0,40	0,38	0,38	0,39	0,31	0,24	0,49	0,47	1,10	1,08	0,48
1995	0,48	0,31	0,31	0,24	0,20	0,58	1,07	5,15	2,25	3,47	1,57	1,00
1996	0,60	0,48	0,36	0,26	1,22	0,60	2,44	1,66	1,80	2,76	3,08	2,13
1997	1,19	0,93	0,48	0,48	0,36	0,78	0,63	0,49	0,69	0,90	0,67	0,48
1998	0,36	0,28	0,28	0,23	0,27	0,79	1,59	1,92	2,92	5,74	1,41	1,34
1999	0,48	0,36	0,28	0,29	0,28	0,37	1,43	3,19	2,95	4,19	3,78	2,66
2000	1,34	1,00	0,60	0,36	0,29	0,74	0,60	1,91	1,73	2,25	1,90	1,07
2001	0,60	0,36	0,35	0,26	0,27	0,48	0,54	0,80	1,33	1,01	2,78	1,60
2002	0,59	0,35	0,24	0,38	0,23	0,50	0,41	0,40	1,73	1,68	0,93	0,46
2003	0,28	0,18	0,18	0,18								
2004	0,37	0,32	0,21	0,27	0,46	0,65	0,78	1,16	2,00	2,27	2,62	1,11
2005	0,84	0,54	0,38	0,37	0,42	0,89	0,76	0,67	1,01	1,31	3,03	1,09
2006	0,64	0,48	0,41	0,37	0,73	1,43	0,74	0,79	1,59	1,65	1,55	0,98
2007	0,57	0,44	0,36	0,40	0,51	0,69	0,49	2,92	2,21	3,62	1,96	1,44
2008	0,75	0,55	0,43	0,38	0,49	0,53	1,90	1,75	1,88	2,70	2,51	1,26
2009	0,70	0,59	0,49	0,32	0,53	0,85	0,70	0,95	0,72	0,97	0,87	0,57
2010	0,41	0,32	0,32	0,29	0,28		1,84	2,14	2,50	1,95	2,62	2,23
2011	1,18	0,82	0,69	0,61	0,78	1,20	1,91	1,73	1,83	2,21	2,01	2,05
2012	1,10	0,78	0,78	1,83	2,36	1,86	1,75	2,57	1,55	3,00	1,76	1,33

Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2013	0,86	0,65	0,72	0,59	0,64	0,67	0,65	0,94	1,49			

A continuación se presenta el análisis estadístico de la evaluación de las distribuciones y la comparación de distribuciones por cada mes y así mismo, la escogencia del caudal mínimo por 7Q10 para un periodo de retorno de 10 años para la estación de *Minca* situada en la cuenca de Rio Gaira.

Enero

La distribución que mejor se ajustó a los valores de los registros mínimos obtenidos a partir de la media móvil cada 7 días para este mes fue la de Loglogística, teniendo en cuenta dicha distribución y que el periodo de retorno equivale a 1/frecuencia, el caudal ecológico mínimo con periodo de retorno de 10 años es igual a 0,309 m^3/s, como lo muestra la tabla 56.

Tabla 56. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Enero.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Loglogística	2	-6,97447	0,0833576
Lognormal	2	-8,03219	0,101347
Gaussiana Inversa	2	-8,52455	0,108485
Valor Extremo Más Grande	2	-8,54464	0,123312
Birnbaum-Saunders	2	-8,55343	0,107597
Gamma	2	-9,17802	0,136237
Laplace	2	-10,6914	0,107917
Weibull	2	-11,837	0,150185
Logística	2	-12,8068	0,12972
Normal	2	-17,7354	0,201481
Exponencial	1	-20,2359	0,328816
Uniforme	2	-27,9153	0,536159
Valor Extremo Más Chico	2	-31,2568	0,25418
Pareto	1	-3,6E10	4,98385

Área Cola Inferior (<=)	*Loglogística*	*Normal*
0,01	0,157218	-0,295329
0,1	0,30968	0,136908
0,5	0,576349	0,667092
0,9	1,07265	1,19728
0,99	2,11286	1,62951

Febrero

Para el mes de Febrero la distribución de mejor se ajustó a los datos de caudales fue Loglogística, teniendo en cuenta el mejor ajuste para este mes el caudal ecológico mínimo con un periodo de retorno de 10 años es de 0,233 m^3/s (tabla 57).

Tabla 57. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Febrero.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Loglogística	2	2,27318	0,0644635
Lognormal	2	1,60477	0,089912
Gaussiana Inversa	2	1,3681	0,095218
Birnbaum-Saunders	2	1,1923	0,0986694
Valor Extremo Más Grande	2	0,0874454	0,093889
Gamma	2	-0,564781	0,116006
Laplace	2	-2,78147	0,109108
Weibull	2	-3,76787	0,150382
Logística	2	-4,5553	0,1054
Exponencial	1	-11,1192	0,304717
Normal	2	-11,3153	0,199731
Uniforme	2	-22,1791	0,594608
Valor Extremo Más Chico	2	-26,5766	0,302012
Pareto	1	-3,6E10	2,4225

Área Cola Inferior (<=)	*Loglogística*	*Normal*
0,01	0,117536	-0,286624
0,1	0,233205	0,0712382
0,5	0,43692	0,510194
0,9	0,818592	0,949149
0,99	1,62418	1,30701

Marzo

En el mes de marzo para la estación Minca, la distribución que mejor se ajustó a los datos de los registros mínimos obtenidos a partir de la media móvil cada 7 días fue la Gaussiana Inversa, el caudal ecológico mínimo con retorno de 10 años para este mes en dicha estación es de 0,193 m^3/s (tabla 58).

Tabla 58. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Marzo.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Gaussiana Inversa	2	11,5956	0,0938004
Lognormal	2	11,5614	0,0901701
Birnbaum-Saunders	2	11,4968	0,0966642
Loglogística	2	11,4341	0,0832086
Valor Extremo Más Grande	2	10,4991	0,0865679
Gamma	2	10,0165	0,114621
Laplace	2	7,66295	0,123795
Weibull	2	7,06026	0,150287
Logística	2	6,31103	0,116076
Normal	2	2,31286	0,183807
Exponencial	1	-3,4875	0,318277
Uniforme	2	-6,21419	0,547232
Valor Extremo Más Chico	2	-10,7664	0,27539
Pareto	1	-3,6E10	1,34086

Área Cola Inferior (<=)	*Gaussiana Inversa*	*Normal*
0,01	0,121535	-0,12807
0,1	0,193316	0,111979
0,5	0,359709	0,406424
0,9	0,678809	0,70087
0,99	1,10816	0,940919

Abril

En el mes de Abril, la distribución que mejor se ajustó a los valores de los registros mínimos obtenidos a partir de la media móvil cada 7 días para este mes fue la de Loglogística, teniendo en cuenta dicha distribución y que el periodo de retorno equivale a 1/frecuencia, el caudal ecológico mínimo con periodo de retorno de 10 años es igual a 0,109 m^3/s, como lo muestra la tabla 59.

Tabla 59. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Abril.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Loglogística	2	14,4536	0,104029
Lognormal	2	11,9653	0,170031
Gaussiana Inversa	2	11,442	0,18915
Birnbaum-Saunders	2	10,9587	0,194637
Valor Extremo Más Grande	2	9,27076	0,173682
Laplace	2	7,32143	0,131457
Gamma	2	7,21537	0,218805
Weibull	2	2,67347	0,235656
Logística	2	2,48716	0,161283
Exponencial	1	-3,60319	0,328309
Normal	2	-8,12531	0,299948
Uniforme	2	-18,6425	0,660066
Valor Extremo Más Chico	2	-24,5832	0,330545
Pareto	1	-3,6E10	1,78565

Área Cola Inferior (<=)	*Loglogística*	*Normal*
0,01	0,109295	-0,312449
0,1	0,197265	0,0110116
0,5	0,338874	0,40777
0,9	0,582139	0,804529
0,99	1,05069	1,12799

Mayo

La distribución que mayor ajusté presentó fue la de Loglogística, el caudal ambiental es de 0,216 m^3/s, como se aprecia en la tabla 60 de la prueba de Loglogística para los datos de caudal del mes de Mayo. Con una frecuencia de 0,1.

Tabla 60. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Mayo.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Loglogística	2	-11,614	0,0889388
Gaussiana Inversa	2	-12,7312	0,163213
Lognormal	2	-12,7558	0,141401
Birnbaum-Saunders	2	-13,8544	0,179364
Gamma	2	-19,1181	0,195667
Weibull	2	-21,2208	0,183976
Valor Extremo Más Grande	2	-21,6196	0,202658
Exponencial	1	-22,2805	0,245336
Laplace	2	-24,577	0,23248
Logística	2	-30,1743	0,225605
Normal	2	-41,0885	0,28609
Uniforme	2	-51,3871	0,693988
Valor Extremo Más Chico	2	-58,4207	0,381446
Pareto	1	-3,6E10	9,82316

Área Cola Inferior (<=)	*Loglogística*	*Normal*
0,01	0,0912276	-1,15178
0,1	0,216973	-0,322231
0,5	0,479951	0,695298
0,9	1,06166	1,71283
0,99	2,52503	2,54238

Junio

La distribución que mayor ajusté presentó fue la de Loglogística, el caudal Ecológico es de 0,364 m^3/s, como se aprecia en la tabla 61 de la prueba de Loglogística para los datos de caudal del mes de Junio. Con una frecuencia de 0,1.

Tabla 61. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Junio.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Loglogística	2	-13,3593	0,0942294
Lognormal	2	-14,9383	0,153684
Gaussiana Inversa	2	-15,3012	0,171733
Birnbaum-Saunders	2	-15,8603	0,179345
Valor Extremo Más Grande	2	-18,789	0,176837
Gamma	2	-19,7299	0,202276
Laplace	2	-21,2799	0,168803
Weibull	2	-23,5511	0,200204
Logística	2	-26,0001	0,167512
Exponencial	1	-28,1681	0,311545
Normal	2	-35,9134	0,266425
Uniforme	2	-47,3157	0,638523
Valor Extremo Más Chico	2	-52,9548	0,351602
Pareto	1	-3,6E10	64,9339

Área Cola Inferior (<=)	*Loglogística*	*Normal*
0,01	0,186914	-0,800328
0,1	0,364191	-0,0625651
0,5	0,671078	0,842378
0,9	1,23657	1,74732
0,99	2,40938	2,48508

Julio

En este mes, la distribución que mejor se ajustó a los valores de los registros mínimos obtenidos a partir de la media móvil cada 7 días para este mes fue Birnbaum-Saunders, teniendo en cuenta dicha distribución y que el periodo de retorno equivale a 1/frecuencia, el caudal ecológico mínimo con periodo de retorno de 10 años es igual a 0,387 m^3/s, como lo muestra la tabla 62.

Tabla 62. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Julio.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Birnbaum-Saunders	2	-26,8366	0,128427
Gaussiana Inversa	2	-26,8949	0,121107
Lognormal	2	-27,3024	0,128994
Gamma	2	-27,91	0,167302
Loglogística	2	-28,5859	0,126146
Weibull	2	-28,8334	0,179613
Valor Extremo Más Grande	2	-29,1814	0,17518
Uniforme	2	-32,0702	0,364571
Normal	2	-33,49	0,224403
Logística	2	-33,8781	0,189656
Laplace	2	-34,4871	0,194904
Exponencial	1	-36,0748	0,242413
Valor Extremo Más Chico	2	-39,8724	0,225305
Pareto	1	-3,6E10	686,175

Área Cola Inferior (<=)	*Birnbaum-Saunders*	*Normal*
0,01	0,217774	-0,455437
0,1	0,387458	0,212226
0,5	0,857614	1,03118
0,9	1,89828	1,85014
0,99	3,37736	2,5178

Agosto

La distribución que mayor ajusté presentó fue Gaussiana Inversa, el caudal ecológico es de 0,444 m^3/s, como se aprecia en la tabla 63 de la prueba de Gaussiana Inversa para los datos de caudal del mes de Agosto. Con una frecuencia de 0,1.

Tabla 63. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Agosto.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Gaussiana Inversa	2	-46,4708	0,123131
Birnbaum-Saunders	2	-46,9605	0,139117
Lognormal	2	-47,4484	0,123669
Loglogística	2	-48,4152	0,106754
Gamma	2	-50,7212	0,165894
Weibull	2	-51,7368	0,149733
Exponencial	1	-52,8474	0,199245
Valor Extremo Más Grande	2	-54,9356	0,19256
Laplace	2	-60,1971	0,284706
Logística	2	-61,9899	0,208568
Normal	2	-65,6912	0,209639
Uniforme	2	-68,3347	0,551842
Valor Extremo Más Chico	2	-77,1384	0,306119
Pareto	1	-1,E9	0,514286

Área Cola Inferior (<=)	*Gaussiana Inversa*	*Normal*
0,01	0,230497	-2,06533
0,1	0,444827	-0,389909
0,5	1,18849	1,66517
0,9	3,45636	3,72024
0,99	7,58694	5,39566

Septiembre

Para este mes, la distribución que mejor se ajustó a los valores de los registros mínimos obtenidos a partir de la media móvil cada 7 días para este mes fue la Gamma, teniendo en cuenta dicha distribución y que el periodo de retorno equivale a 1/frecuencia, el caudal ecológico mínimo con periodo de retorno de 10 años es igual a 0,722 m^3/s, como lo muestra la tabla 64.

Tabla 64. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Septiembre.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Gamma	2	-47,6145	0,0888161
Birnbaum-Saunders	2	-47,7628	0,133746
Lognormal	2	-47,9832	0,127014
Gaussiana Inversa	2	-47,986	0,140663
Valor Extremo Más Grande	2	-48,2514	0,0946878
Weibull	2	-48,2713	0,114968
Loglogística	2	-48,5941	0,107971
Laplace	2	-51,0039	0,0995636
Logística	2	-51,1179	0,0972253
Normal	2	-51,9999	0,156813
Uniforme	2	-52,8335	0,387176
Exponencial	1	-56,4502	0,219024
Valor Extremo Más Chico	2	-59,63	0,213438
Pareto	1	-1,E9	0,262938

Área Cola Inferior (<=)	*Gamma*	*Normal*
0,01	0,290501	-0,701195
0,1	0,722256	0,482926
0,5	1,72992	1,93537
0,9	3,41591	3,38782
0,99	5,3722	4,57194

Octubre

La distribución que mayor ajusté presentó fue Birnbaum-Saunders, el caudal Ecológico es de 1,082 m^3/s, como se aprecia en la tabla 65 de la prueba de Birnbaum-Saunders para los datos de caudal del mes de Octubre. Con una frecuencia de 0,1.

Tabla 65. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Octubre.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Birnbaum-Saunders	2	-57,1183	0,0755987
Gaussiana Inversa	2	-57,1855	0,0772434
Lognormal	2	-57,519	0,0741158
Gamma	2	-57,932	0,0763759
Loglogística	2	-58,6034	0,0829552
Valor Extremo Más Grande	2	-58,8114	0,0861805
Weibull	2	-58,8745	0,0864451
Uniforme	2	-60,2861	0,326144
Logística	2	-62,6357	0,126778
Normal	2	-62,9302	0,131561
Laplace	2	-63,3638	0,158716
Exponencial	1	-66,5483	0,260558
Valor Extremo Más Chico	2	-69,5153	0,202887
Pareto	1	-1,E9	0,21241

Área Cola Inferior (<=)	*Birnbaum-Saunders*	*Normal*
0,01	0,618905	-1,08394
0,1	1,08265	0,644147
0,5	2,32766	2,76382
0,9	5,0044	4,8835
0,99	8,75418	6,61158

Noviembre

La distribución que mayor ajusté presentó fue Valor Extremo Más Grade, el caudal Ecológico es de 0,789 m^3/s, como se aprecia en la tabla 66 de la prueba de Valor Extremo Mas Grade para los datos de caudal del mes de Noviembre. Con una frecuencia de 0,1.

Tabla 66. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Noviembre.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Valor Extremo Más Grande	2	-43,3824	0,0552902
Weibull	2	-43,5323	0,0738339
Gamma	2	-43,5716	0,05755
Loglogística	2	-44,4287	0,0623921
Lognormal	2	-45,514	0,0956184
Logística	2	-45,5533	0,0870748
Normal	2	-45,5822	0,111165
Laplace	2	-46,4717	0,0998472
Birnbaum-Saunders	2	-46,6881	0,128462
Gaussiana Inversa	2	-47,2166	0,13254
Uniforme	2	-48,7013	0,265871
Valor Extremo Más Chico	2	-51,5581	0,158679
Exponencial	1	-53,7511	0,286654
Pareto	1	-1,E9	0,212121

Área Cola Inferior (<=)	*Valor Extremo Más Grande*	*Normal*
0,01	0,256091	-0,399177
0,1	0,789732	0,622367
0,5	1,71401	1,8754
0,9	3,16436	3,12843
0,99	4,97341	4,14997

Diciembre

Para este mes, la distribución que mejor se ajustó a los valores de los registros mínimos obtenidos a partir de la media móvil cada 7 días para este mes fue la de Lognormal, teniendo en cuenta dicha distribución y que el periodo de retorno equivale a 1/frecuencia, el caudal ecológico mínimo con periodo de retorno de 10 años es igual a 0,396 m^3/s, como lo muestra la tabla 67.

Tabla 67. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Diciembre.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Lognormal	2	-31,8052	0,104041
Birnbaum-Saunders	2	-31,9675	0,113698
Gamma	2	-31,971	0,112196
Loglogística	2	-32,1699	0,0981205
Gaussiana Inversa	2	-32,1903	0,114029
Weibull	2	-32,8293	0,128483
Valor Extremo Más Grande	2	-33,0482	0,133125
Uniforme	2	-36,7068	0,362797
Laplace	2	-37,5345	0,152602
Logística	2	-37,5612	0,155348
Exponencial	1	-38,2108	0,287086
Normal	2	-38,3244	0,162434
Valor Extremo Más Chico	2	-45,5308	0,219586
Pareto	1	-3,6E10	2,71632E9

Área Cola Inferior (<=)	*Lognormal*	*Normal*
0,01	0,195166	-0,654458
0,1	0,396893	0,165405
0,5	0,94798	1,17105
0,9	2,26425	2,1767
0,99	4,60462	2,99656

El caudal ambiental (7Q10) promedio para la estación Minca en la Cuenca del río Gaira es de 0,44 m^3/s; con un comportamiento a lo largo del año en dos fases, una que va de enero a mayo en el cual tiende a bajar de 0,309 m^3/s a 0,216 m^3/s y otro que se presenta de junio a noviembre en la que el caudal aumenta moviéndose entre los 0,364 m^3/s y los 0,789 m^3/s (Figura 80)

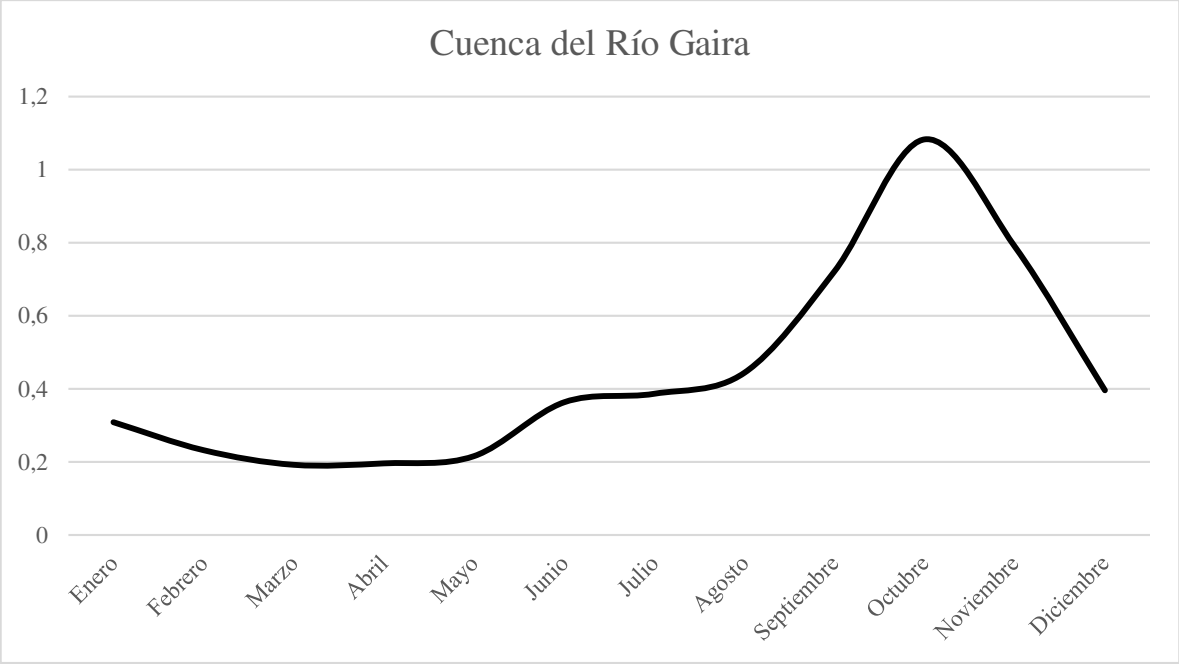


Figura 80. Variación del caudal en la estación Buritaca de la cuenca del rio Gaira.

Índice de Regulación Hídrica (IRH)

Para la estimación del caudal ambiental por este método fue necesario calcular IRH, el cual es de 0,20 m^3/s como lo muestra la tabla 68.

Tabla 68. Estimación del IRH para la estación Minca situada en la cuenca del río Gaira.

Estación	Variable	Volúmenes (m^3/s)	IRH	Categoría	Color	Descripción
Minca	VP	219,9500	0,20	Muy Baja		El índice de regulación y retención hídrica es muy bajo.
	Vt	1074,4000				

Con estos valores de IRH, se puede apreciar que sobre la cuenca del río Gaira, la retención y regulación de la humedad es muy baja.

Teniendo como referente el IRH, se procedió a calcular el Caudal ecológico con base en el Q75% de la curva de duración de caudales diarios con registros históricos desde 1978 hasta el 2013 para la estación Limnigráfica Minca, ubicada en la cuenca del rio Gaira, se logró

establecer que el Caudal que permanece al 75% del periodo total es de 0,6 m^3/s como se muestra en la figura 81.

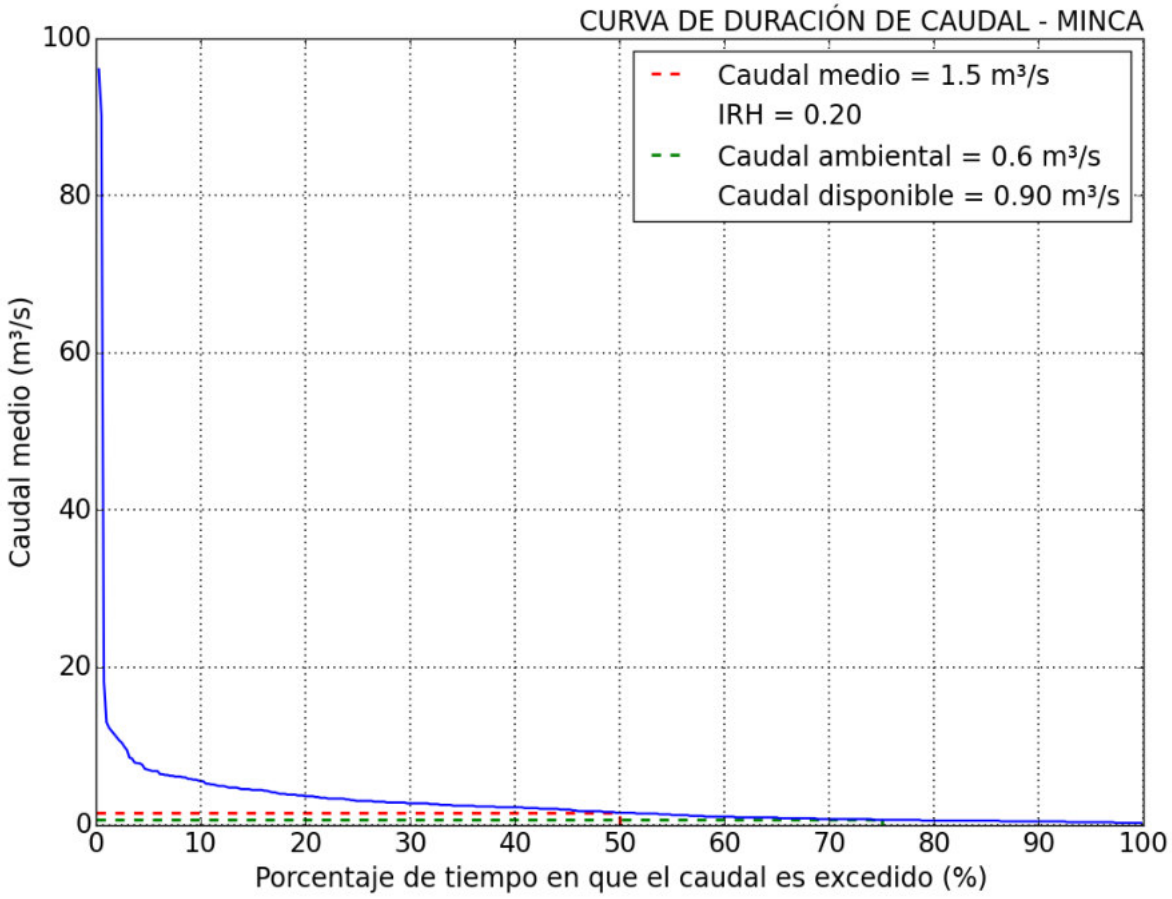


Figura 81. Caudal ecológico del río Gaira, con base en el Q75% y un IRH menor a 0,5 de la curva de duración de caudales diarios con series históricas desde 1978 hasta el 2013 de la estación La Minca.

Mínimo Histórico

El caudal ecológico de la cuenca del Rio Gaira en la estación Minca, conforme al caudal mínimo histórico que permanece el 97,5% del periodo comprendido entre 1978 hasta el 2013 es de 0,2 m^3/s.

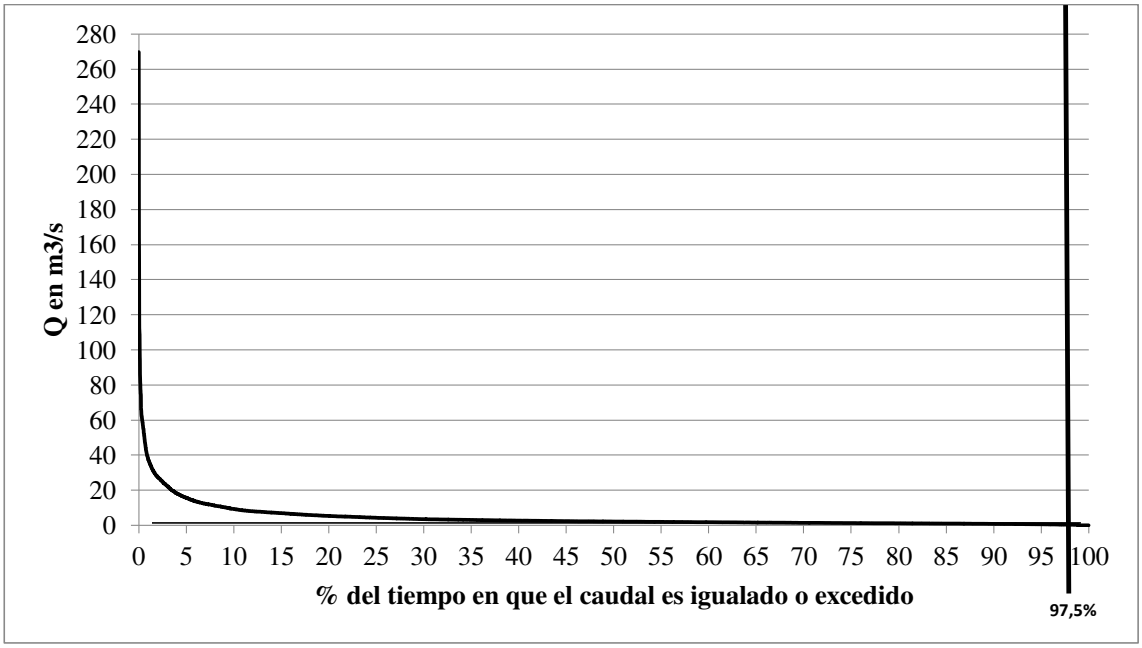


Figura 82. Curva de duración de Caudales diarios multianuales, con series históricas desde 1978 a 2013, de la cuenca del Rio Gaira en la estación Minca.

Caudal por Porcentaje de Descuento

El promedio multianual más bajo de caudal del río Gaira en la estación Minca es de 0,52 m^3/s, al reducir este valor al 25% se obtiene que el caudal ecológico por este método es de 0,13 m^3/s.

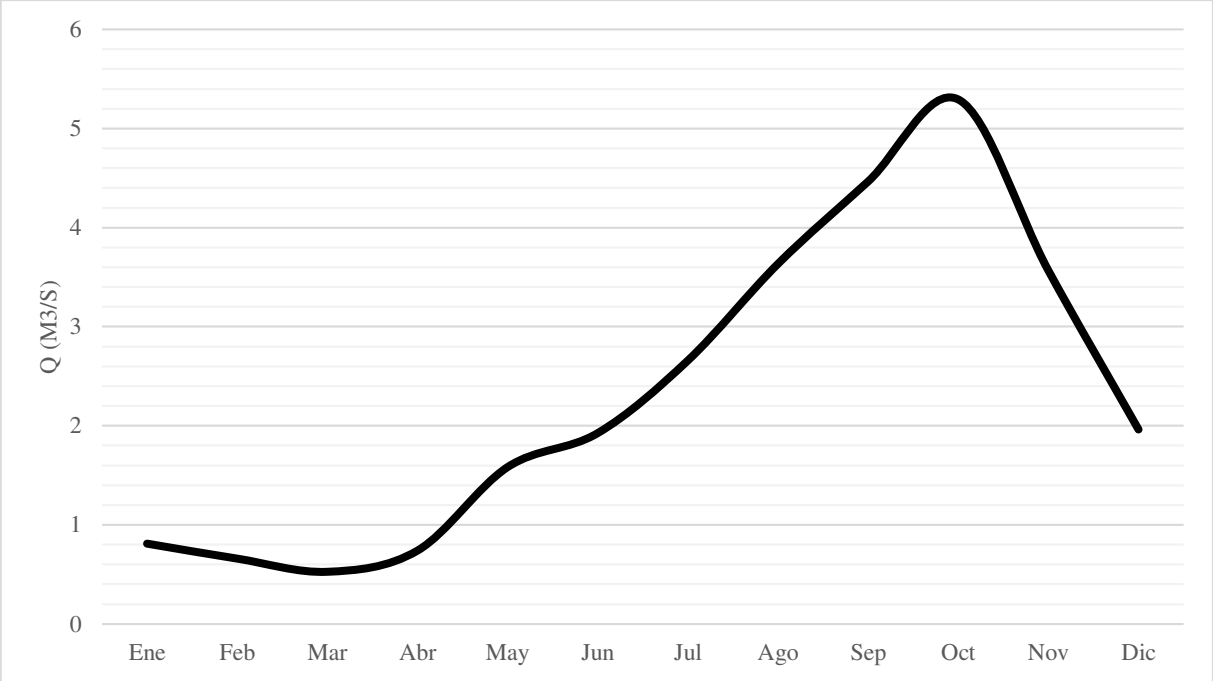


Figura 83. Variación mensual multianual del caudal medio de la cuenca del río Gaira en la estación Minca con series históricas desde 1978 a 2013.

Caudal por Reducción del 25% (Calidad)

El promedio mensual multianual de caudal es de 2,32 m^3/s, al reducir este valor al 25% de se obtiene que el caudal ecológico por reducción de calidad de agua para esta estación es de 0,58 m^3/s.

Factor de Reducción del 25% de la cuenca del río Gaira, en la estación Minca

Tabla 69. Caudales medio mensuales multianuales con series históricas desde 1974 a 2013 de la cuenca del río Gaira, en la estación Minca.

Q (m^3/s)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Prom
Medio	0,81	0,66	0,52	0,74	1,58	1,92	2,66	3,63	4,46	5,29	3,56	1,96	2,3

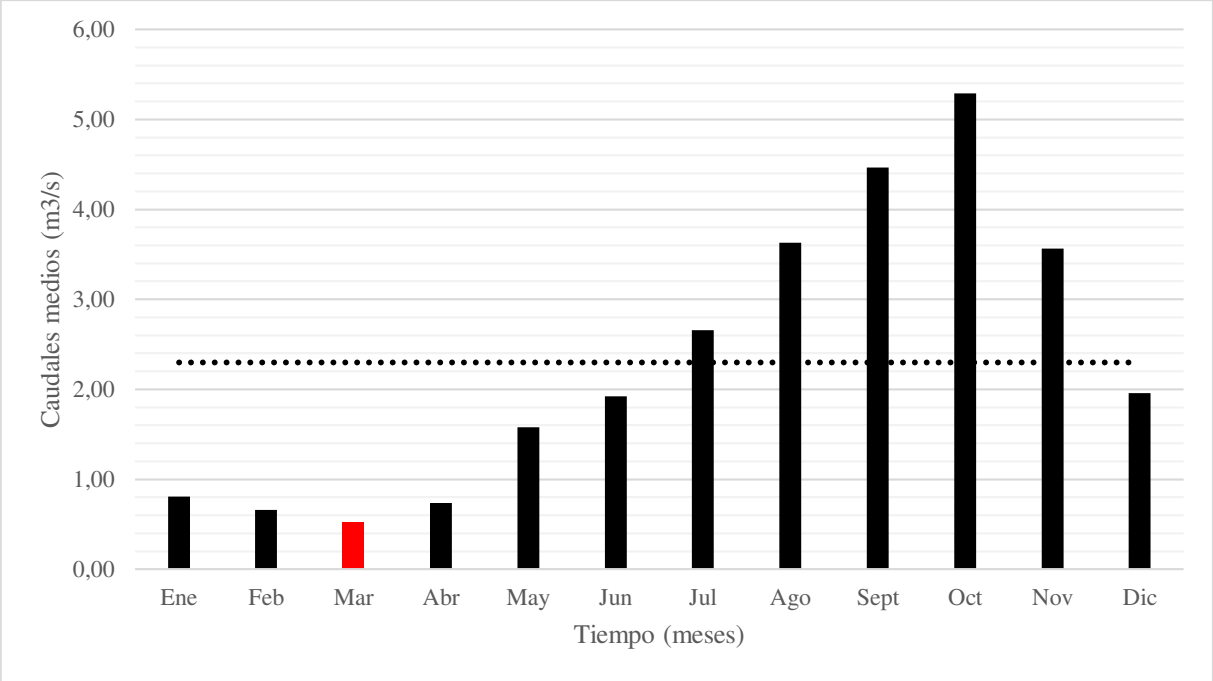


Figura 84. Caudales medio mensuales multianuales con series históricas desde 1978 a 2013 de la cuenca del río Gaira, en la estación Minca.

En la tabla 69 y la figura 84 se observan los datos de caudales medio mensuales multianuales de la estación Minca. Se observa que el mes de Marzo presenta los niveles más bajo de caudal con un valor de 0,52 m^3/s; el promedio de caudal es de 2,3 m^3/s. en la tabla 70 se pueden Visualizar estos valores y la simplificación de los métodos de reducción del 25% Calidad y Descuento, obteniéndose que el caudal ecológico de 0,71 m^3/s.

Tabla 70. Factores de reducción aplicada a la cuenca del río Gaira, en la estación Minca.

Caudales	**Valor (m^3/s)**
Caudal medio mensual multianual	0,52
Caudal medio mensual multianual más bajo	2,30
Caudal Ambiental de reducción del 25%	Caudal medio mensual multianual * 25% = 0,13

Caudal por descuento del 25%	Caudal medio mensual multianual más bajo * 25% = 0,58
Caudal por Reducción de 25% (Calidad) + Caudal Ecológico por Descuento	0,71

Comparación de los métodos de estimación de Caudales Ecológicos.

Como resultado de los cálculos de la curva de caudales al $Q_{97,5\%}$ y los factores de reducción del 25% del caudal ambiental y caudal de calidad, se obtiene los caudales ambientales de la cuenca del río Gaira, en la estación Minca.

Tabla 71. Caudal Ambiental estimado en la estación Minca.

Índice	**Caudal (m^3/s)**
7Q10	0,44
IRH	0,6
$Q_{97,5\%}$ de la curva de duración de caudales	0,2
Factores de Reducción del 25% de calidad y 25% caudal ambiental.	0,71

Como resultado de los valores obtenidos, se puede observar que el índice que registra el caudal ecológico superior es el de los Factores de Reducción y Caudal Ambiental al 25% siendo este de 0,71 m^3/s, mientras que el método de Curvas de Duración de Caudales $Q_{97,5}\%$, presentó el valor más bajo con 0,2 m^3/s(Tabla 71).

Con estos resultados se infiere que el método más propicio para medición de caudal ecológico en la estación Minca, ubicada en la cuenca del río Gaira es el de Factores de Reducción y caudal ambiental 25%.

CUENCA DE LA QUEBRADA ORIHUECA

Índice 7Q10

Para la cuenca del quebrada Orihueca se muestra un resumen de las distribuciones que mejor ajuste presentó en la estación *Sta Rosalia* para cada mes, dichos ajuste se realizaron con datos de caudales medios diarios desde 1970 hasta el 2013, además de los caudales ecológicos mínimos para cada mes con retorno de 10 años como se puede observar en la tabla 72.

Estación Sta Rosalia

Tabla 72. Resumen de caudales ecológicos para la estación *Sta Rosalia*, por cada mes y las distribuciones de mejor ajuste para los valores mínimos, de las medias móviles cada 7 días con series históricas desde 1970 – 2013.

ESTACIÓN	**STA ROSALIA**	
MES	**DISTRIBUCIÓN DE MEJOR AJUSTE**	**VALOR DE CAUDAL (m3/s) 0,1**
Enero	Loglogística	0,410809
Febrero	Lognormal	0,288829
Marzo	Gamma	0,227438
Abril	Gamma	0,196708
Mayo	Loglogística	0,313186
Junio	Birnbaum-Saunders	0,465383
Julio	Gaussiana Inversa	0,698598
Agosto	Loglogística	0,79459
Septiembre	Gamma	0,893715
Octubre	Valor Extremo Más Grande	1,22608
Noviembre	Birnbaum-Saunders	1,05183
Diciembre	Gaussiana Inversa	0,549768

Para la estación *Sta Rosalia* se presentan en la tabla 73. Los valores de los registros mínimos obtenidos a partir de la media móvil cada 7 días de cada mes y de cada año con datos de caudales desde 1970 hasta 2013.

Tabla 73. Valores mínimos de la media móvil cada 7 días, de la serie de registros diarios de caudales de la estación *Sta Rosalia* desde 1970 hasta 2013.

Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1970			0,60	0,67	0,64	0,75	1,11	8,58	2,88	3,74	4,70	3,08
1971	0,80	0,70	0,79	0,64	1,11	1,97	1,71	1,75	2,71	3,04	2,88	1,23
1972	0,57	0,44	0,32	0,39	1,52	2,10	1,19	0,87	1,05	1,27	0,92	0,70
1973	0,43	0,33	0,31	0,23	0,33	0,36	0,59	1,24	3,05	7,57	2,89	1,54
1974	0,72	0,52	0,42	0,34	0,74	0,77	0,76	1,29	1,81	3,67	3,69	1,28
1975	0,72	0,27	0,18	0,09	0,18	0,36	1,03	1,56	1,54	3,07	6,16	1,73
1976	1,39	1,54	0,84	0,82	0,97	0,94	1,14	1,34	1,33	1,84	2,32	1,47
1977	0,82	0,81	0,63	0,36	0,49	0,74	0,78	1,12	1,79	2,10	1,74	0,63
1978	0,54	0,36	0,32	0,34	1,21	1,21	1,44	1,67	2,22	2,37	2,14	0,96
1979	0,58	0,54	0,46	0,45	1,31	2,92	1,94	2,33	2,88	2,07	3,50	0,71
1980	0,47	0,42	0,25	0,13	1,06	0,73	0,90	1,95	1,47	1,52	0,67	0,34
1981	0,66	0,35	0,35	0,44	4,78	3,41	2,22	2,51	2,96	2,75	2,41	1,20
1982	0,47	1,23	1,01	1,03	1,20	1,36	1,16	0,80	0,91	2,03	1,16	0,90
1983	1,09	0,80	1,32	1,18	1,19	1,39	1,26	1,37	1,67	2,22	1,03	0,68
1984	0,54	0,47	0,43	0,44	0,55	0,97	0,80	1,32	1,52	1,73	2,60	1,46
1985	0,90	0,48	0,39	0,38	0,40	0,79	0,80	1,30	1,26	2,41	1,72	1,25
1986	0,75	0,48	0,39	0,31	0,58	1,19	0,88	0,84	1,02	3,07	1,52	0,98
1987	0,74	0,65	0,57	0,45	1,32	1,55	1,23	1,98	2,34	2,37	1,81	2,02
1988	2,11	1,16	0,81	0,98	1,93	2,12	3,32	4,32	4,50	3,66	3,96	1,65
1989	1,14	1,12	0,94	0,80	0,82	1,22	2,26	2,67	2,89	3,09	1,99	1,00
1990	1,38	0,84	0,41	0,52	0,56	0,61	0,73	1,42	1,47	1,50	3,83	3,49
1992	1,25	0,93	1,03	1,03	1,20	1,77	1,44	1,49		1,97	1,21	0,99
1993	0,72	0,59	0,53	0,54	0,86	1,10	1,22	1,41	1,45	1,65	1,40	0,85
1994	0,63	0,36	0,20	0,21	0,52	1,05	0,97	0,88	1,35	2,58	2,69	1,32
1995	0,75	0,40	0,40	0,54	0,35	0,63	1,17	1,42	0,80	5,38	1,41	0,48
1996	0,74	0,62	0,42	0,30	0,72	1,93	2,08	1,51	1,69	2,21	2,28	1,26
1997	0,71	0,68	0,40	0,43	0,49	0,60	1,26	1,28	2,07	1,94	1,79	1,10
1998	0,36	0,30	0,26	0,24	0,30	0,55	0,54	0,53	0,56	1,18	1,20	0,95
1999	0,40	0,25	0,19	0,20	0,20	0,31	0,60	0,61	1,35	2,69	2,37	1,08
2000	0,65	0,40	0,48	0,28	0,18	0,24	0,97	0,82	1,01	1,22	1,21	0,59
2001	0,35	0,29	0,22	0,20	0,98	0,74	0,69	1,11	1,51	2,06	1,07	0,34
2002	0,18	0,13	0,11	0,09	0,11	1,52	1,46	2,35	2,90	3,34	2,43	1,46
2003	1,31	0,89	0,90	1,08								
2004	2,63	1,54	1,35	1,13	1,49	1,98	2,18	2,60	2,75	2,96	2,50	
2005	0,83	0,59	0,44	0,56	0,45	1,52	1,53	1,97	2,85	3,27	5,04	1,99

Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2006	1,39	0,99	0,65	0,68	1,21	2,35	1,98	2,43	2,25	1,72	2,44	2,98
2007	0,89	0,79	0,73	1,04	1,20	4,83	2,89	3,26	3,66	3,07	2,27	2,24
2008	1,24	1,46	1,01	1,29	1,43	2,37	2,57	2,84	4,59	3,00	4,08	2,07
2009	0,64	0,63	0,38	0,43	0,62	0,64	1,33	0,70	0,49	0,40	1,03	0,68
2010	0,67	0,61	0,61	0,57	0,69	1,03	1,49	2,65	4,10	3,61	4,25	4,15
2011	0,50	0,48	0,66	0,66	0,66	1,85	1,27	1,46	1,82	2,83	2,21	1,60
2012	1,01	0,62	0,63	0,65	0,71	1,22	0,80	1,10	1,12	1,19	1,14	0,68
2013	0,64	0,42	0,45	0,56	0,80	0,78	1,00	1,32	1,50	0,82	1,06	0,58

A continuación se muestra detalladamente los análisis de distribuciones realizados con los valores mínimos de la media móvil cada7 días para cada mes del año para la estación *Sta Rosalia* ubicada en la cuenca del Rio Orihueca, además del caudal ecológico mínimo por 7Q10 para un periodo retorno de 10 años con base en la frecuencia de 0,1.

Enero

La distribución que mejor se ajustó a los valores de los registros mínimos obtenidos a partir de la media móvil cada 7 días fue la Loglogística, teniendo en cuenta dicha distribución y que el periodo de retorno equivale a 1/frecuencia, el caudal ecológico mínimo con periodo de retorno de 10 años es igual a 0,410 m^3/s, como lo muestra la tabla 74.

Tabla 74. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Enero.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Loglogística	2	-16,3938	0,103773
Lognormal	2	-17,2736	0,112763
Valor Extremo Más Grande	2	-17,5921	0,136013
Gaussiana Inversa	2	-17,7338	0,108254
Birnbaum-Saunders	2	-17,7526	0,112463
Gamma	2	-18,4047	0,145924
Laplace	2	-20,0365	0,118644
Weibull	2	-21,5713	0,158494
Logística	2	-22,6728	0,146187
Normal	2	-26,6708	0,200991
Exponencial	1	-34,7146	0,31446
Uniforme	2	-37,6846	0,457331
Valor Extremo Más Chico	2	-40,7836	0,243075
Pareto	1	-4,3E10	26,3737

Área Cola Inferior (<=)	*Loglogística*	*Normal*

0,01	0,216802	-0,234215
0,1	0,410809	0,248566
0,5	0,737881	0,840748
0,9	1,32536	1,43293
0,99	2,51136	1,91571

Febrero

La distribución que mejor se ajustó a los valores de los registros mínimos obtenidos a partir de la media móvil cada 7 días fue la Lognorma, teniendo en cuenta dicha distribución y que el periodo de retorno equivale a 1/frecuencia, el caudal ecológico mínimo con periodo de retorno de 10 años es igual a 0,288 m^3/s, como lo muestra la tabla 75.

Tabla 75. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Febrero.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Lognormal	2	-9,09111	0,0530947
Birnbaum-Saunders	2	-9,14711	0,0504205
Gaussiana Inversa	2	-9,23084	0,0552819
Gamma	2	-9,41947	0,0819847
Loglogística	2	-9,48827	0,06431
Valor Extremo Más Grande	2	-9,59039	0,0865795
Weibull	2	-11,0569	0,105576
Uniforme	2	-14,4109	0,288868
Logística	2	-14,4193	0,107789
Laplace	2	-14,6077	0,113025
Normal	2	-15,0588	0,14546
Valor Extremo Más Chico	2	-23,6419	0,185166
Exponencial	1	-24,1329	0,296678
Pareto	1	-4,3E10	2,17079

Área Cola Inferior (<=)	*Lognormal*	*Normal*
0,01	0,165634	-0,161805
0,1	0,288829	0,204361
0,5	0,571287	0,653503
0,9	1,12997	1,10264
0,99	1,97042	1,46881

Marzo

En la estación Sta Rosalia Situada en la cuenca del rio Orihueca, para el mes de Marzo la distribución que mejor se ajustó a los datos de caudal fue Gamma, teniendo en cuenta la mejor distribución, además se realizó un análisis de valores críticos en el cual se obtuvo que el caudal ecológico 7Q10 con periodo de retorno de 10 años y con un frecuencia de 0,1 es de 0,227 m^3/s como se muestra en la tabla 76.

Tabla 76. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Marzo.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Gamma	2	-3,76591	0,0984164
Lognormal	2	-4,12686	0,0808289
Birnbaum-Saunders	2	-4,14347	0,0909536
Valor Extremo Más Grande	2	-4,20722	0,100787
Gaussiana Inversa	2	-4,35282	0,0945382
Loglogística	2	-4,55851	0,0755366
Weibull	2	-4,76665	0,12023
Logística	2	-8,43502	0,125879
Normal	2	-8,56372	0,160395
Laplace	2	-9,01868	0,128807
Uniforme	2	-9,39815	0,299793
Valor Extremo Más Chico	2	-16,7157	0,169919
Exponencial	1	-17,5382	0,267719
Pareto	1	-4,3E10	1,50212

Área Cola Inferior (<=)	*Gamma*	*Normal*
0,01	0,101085	-0,141848
0,1	0,227438	0,170283
0,5	0,502801	0,553145
0,9	0,944256	0,936007
0,99	1,44508	1,24814

Abril

La distribución que mejor se ajustó a los datos de caudal fue la Gamma, al realizar el análisis de valores críticos para el mes de Abril con base en la mejor distribución que para este caso fue Gamma, y con una frecuencia de 0,1 se obtuvo que el caudal ecológico mínimo 7Q10 en este mes es igual a 0,196 m^3/s como se visualiza en la tabla 77.

Tabla 77. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Abril.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Gamma	2	-7,27191	0,0839092
Weibull	2	-7,35912	0,0876722
Uniforme	2	-7,81422	0,282629
Valor Extremo Más Grande	2	-8,09047	0,094326
Lognormal	2	-8,67592	0,0824475
Birnbaum-Saunders	2	-8,70489	0,0997581
Loglogística	2	-9,00098	0,064142
Gaussiana Inversa	2	-9,23817	0,106934
Normal	2	-11,231	0,131506
Logística	2	-11,892	0,11406
Laplace	2	-12,9655	0,126021
Valor Extremo Más Chico	2	-17,3921	0,181069
Exponencial	1	-17,3933	0,230884
Pareto	1	-4,3E10	1,39132

Área Cola Inferior (<=)	*Gamma*	*Normal*
0,01	0,0754925	-0,188184
0,1	0,196708	0,143922
0,5	0,488841	0,551285
0,9	0,987213	0,958647
0,99	1,57125	1,29075

Mayo

La distribución que mejor se ajustó a los datos de caudal fue la Loglogística, al realizar el análisis de valores críticos para el mes de Mayo con base en la mejor distribución que para este caso fue Loglogística, y con una frecuencia de 0,1 se obtuvo que el caudal ecológico mínimo 7Q10 en este mes es igual a 0,313 m^3/s como se muestra en la tabla 78.

Tabla 78. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Mayo.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Loglogística	2	-30,4147	0,0891557
Lognormal	2	-31,0402	0,0984268
Gamma	2	-31,628	0,0970275
Birnbaum-Saunders	2	-31,8817	0,105593
Gaussiana Inversa	2	-32,2096	0,111847
Valor Extremo Más Grande	2	-32,3794	0,0717105
Weibull	2	-33,5149	0,117242

Laplace	2	-36,966	0,133146
Logística	2	-37,3456	0,0938533
Exponencial	1	-37,8309	0,200866
Normal	2	-46,8402	0,172987
Uniforme	2	-64,7287	0,649536
Pareto	1	-4,3E10	98,0458
Valor Extremo Más Chico	<sin ajuste>		

Área Cola Inferior (<=)	*Loglogística*	*Normal*
0,01	0,122622	-0,832106
0,1	0,313186	-0,0517212
0,5	0,739534	0,905503
0,9	1,74628	1,86273
0,99	4,46015	2,64311

Junio

La distribución que mejor se ajustó a los datos de caudal fue Birnbaum-Saunders, al realizar el análisis de valores críticos para este mes con base en la mejor distribución que para este caso fue Birnbaum-Saunders, y con una frecuencia de 0,1 se obtuvo que el caudal ecológico mínimo 7Q10 en este mes es igual a 0,465 m^3/s como se muestra en la tabla 79.

Tabla 79. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Junio.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Birnbaum-Saunders	2	-45,3602	0,0680917
Lognormal	2	-45,3891	0,07112
Gaussiana Inversa	2	-45,5349	0,0684766
Loglogística	2	-45,8846	0,0930596
Gamma	2	-45,9159	0,0973004
Valor Extremo Más Grande	2	-47,0066	0,1185
Weibull	2	-47,375	0,0882182
Logística	2	-52,3197	0,104498
Laplace	2	-52,7004	0,122125
Exponencial	1	-54,4103	0,240643
Normal	2	-55,0774	0,149099
Uniforme	2	-64,0813	0,470576
Valor Extremo Más Chico	2	-68,3706	0,238286
Pareto	1	-1,E9	0,428571

Área Cola Inferior (<=)	*Birnbaum-Saunders*	*Normal*
0,01	0,253568	-0,770337
0,1	0,465383	0,179141

0,5	1,08851	1,34378
0,9	2,54598	2,50841
0,99	4,67274	3,45789

Julio

La distribución que mejor se ajustó a los valores de los registros mínimos obtenidos a partir de la media móvil cada 7 días fue Gaussiana Inversa, teniendo en cuenta dicha distribución y que el periodo de retorno equivale a 1/frecuencia, el caudal ecológico mínimo con periodo de retorno de 10 años es igual a 0,698 m^3/s, como lo muestra la tabla 80.

Tabla 80. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Julio.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Gaussiana Inversa	2	-33,1818	0,0841977
Birnbaum-Saunders	2	-33,2444	0,0872795
Lognormal	2	-33,4122	0,0835724
Valor Extremo Más Grande	2	-34,2398	0,0915331
Loglogística	2	-34,2826	0,0815274
Gamma	2	-34,6902	0,113887
Weibull	2	-37,4547	0,137006
Laplace	2	-38,86	0,118535
Logística	2	-39,5199	0,114214
Normal	2	-40,4977	0,167271
Uniforme	2	-42,9214	0,405607
Valor Extremo Más Chico	2	-50,1262	0,209484
Exponencial	1	-54,6032	0,329688
Pareto	1	-1,E9	0,357143

Área Cola Inferior (<=)	*Gaussiana Inversa*	*Normal*
0,01	0,456598	-0,1441
0,1	0,698598	0,526904
0,5	1,22341	1,34996
0,9	2,16255	2,17302
0,99	3,36878	2,84402

Agosto

La distribución que mejor se ajustó a los valores de los registros mínimos obtenidos a partir de la media móvil cada 7 días fue Loglogística, teniendo en cuenta dicha distribución y que el periodo de retorno equivale a 1/frecuencia, el caudal ecológico mínimo con periodo de retorno de 10 años es igual a 0,794 m^3/s, como lo muestra la tabla 81.

Tabla 81. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Agosto.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Loglogística	2	-50,4198	0,091723
Lognormal	2	-51,1445	0,111963
Gaussiana Inversa	2	-51,4105	0,118381
Birnbaum-Saunders	2	-51,7932	0,124822
Valor Extremo Más Grande	2	-54,1897	0,143705
Gamma	2	-54,9876	0,150462
Laplace	2	-57,8588	0,148163
Weibull	2	-59,309	0,141482
Logística	2	-61,1014	0,143431
Exponencial	1	-66,9024	0,286946
Normal	2	-70,994	0,194783
Uniforme	2	-87,5908	0,641369
Pareto	1	-1,E9	0,190476
Valor Extremo Más Chico	<sin ajuste>		

Área Cola Inferior (<=)	*Loglogística*	*Normal*
0,01	0,395195	-1,27898
0,1	0,79459	0,107987
0,5	1,50692	1,80925
0,9	2,85783	3,51052
0,99	5,74604	4,89749

Septiembre

Para la estación Sta Rosalia en el mes de Septiembre la distribución que mejor se ajustó a los datos de caudales fue la Gamma, el caudal ecológico es de 0,893 m^3/s, como se aprecia en la en la tabla 82 de la prueba de Gamma para los datos de caudal de este mes, Con una frecuencia de 0,1.

Tabla 82. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Septiembre.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Gamma	2	-54,7335	0,10575
Birnbaum-Saunders	2	-55,0085	0,105723
Lognormal	2	-55,0547	0,104364
Valor Extremo Más Grande	2	-55,0567	0,112452
Gaussiana Inversa	2	-55,1613	0,107486
Loglogística	2	-55,6026	0,114164
Weibull	2	-55,6958	0,130915
Uniforme	2	-57,9337	0,279141
Normal	2	-58,5952	0,165934
Logística	2	-58,7833	0,132395
Laplace	2	-60,0604	0,178268
Valor Extremo Más Chico	2	-65,7591	0,181278
Exponencial	1	-69,9592	0,293646
Pareto	1	-1,E9	0,18098

Área Cola Inferior (<=)	*Gamma*	*Normal*
0,01	0,426364	-0,352549
0,1	0,893715	0,715925
0,5	1,86374	2,02652
0,9	3,37052	3,33712
0,99	5,05075	4,40559

Octubre

La distribución que mayor ajusté presentó fue Valor Extremo Más Grande, el caudal ambiental es de 1,226 m^3/s, como se aprecia en la tabla 83 que se muestra a continuación de la prueba de Valor Extremo Más Grande para los datos de caudal del mes de Octubre, con una frecuencia de 0,1.

Tabla 83. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Octubre.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Valor Extremo Más Grande	2	-62,7261	0,0952391
Loglogística	2	-62,7674	0,0938082
Gamma	2	-63,3897	0,100061
Logística	2	-64,2878	0,0672144
Lognormal	2	-64,6791	0,111709
Laplace	2	-64,8285	0,105778
Weibull	2	-65,1937	0,11954
Birnbaum-Saunders	2	-65,7699	0,115396

Gaussiana Inversa	2	-66,0613	0,118254
Normal	2	-68,0286	0,133861
Exponencial	1	-80,9495	0,324962
Valor Extremo Más Chico	2	-82,3465	0,220462
Uniforme	2	-82,736	0,486153
Pareto	1	-1,E9	0,271533

Área Cola Inferior (<=)	*Valor Extremo Más Grande*	*Normal*
0,01	0,581991	-0,349869
0,1	1,22608	0,942554
0,5	2,34166	2,52785
0,9	4,09219	4,11314
0,99	6,27567	5,40556

Noviembre

La distribución que mayor ajuste presentó fue Birnbaum-Saunders, el caudal ambiental es de 1,051 m^3/s, como se aprecia en la tabla 84 de la prueba Birnbaum-Saunders para los datos de caudal del mes de Noviembre, con una frecuencia de 0,1.

Tabla 84. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Noviembre.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Birnbaum-Saunders	2	-62,1078	0,103124
Gaussiana Inversa	2	-62,1274	0,10325
Lognormal	2	-62,4293	0,103209
Gamma	2	-63,1133	0,102383
Valor Extremo Más Grande	2	-63,5941	0,112083
Loglogística	2	-63,6712	0,108858
Weibull	2	-64,7735	0,106638
Logística	2	-68,3419	0,110094
Normal	2	-68,7745	0,143315
Laplace	2	-68,869	0,1091
Uniforme	2	-71,5084	0,381202
Valor Extremo Más Chico	2	-77,6331	0,190504
Exponencial	1	-77,8998	0,306562
Pareto	1	-1,E9	0,200298

Área Cola Inferior (<=)	*Birnbaum-Saunders*	*Normal*
0,01	0,636832	-0,578473
0,1	1,05183	0,737108
0,5	2,05797	2,35081

0,9	4,02653	3,9645
0,99	6,65046	5,28008

Diciembre

La distribución que mejor se ajustó a los valores de los registros mínimos obtenidos a partir de la media móvil cada 7 días para este mes fue Gaussiana Inversa, teniendo en cuenta dicha distribución y que el periodo de retorno equivale a 1/frecuencia, el caudal ecológico mínimo con periodo de retorno de 10 años es igual a 0,549m^3/s, como lo muestra la tabla 85.

Tabla 85. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Diciembre.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Gaussiana Inversa	2	-41,1163	0,0589637
Birnbaum-Saunders	2	-41,1321	0,0600764
Lognormal	2	-41,1779	0,0631029
Loglogística	2	-41,5588	0,0781802
Gamma	2	-42,3576	0,0796819
Valor Extremo Más Grande	2	-42,8111	0,084787
Weibull	2	-44,3969	0,10559
Laplace	2	-47,5525	0,115148
Logística	2	-48,3485	0,108564
Normal	2	-50,7821	0,156278
Exponencial	1	-53,5682	0,276201
Uniforme	2	-54,8274	0,439162
Valor Extremo Más Chico	2	-61,9739	0,222464
Pareto	1	-1,E9	0,414634

Área Cola Inferior (<=)	*Gaussiana Inversa*	*Normal*
0,01	0,323564	-0,607565
0,1	0,549768	0,275521
0,5	1,14271	1,35872
0,9	2,43876	2,44191
0,99	4,3405	3,325

El caudal ambiental (7Q10) promedio para la estación Sta Rosalia en la Cuenca del río Orihueca es de 0,593 m^3/s; con un comportamiento a lo largo del año en dos fases, una que va de enero a abril en el cual tiende a bajar de 0,410 m^3/s a 0,196 m^3/s y otro que se presenta de mayo a noviembre en el que predominan variaciones en las que el caudal aumenta

moviéndose entre los 0,313 m^3/s y los 1,226 m^3/s, alcanzando su máximo en el mes de octubre (Figura 85)

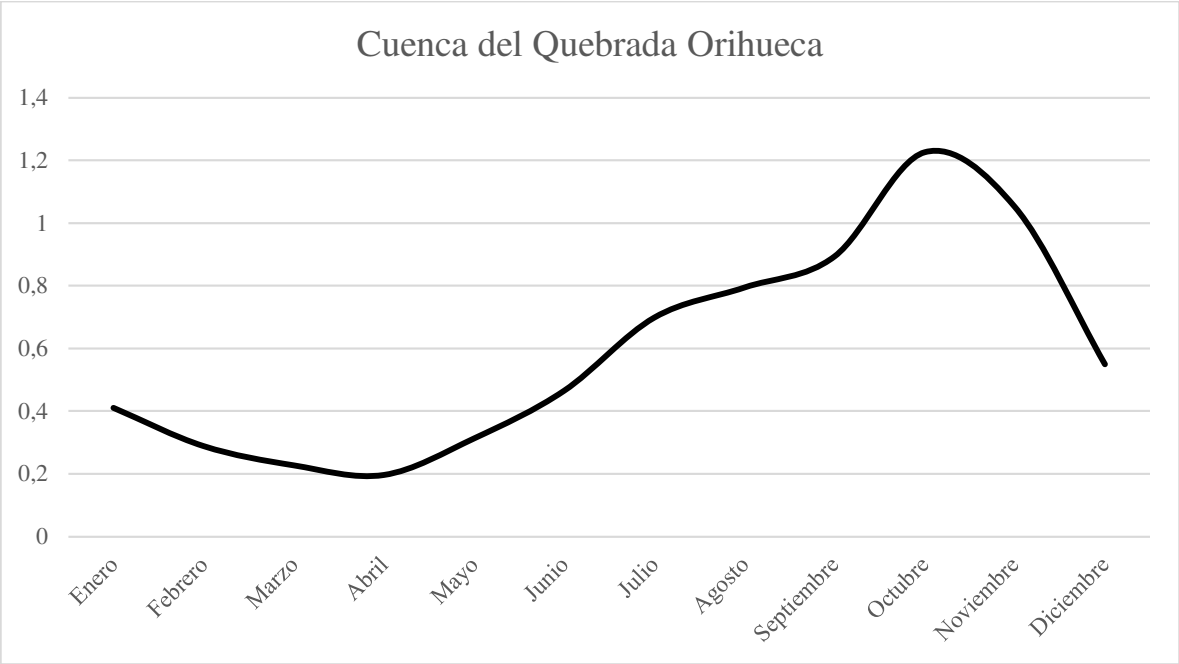


Figura 85. Variación del caudal en la estación Buritaca de la cuenca del rio Orihueca.

Índice de Regulación Hídrica (IRH)

Para la estimación del caudal ambiental por este método fue necesario calcular IRH el cual es de 0,30 m^3/s como lo muestra la tabla 86.

Tabla 86. Estimación del IRH para la estación Sta Rosalia situada en el río Orihueca.

Estación	Variable	Volúmenes (m^3/s)	IRH	Categoría	Color	Descripción
Sta Rosalia	VP	331,3500	0,30	Muy Baja		El índice de regulación y retención hídrica es muy bajo.
	Vt	1092,7500				

Con estos valores de IRH, se puede apreciar que sobre la cuenca del Orihueca, la retención y regulación de la humedad es muy baja.

Se calculó el caudal ecológico teniendo en cuenta IRH Q75% de la curva de duración de caudales diarios con registros históricos desde 1970 hasta el 2013 para la estación Limnigráfica Sta Rosalia, ubicada en la cuenca del rio Orihueca, se logró establecer que el Caudal que permanece al 75% del periodo total es de 0,9 m^3/s como se muestra en la figura 86.

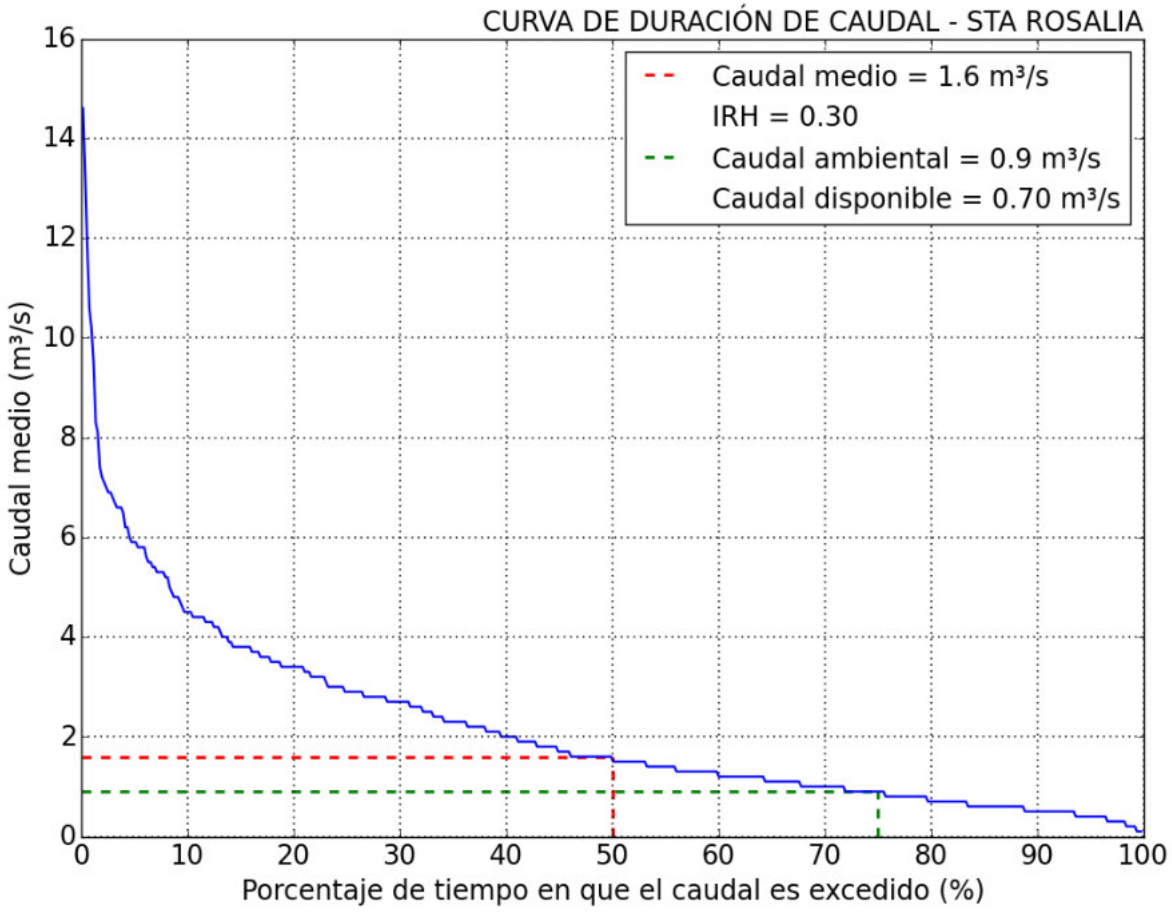


Figura 86. Caudal ecológico de la Quebrada Orihueca, con base en el Q75% y un IRH menor a 0,5 de la curva de duración de caudales diarios con series históricas desde 1970 hasta el 2013 de la estación El Sta Rosalia.

Mínimo Histórico

El caudal ecológico para la estación de la cuenca de la quebrada Orihueca en la estación Sta Rosalía, conforme al caudal mínimo histórico que permanece el 97,5% del periodo comprendido entre 1970 hasta el 2013 es de 0,24 m^3/s.

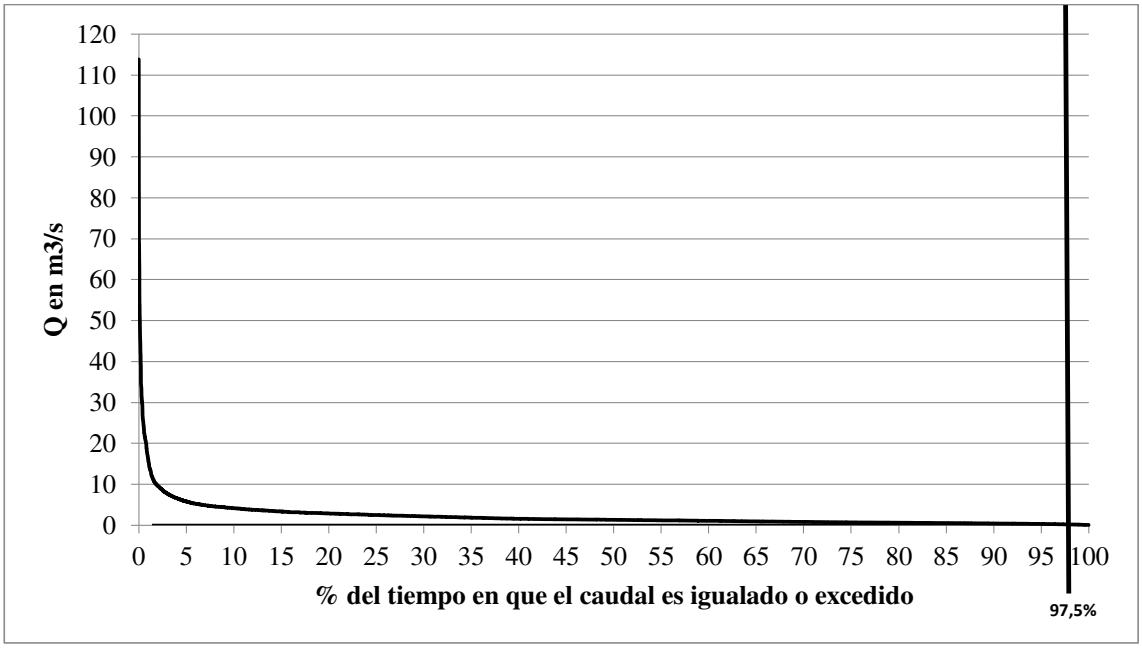


Figura 87. Curva de duración de Caudales diarios multianuales, con series históricas desde 1970 a 2013, de la cuenca de la Quebrada Orihueca en la estación Sta Rosalía.

Caudal por Porcentaje de Descuento

El promedio multianual más bajo de caudal de la quebrada Orihueca en la estación Sta Rosalia es de 0,70 m^3/s, al reducir este valor al 25% de este se obtiene que el caudal ecológico por este método es de 0,17 m^3/s.

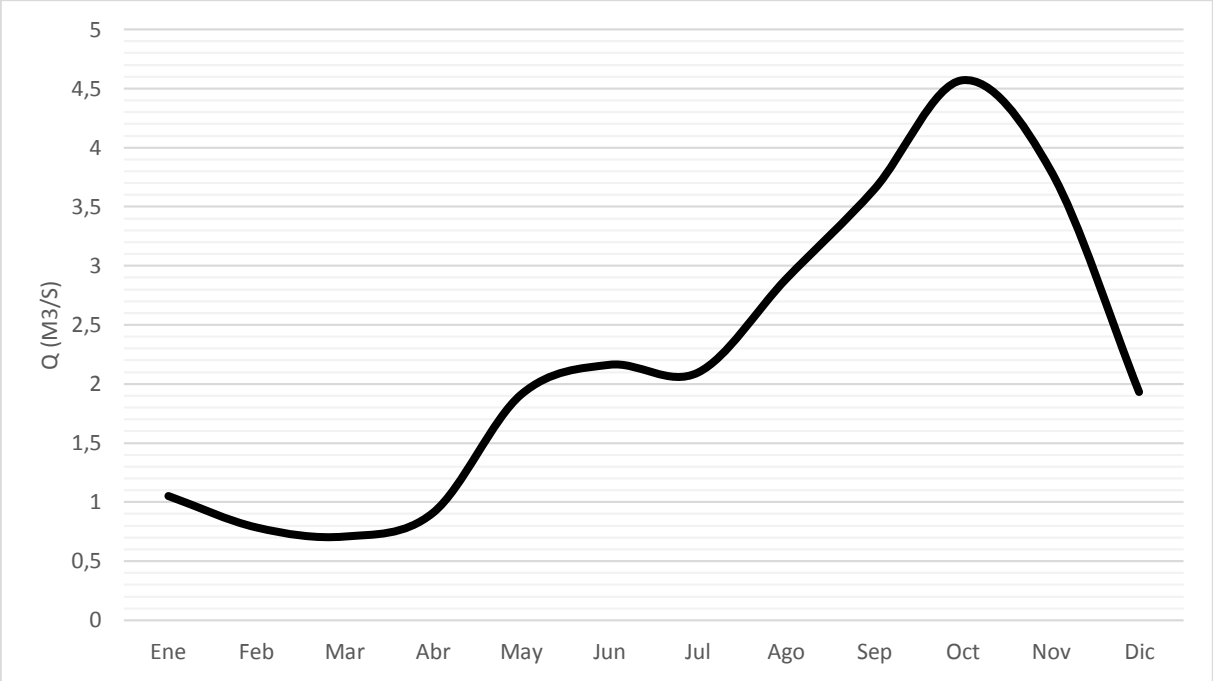


Figura 88. Variación mensual multianual del caudal medio de la cuenca de la Quebrada Orihueca en la estación Sta Rosalia con series históricas desde 1970 a 2013.

Caudal por Reducción del 25% (Calidad)

El promedio mensual multianual de caudal es de 2,20 m^3/s, lo que corresponde a que el 25% de reducción de este caudal es de 0,55 m^3/s como caudal ecológico por reducción de calidad de agua para esta estación.

Factor de Reducción del 25% de la cuenca de la quebrada Orihueca, en la estación Sta Rosalia.

Tabla 87. Caudales medio mensuales multianuales con series históricas desde 1970 a 2013 de la cuenca del río Orihueca, en la estación Sta Rosalia.

Q (m3/s)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Prom
Medio	1,05	0,78	0,71	0,91	1,91	2,16	2,09	2,89	3,65	4,57	3,80	1,93	2,2

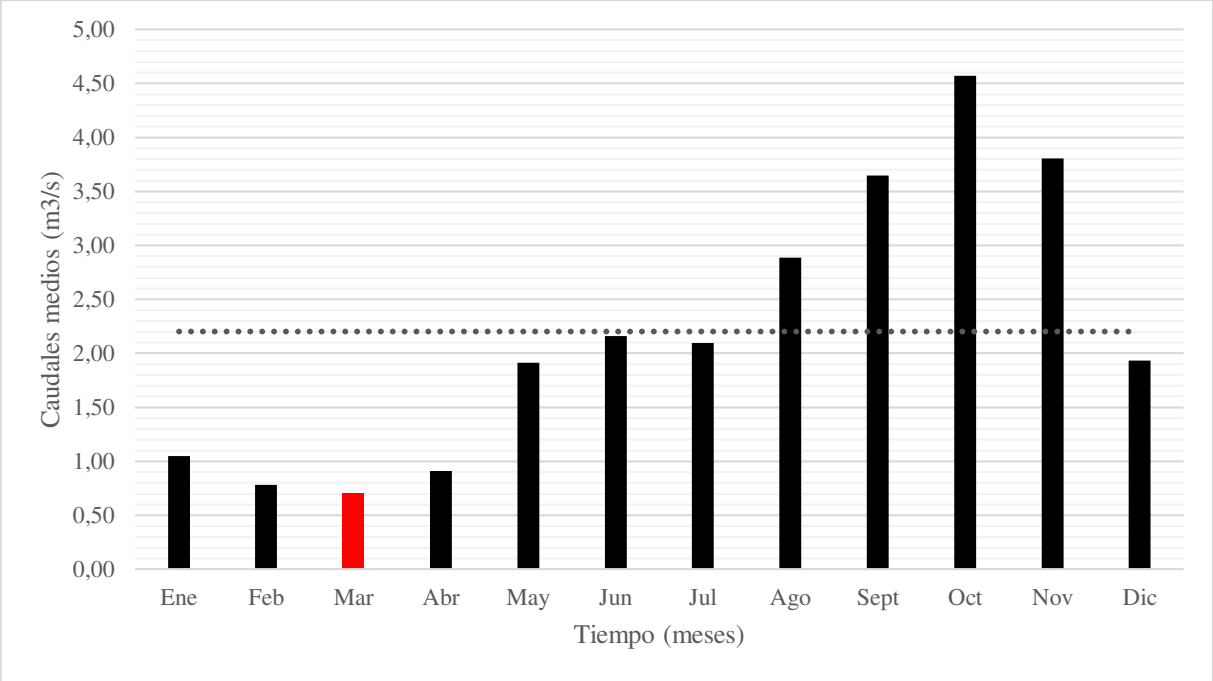


Figura 89. Caudales medio mensuales multianuales con series históricas desde 1970 a 2013 de la cuenca del río Orihueca, en la estación Sta Rosalia.

En la tabla 87 y la figura 89 se observan los caudales medio mensuales multianuales de la estación Sta Rosalia. Se observa que el mes de Marzo presenta los niveles más bajo de caudal con un valor de 0,71 m^3/s; el promedio de caudales para esta estación es de 2,2 m^3/s; en la tabla 88 se pueden observar dichos valores y la simplificación de los métodos de reducción del 25% por calidad y descuento, en donde se puede ver que el caudal ecológico entre estos dos métodos resulta ser de 0,72 m^3/s.

Tabla 88. Factores de reducción aplicada a la cuenca del río Orihueca, en la estación Sta Rosalia.

Caudales	**Valor (m^3/s)**
Caudal medio mensual multianual	0,71
Caudal medio mensual multianual más bajo	2,20
Caudal Ambiental de reducción del 25%	Caudal medio mensual multianual * 25% = 0,17

Caudal por descuento del 25%	Caudal medio mensual multianual más bajo * 25% = 0,55
Caudal por Reducción de 25% (Calidad) + Caudal Ecológico por Descuento	0,72

Comparación de los métodos de estimación de Caudales Ecológicos.

Como resultado de los cálculos de la curva de caudales al $Q_{97,5\%}$ y los factores de reducción del 25% del caudal ambiental y caudal de calidad, se obtiene los caudales ambientales de la cuenca del río Orihueca, en la estación Sta Rosalia.

Tabla 89. Caudal Ambiental estimado en la estación Sta Rosalia en la cuenca del río Orihueca.

Índice	**Caudal (m^3/s)**
7Q10	0,59
IRH	0,9
$Q_{97,5\%}$ de la curva de duración de caudales	0,24
Caudal por Reducción de 25% (Calidad) + Caudal Ecológico por Descuento	0,72

Como resultado de los valores obtenido, se puede observar que el índice que registra el dato más elevado es el IRH con un caudal de 0,9 m^3/s, mientras que el método de Curvas de Duración de Caudales al $Q_{97,5}\%$, presentó el valor más bajo con 0,24 m^3/s (tabla 89).

Con estos resultados se infiere que el método más propicio para medición de caudal ecológico en la estación Sta Rosalia, ubicada en la cuenca del río Frío es el del Índice de regulación hídrica.

CUENCA DEL RIO SEVILLA

Índice 7Q10

Para la cuenca del río Sevilla se muestra un resumen de las distribuciones que mejor ajuste presentó en la estación *Canal Florida y Pte Sevilla* para cada mes, dichos ajuste se realizaron con datos de caudales medios diarios desde 1967 hasta el 2013 para la primera estación y del 1982 hasta el 2011 para la segunda, además de los caudales ecológicos mínimos para cada mes con retorno de 10 años como se puede observar en la tabla 90.

Tabla 90. Resumen de caudales ecológicos para la Cuenca del rio Sevilla por mes y las distribuciones de mejor ajuste para los valores mínimos, de las medias móviles cada 7 días con series históricas desde 1967 – 2013 para la estación Canal Florida y desde 1982-2011 para la estación Pte Sevilla.

ESTACIÓN	**CANAL FLORIDA**		**PTE SEVILLA**	
MES	**DISTRIBUCIÓN DE MEJOR AJUSTE**	**VALOR DE CAUDAL (m3/s) 0,1**	**DISTRIBUCIÓN DE MEJOR AJUSTE**	**VALOR DE CAUDAL (m3/s) 0,1**
Enero	Gamma	3,21456	Birnbaum-Saunders	0,563018
Febrero	Laplace	2,08255	Uniforme	0,878571
Marzo	Valor Extremo Más Grande	2,4124	Birnbaum-Saunders	0,736372
Abril	Valor Extremo Más Grande	2,76815	Uniforme	0,934
Mayo	Lognormal	4,5534	Birnbaum-Saunders	0,88205
Junio	Loglogística	5,60821	Birnbaum-Saunders	1,13714
Julio	Loglogística	6,39494	Pareto	1,11673
Agosto	Loglogística	7,39608	Uniforme	1,87029
Septiembre	Gaussiana Inversa	8,94046	Uniforme	2,013
Octubre	Loglogística	10,7665	Uniforme	1,83057
Noviembre	Loglogística	7,71674	Birnbaum-Saunders	1,12904
Diciembre	Gamma	4,08497	Birnbaum-Saunders	0,797615

Para esta estación se presentan en la tabla 91. Los valores de los registros mínimos obtenidos a partir de la media móvil cada 7 días de cada mes y de cada año para las dos estaciones de la cuenca del rio Sevilla.

Estación Canal Florida

Tabla 91. Valores mínimos de la media móvil cada 7 días, de la serie de registros diarios de caudales de la estación Canal Florida desde 1967 hasta el 2013.

Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1967								9,79	12,04	11,62	11,23	4,87
1968	5,04	3,87	3,49	3,52	10,41	11,87	7,77	12,10	16,37	17,94	15,17	6,84
1969	6,21	5,61	5,40	5,40	11,25	36,36	25,75					
1970									21,16	27,31	27,52	13,99
1971	7,14	5,77	5,00	3,20	6,28	6,68	6,95	12,26	16,16	15,92	12,50	5,75
1972	4,08	3,28	3,18	4,99	13,85	14,13	11,22	11,89	14,23	13,33	8,44	5,45
1975	4,33	3,44	3,24	2,87	5,38	6,15	8,12	6,94	8,26	17,52	22,42	13,62
1976	6,04	3,55	3,29	3,67	7,97	13,00	9,56	6,62	8,42	13,86	9,27	7,19
1977	3,31	1,74	1,87	3,21	6,69	7,00	7,45	8,39	9,21	16,73	14,74	7,96
1978	4,63	4,17	2,97	3,71	6,76	10,83	12,29	12,09	14,61	17,28	10,65	6,59
1979	4,64	3,73	4,97	6,71	8,90	9,31	11,23	11,61	29,80	29,01	21,87	9,17
1980	6,33	2,99	3,67	6,31	7,70	8,50	8,34	15,31	14,66	16,11	9,05	6,17
1981	3,49	1,73	2,39	3,55	17,23	11,18	9,28	8,67	11,52	11,95	11,11	3,67
1982	4,12	2,01	2,22	3,77	4,11	15,21	10,30	7,06	10,07	14,36	7,24	5,80
1983	3,96	3,10	2,18	2,85	3,91	7,17	8,63	8,94	10,93	13,17	7,84	4,67
1984	4,50	4,59	3,57	3,33	4,70	7,57	8,03	8,74	12,51	18,49	12,54	7,06
1985	5,52	4,56	3,28	3,39	4,87	6,87	6,16	10,67	11,36	14,89	8,85	7,14
1986	5,00	3,90	3,41	4,27	7,17	5,43	7,87	11,56	11,74	11,89	15,31	2,33
1987		4,27	3,39	5,07	9,27	6,30	10,76	8,19	7,24	15,47	10,54	6,37
1988	5,42	4,28	5,27	5,03	8,47	7,04	9,39	13,00	16,84	19,71	15,51	7,78
1989	4,22	4,22	5,15	5,39	8,23	5,86	7,32	11,27	17,75	13,49	11,67	7,73
1992	8,51	3,13	2,94	3,05	6,91	6,29	9,04	8,98	10,95	12,87	7,16	5,02
1993	3,83	2,59	2,50	3,49	9,40	8,68	7,40	9,00	12,34	9,39	4,58	3,62
1994	3,93	3,28	2,53	2,45	6,45	7,74	10,43	13,91		11,25	12,37	8,00
1995	4,73	3,13	3,00	2,77	4,63	9,25	8,44	16,61	16,33	23,56	11,48	8,47
1996	6,31	4,39	3,57	4,29	8,23	32,07	80,70	57,47	28,44	12,97	10,05	6,40
1997	5,13	4,17	4,25	4,34	7,26	11,65	7,86	9,49	13,01	7,26	8,71	5,12
1998	3,84	3,57	3,48	3,44	5,56	8,93	14,40	9,72	18,61	20,57	9,71	8,81
2000	7,43	6,80	5,44	4,99	9,40	9,18	10,06	9,65	16,96	21,05	14,36	9,28
2001	5,64	4,34	4,11	4,66	7,47	7,35	9,18	11,37	15,79	16,80	12,62	9,49
2002	7,70	6,97	6,76	6,81	9,71	9,38	8,54	8,80	21,73	17,85	14,23	5,28
2003	3,79	3,32	3,26	3,27	9,03	10,88	13,11	14,32	14,66	18,70	12,73	9,24
2004	3,78	3,60	3,23	4,88	9,43	9,96	9,52	10,43	9,65	17,94	14,76	5,76

Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2005	4,50	3,68	3,46	3,59	6,41	10,07	8,48	8,25	10,38	13,60	13,88	6,81
2006	5,06	3,49	3,00	3,71	6,73	12,27	8,74	9,63	9,56	11,41	9,55	7,66
2007	6,33	3,17	2,93	3,71	7,72	8,96	9,37	15,74	16,91	23,00	9,88	5,89
2008	5,24	4,14	2,34	2,06	3,20	2,80	6,83	11,52	11,23	13,24	13,07	3,04
2009	1,71	1,47	3,66	4,29	4,96	7,51	6,83	7,90	7,88	7,71	6,50	4,70
2010	3,10	2,22	3,22	3,22	4,98	9,73	11,59	14,37	16,31	14,93	16,56	11,62
2011	3,10	2,22	3,22	3,22	4,98	9,73	11,59	14,37	16,31	14,93	16,56	11,62
2013	6,49	6,84	7,11	8,77	8,90	12,20	12,19	12,78	20,88	19,78	12,00	9,18

A continuación se presenta el análisis estadístico de la evaluación de las distribuciones y la comparación de distribuciones por cada mes y así mismo, la escogencia del caudal mínimo por 7Q10 para un periodo de retorno de 10 años con base en la frecuencia de 0,1.

Enero

Para este mes, la distribución que mejor se ajustó a los valores de los registros mínimos obtenidos a partir de la media móvil cada 7 días para este mes fue la Gamma, teniendo en cuenta dicha distribución y que el periodo de retorno equivale a 1/frecuencia, el caudal ecológico mínimo con periodo de retorno de 10 años es igual a 3,214 m^3/s, como lo muestra la tabla 92.

Tabla 92. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Enero.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Gamma	2	-66,7643	0,0839888
Loglogística	2	-66,8755	0,0671421
Normal	2	-66,9972	0,0881306
Logística	2	-67,2021	0,0791376
Weibull	2	-67,3724	0,0888811
Lognormal	2	-67,6735	0,0981168
Valor Extremo Más Grande	2	-67,7174	0,0996442
Birnbaum-Saunders	2	-67,9142	0,102039
Gaussiana Inversa	2	-67,9697	0,102222
Laplace	2	-68,5301	0,115058
Valor Extremo Más Chico	2	-71,8704	0,136252
Uniforme	2	-72,8718	0,19161
Exponencial	1	-98,784	0,438864
Pareto	1	-113,959	0,49012

Área Cola Inferior (<=)	*Gamma*	*Normal*
0,01	2,21889	1,6255

0,1	3,21456	3,11901
0,5	4,81142	4,95095
0,9	6,86719	6,78289
0,99	8,91064	8,2764

Febrero

La distribución que más se ajustó fue la Laplace, al observar la frecuencia de datos, teniendo en cuenta que el periodo de retorno es igual a 1/Frecuencia, el caudal mínimo ecológico para el mes de Febrero con un periodo de retorno de 10 años es igual a 2,082 m^3/s como lo muestra la tabla 93.

Tabla 93. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Febrero.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Laplace	2	-63,8554	0,101658
Gamma	2	-64,0192	0,126329
Loglogística	2	-64,076	0,106909
Valor Extremo Más Grande	2	-64,4093	0,14072
Lognormal	2	-64,5491	0,147789
Birnbaum-Saunders	2	-64,6053	0,15156
Logística	2	-64,6499	0,095741
Gaussiana Inversa	2	-64,663	0,152577
Weibull	2	-65,2911	0,147374
Normal	2	-65,4807	0,142149
Uniforme	2	-66,5149	0,304971
Valor Extremo Más Chico	2	-72,2403	0,209932
Exponencial	1	-90,8313	0,366867
Pareto	1	-97,7469	0,398327

Área Cola Inferior (<=)	*Laplace*	*Normal*
0,01	-0,0950056	0,721083
0,1	2,08255	2,09367
0,5	3,6046	3,77729
0,9	5,12665	5,46092
0,99	7,30421	6,8335

Marzo

La distribución que mayor ajusté presentó fue Valor Extremo Más Grande, el caudal ambiental es de 2,412 m^3/s, como se aprecia en la tabla 94 de la prueba de Valor Extremo Más Grande para los datos de caudal del mes de Marzo. Con una frecuencia de 0,1.

Tabla 94. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Marzo.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Valor Extremo Más Grande	2	-56,382	0,153045
Gaussiana Inversa	2	-56,7794	0,172695
Loglogística	2	-56,8044	0,135828
Birnbaum-Saunders	2	-56,8161	0,173664
Lognormal	2	-56,8205	0,171267
Laplace	2	-57,9065	0,142095
Gamma	2	-57,9198	0,192007
Logística	2	-60,4766	0,166909
Normal	2	-61,7259	0,233029
Weibull	2	-61,9137	0,226123
Uniforme	2	-64,5955	0,400614
Valor Extremo Más Chico	2	-70,6766	0,265452
Exponencial	1	-89,3857	0,425389
Pareto	1	-96,1279	0,440074

Área Cola Inferior (<=)	*Valor Extremo Más Grande*	*Normal*
0,01	1,8208	0,864163
0,1	2,4124	2,11076
0,5	3,43706	3,63985
0,9	5,04493	5,16893
0,99	7,05046	6,41553

Abril

La distribución que mejor se ajustó a los valores de los registros mínimos obtenidos a partir de la media móvil cada 7 días para este mes fue la de Valor Extremo Más Grande, teniendo en cuenta dicha distribución y que el periodo de retorno equivale a 1/frecuencia, el caudal ecológico mínimo con periodo de retorno de 10 años es igual a 2,768 m^3/s, como lo muestra la tabla 95.

Tabla 95. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Abril.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Valor Extremo Más Grande	2	-60,5834	0,143365
Loglogística	2	-61,0983	0,135967
Gaussiana Inversa	2	-61,0997	0,156786
Lognormal	2	-61,1069	0,154823
Birnbaum-Saunders	2	-61,1398	0,157666
Gamma	2	-62,3128	0,172676
Laplace	2	-64,2159	0,141609
Logística	2	-64,7196	0,160579
Normal	2	-66,4285	0,198068
Weibull	2	-66,8223	0,177144
Uniforme	2	-74,2237	0,400141
Valor Extremo Más Chico	2	-76,9254	0,203828
Exponencial	1	-94,3609	0,437122
Pareto	1	-105,006	0,472397

Área Cola Inferior (<=)	*Valor Extremo Más Grande*	*Normal*
0,01	2,10945	1,0037
0,1	2,76815	2,41006
0,5	3,90904	4,1351
0,9	5,69927	5,86014
0,99	7,93228	7,26649

Mayo

La distribución que mayor ajusté presentó fue la Lognormal, el caudal ambiental es de 4,553 m^3/s, como se aprecia en la tabla 96 de prueba de Lognormal para los datos de caudal del mes de Mayo, con una frecuencia de 0,1.

Tabla 96. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Mayo.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Lognormal	2	-90,2506	0,0835884
Gaussiana Inversa	2	-90,2698	0,082941
Birnbaum-Saunders	2	-90,2729	0,0832885
Valor Extremo Más Grande	2	-90,2881	0,084357
Loglogística	2	-90,4304	0,0965874
Gamma	2	-90,6869	0,0872871
Logística	2	-92,2586	0,0711401
Laplace	2	-93,0253	0,0876153

Weibull	2	-93,7745	0,127008
Normal	2	-94,0886	0,118139
Uniforme	2	-103,004	0,433224
Valor Extremo Más Chico	2	-104,723	0,199831
Exponencial	1	-117,846	0,381333
Pareto	1	-141,825	0,475111

Área Cola Inferior (<=)	*Lognormal*	*Normal*
0,01	3,16407	1,18681
0,1	4,5534	4,04514
0,5	7,11623	7,55117
0,9	11,1215	11,0572
0,99	16,005	13,9155

Junio

La distribución que más se ajustó fue la Loglogistica, al observar la frecuencia de datos, teniendo en cuenta que el periodo de retorno es igual a 1/Frecuencia, el caudal mínimo ecológico para el mes de Junio con un periodo de retorno de 10 años es igual a 5,608 m^3/s como se muestra en la tabla 97.

Tabla 97. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para junio.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Loglogística	2	-106,126	0,068786
Lognormal	2	-109,347	0,129091
Valor Extremo Más Grande	2	-110,035	0,117807
Gaussiana Inversa	2	-110,041	0,141778
Birnbaum-Saunders	2	-110,315	0,144272
Laplace	2	-111,845	0,131413
Gamma	2	-113,019	0,163752
Logística	2	-115,877	0,140466
Weibull	2	-118,635	0,204851
Normal	2	-126,023	0,246163
Exponencial	1	-129,891	0,384512
Uniforme	2	-137,026	0,593518
Valor Extremo Más Chico	2	-142,906	0,313098
Pareto	1	-156,751	0,507442

Área Cola Inferior (<=)	*Loglogística*	*Normal*
0,01	3,35193	-4,14982
0,1	5,60821	2,33238
0,5	8,98766	10,2835

0,9	14,4035	18,2346
0,99	24,0989	24,7168

Julio

La distribución que mejor se ajustó a los valores de los registros mínimos obtenidos a partir de la media móvil cada 7 días para este mes fue la Loglogistica, teniendo en cuenta dicha distribución y que el periodo de retorno equivale a 1/frecuencia, el caudal ecológico mínimo con periodo de retorno de 10 años es igual a 6,394 m^3/s, como lo muestra la tabla 98.

Tabla 98. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Julio.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Loglogística	2	-101,624	0,114625
Lognormal	2	-111,313	0,205422
Gaussiana Inversa	2	-113,973	0,255688
Birnbaum-Saunders	2	-115,089	0,261322
Valor Extremo Más Grande	2	-115,699	0,205713
Laplace	2	-116,961	0,238914
Gamma	2	-122,797	0,281367
Logística	2	-126,757	0,245708
Exponencial	1	-134,442	0,420484
Normal	2	-151,137	0,372771
Pareto	1	-160,798	0,547489
Uniforme	2	-168,141	0,838223
Weibull	2	-4,1E10	0,999948
Valor Extremo Más Chico	<sin ajuste>		

Área Cola Inferior (<=)	*Loglogística*	*Normal*
0,01	4,24926	-15,9244
0,1	6,39494	-3,58237
0,5	9,30043	11,5564
0,9	13,526	26,6952
0,99	20,356	39,0372

Agosto

En la estación Canal Florida para el mes de Agosto, la distribución que mayor ajusté presentó fue la Loglogística, el caudal ambiental es de 7,396 m^3/s, como se aprecia en la tabla 99 de la prueba de Loglogística para los datos de caudal de este mes, con una frecuencia de 0,1.

Tabla 99. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Agosto.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Loglogística	2	-102,856	0,0874514
Lognormal	2	-108,459	0,126686
Valor Extremo Más Grande	2	-108,482	0,115648
Gaussiana Inversa	2	-109,97	0,153181
Birnbaum-Saunders	2	-110,431	0,154959
Laplace	2	-112,504	0,146251
Gamma	2	-115,748	0,179293
Logística	2	-115,998	0,137887
Normal	2	-135,4	0,280958
Exponencial	1	-136,031	0,423108
Uniforme	2	-153,226	0,777843
Pareto	1	-166,705	0,545181
Weibull	2	-4,1E10	0,999342
Valor Extremo Más Chico	<sin ajuste>		

Área Cola Inferior (<=)	*Loglogística*	*Normal*
0,01	4,95848	-6,31971
0,1	7,39608	1,92445
0,5	10,6689	12,0368
0,9	15,3901	22,1491
0,99	22,9559	30,3933

Septiembre

En Septiembre la distribución que mejor se ajustó a los datos de caudales medios diarios para esta estación fue la Gaussiana Inversa; teniendo en cuenta cual fue la distribución que mejor se ajustó y observando la frecuencia de los datos y sabiendo que el periodo de retorno equivale a 1/frecuencia, se obtuvo que para esta estación en este mes del año el caudal ecológico mínimo con periodo de retorno de 10 años es igual a 8,940 m^3/s, como lo muestra la tabla 100.

Tabla 100. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Septiembre.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Gaussiana Inversa	2	-113,974	0,0786347
Birnbaum-Saunders	2	-114,0	0,0793812
Valor Extremo Más Grande	2	-114,04	0,0904718
Lognormal	2	-114,052	0,0785053
Loglogística	2	-114,687	0,0981929
Gamma	2	-114,864	0,0913173
Logística	2	-117,345	0,0899927
Weibull	2	-118,142	0,135783
Normal	2	-118,461	0,130877
Laplace	2	-119,075	0,139862
Uniforme	2	-121,526	0,389734
Valor Extremo Más Chico	2	-127,648	0,202454
Exponencial	1	-143,106	0,395196
Pareto	1	-178,399	0,531202

Área Cola Inferior (<=)	*Gaussiana Inversa*	*Normal*
0,01	6,41965	2,54163
0,1	8,94046	7,88137
0,5	13,6539	14,4311
0,9	20,9173	20,9809
0,99	29,3188	26,3206

Octubre

La distribución que mayor ajusté presentó fue Loglogística, el caudal ambiental es de 1,766 m^3/s, como se aprecia en la tabla 101 de la prueba de Loglogística para los datos de caudal del mes de Octubre, con una frecuencia de 0,1.

Tabla 101. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Octubre.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Loglogística	2	-116,529	0,0566463
Gamma	2	-116,61	0,0712799
Lognormal	2	-116,803	0,0788623
Birnbaum-Saunders	2	-116,857	0,0797912
Gaussiana Inversa	2	-116,877	0,0801782
Valor Extremo Más Grande	2	-117,013	0,082467
Logística	2	-117,501	0,0752047
Normal	2	-118,06	0,0879122
Laplace	2	-118,577	0,0991351
Weibull	2	-118,679	0,104276

Uniforme	2	-123,191	0,274626
Valor Extremo Más Chico	2	-125,291	0,152532
Exponencial	1	-150,833	0,430627
Pareto	1	-189,312	0,516389

Área Cola Inferior (<=)	*Loglogística*	*Normal*
0,01	7,28715	5,06499
0,1	10,7665	9,96331
0,5	15,396	15,9716
0,9	22,0161	21,9799
0,99	32,528	26,8782

Noviembre

La distribución que mejor se ajustó a los valores de los registros mínimos obtenidos a partir de la media móvil cada 7 días para este mes fue la de Loglogística, teniendo en cuenta dicha distribución y que el periodo de retorno equivale a 1/frecuencia, el caudal ecológico mínimo con periodo de retorno de 10 años es igual a 7,726 m^3/s, como lo muestra la tabla 102.

Tabla 102. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Noviembre.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Loglogística	2	-111,506	0,0596585
Valor Extremo Más Grande	2	-111,856	0,0765054
Lognormal	2	-112,008	0,079859
Birnbaum-Saunders	2	-112,142	0,0796569
Gaussiana Inversa	2	-112,143	0,0795408
Gamma	2	-112,411	0,084187
Logística	2	-113,862	0,0641224
Laplace	2	-114,011	0,0685258
Weibull	2	-115,698	0,124203
Normal	2	-115,976	0,116649
Uniforme	2	-125,321	0,402844
Valor Extremo Más Chico	2	-126,558	0,196226
Exponencial	1	-140,564	0,389755
Pareto	1	-174,167	0,508405

Área Cola Inferior (<=)	*Loglogística*	*Normal*
0,01	4,91423	2,00281
0,1	7,71674	6,65238

0,5	11,6684	12,3556
0,9	17,6437	18,0588
0,99	27,7057	22,7083

Diciembre

La distribución que mejor se ajustó a los valores de los registros mínimos obtenidos a partir de la media móvil cada 7 días para este mes fue la Gamma, teniendo en cuenta dicha distribución y que el periodo de retorno equivale a 1/frecuencia, el caudal ecológico mínimo con periodo de retorno de 10 años es igual a 4,084 m^3/s, como lo muestra la tabla 103.

Tabla 103. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Diciembre.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Gamma	2	-92,8784	0,0712664
Valor Extremo Más Grande	2	-93,1183	0,0755525
Loglogística	2	-93,1217	0,0632623
Lognormal	2	-93,4625	0,0762349
Birnbaum-Saunders	2	-93,5818	0,079239
Gaussiana Inversa	2	-93,6544	0,0804017
Logística	2	-94,1105	0,0673629
Weibull	2	-94,1279	0,0918603
Normal	2	-94,5917	0,0945347
Laplace	2	-94,7094	0,0737485
Uniforme	2	-98,2368	0,285306
Valor Extremo Más Chico	2	-101,702	0,155677
Exponencial	1	-118,565	0,380611
Pareto	1	-141,5	0,456188

Área Cola Inferior (<=)	*Gamma*	*Normal*
0,01	2,51278	1,06294
0,1	4,08497	3,78714
0,5	6,81972	7,12867
0,9	10,5714	10,4702
0,99	14,4585	13,1944

Estación Pte Sevilla

Tabla 104. Valores mínimos de la media móvil cada 7 días, de la serie de registros diarios de caudales de la estación *Pte Sevilla* desde 1982 hasta 2011.

Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1982								6,17	7,13	7,50	5,47	3,75
1983	2,94	2,61	2,60	2,75	1,57	1,80	1,85	2,53	7,38	8,00	5,84	4,05
1984	2,95	3,01	2,50	2,46	3,25	4,93	4,96	6,29	8,80	8,22	6,93	4,32
1985	3,42	3,00	2,55	3,13	5,19	3,14	2,54	8,77	10,03	12,84	7,48	5,41
1986	3,91	3,19	2,81	2,83	3,08	5,70	4,62	5,32	10,02	8,98	7,04	4,14
1987	2,70	2,42	2,41	3,60	11,97	10,24	10,04	10,56	10,30	7,29	8,58	5,41
1988	5,03	4,93	4,84	4,84	6,53	7,59				13,18	13,02	6,12
1990				3,33	8,00	12,72	11,23	11,50	10,03	12,30	19,23	4,41
1991	5,51	3,36	2,78	2,01	6,90	6,16	4,98	6,43	8,04	11,33		
1992	4,72	3,69	2,97	2,87	6,92	8,69	7,56	4,70	8,19	11,07	7,78	6,16
1993	3,46	2,65	2,50	2,96	6,97	8,07	6,15	6,93	10,18	11,54	6,37	2,86
1996	3,81	2,52	2,34	2,39	9,32	6,91	9,33	8,81	8,36	6,41	8,87	6,80
1997	3,82	4,12	3,34	3,53	3,17	6,20	4,74	7,98	9,19	8,35	6,26	4,12
1998	10,93	2,19	1,36	2,11	5,75	7,42	7,56	7,53	10,50	10,45	5,90	6,20
1999	3,58	3,33	2,70	2,93	5,75	5,34	8,71	10,33	10,60	12,64	9,39	10,33
2000	2,33	0,66	0,69	0,69	1,61	1,47	1,52	1,27	2,28	1,99	1,13	1,11
2001	0,89	0,83	0,85	1,10	1,49	1,41	1,35	4,02	2,57	1,75	1,27	1,11
2002	1,03	0,85	0,83	1,09	1,42	1,24	1,08	1,19	1,32	1,11	1,04	0,73
2003	0,61	0,61		0,82	2,58	2,39	1,06	2,09	3,08	6,30	1,93	0,81
2004	0,73	0,61		1,83	0,90	1,48	1,56	1,25	1,39	1,64	1,62	0,95
2005	0,24	0,43	0,73	0,50	1,93	10,11	1,85	1,25	1,99	0,57	1,97	1,11
2006	1,05	1,00	1,00	1,13	1,36	1,64	1,19	1,37	1,29	1,36	1,09	1,03
2007	0,99	1,02	0,99	0,98	1,05	0,99	1,06	1,16	1,13	1,30	1,21	1,10
2008	1,08	1,08	0,97	1,16	1,25	2,24	2,89	0,80	1,06	1,11	1,00	0,68
2009	0,59	0,58	0,55	0,53	0,57	1,24	1,02	1,06	1,17	2,32	1,78	0,81
2010	0,64	0,60	1,63	1,59	1,11	1,10	1,13	1,27	1,31	3,17	3,23	2,91
2011	1,28	1,11	0,79	0,54	0,67	0,96	1,03	1,04	1,78	1,45	1,30	0,95

Enero

En el mes de Enero la distribución que mejor se ajustó a los datos de caudales medios diarios para esta estación fue Birnbaum-Saunders; teniendo en cuenta cual fue la distribución que mejor se ajustó y observando la frecuencia de los datos y sabiendo que el periodo de retorno equivale a 1/frecuencia, se obtuvo que para esta estación en este mes del año el caudal ecológico mínimo con periodo de retorno de 10 años es igual a 0,563 m^3/s, como lo muestra la tabla 105.

Tabla 105. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Enero.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Birnbaum-Saunders	2	-48,6248	0,174624
Gamma	2	-48,865	0,160478
Lognormal	2	-49,0254	0,167425
Weibull	2	-49,078	0,153789
Gaussiana Inversa	2	-49,1874	0,194665
Loglogística	2	-49,8382	0,159709
Exponencial	1	-50,1042	0,153581
Valor Extremo Más Grande	2	-51,2726	0,192025
Logística	2	-54,3467	0,175546
Laplace	2	-55,6626	0,22316
Normal	2	-56,1389	0,173515
Uniforme	2	-59,2227	0,496818
Valor Extremo Más Chico	2	-64,1633	0,261384
Pareto	1	-1,E9	0,305612

Área Cola Inferior (<=)	*Birnbaum-Saunders*	*Normal*
0,01	0,261464	-2,69483
0,1	0,563018	-0,258621
0,5	1,83518	2,72964
0,9	5,98186	5,7179
0,99	12,8809	8,15411

Febrero

La distribución que mejor se ajustó a los valores de los registros mínimos obtenidos a partir de la media móvil cada 7 días para este mes fue Uniforme, teniendo en cuenta dicha distribución y que el periodo de retorno equivale a 1/frecuencia, el caudal ecológico mínimo con periodo de retorno de 10 años es igual a 0,878 m^3/s, como lo muestra la tabla 106.

Tabla 106. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Febrero.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Uniforme	2	-37,6019	0,328849
Birnbaum-Saunders	2	-38,6393	0,198733
Gaussiana Inversa	2	-38,9209	0,208172
Weibull	2	-39,1709	0,202334
Gamma	2	-39,2072	0,188268
Lognormal	2	-39,4797	0,19501
Loglogística	2	-40,9332	0,187335
Valor Extremo Más Grande	2	-40,9474	0,211407
Normal	2	-42,1587	0,231879
Exponencial	1	-42,5244	0,20818
Logística	2	-43,265	0,222251
Valor Extremo Más Chico	2	-44,6857	0,219785
Laplace	2	-46,4202	0,280768
Pareto	1	-1,E9	0,36

Área Cola Inferior (<=)	*Normal*	*Uniforme*
0,01	-1,08524	0,473571
0,1	0,307445	0,878571
0,5	2,01572	2,67857
0,9	3,72399	4,47857
0,99	5,11667	4,88357

Marzo

La distribución que mejor ajuste presentó fue Birnbaum-Saunders, el caudal ambiental es de 0,736 m^3/s, como se aprecia en la en la tabla 107 de la prueba de Birnbaum-Saunders para los datos de caudal del mes de Marzo, con una frecuencia de 0,1.

Tabla 107. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Marzo.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Birnbaum-Saunders	2	-32,2813	0,243035
Gaussiana Inversa	2	-32,4203	0,248082
Gamma	2	-32,5161	0,221233
Weibull	2	-32,594	0,197052
Lognormal	2	-32,7598	0,238712
Valor Extremo Más Grande	2	-33,3872	0,224936
Uniforme	2	-33,4793	0,348232
Loglogística	2	-33,9769	0,228769

Normal	2	-34,5587	0,194491
Logística	2	-35,0716	0,19537
Laplace	2	-37,5138	0,271792
Valor Extremo Más Chico	2	-38,136	0,177751
Exponencial	1	-38,3092	0,256118
Pareto	1	-1,E9	0,391304

Área Cola Inferior (<=)	*Birnbaum-Saunders*	*Normal*
0,01	0,415237	-0,639122
0,1	0,736372	0,521754
0,5	1,62072	1,94569
0,9	3,56713	3,36963
0,99	6,32586	4,5305

Abril

La distribución que mejor se ajustó a los valores de los registros mínimos obtenidos a partir de la media móvil cada 7 días para este mes fue Uniforme, teniendo en cuenta dicha distribución y que el periodo de retorno equivale a 1/frecuencia, el caudal ecológico mínimo con periodo de retorno de 10 años es igual a 0,934 m^3/s, como lo muestra la tabla 108.

Tabla 108. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Abril.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Uniforme	2	-38,1647	0,247911
Weibull	2	-38,6666	0,148983
Gamma	2	-39,0148	0,142082
Birnbaum-Saunders	2	-39,5038	0,163166
Gaussiana Inversa	2	-39,8313	0,169223
Valor Extremo Más Grande	2	-39,8767	0,147589
Lognormal	2	-39,9571	0,153581
Normal	2	-40,4105	0,164641
Loglogística	2	-40,9406	0,136001
Logística	2	-41,2968	0,164687
Valor Extremo Más Chico	2	-43,2364	0,148556
Laplace	2	-43,7801	0,182012
Exponencial	1	-44,8613	0,214989
Pareto	1	-1,E9	0,266029

Área Cola Inferior (<=)	*Normal*	*Uniforme*
0,01	-0,649513	0,5434

0,1	0,569895	0,934
0,5	2,06563	2,67
0,9	3,56136	4,406
0,99	4,78077	4,7966

Mayo

Para la estación Pte Sevilla en el mes de Mayo la distribución que mejor ajuste presentó al momento de realizar el análisis de comparación de distribuciones alternas con datos históricos de caudales fue Birnbaum-Saunders, el caudal ecológico para este mes después de la realización del análisis críticos de Birnbaum-Saunders, con una frecuencia de 0,1 es de 0,882 m^3/s (tabla 109)

Tabla 109. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Mayo.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Birnbaum-Saunders	2	-58,3852	0,148273
Gaussiana Inversa	2	-58,6735	0,161219
Lognormal	2	-59,3208	0,151111
Gamma	2	-59,6965	0,171799
Weibull	2	-59,8967	0,168746
Loglogística	2	-60,6023	0,15509
Exponencial	1	-61,1009	0,137811
Valor Extremo Más Grande	2	-62,7508	0,196377
Uniforme	2	-63,2661	0,380778
Normal	2	-66,0164	0,193325
Logística	2	-66,4555	0,170183
Laplace	2	-67,9643	0,203588
Valor Extremo Más Chico	2	-70,613	0,2136
Pareto	1	-1,E9	0,192134

Área Cola Inferior (<=)	*Birnbaum-Saunders*	*Normal*
0,01	0,420304	-3,41194
0,1	0,88205	-0,147104
0,5	2,70667	3,85755
0,9	8,3057	7,86221
0,99	17,4304	11,127

Junio

La distribución que mayor ajusté presentó fue Birnbaum-Saunders, el caudal ecológico es de 1,137 m^3/s, como se aprecia en la tabla 110 de la prueba Birnbaum-Saunders para los datos de caudal del mes de Junio, con una frecuencia de 0,1.

Tabla 110. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Junio.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Birnbaum-Saunders	2	-63,0181	0,169938
Gaussiana Inversa	2	-63,3504	0,186419
Uniforme	2	-64,0754	0,33981
Lognormal	2	-64,1559	0,170254
Gamma	2	-64,1973	0,170315
Weibull	2	-64,2692	0,17124
Loglogística	2	-65,7181	0,167161
Exponencial	1	-66,0232	0,186416
Valor Extremo Más Grande	2	-66,8776	0,186894
Normal	2	-68,9427	0,203288
Logística	2	-69,8475	0,187524
Valor Extremo Más Chico	2	-72,3186	0,195666
Laplace	2	-72,9025	0,181876
Pareto	1	-1,E9	0,231128

Área Cola Inferior (<=)	*Birnbaum-Saunders*	*Normal*
0,01	0,551954	-3,47391
0,1	1,13714	0,179857
0,5	3,34803	4,66158
0,9	9,85744	9,14331
0,99	20,3084	12,7971

Julio

La distribución que mejor se ajustó a los datos de caudales fue Pareto, teniendo en cuenta la mejor distribución presentada para el mes de Julio, con una frecuencia de 0,1 el caudal ecológico mínimo 7Q10 con retorno de 10 años es igual a 1,116 m^3/s como lo muestra la tabla 111.

Tabla 111. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Julio.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Pareto	1	-52,3679	0,207724
Birnbaum-Saunders	2	-56,5271	0,176064
Gaussiana Inversa	2	-56,5865	0,164397
Lognormal	2	-57,6134	0,170767
Uniforme	2	-58,0824	0,398631
Gamma	2	-58,5189	0,20165
Weibull	2	-58,7902	0,197557
Loglogística	2	-59,0734	0,163499
Exponencial	1	-59,9085	0,223243
Valor Extremo Más Grande	2	-61,7623	0,2256
Normal	2	-64,9276	0,225539
Logística	2	-65,5902	0,201865
Laplace	2	-67,0062	0,28415
Valor Extremo Más Chico	2	-68,6138	0,225258

Área Cola Inferior (<=)	*Normal*	*Pareto*
0,01	-3,66921	1,01059
0,1	-0,206722	1,11673
0,5	4,04038	2,06754
0,9	8,28749	11,1664
0,99	11,75	124,689

Agosto

La distribución que mejor se ajustó a los valores de los registros mínimos obtenidos a partir de la media móvil cada 7 días para este mes fue Uniforme, teniendo en cuenta dicha distribución y que el periodo de retorno equivale a 1/frecuencia, el caudal ecológico mínimo con periodo de retorno de 10 años es igual a 1,870 m^3/s, como lo muestra la tabla 112.

Tabla 112. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Agosto.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Uniforme	2	-61,6333	0,331559
Birnbaum-Saunders	2	-63,6921	0,208337
Gaussiana Inversa	2	-64,1945	0,208289
Weibull	2	-64,8053	0,221013
Gamma	2	-64,8458	0,219478
Lognormal	2	-65,0687	0,211027
Exponencial	1	-66,1117	0,160677
Loglogística	2	-66,7135	0,211073

Valor Extremo Más Grande	2	-67,8456	0,225026
Normal	2	-69,3267	0,20908
Logística	2	-70,5478	0,195324
Valor Extremo Más Chico	2	-71,7309	0,189078
Laplace	2	-73,5826	0,193143
Pareto	1	-1,E9	0,230208

Área Cola Inferior (<=)	*Normal*	*Uniforme*
0,01	-3,57908	0,907029
0,1	0,129055	1,87029
0,5	4,67747	6,15143
0,9	9,22589	10,4326
0,99	12,934	11,3958

Septiembre

Para este mes, la distribución que mejor se ajustó a los valores de los registros mínimos obtenidos a partir de la media móvil cada 7 días para este mes fue Uniforme, teniendo en cuenta dicha distribución y que el periodo de retorno equivale a 1/frecuencia, el caudal ecológico mínimo con periodo de retorno de 10 años es igual a 2,013 m^3/s, como lo muestra la tabla 113.

Tabla 113. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Septiembre.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Uniforme	2	-58,6545	0,264717
Birnbaum-Saunders	2	-69,3967	0,276364
Weibull	2	-69,4773	0,235029
Gamma	2	-69,8335	0,246331
Gaussiana Inversa	2	-70,1353	0,290114
Lognormal	2	-70,8241	0,265938
Exponencial	1	-71,4135	0,249911
Pareto	1	-71,4554	0,290891
Valor Extremo Más Chico	2	-71,8288	0,243313
Normal	2	-71,9942	0,212651
Valor Extremo Más Grande	2	-72,2691	0,229714
Loglogística	2	-72,4993	0,246874
Logística	2	-73,7941	0,211988
Laplace	2	-77,467	0,303704

Área Cola Inferior (<=)	*Normal*	*Uniforme*

0,01	-3,4131	1,15401
0,1	0,695667	2,013
0,5	5,7355	5,83071
0,9	10,7753	9,64843
0,99	14,8841	10,5074

Octubre

Para este mes, la distribución que mejor se ajustó a los valores de los registros mínimos obtenidos a partir de la media móvil cada 7 días para este mes fue Uniforme, teniendo en cuenta dicha distribución y que el periodo de retorno equivale a 1/frecuencia, el caudal ecológico mínimo con periodo de retorno de 10 años es igual a 1,830 m^3/s, como lo muestra la tabla 114.

Tabla 114. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Octubre.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Uniforme	2	-68,4221	0,231454
Weibull	2	-75,7318	0,171402
Gamma	2	-76,1469	0,18994
Birnbaum-Saunders	2	-76,6447	0,251689
Exponencial	1	-77,3351	0,215824
Lognormal	2	-77,8503	0,229329
Gaussiana Inversa	2	-77,8831	0,272513
Normal	2	-78,3767	0,191403
Valor Extremo Más Grande	2	-78,4684	0,183096
Valor Extremo Más Chico	2	-79,1055	0,18868
Loglogística	2	-79,154	0,200891
Logística	2	-79,9329	0,187598
Laplace	2	-82,6125	0,232343
Pareto	1	-1,E9	0,300709

Área Cola Inferior (<=)	*Normal*	*Uniforme*
0,01	-4,00008	0,696057
0,1	0,693725	1,83057
0,5	6,45117	6,87286
0,9	12,2086	11,9151
0,99	16,9024	13,0497

Noviembre

La distribución que mayor ajusté presentó fue Birnbaum-Saunders, el caudal ambiental es de 1,129 m^3/s, como se aprecia en la tabla 115 de la prueba de Birnbaum-Saunders para los datos de caudal del mes de Noviembre, con una frecuencia de 0,1.

Tabla 115. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Noviembre.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Birnbaum-Saunders	2	-66,6945	0,208098
Gaussiana Inversa	2	-67,0814	0,228354
Lognormal	2	-67,8474	0,209877
Gamma	2	-68,044	0,19295
Weibull	2	-68,2051	0,188542
Exponencial	1	-69,1621	0,184711
Loglogística	2	-69,2951	0,203847
Valor Extremo Más Grande	2	-71,0785	0,218028
Logística	2	-74,186	0,194104
Normal	2	-74,9805	0,195171
Uniforme	2	-75,4818	0,462491
Laplace	2	-75,9106	0,253216
Valor Extremo Más Chico	2	-81,7308	0,25909
Pareto	1	-1,E9	0,270956

Área Cola Inferior (<=)	*Birnbaum-Saunders*	*Normal*
0,01	0,529052	-5,0024
0,1	1,12904	-0,393533
0,5	3,60215	5,25973
0,9	11,4925	10,913
0,99	24,5259	15,5219

Diciembre

La distribución que mejor se ajustó a los valores de los registros mínimos obtenidos a partir de la media móvil cada 7 días para este mes fue Birnbaum-, teniendo en cuenta dicha distribución y que el periodo de retorno equivale a 1/frecuencia, el caudal ecológico mínimo con periodo de retorno de 10 años es igual a 0,797 m^3/s, como lo muestra la tabla 116.

Tabla 116. Arriba: Comparación de Distribuciones Alternas; Abajo: Valores Críticos para Diciembre.

Distribución	*Parámetros Est.*	*Log Verosimilitud*	*KS D*
Birnbaum-Saunders	2	-54,7321	0,230489
Gaussiana Inversa	2	-55,1337	0,229196
Gamma	2	-55,7912	0,245203
Weibull	2	-55,8347	0,243968
Lognormal	2	-55,9135	0,233821
Loglogística	2	-57,491	0,23762
Exponencial	1	-57,5169	0,184216
Valor Extremo Más Grande	2	-58,3769	0,255333
Uniforme	2	-58,9217	0,378484
Normal	2	-60,6165	0,234967
Logística	2	-61,03	0,229193
Laplace	2	-63,5377	0,24753
Valor Extremo Más Chico	2	-65,2525	0,216795
Pareto	1	-1,E9	0,307515

Área Cola Inferior (<=)	*Birnbaum-Saunders*	*Normal*
0,01	0,384226	-2,54533
0,1	0,797615	0,107208
0,5	2,3882	3,36083
0,9	7,15069	6,61445
0,99	14,8441	9,26699

El caudal ambiental (7Q10) promedio para la estación Canal florida en la Cuenca del río Sevilla es de 5, 494 m^3/s; con un comportamiento a lo largo del año en dos fases, una que va de enero a abril en el cual tiende a bajar de 3,214 m^3/s a 2,768 m^3/s y otra que se presenta de mayo a Octubre en el que predominan variaciones en las que el caudal aumenta moviéndose entre los 4,553 m^3/s y los 10,766 m^3/s, alcanzando su máximo en el mes de octubre y Volviendo a bajar finalizando el año para los meses de noviembre y diciembre (Figura 90). Para el caso de la estación Pte Sevilla el caudal ambiental (7Q10) promedio es de 1,157 m^3/s; muestra dos fases, una de enero a mayo en la que se presentan fluctuaciones en la que predominan los caudales bajos manteniéndose entre 0,563 m^3/s a 0,882 m^3/s y otra que se presenta de Junio a Octubre en el caudal aumenta moviéndose entre los 1,137 m^3/s y los 1,830 m^3/s (Figura 90)

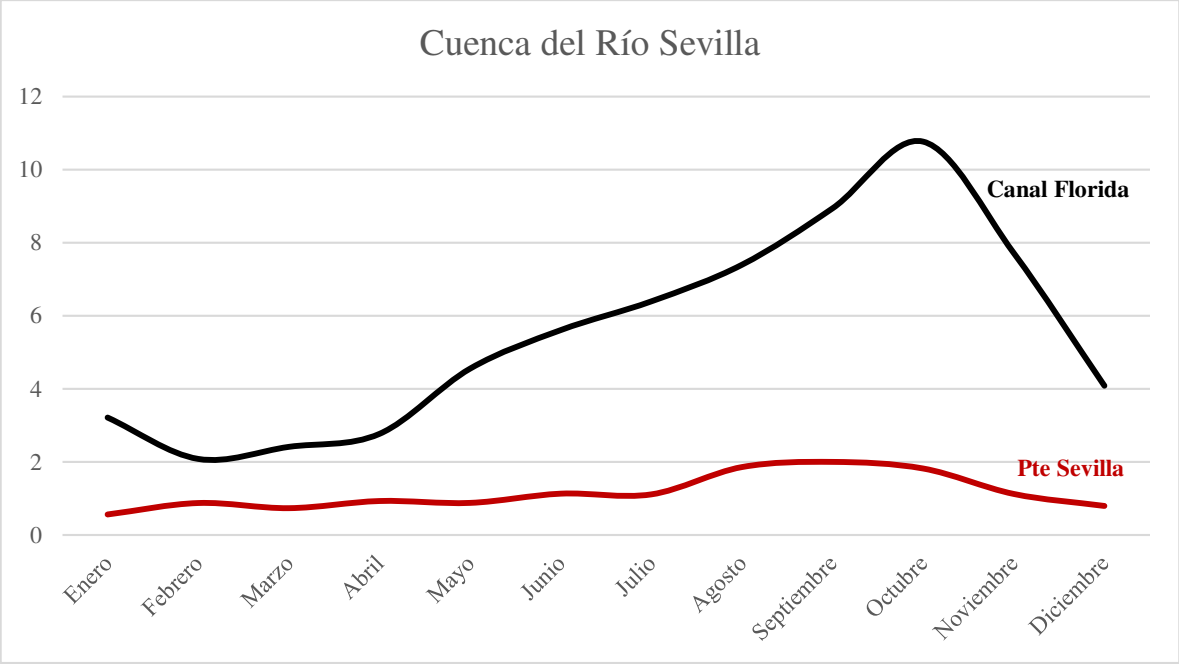


Figura 90. Variación del caudal en la estación Buritaca de la cuenca del rio Sevilla.

Índice de Regulación Hídrica (IRH)

Para la estimación del caudal ambiental por este método fue necesario calcular IRH, el cual es de 0,34 m^3/s para la estación Canal Florida y de 0,31 m^3/s Para la estación Pte Sevilla como lo muestra la tabla 117.

Tabla 117. Estimación del IRH para la estación Canal Florida y Pte Sevilla situado en la cuenca del río Sevilla.

Estación	Variable	Volúmenes (m^3/s)	IRH	Categoría	Color	Descripción
Canal Florida	VP	2027,3499	0,34	Muy Baja		El índice de regulación y retención hídrica es muy bajo.
	Vt	6045,3500				
Pte Sevilla	VP	512,4499	0,31	Muy Baja		
	Vt	1666,3999				

Con estos valores de IRH, se puede apreciar que sobre la cuenca del río Sevilla, la retención y regulación de la humedad es muy baja.

Teniendo como referente el IRH, se calculó el Caudal ecológico con base en el Q75% de la curva de duración de caudales diarios con registros históricos desde 1967 hasta el 2013. Se logró establecer que el Caudal que permanece el 75% del periodo total es de 5,6 m^3/s para la estación Limnigráfica Canal Florida, ubicada sobre la cuenca del río Sevilla, como se muestra en la figura 91, y para la estación Pte Sevilla, con un registro histórico desde 1982 hasta el 2011 el caudal ecológico es de 1,6 m^3/s como se muestra en la figura 92.

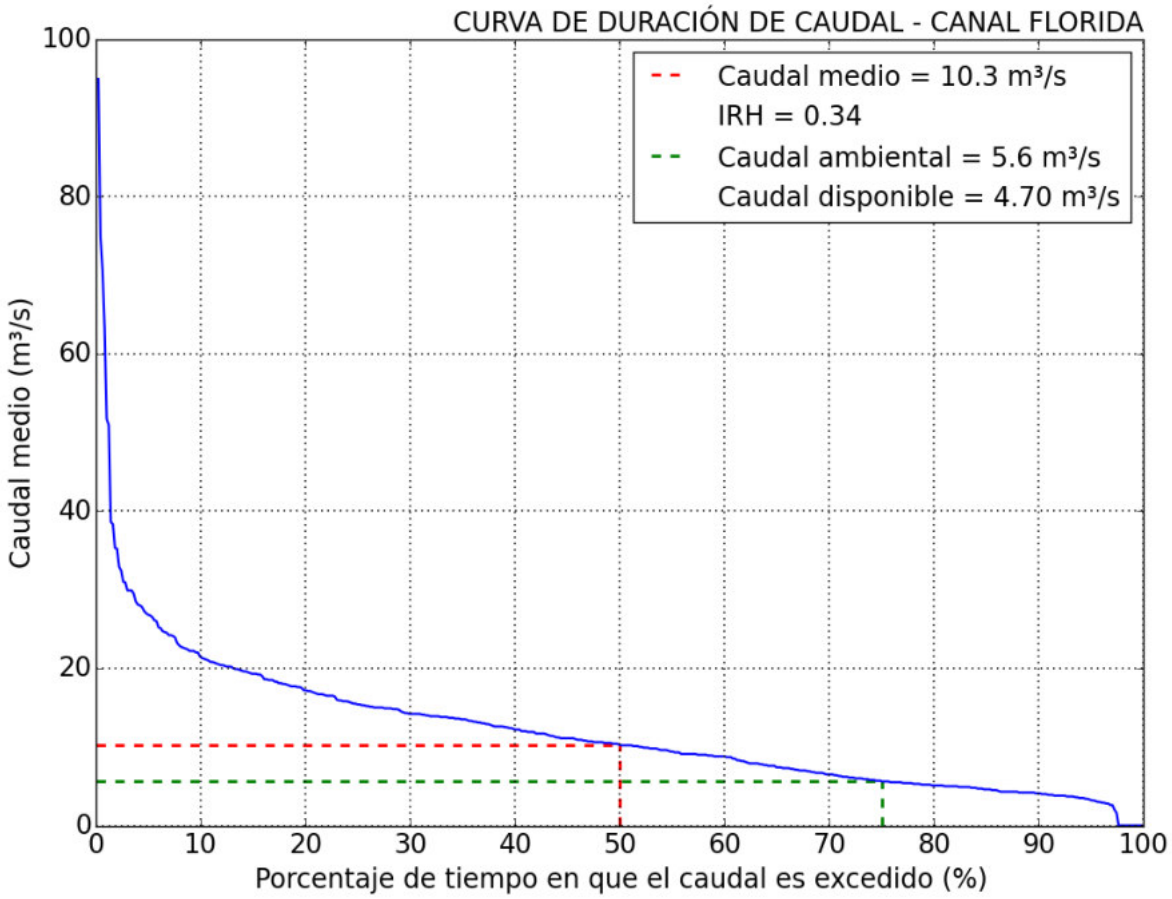


Figura 91. Caudal ecológico del río Sevilla, con base en el Q75% y un IRH menor a 0,5 de la curva de duración de caudales diarios con series históricas desde 1967 hasta 2013 de la estación La Canal Florida.

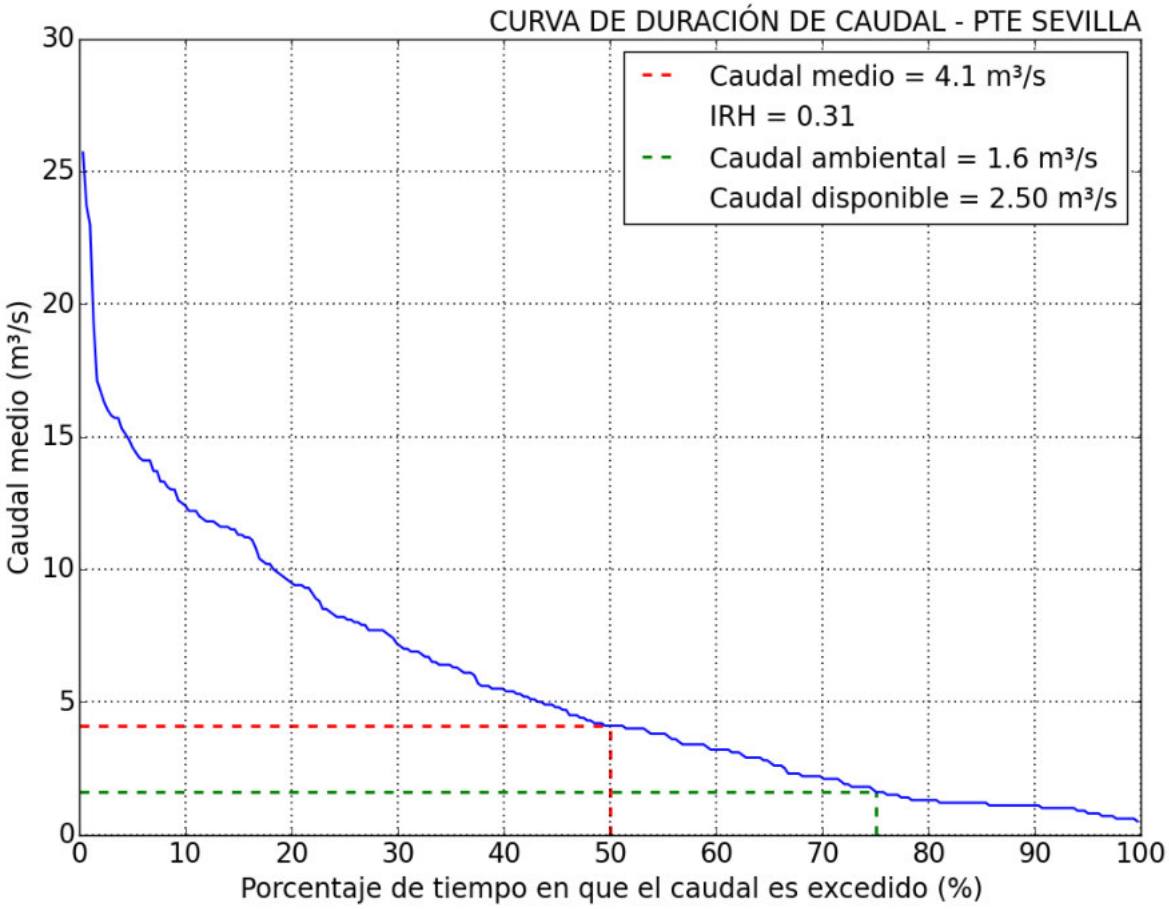


Figura 92. Caudal ecológico del río Sevilla, con base en el Q75% y un IRH menor a 0,5 de la curva de duración de caudales diarios con series históricas desde 1982 hasta el 2011 de la estación Pte Sevilla.

Mínimo Histórico

El caudal ecológico para la cuenca del Rio Sevilla, en la estación Canal Florida conforme al caudal mínimo histórico que permanece el 97,5% del periodo comprendido entre 1967 hasta el 2013 es de 2,95 m^3/s (Figura 93).

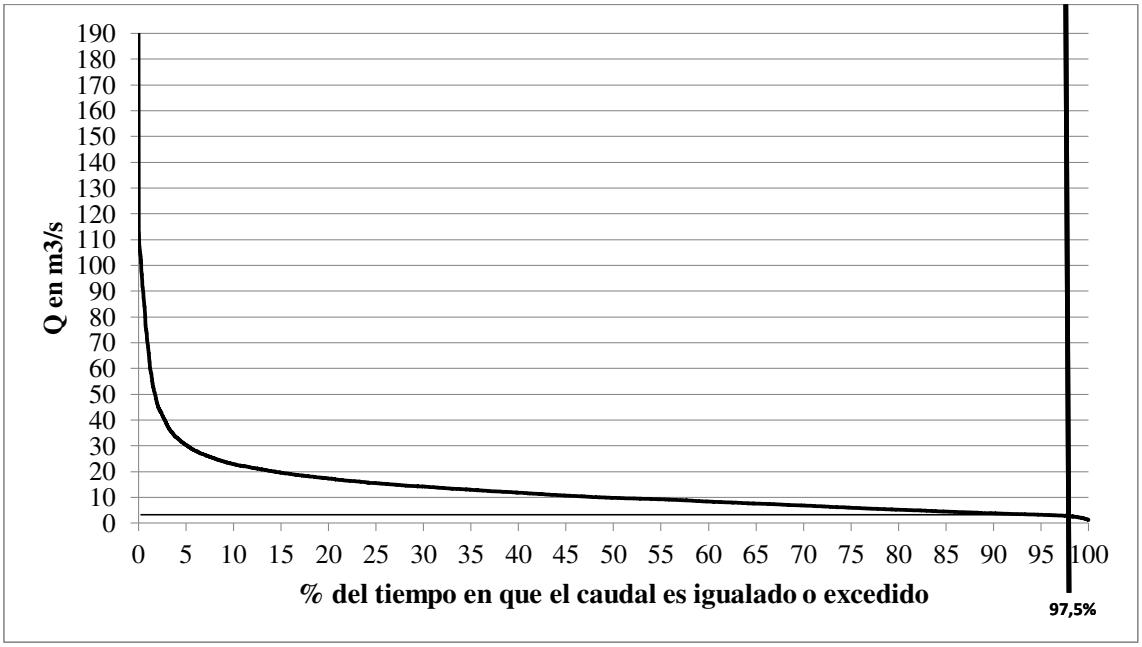


Figura 93. Curva de duración de Caudales diarios multianuales, con series históricas desde 1967 a 2013, de la cuenca del Rio Sevilla, en la estación Canal Florida.

El caudal ecológico de la cuenca del Rio Sevilla en la estación Pte Sevilla conforme al caudal mínimo histórica que permanece el 97,5 del periodo comprendido entre 1982 hasta el 2011 es de 0,66 m^3/s.

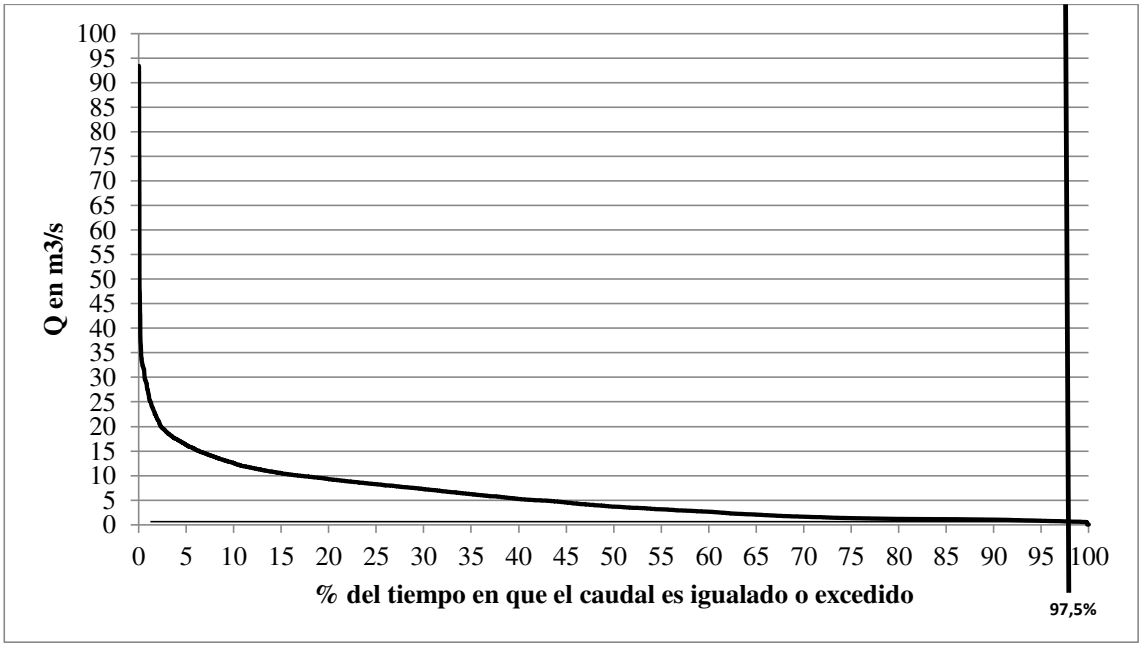


Figura 94. Curva de duración de Caudales diarios multianuales, con series históricas desde 1982 a 2011, de la cuenca del Rio Sevilla en la estación Pte Sevilla.

Caudal por Porcentaje de Descuento

Para esta estación se cuenta con registros de caudales mensuales multianuales con serie de datos que van desde 1967 hasta el 2013, lo cual permitió identificar que el valor más bajo promedio multianual de caudal es del río Sevilla en la estación Canal Florida es de **4,42 m^3/s**, lo cual significa que al obtener la reducción del 25% de este caudal arrojó un valor de **1,10** m^3/s como caudal ecológico.

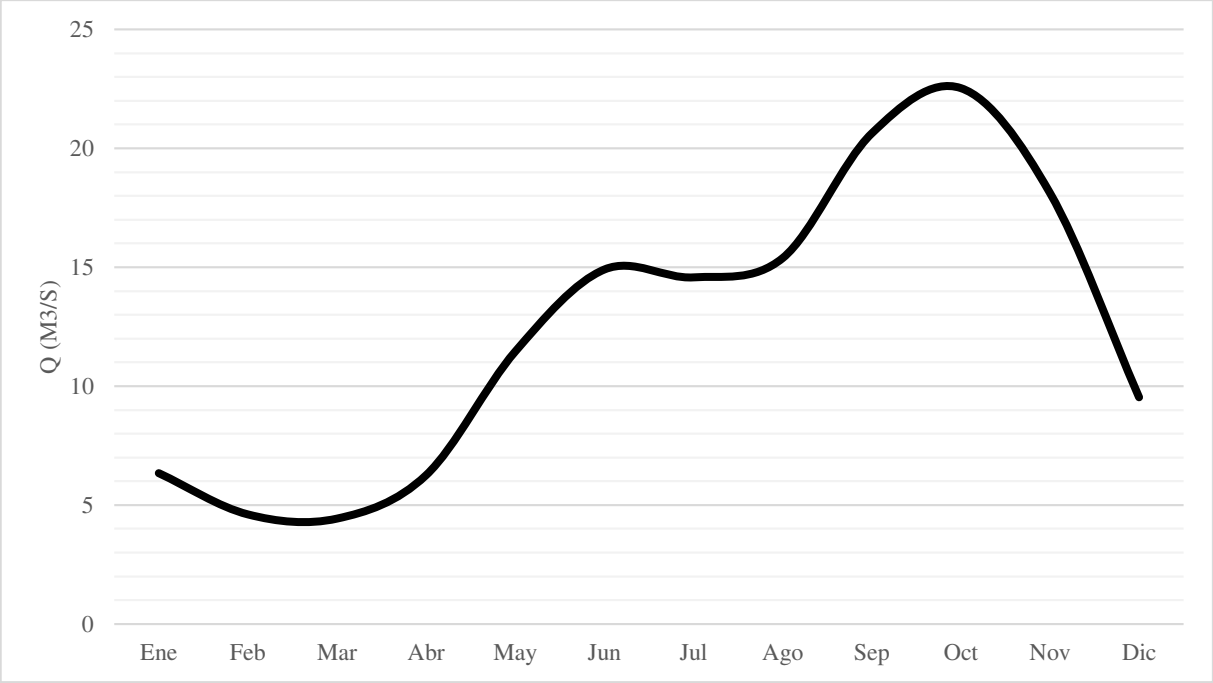


Figura 95. Variación mensual multianual del caudal medio de la cuenca del río Sevilla en la estación Canal Florida con series históricas desde 1967 a 2013.

Para esta estación se cuenta con registros de caudales mensuales multianuales con serie de datos que van desde 1982 hasta el 2011, lo cual permitió identificar que el valor más bajo promedio multianual de caudal del río Sevilla en la estación Pte Sevilla es de **2,44 m^3/s**, lo cual significa que al obtener la reducción del 25% de este caudal arrojó un valor de **0,61 m^3/s** como caudal ecológico.

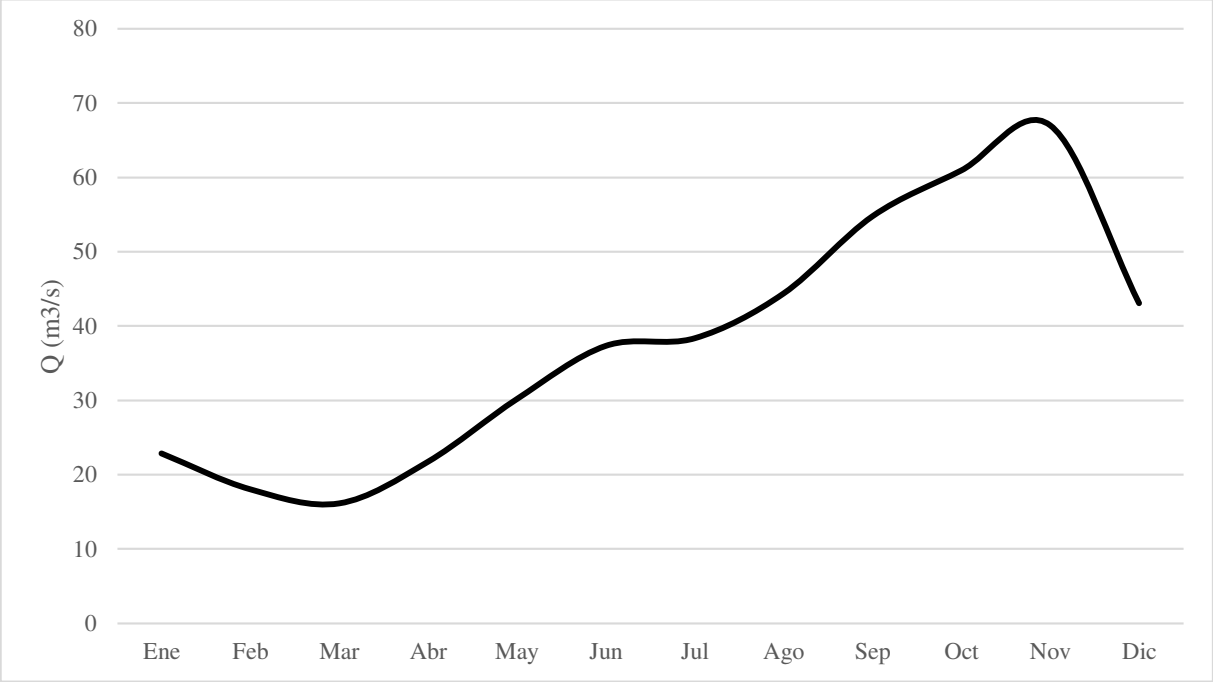


Figura 96. Variación mensual multianual del caudal medio de la cuenca del río Sevilla en la estación Pte Sevilla con series históricas desde 1982 a 2011.

Caudal por Reducción del 25% (Calidad)

Para la estación Canal Florida el promedio de caudal mensual multianual es de 12,39 m^3/s, lo que corresponde a que el 25% de reducción de este caudal es de 3,10 m^3/s como caudal ecológico por reducción de calidad de agua para esta estación.

Para la esta estación Pte Sevilla el promedio de caudal mensual multianual es de 5,55 m^3/s, lo que corresponde a que el 25% de reducción de este caudal es de 1,39 m^3/s como caudal ecológico por reducción de calidad de agua para esta estación.

Factor de Reducción del 25% para la cuenca del río Sevilla, en la estación Canal Florida.

Tabla 118. Caudales medio mensuales multianuales con series históricas desde 1967 a 2013 de la cuenca del río Sevilla, en la estación Canal Florida.

Q (m^3/s)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Prom
Medio	6,33	4,60	4,42	6,25	11,45	14,90	14,57	15	20,63	22,54	18,13	9,53	12,3

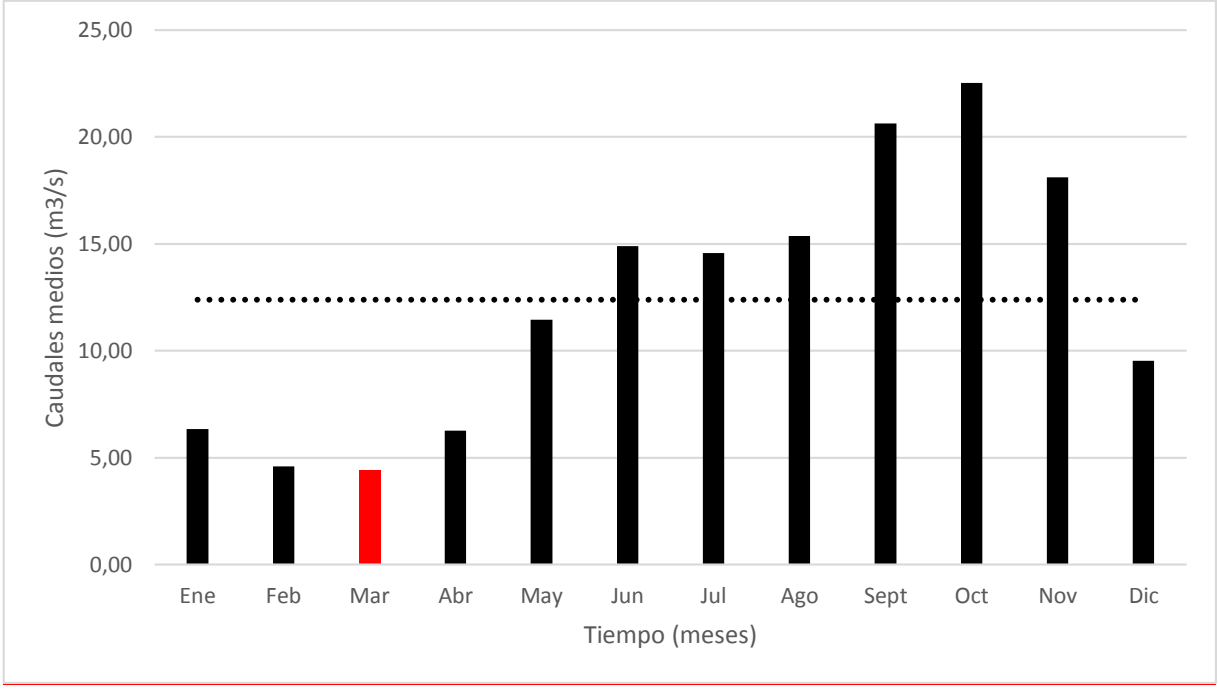


Figura 97. Caudales medio mensuales multianuales con series históricas desde 1967 a 2013 de la cuenca del río Sevilla, en la estación Canal Florida.

En la tabla 118 y la figura 97 se observan los caudales medio mensuales multianuales de la estación Canal Florida. Se observa que el mes de Marzo presenta los niveles más bajo de caudal con un valor de 4,42 m^3/s; el caudal promedio para esta estación es de 12,3 m^3/s; en la tabla 120 se visualiza detalladamente estos datos y la simplificación de los métodos de reducción del 25% de calidad y descuento, los cuales arrojan un caudal ecológico de 4,2 m^3/s.

Tabla 119. Caudales medio mensuales multianuales con series históricas desde 1982 hasta 2011 de la cuenca del río Sevilla, en la estación Pte Sevilla.

Q (m^3/s)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Prom
Medio	3,44	2,56	2,44	3,34	6,30	6,39	5,34	6,74	8,41	9,42	7,84	4,41	5,6

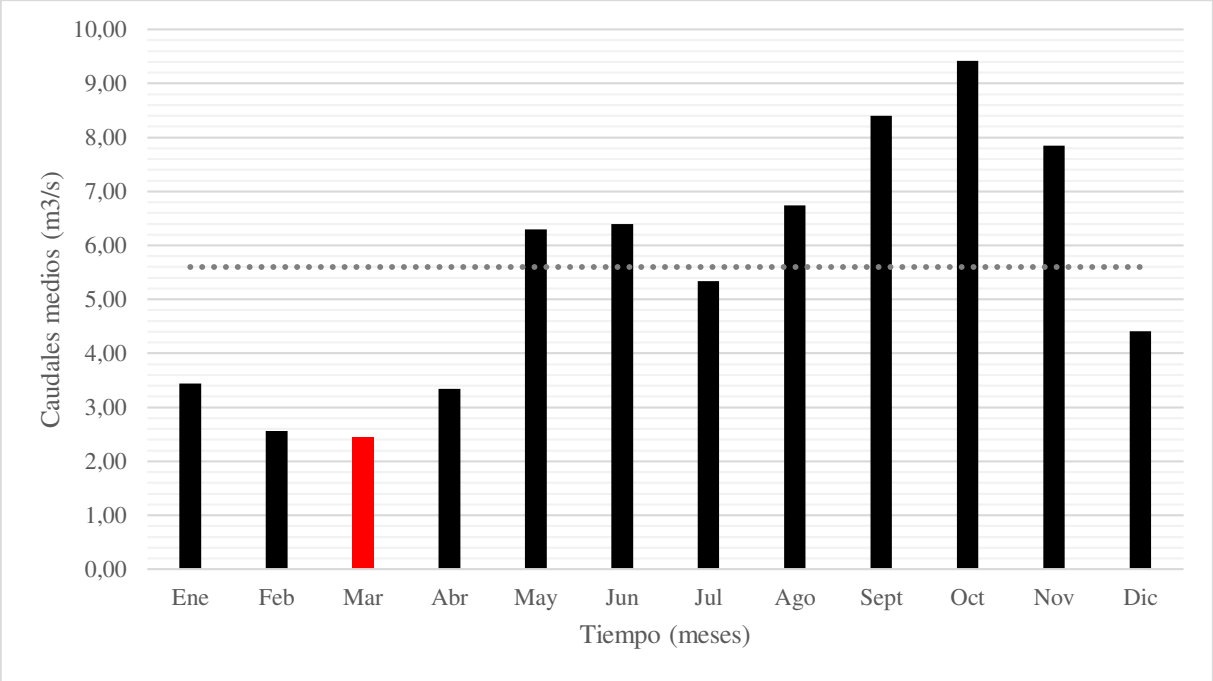


Figura 98. Caudales medio mensuales multianuales con series históricas desde 1982 a 2011 de la cuenca del río Sevilla, en la estación Pte Sevilla.

En la tabla 119 y la figura 98 se observan los caudales medio mensuales multianuales de la estación Pte Sevilla. Se observa que el mes de Marzo presenta los niveles más bajo de caudal con un valor de 2,44 m^3/s; el caudal promedio para esta estación es de 5,6 m^3/s; en la tabla 120 se pueden observar estos valores y la simplificación de los métodos de reducción del 25% por calidad y descuento, en donde el caudal por estos métodos es de 2,0 m^3/s.

Tabla 120. Factores de reducción aplicada a la cuenca del río Sevilla, en la estación Canal Florida y Pte Sevilla.

Estación	**Canal Florida**	**Pte Sevilla**
Caudales	**Valor (m^3/s)**	**Valor (m^3/s)**
Caudal medio mensual multianual	12,3	5,6
Caudal medio mensual multianual más bajo	4,42	2,44
Caudal Ambiental de reducción del 25%	Caudal medio mensual multianual * 25% = 3,08	Caudal medio mensual multianual * 25% = 1,4

Estación	Canal Florida	Pte Sevilla
Caudales	**Valor (m^3/s)**	**Valor (m^3/s)**
Caudal por Descuento del 25%	Caudal medio mensual multianual más bajo * 25% = 1,11	Caudal medio mensual multianual más bajo * 25% = 0,61
Caudal por Reducción de 25% (Calidad) + Caudal Ecológico por Descuento	4,2	2,0

Comparación de los métodos de estimación de Caudales Ecológicos.

Como resultado de los cálculos de la curva de caudales al $Q_{97,5\%}$ y los factores de reducción del 25% del caudal ambiental y caudal de calidad, se obtiene los caudales ambientales de la cuenca del Río Sevilla en la estación Canal Florida y Pte Sevilla.

Tabla 121. Caudal Ambiental estimado en la estación Canal Florida y Pte Sevilla.

Estaciones	Canal Florida	Pte Sevilla
Índice	**Caudal (m^3/s)**	**Caudal (m^3/s)**
7Q10	5,49	1,15
IRH	5,6	1,6
$Q_{97,5\%}$ de la curva de duración de caudales	2,95	0,66
Caudal por Reducción de 25% (Calidad) + Caudal Ecológico por Descuento	4,2	2,0

Como resultado de los valores obtenidos para la cuenca del Sevilla, se puede observar que el índice que registra el dato más elevado en la estación canal Florida es el IRH siendo el caudal de 15,7 m^3/s y en la estación Hda Pto Rico de 5,6 m^3/s, mientras que en la estación Pte Sevilla el más alto fue el caudal por reducción del 25% de calidad y descuento, con un caudal de 2,0 m^3/s; el método de Curvas de Duración de Caudales al $Q_{97,5}\%$, presentó el valor más bajo en ambas estaciones con 2,95 m^3/s en la primera estación y de 0,66 m^3/s en la segunda (Tabla 121)

Con estos resultados se infiere que el método más propicio para medición de caudal ecológico en la estación Canal Florida es IRH, mientras en la estación Pte Sevilla caudal por reducción del 25% de calidad y descuento.

CAPÍTULO 4: DEMANDA HÍDRICA

INTRODUCCIÓN

Colombia se consolida como uno de los países con mayor riqueza en cuanto al recurso hídrico se refiere, debido a su ubicación geográfica y su relieve; convirtiéndose así en el séptimo país a nivel mundial con alta disponibilidad hídrica, después de Brasil, Rusia, USA, Canadá, Indonesia y China, esto principalmente por causa de precipitaciones generosas a lo largo de su territorio (que circunda los 2.300 km³/año), y a las escorrentías que ocasionan aumento en el caudal de los afluentes superficiales; tales cantidades de agua son a la vez, uno de los principales impulsores de la economía nacional (Arévalo *Et al.* 2011, GWP 2000).

La visión de Colombia como uno de los países más productivos de recursos hídricos produjo una significativa despreocupación por parte de sus habitantes, aumentando su uso desmedido para abastecer las nuevas necesidades que surgieron con el crecimiento y desarrollo socio-económico de las regiones del país, provocando así el agotamiento notable del recurso hídrico, que a día de hoy es tan característico en algunos sectores de la nación (Arévalo *Et al.* 2011).

La explosión demográfica, la urbanización e industrialización y la contaminación están ejerciendo una elevada presión sobre los recursos hídricos; especialmente en las zonas donde la oferta es escasa, como lo es el norte del país (FAO 2013, Ruiz *et al.* 2016). A su vez, el aumento de la demanda hídrica, trae consigo la misma consecuencia en los vertimientos de aguas residuales que impactan directamente en su calidad, induciendo a la escasez ya no por disponibilidad, sino por la calidad inadecuada, tanto para el consumo humano, como para su utilización en actividades productivas (Forero 2008).

En la actualidad se afronta una de las mayores luchas que han surgido en la historia de Colombia, la de conservar y cuidar el recurso hídrico, por lo que se hacen necesarios estudios que permitan identificar y medir la disponibilidad del agua (Arévalo *Et al.* 2011). En la estructura de demanda hídrica del país, el departamento del Magdalena es el que más recurso hídrico consume, seguido por el Atlántico, Bolívar, Cundinamarca, Cesar, Sucre y el Distrito Capital (Domínguez *et al*. 2008). En relación con la distribución de la demanda potencial del agua por sectores productivos a nivel nacional se observa que para el sector agrícola la demanda aproximada es del 59% del recurso hídrico, el doméstico de 27%, el industrial de 9%, el pecuario del 4% y de servicios del 1% (Forero 2008) . Para el Departamento del Magdalena la demanda de agua está dada principalmente por el sector agrícola, alcanzando este sector el 93% de la demanda total de agua del Departamento (Domínguez *et al*. 2008).

El arquetipo de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) en Colombia, como en el resto del mundo ha cobrado importancia y ganado aceptación, de esta manera, el agua como recurso y como ecosistema, ocupa una importante posición en la toma de decisiones y la formulación de políticas (García *et al.* 2012). Nuestro país viene adelantando esfuerzos para adoptar la política de gestión integral del recurso hídrico a través del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y con el apoyo técnico del IDEAM. Para gestionar el recurso hídrico, de tal forma que para poder garantizar el desarrollo sostenible, se implementaron políticas y regulaciones que permitan poner en marcha un marco de gestión integrada el cual tiene como objeto *"prácticas convencionales, actitudes y certezas profesionales, que confronten los arraigados intereses sectoriales y requieren que el recurso hídrico sea gestionado de manera holística para el beneficio de todos",* para provocar cambios que ayuden a mejorar las condiciones de la calidad de vida, políticas, sociales y económicas de los usuarios del agua (Sabas y Paredes 2009; Rodríguez 2012).

En Colombia, uno de los requerimientos para la gestión del recurso hídrico es el índice de escasez, el cual es un indicador que muestra la relación que existe entre la demanda potencial de agua y la oferta hídrica que se encuentra disponible en las fuentes de abastecimientos; cuando la cantidad de agua captada es mayor a la capacidad de dichas fuentes como ríos, lagos y acuíferos se dice que hay escasez del recurso hídrico (Delgado y Quintana 2014).

Para la estimación del índice de escasez es necesario tener una clara definición de la oferta y la demanda hídrica, la primera es el "*volumen de agua promedio que resulta de sustraer a la oferta hídrica total superficial el volumen de agua que garantizaría el uso para el funcionamiento de los ecosistema y de los sistemas fluviales, y en alguna medida un caudal mínimo para usuarios que dependen de las fuentes hídricas asociadas a estos ecosistemas (caudal ambiental)"* (IDEAM 2015). La demanda es la "*extracción hídrica del sistema natural destinada a suplir las necesidades o requerimientos del consumo humano, la producción sectorial y las demandas esenciales de los ecosistemas no antrópicos*" (IDEAM 2010).

A fin de conocer el estado actual del recurso hídrico y asegurar su distribución adecuada, se hace necesario estimar la oferta hídrica y por medio de ella, calcular su disponibilidad, determinar la demanda existente y obtener los índices de escasez; con el objetivo último de implementar las medidas de reglamentación que sean requeridas según cada caso particular (Sabas y Paredes 2009).

El presente documento aborda la estimación de los parámetros y conceptos expuestos anteriormente para las cuencas de los Ríos Buritaca, Gaira, Toribio, Córdoba, Sevilla y la

Quebrada Orihueca, territorios de gran relevancia en el desarrollo socio-económico del departamento del Magdalena.

OBJETIVOS

- Estimar la demanda hídrica para las cuencas hidrográficas de los ríos Buritaca, Gaira, Toribio, Córdoba, Sevilla y la Quebrada Orihueca.

- Estimar el índice de escasez para las cuencas hidrográficas de los ríos Buritaca, Gaira, Toribio, Córdoba, Sevilla y la Quebrada Orihueca.

- Analizar la distribución potencial de las presiones sobre el recurso hídrico superficial a lo largo de las cuencas de los ríos Buritaca, Gaira, Toribio, Córdoba, Sevilla y la Quebrada Orihueca.

INFORMACIÓN REQUERIDA

- Cartografía oficial del departamento del Magdalena a escala 1:25.000, suministrada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), la cual incluye curvas de nivel cada 25 m, red de drenaje, cuerpos de agua, vías, etc.

- Modelos de Elevación Digital (MED) de la zona, obtenidos de la misión del Sensor remoto operado por la NASA, ASTER GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer – Global Digital Elevation Model), con resolución espacial de 30m x 30m.
- Informacion hidrometereológica de la zona, suministrada por el Instituto de Hidrologia, Meteorologia y Estudios Ambietales (IDEAM), tales como precipitación y caudal.
- Cobertura de la tierra CORINE Land Cover (2005-2009) suministrada por el IDEAM en su versión 3

METODOLOGÍA

DEMANDA HIDRICA TOTAL

La demanda fue estimada mediante el análisis y reclasificación de las Coberturas IDEAM CORINE Land Cover Versión 2005-2009, se colectaron datos respecto de las demandas por unidad de superficie, de fuente como el Estudio Nacional del Agua en sus versiones 2010 y 2014, algunos informes actualizados de la Corporación Autónoma Regional del Magdalena, a la que también se le consultó acerca del caudal concesionado a fin de tener una medición aproximada de la presiones que se dan en cada cuenca.

La información colectada fue interpretada de acuerdo a la situación particular de cada cuenca y a los porcentajes de cada cobertura presente en ellas; la información suministrada por Corpamag, referente al caudal concesionado, fue transformada en datos de demanda anual (La unidad de estandarización de los datos fue Mm^3/ha/año) y se distribuyó de acuerdo a los usos que cada usuario relacionado, describió en su concesión, para determinar los usos respectivos de cada usuario se consultó su razón social en la base de datos del RUES (Registro Único Empresarial y Social).

La demanda hídrica total de cada cuenca fue calculada como la Sumatoria de los productos de la superficie de cada cobertura por la demanda respectiva de cada una por unidad de superficie, como se ilustra en la siguiente ecuación:

$$Dh = \sum (A \times Dc)$$

Donde,

Dh = Demanda hídrica total para la cuenca
A= Área correspondiente a cada cobertura (expresada en hectáreas)
Dc= Demanda calculada para cada cobertura (expresada en Mm^3 por hectárea)

Con los datos obtenidos de la ecuación, en la operación previa a la sumatoria total (es decir, tenido en cuenta sólo a $A \times Dc$) se llevó a cabo una reclasificación de las coberturas a fin de mapear la distribución de la demanda y dar paso a un análisis espacial de la distribución de las presiones sobre el recurso hídrico en cada cuenca.

ÍNDICE DE ESCASEZ

Con la obtención de la Demanda hídrica total y la Oferta neta obtenida por medio de la Oferta total, se realizó el cálculo del índice de escasez, el cual está determinado como el cociente de la Demanda entre la Oferta multiplicado por un factor de reducción (debido al caudal ecológico), expresado en porcentaje mediante su multiplicación por 100 como se muestra en la siguiente ecuación:

Formula:

$$Ie = \frac{Dh}{Oh} \times 100$$

Donde,

Ie= Índice de escasez
Dh= Demanda Hídrica
Oh= Oferta Hídrica
Fr= Factor de reducción por caudal ecológico (1 - 0,25)
100= Para expresarlo en porcentaje

El índice de escasez se agrupa en cinco categorías según la resolución 865 de 2004, la cual se especifican en la tabla 122.

Tabla 122. Clasificación de la demanda hídrica por categoría según la resolución 865 de 2004.

Categoría	Rango	Color	Explicación
Alto	>50%	**Rojo**	Demanda Alta
Medio Alto	21-50%	**Naranja**	Demanda Apreciable
Medio	11-20%	**Amarillo**	Demanda Baja
Mínimo	1-10%	**Verde**	Demanda muy Baja
No Significativo	<1%	**Azul**	Demanda no Significativa

DEMANDA HÍDRICA POR SECTOR PRODUCTIVO

Fruto de la reclasificación de las coberturas presentes en las cuencas, se discriminaron aquellas correspondientes al sector productivo (agrícola, industrial y pecuaria), se tomaron

para este análisis las que mayor incidencia pudieran tener en la disminución del recurso hídrico, como lo son el café, banano, palma de aceite, y tres tipos de pastos (limpios, arbolados y enmalezados) y la industria y comercio, como resultado de la extracción se elaboró un mapa.

RESULTADOS

La demanda hídrica estimada para las seis cuencas en estudio (Buritaca, Gaira, Córdoba, Toribio, Sevilla y la Quebrada Orihueca) es de 908,68 Mm^3, de los cuales el 73,60% es destinado al sector agrícola, seguido del sector pecuario con 21,63%, siendo estos los principales usos que se le dan a estas cuencas, mientras que el sector doméstico y el industrial son los que menos recurso consumen con 3,11% y 1,67% de la demanda respectivamente (Figura 99).

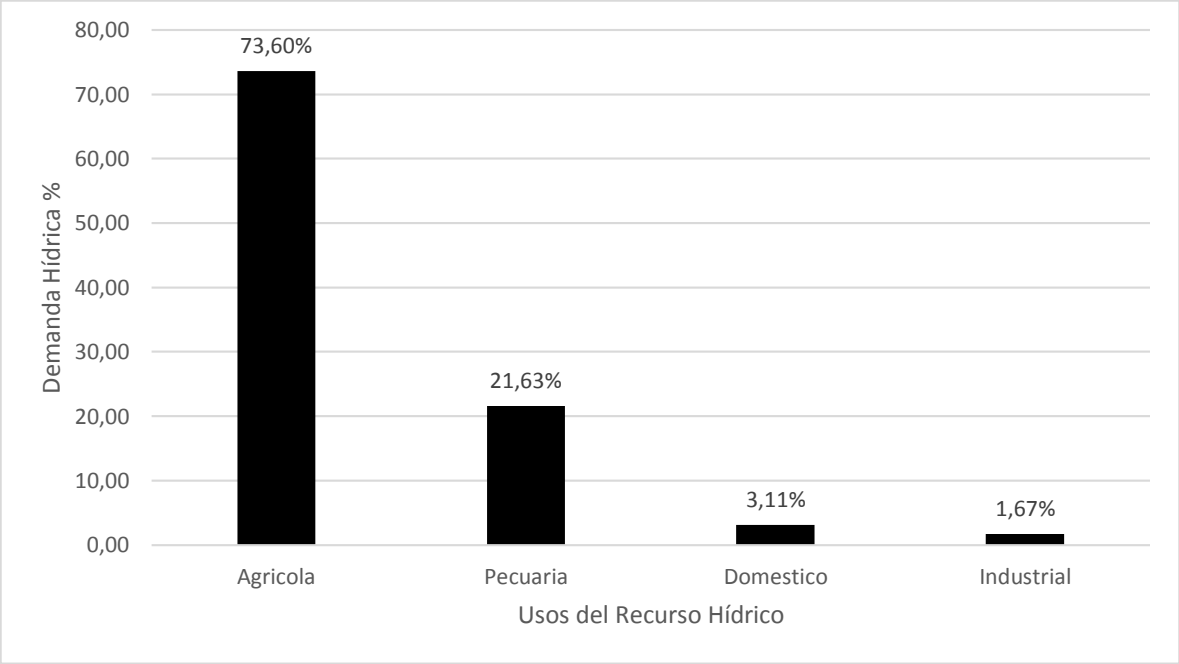


Figura 99. Demanda hídrica en porcentaje de los usos que se le dan al recurso hídrico en las seis cuencas en estudio.

En cuanto a la demanda concesionada para estas seis cuencas, según las concesiones otorgadas por la entidad responsable, que en este caso es la Corporación Autónoma Regional del Magdalena es de 1.829,53 L/s, lo que equivale a 57,70 Mm^3 anuales, de los cuales el 48,15% es para el sector doméstico, seguido del sector industrial con 25,89%, siendo estos dos lo que mayor consumo de agua presentan y el que el sector que menos recurso demanda es el pecuario con 1,33% (figura 100)

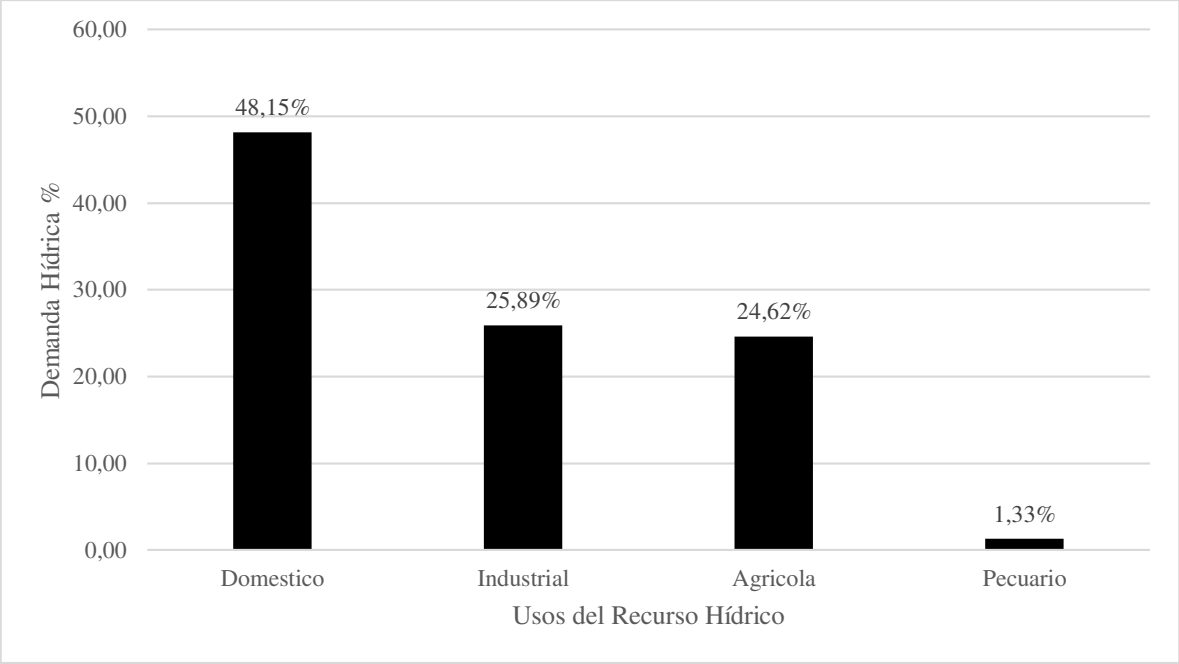


Figura 100. Demanda hídrica concesionada en porcentaje de los usos que se le dan al recurso hídrico en las seis cuencas en estudio.

A continuación se presentan las demandas hídricas estimadas y concesionadas para las cuencas de los ríos Buritaca, Gaira, Toribio, Córdoba, Sevilla y la quebrada Orihueca.

CUENCA DEL RÍO BURITACA

Demanda Hídrica Estimada

La demanda total de la cuenca del rio Buritaca es de 95,99 Mm^3 al año, de los cuales el 65,64% es destinado al sector agrícola y el 34,36% restante al sector pecuario, siendo los principales usos en esta cuenca (Figura 101). Dentro del sector agrícola el mayor consumo de agua lo presenta la cobertura de Mosaicos de cultivos, pastos y espacios naturales (cultivos anuales, transitorios o permanentes con pastos que ocupan del 30 al 70% de la superficie total de la parcela), con el 49,70% del total de la demanda, seguido de los pastos limpios con 24,01%; por otra parte, los Mosaicos de pastos y cultivos (tierras ocupadas por pastos y cultivos, en los cuales el tamaño de las parcelas es inferior a 25 ha) son los que menor demanda hídrica presentan con un 1,16% a lo largo de toda la cuenca (Figura 102).

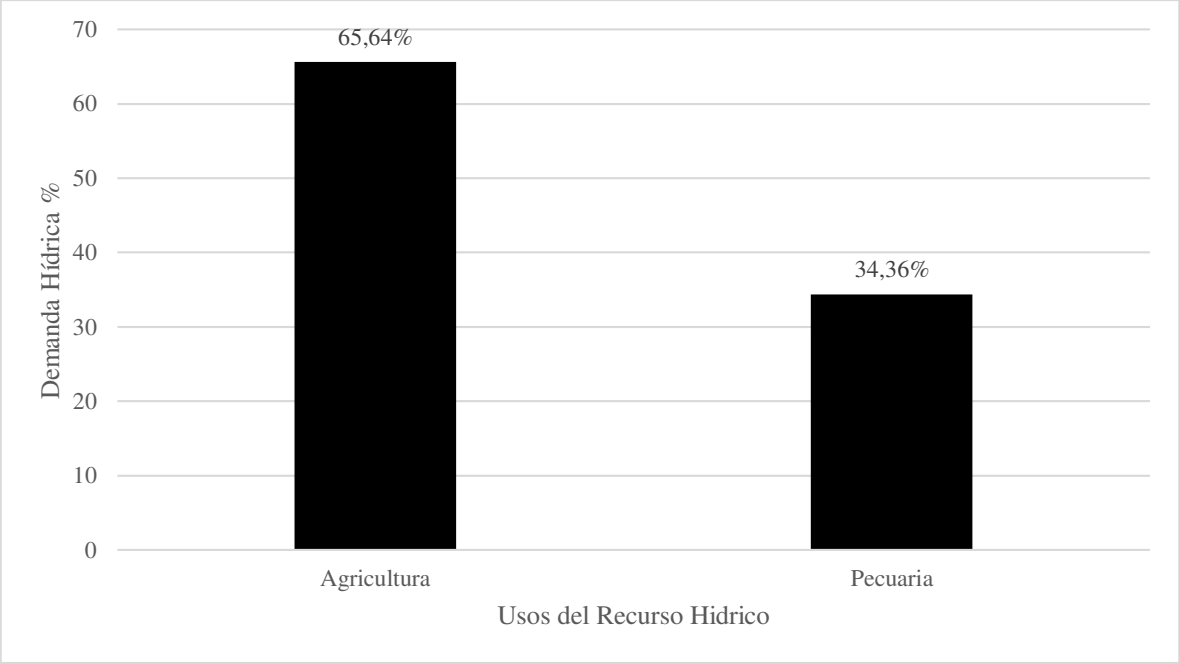


Figura 101. Demanda hídrica en porcentaje de los usos que se le dan al recurso hídrico en la cuenca del río Buritaca.

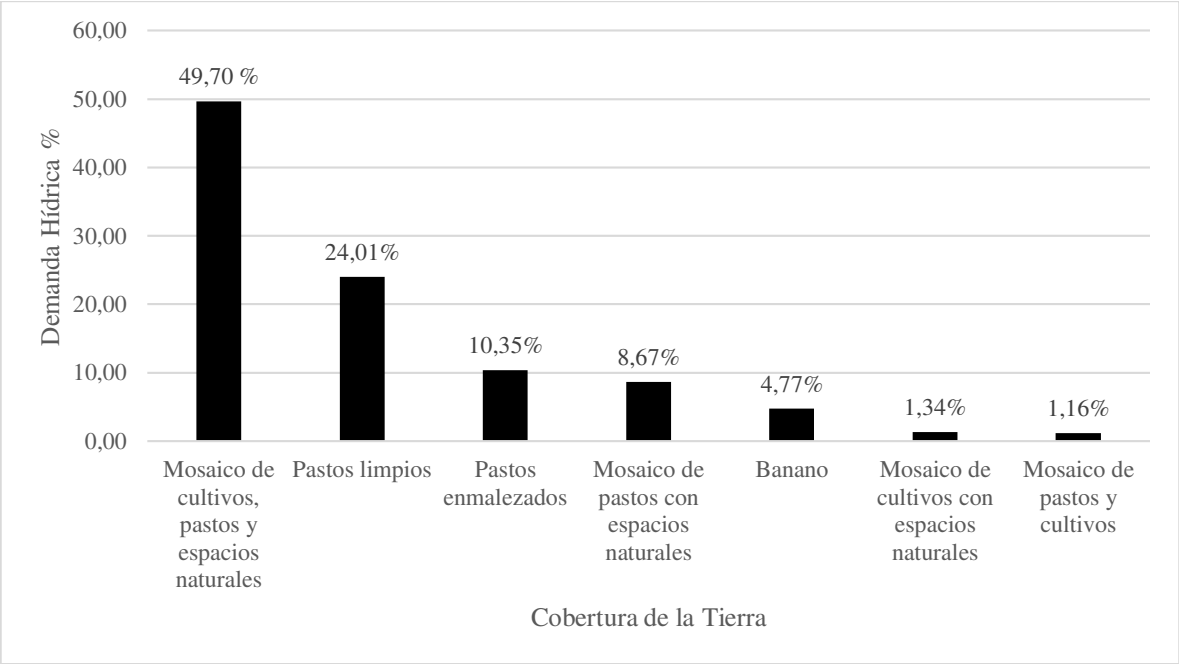


Figura 102. Porcentaje de la demanda hídrica anual para las coberturas CORINE Land Cover de la cuenca del río Buritaca.

La distribución de la demanda hídrica en la cuenca del rio Buritaca se aprecia en la Figura 103, se observa que la mayor demanda de agua se localiza desde la parte media hacia el noreste de la cuenca (cuenca baja), por el contrario, el suroeste de la cuenca (cuenca alta) presenta menor demanda hídrica. En la cuenca baja del rio Buritaca se presentan cultivos, pastos y espacios naturales como principales fuentes de demanda hídrica. Para el 76,9% del área total de la cuenca la demanda varia de 0 a 2 Mm^3 anuales; y el 12,38% de la superficie, que en su mayoría es de uso agrícola y pecuario, presenta una demanda que varía de 40 a 50 Mm^3 al año.

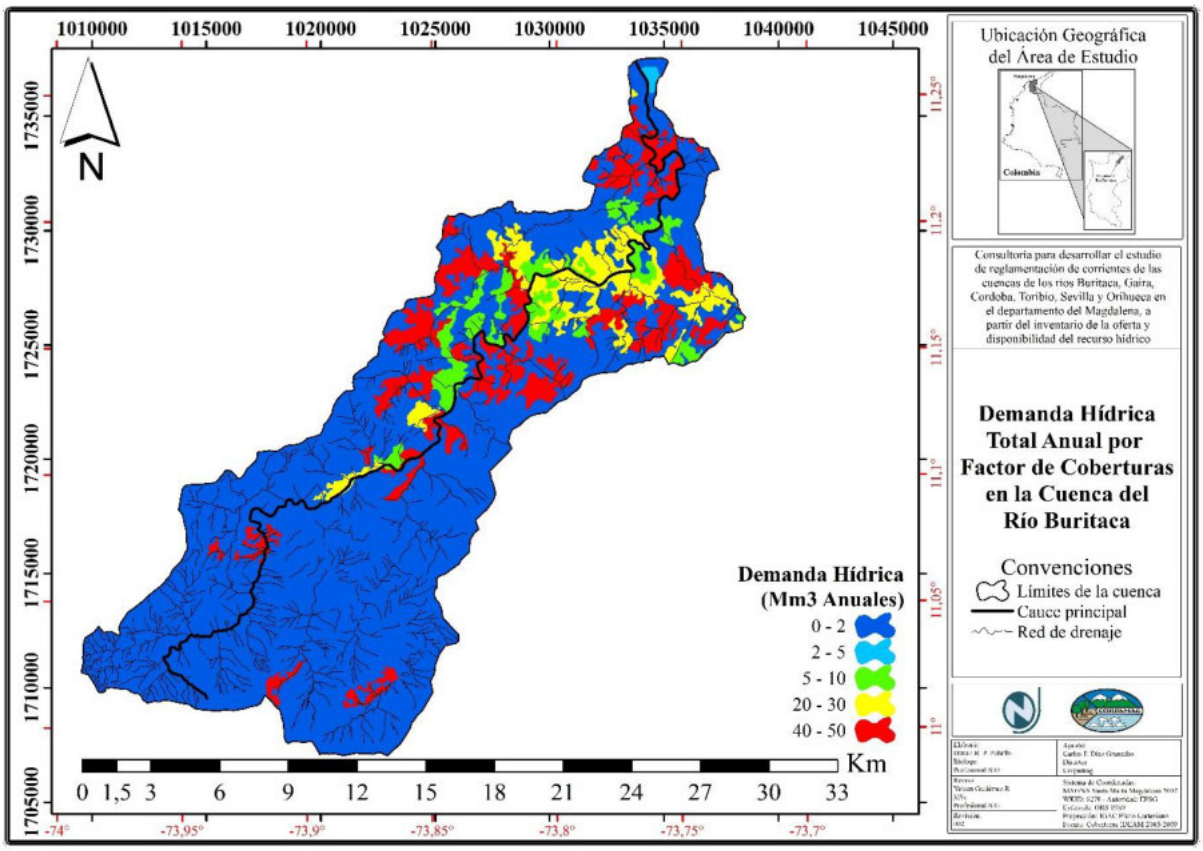


Figura 103. Demanda hídrica de la cuenca del río Buritaca.

Índice de Escasez

El índice de escasez en esta cuenca es de 21,19% lo que indica que se encuentra en la categoría "Medio Alta" que se caracteriza por presentar una apreciable demanda hídrica (tabla 123).

Tabla 123. Índice de escasez cuenca del rio Buritaca. Fuente: autores.

	Demanda total Mm^3/año	Oferta superficial total Mm^3/año	Oferta superficial total Mm^3/año - Factor de Reducción 25%	D/O	IE (%)	Categoría
Estimada	95,995	603,78	452,835	0,212	21,199	**Medio Alto**

El índice de escasez estimado difiere por lo registrado en el Plan acción institucional 2016-2019 de CORPAMAG calculado en 4% categorizado como "Mínimo", lo que indica una demanda muy baja (tabla 124). Esto probablemente se debe a que en éste estudio se realizó un análisis más detallado, teniendo en cuenta la mayor cantidad de datos analizados provenientes de los registros históricos de las estaciones hidrometeorológicas del IDEAM.

Tabla 124**.** Índice de escasez cuenca del rio Buritaca. Fuente: CORPAMAG.

	CAUDALES L/s						
	Fuente	**Caudal Medio Anual**	**Caudal ecológico**	**Caudal Concesionado**	**Caudal Disponible**	**IE (%)** (calculado)	**Categoría**
Buritaca	Plan de acción Institucional (PAI) 2016-2019	4.000	1.000	214	2.786	4	**Mínimo**

Demanda Hídrica Por Sectores Productivos

La demanda Hídrica estimada en esta cuenca teniendo en cuenta únicamente el sector productivo: productos como el café, Banano, Palma de Aceite, Pastos enmalezados, limpios y arbolados para el caso del sector pecuario y la Industria y comercio, es de 37,56 Mm^3, que representa el 39% de la demanda total, de los cuales el 61,37% es para pastos limpios; el 26,46% para pastos enmalezados y el 12,18% restantes de la demanda es para el banano (figura 104).

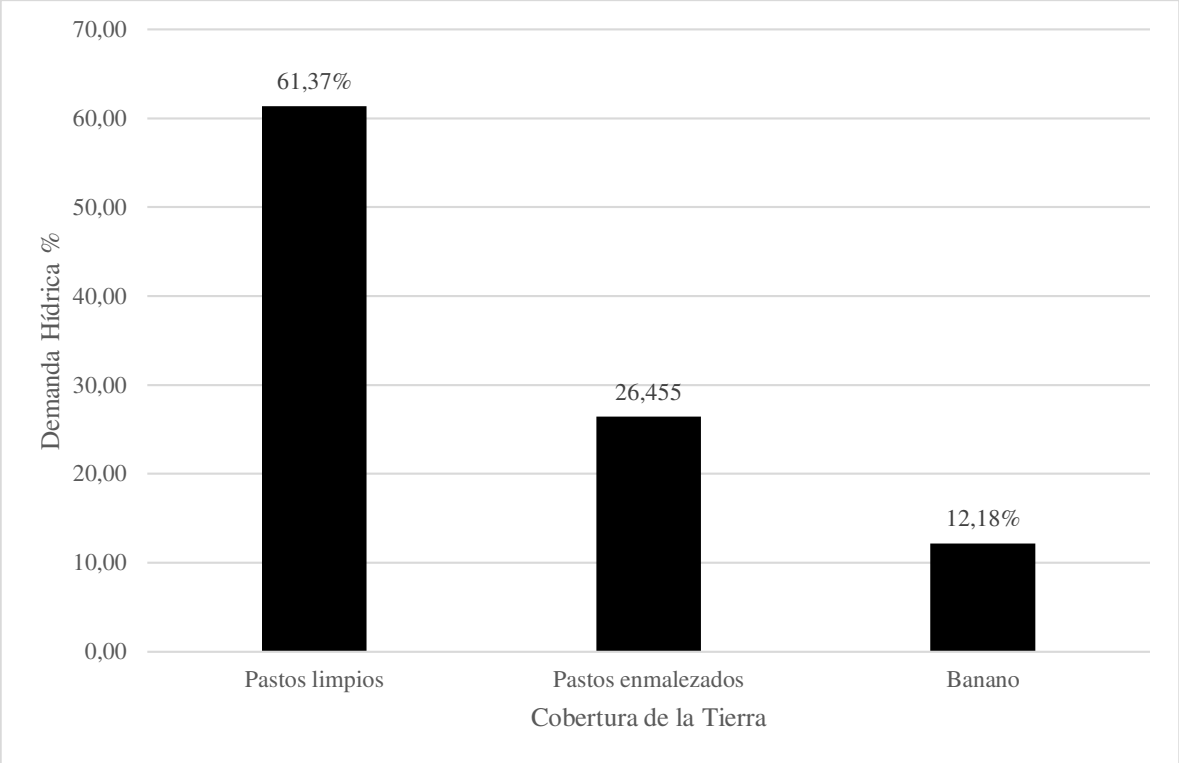


Figura 104. Demanda hídrica por sectores productivos en la cuenca del río Buritaca.

La distribución de la demanda hídrica por sector productivo en la cuenca del rio Buritaca se aprecia en la Figura 105, se observa que la mayor demanda de agua se localiza desde la parte media hacia el noreste de la cuenca (cuenca baja). La mayor demanda hídrica por sector productivo se presenta por uso pecuario, los pastos limpios y pastos enmalezados son los de mayor demanda en este sector, con un porcentaje alto de agua extraída no consumida con respecto a la demanda hídrica total, con 24,01% y 10,35%, respectivamente. Por otra parte, el sector agrícola a través del cultivo del banano demanda un 4,77% del total de la demanda para toda la cuenca.

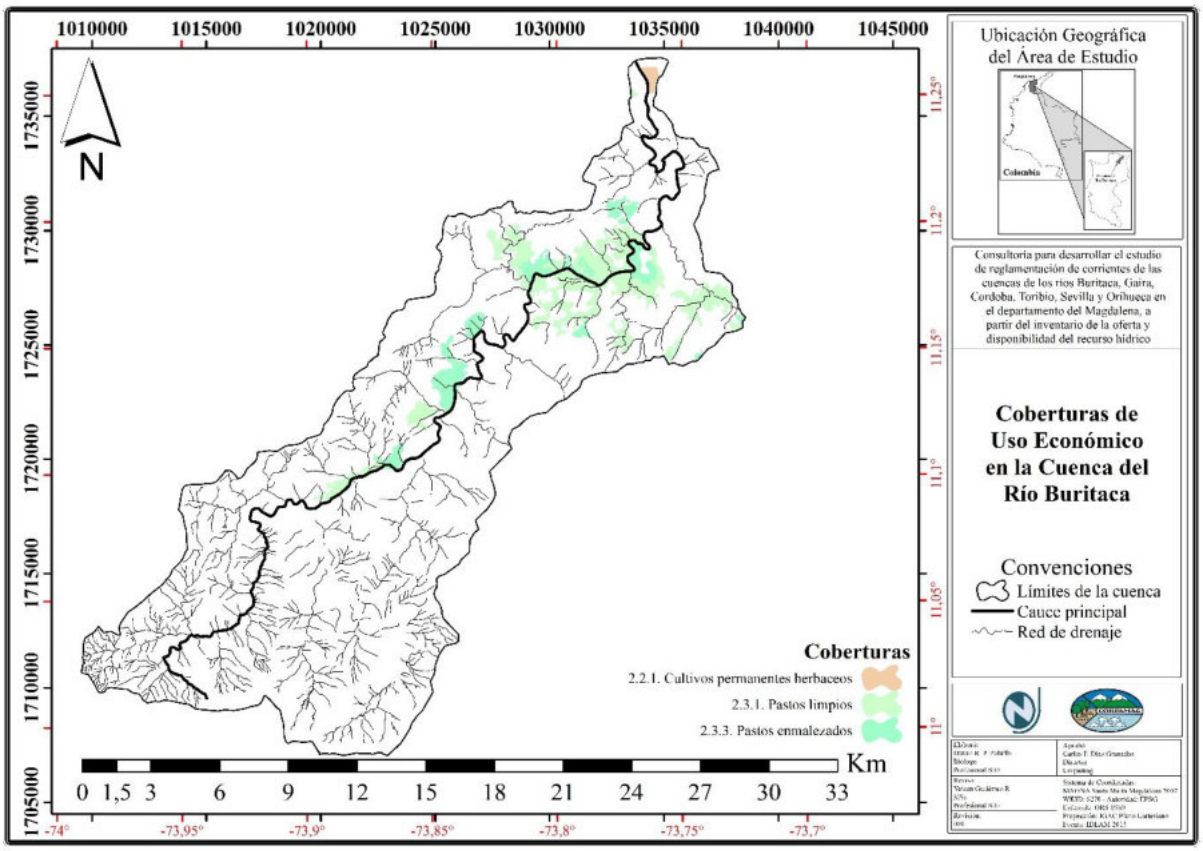


Figura 105. Demanda hídrica por sectores productivos de la cuenca del río Buritaca.

Índice de Escasez Por Sectores Productivos

El índice de escasez del recurso hídrico solo teniendo en cuenta los productos anteriormente mencionado es de 8,30%, lo que indica que se encuentra en la categoría "Mínima" que se caracteriza por presentar una muy baja demanda hídrica (tabla 125).

Tabla 125. Índice de escasez cuenca del rio Buritaca. Fuente: autores.

	Demanda total Mm^3/año	Oferta superficial total Mm^3/año	Oferta superficial total Mm^3/año - Factor de Reducción 25%	D/O	IE (%)	Categoría
Buritaca	37,56	603,78	452,84	0,08	8,30	**Mínimo**

Demanda hídrica concesionada

Para la cuenca del rio Buritaca solo se registra una concesión otorgada a C.I. LA SAMARIA S.A.S en el corregimiento de Guachaca con un caudal de 114,2 L/s equivalente a 3,60 Mm^3

anuales, el uso principal que se le da al recurso hídrico otorgado en esta concesión es el cultivo del banano, es decir, el 100% de la concesión es de uso agrícola.

CUENCA DEL RÍO GAIRA

Demanda Hídrica Estimada

La demanda total de la cuenca del rio Gaira es de 79,638 Mm^3 al año, de los cuales el 63,6% es destinado al sector agrícola, seguido del sector pecuario con 22,7%; siendo estos los principales usos que le dan al recurso hídrico en esta cuenca, el sector servicios por el contrario es el que menos agua demanda con 0,04% (Figura 106). Dentro del sector agrícola el mayor consumo de agua lo presentan los Mosaicos de cultivos, pastos y espacios naturales (cultivos anuales, transitorios o permanentes con pastos que ocupan del 30 al 70% de la superficie total de la parcela), con el 25,30% del total de la demanda, seguido del tejido urbano continuo (conformados por edificaciones y zonas verdes) con 13,55%; por otra parte los Mosaicos de pastos con espacios naturales (las parcelas de pastos presentan un área menor a 25 hectáreas y los espacios naturales están conformados por las áreas ocupadas por relictos, arbustos y matorrales de bosque natural) presentan un 8,1% de la demanda hídrica de toda la cuenca (Figura 107).

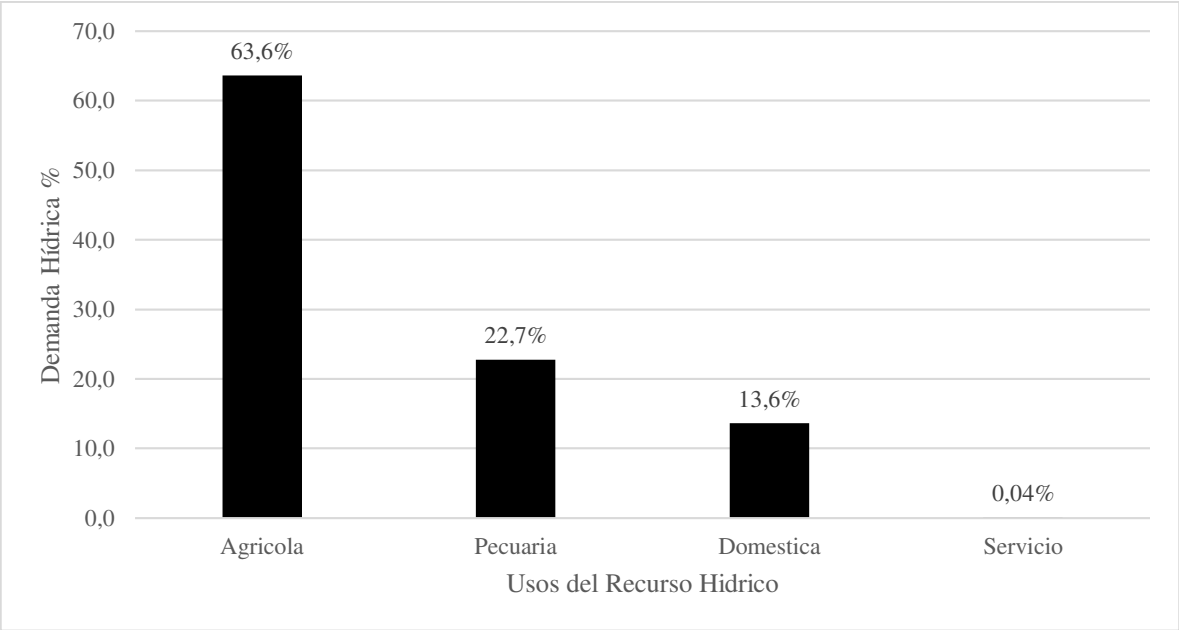


Figura 106. Demanda hídrica en porcentaje de los usos que se le dan al recurso hídrico en la cuenca del río Gaira.

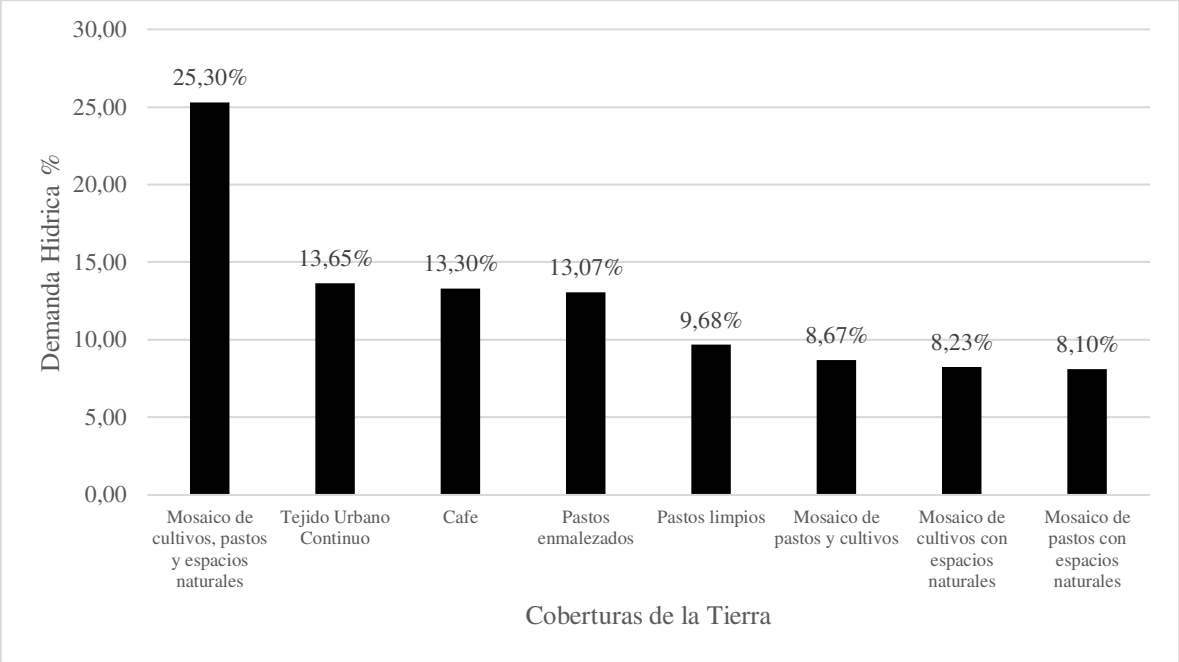


Figura 107. Porcentaje de la demanda hídrica anual para las coberturas CORINE Land Cover de la cuenca del río Gaira.

La distribución de la demanda hídrica en la cuenca del rio Gaira se aprecia en la Figura 108, en la cual se observa que la mayor demanda de agua se localiza desde la parte media hacia el este, noreste y sur oeste de la cuenca, en donde se ubican coberturas dadas por cultivos como café y mosaico cultivos, pastos y espacios naturales como principales fuentes de demanda. Adicionalmente, hacia el noroeste de la cuenca donde se ubican los principales centros poblados (Minca, Gaira y el Rodadero) se presenta una demanda hídrica importante. Para el 47,53% del área total de la cuenca (principalmente parte alta) la demanda varia de 0 a 2 Mm^3 anuales; y el 14,55% de la superficie que en su mayoría es de uso agrícola y pecuario, presenta una demanda de 20 a 30 Mm^3 al año.

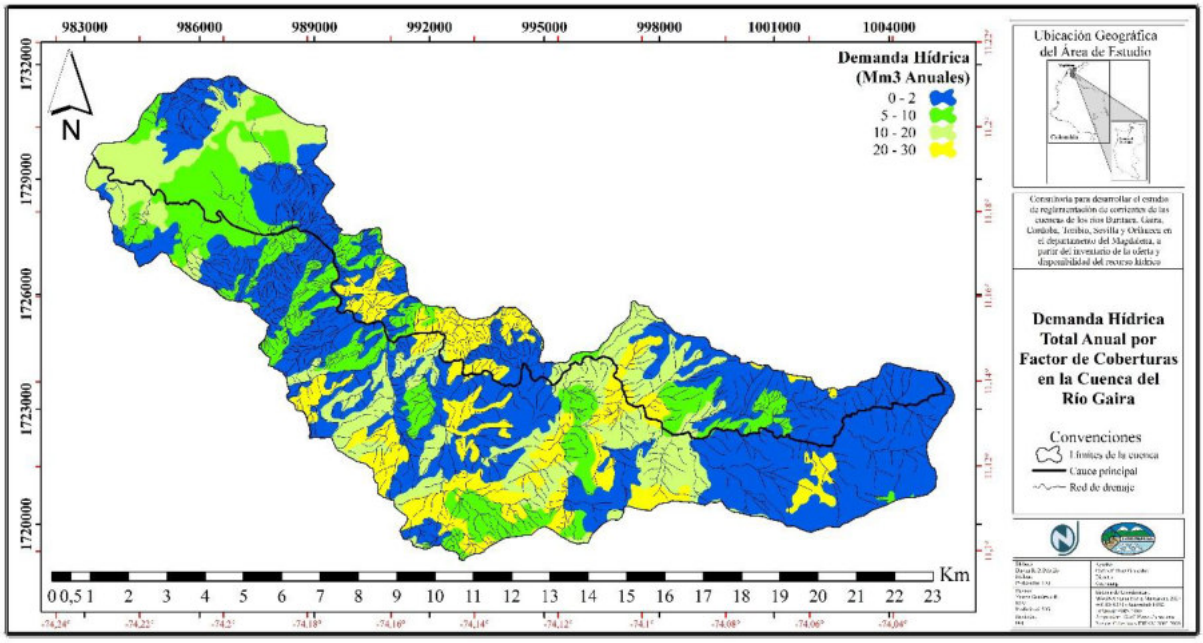


Figura 108**.** Demanda hídrica de la cuenca del río Gaira.

Índice de Escasez

El índice de escasez estimado en esta cuenca es de 224,474% lo que indica que se encuentra en la categoría "Alta" que se caracteriza por una alta demanda hídrica (tabla 126).

Tabla 126. Índice de escasez cuenca del rio Gaira. Fuente: autores.

	Demanda total Mm^3/año	**Oferta superficial total Mm^3/año**	**Oferta superficial total Mm^3/año - Factor de Reducción 25%**	**D/O**	**IE (%)**	**Categoría**
Gaira	79,639	47,304	35,478	2,245	224,474	**Alto**

Las estimaciones hechas en el presente estudio difieren del calculado mediante los datos reportados por el plan de Acción de CORPAMAG 2016–2019, el cual arroja un índice de escasez de 41,7% y se ubica en la categoría "Medio Alta", lo que indica una demanda apreciable, esto se debe quizás a que la obtención de la información en este estudio fue muy minuciosa para que los resultados se asemejaran a la realidad que vive esta cuenca hidrográfica (tabla 127).

Tabla 127. Índice de escasez cuenca del rio Gaira. Fuente: CORPAMAG.

	CAUDALES L/s						
	Fuente	**Caudal Medio Anual**	**Caudal ecológico**	**Caudal Concesionado**	**Caudal Disponible**	**IE (%)** (calculado)	**Categoría**
Gaira	Plan de acción Institucional (PAI) 2016-2019	720	180	400	140	41,7	**Medio Alta**

Demanda Hídrica Por Sectores Productivos

La demanda hídrica en esta cuenca, con los sectores productivos que se tuvieron en cuenta es de 47,18 Mm^3, que representa el 59% de la demanda total, de los cuales el 36,90% es para los pastos enmalezados, seguidos del café, los pastos limpios y el banano con el 31,02%; 19,82% y 10,52% respectivamente, mientras que los pastos arbolados son los que menos consumo de agua presentan con solo 0,01% en toda la cuenca del rio Gaira (figura 109)

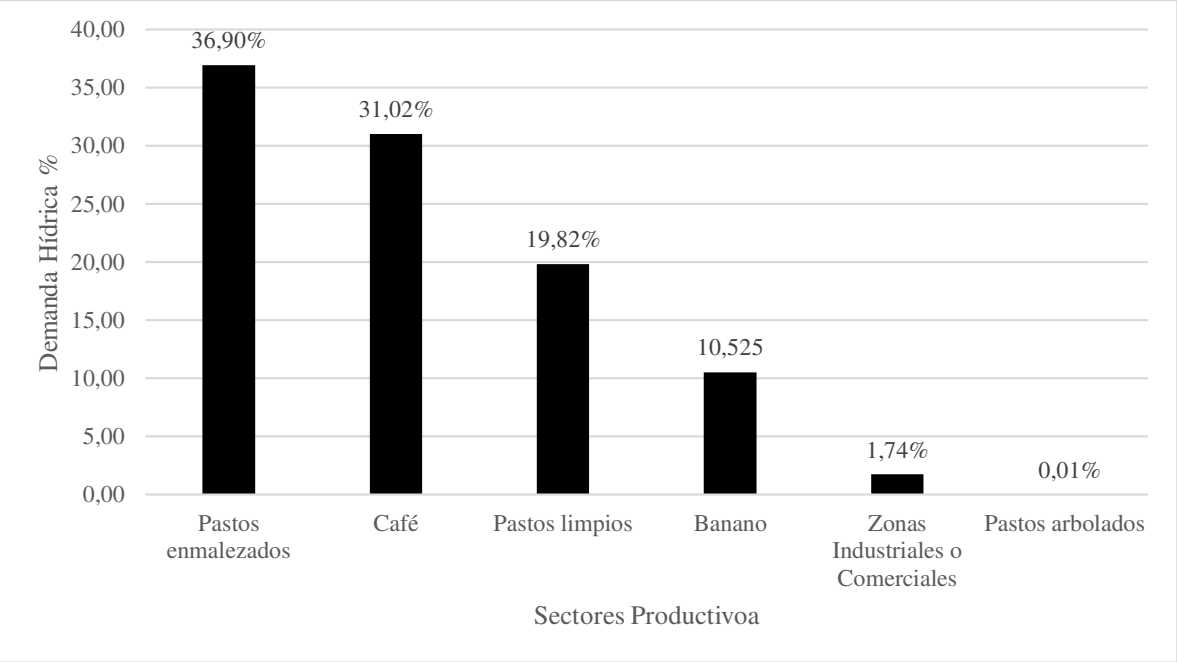


Figura 109. Demanda hídrica por sectores productivos en la cuenca del río Gaira.

La distribución de la demanda hídrica productiva en la cuenca del rio Gaira se aprecia en la Figura 110, en la cual se observa que la mayor demanda de agua se localiza desde la parte media hacia el este, noreste y sur oeste de la cuenca. La mayor demanda hídrica por sector

productivo se presenta por uso pecuario, los pastos enmalezados, pastos limpios y pastos arbolados son los de mayor demanda en este sector, con un porcentaje alto de agua con respecto a la demanda hídrica total, con 21,86%, 11,74% y 0,003%, respectivamente. Por otra parte, el sector agrícola a través del café 18,38% y el banano 6,23% demanda es el segundo sector con mayor demanda por uso en la cuenca. Finalmente, el sector industrial se presenta con el 1,03% del total de la demanda de toda la cuenca.

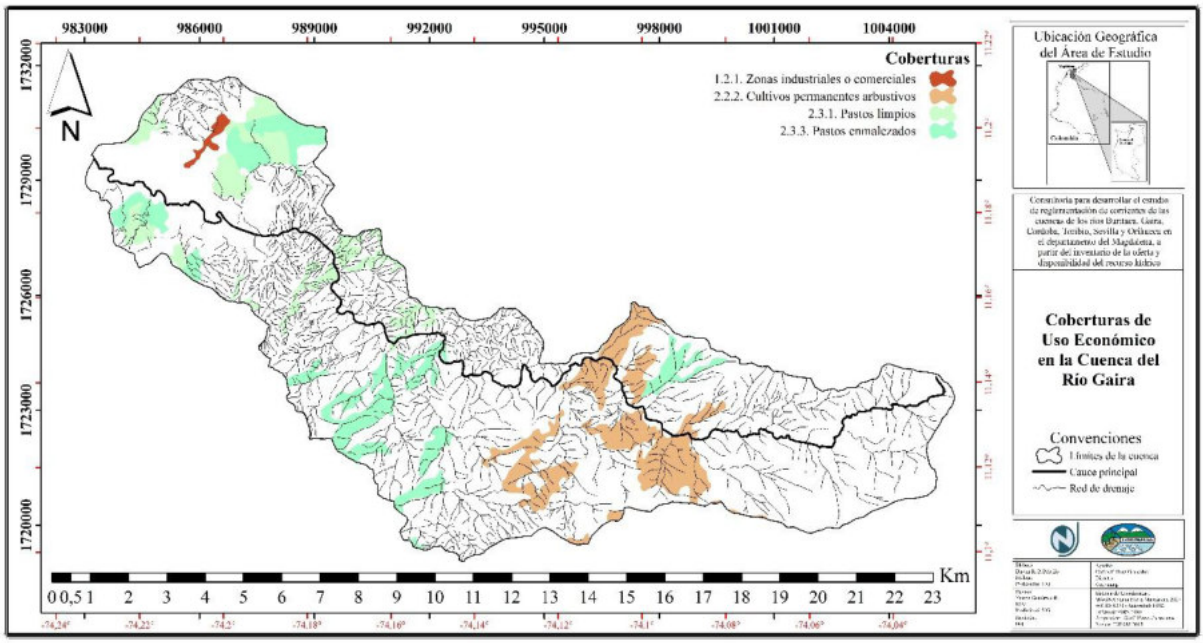


Figura 110**.** Demanda hídrica por sectores productivos de la cuenca del río Gaira.

Índice de Escasez Por Sectores Productivos

El Índice de escasez en la cuenca del rio Gaira para el sector productivo es de 132,99 Mm^3; se encuentra en una categoría "Alta", lo que indica que hay una alta demanda de agua en esta cuenca, es de anotar que a pesar de tomar algunos productos, si comparamos este índice con el estimado anteriormente, se nota una disminución notable con una diferencia de 91,48 Mm^3, pero a pesar de la disminución la presión que hay sobre esta cuenca sigue siendo alta (tabla 128).

Tabla 128. Índice de escasez por sectores productivos en cuenca del rio Gaira. Fuente: autores.

	Demanda total Mm^3/año	Oferta superficial total Mm^3/año	Oferta superficial total Mm^3/año - Factor de Reducción 25%	D/O	IE (%)	Categoría
Gaira	47,18	47,30	35,48	1,33	132,99	**Alto**

Demanda Hídrica Concesionada

Tabla 129. Concesiones otorgadas en la cuenca del rio Gaira.

Predio	Caudal concesionado m^3/s	Demanda Mm^3/año
Metroagua	0,33	10,40688
Centro acuícola y agroindustrial SENA	0,03035	0,9571176
Bellavista	0,02442	0,77010912
Josefita	0,001	0,031536
Puerto Mosquito	0,0005	0,015768
Total	**0,38627**	**12,18141072**

Las concesiones otorgadas en la cuenca del rio Gaira son las siguientes: METROAGUA S. A. E. S. P., la cual tiene una concesión de 0,33 $m^3.s^{-1}$ que equivale a 10,4 Mm^3 al año (Tabla 129), es decir, el 85,43% del total del caudal concesionado para esta cuenca (Figura 111) y cuyo uso es destinado exclusivamente al abastecimiento de agua para uso doméstico en Gaira y El Rodadero; por otro lado la Vereda Puerto Mosquito, tiene otorgada una concesión de 0,0005 $m^3.s^{-1}$ que equivale a 0,015 Mm^3 al año (Tabla 131), es decir, el 0,13% del total de la demanda concesionada y es utilizada para Abastecimiento de agua en barrios subnormales; El Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, tiene una concesión de 0,95 Mm^3 al año, equivalente al 7,86% del total del caudal concesionado en la cuenca, el uso principal que se le da al recurso hídrico otorgado en esta concesión es tipo agrícola con varios tipos de cultivo (Figura 111).

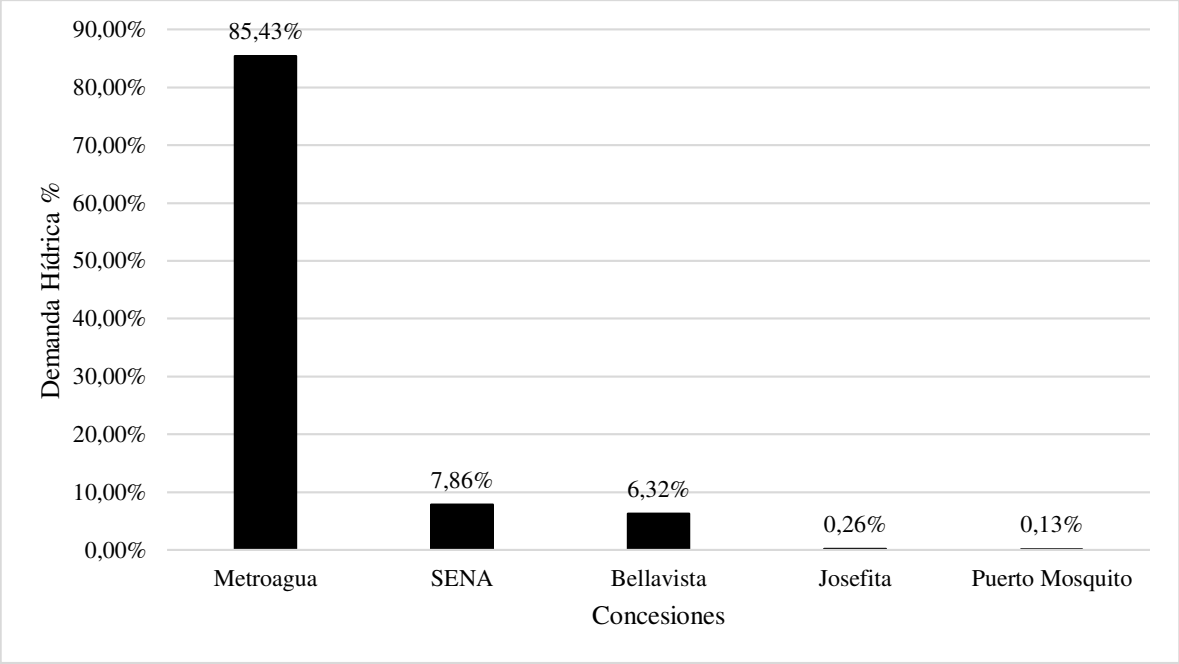


Figura 111. Porcentaje de demanda de las concesiones otorgadas en la cuenca del rio Gaira.

La figura 112 muestra que el 85,56% del total concesionado tiene un uso doméstico, seguido por el sector agrícola con el 7,86%, el pecuario con 6,32% y el sector industrial con el menor porcentaje 0,26%.

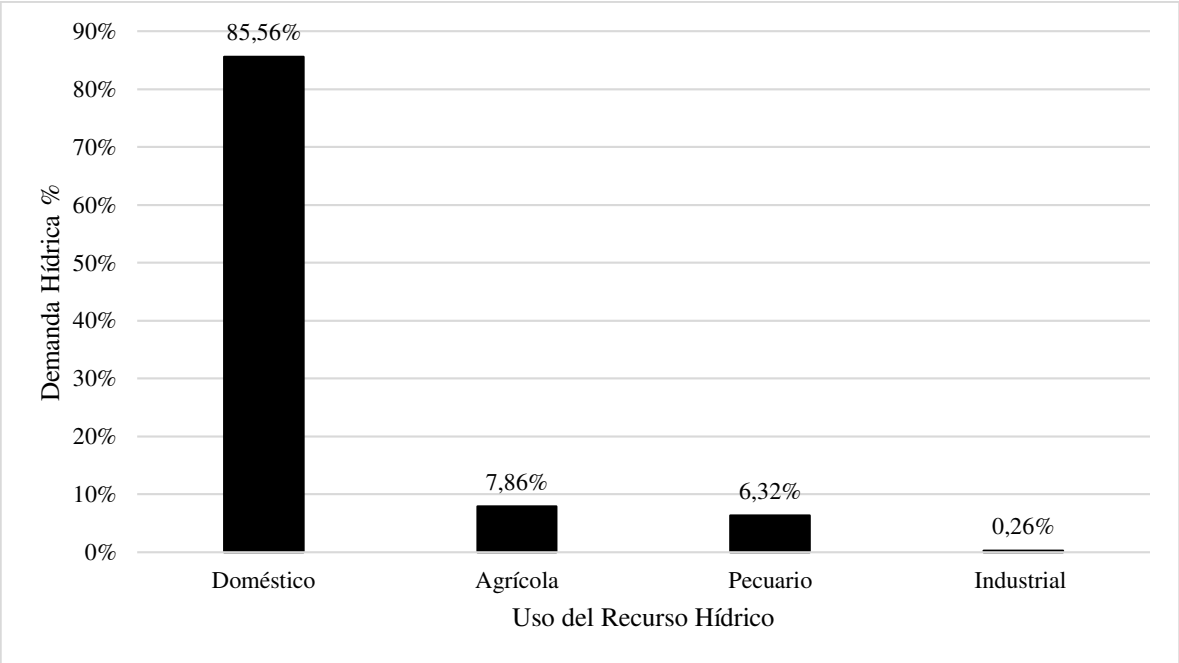


Figura 112. Porcentajes de los usos de las concesiones otorgadas en la cuenca del río Gaira.

CUENCA DEL RIO TORIBIO

Demanda Hídrica Estimada

La demanda total de la cuenca del rio Toribio es de 82,843 Mm^3 al año, de los cuales el 77,41% es destinado al sector agrícola, seguido del sector pecuario con 14,82%; siendo estos los principales usos en esta cuenca; el sector Industrial por el contrario es el que menos agua demanda con 7,77% (figura 113); Dentro del sector agrícola el mayor consumo lo presentan los Mosaicos de cultivos, pastos y espacios naturales (cultivos anuales, transitorios o permanentes con pastos que ocupan del 30 al 70% de la superficie total de la parcela) con el 28,46% del total de la demanda, seguido del café con 19,576% y el que menos recurso demanda es la palma de aceite con 1,318% (Figura 114).

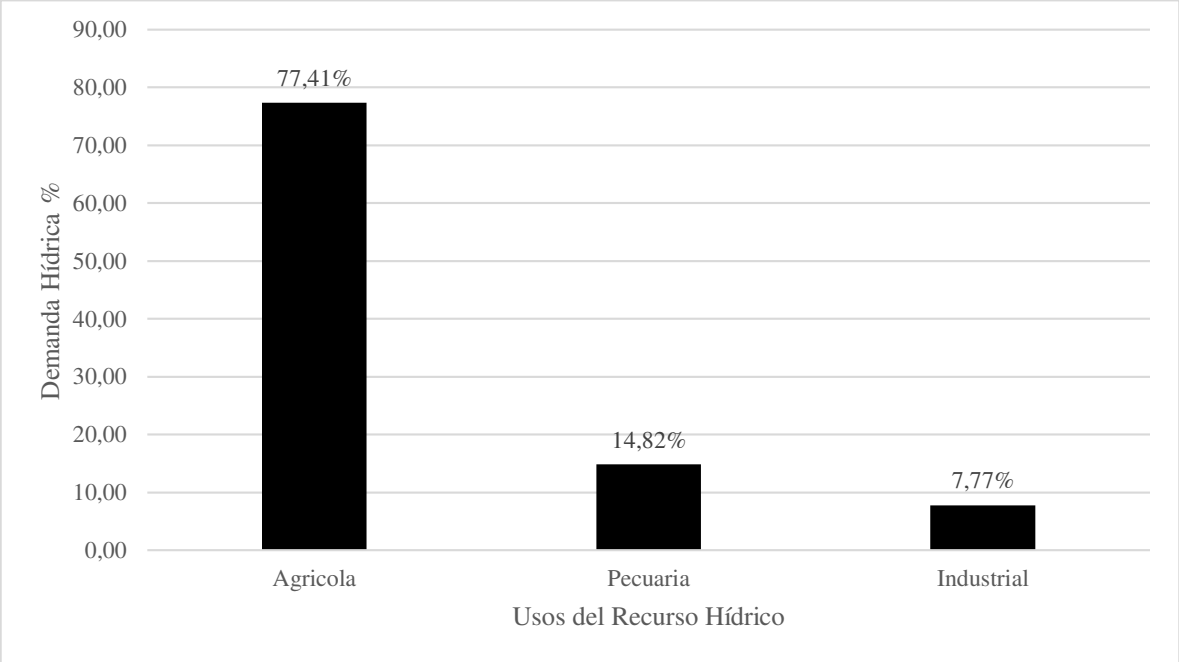


Figura 113. Demanda hídrica en porcentaje de los usos que se le dan al recurso hídrico en la cuenca del río Toribio.

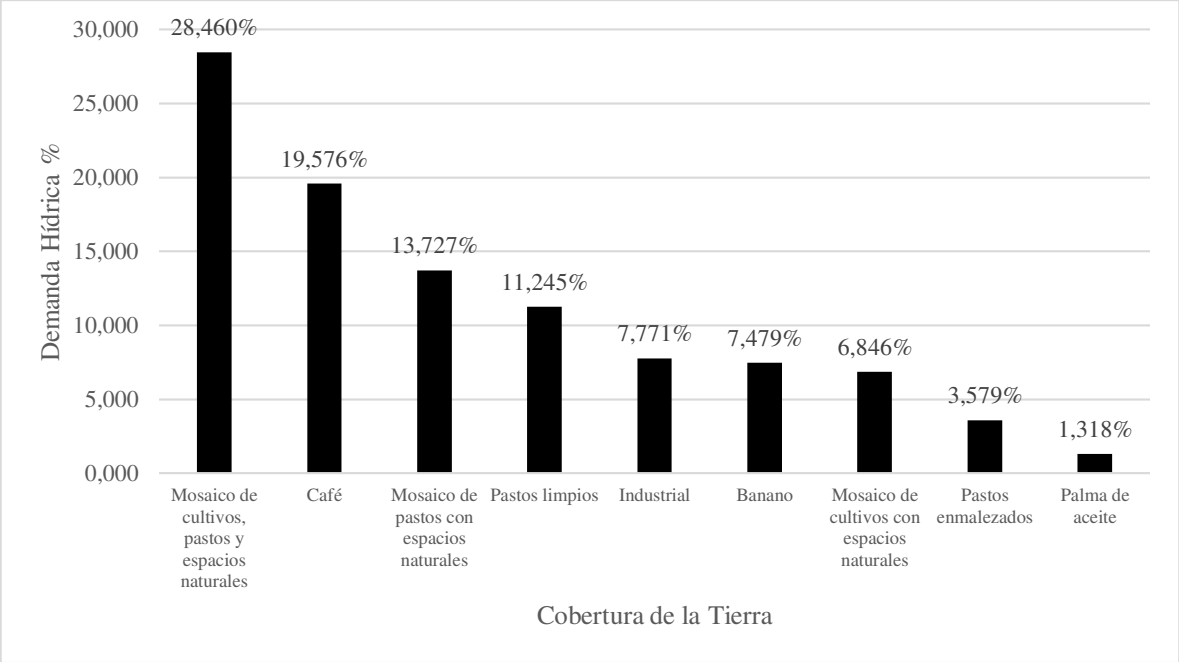


Figura 114. Porcentaje de la demanda hídrica anual para las coberturas CORINE Land Cover de la cuenca del río Toribio.

La distribución de la demanda hídrica en la cuenca del rio Toribio se aprecia en la Figura 115, en la cual se observa que la mayor demanda de agua se localiza desde la parte media al norte de la cuenca hacia el noreste, este, y sureste de la cuenca, en donde se ubican cultivos de café y diversos cultivos, pastos y espacios naturales como principales fuentes de demanda. Para el 48,98% del área total de la cuenca la demanda varia de 0 a 2 Mm^3 anuales; y el 17,17% de la superficie que en su mayoría es de uso agrícola y pecuario, presenta una demanda de 20 a 30 Mm^3 al año.

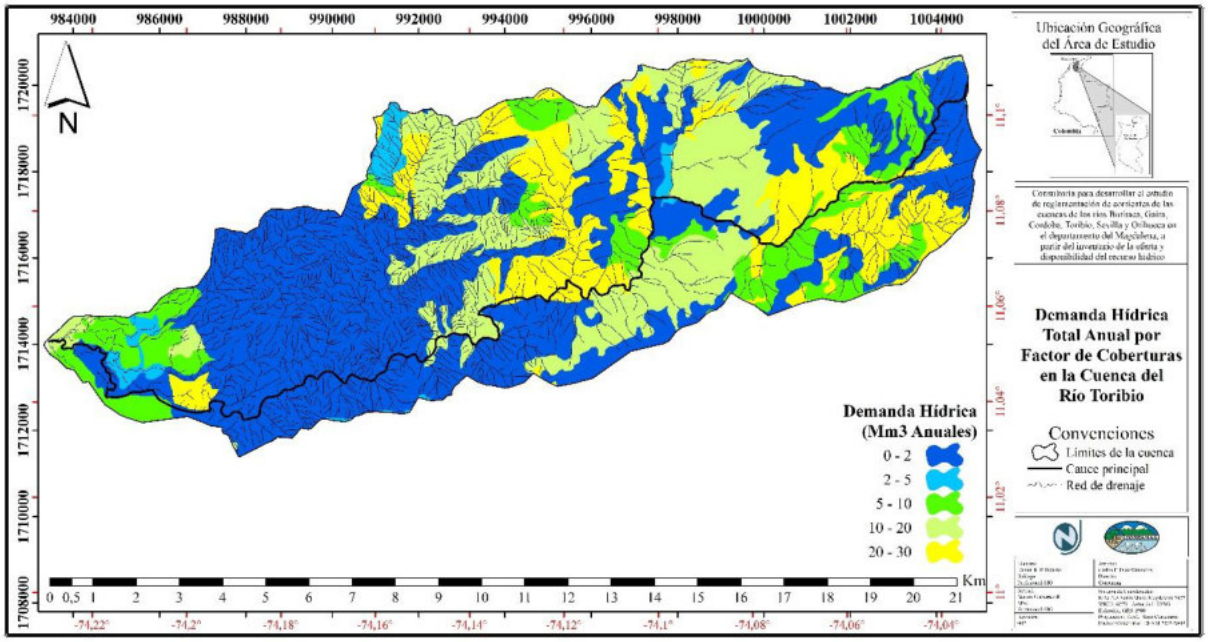


Figura 115. Demanda hídrica de la cuenca del río Toribio.

Índice de Escasez

El índice de escasez estimado en esta cuenca es de 84,171%, lo que indica que se encuentra en la categoría "Alta" que se caracteriza por presentar una demanda hídrica alta (tabla 130).

Tabla 130. Índice de escasez cuenca del rio Toribio. Fuente: autores.

	Demanda total Mm^3/año	Oferta superficial total Mm^3/año	Oferta superficial total Mm^3/año - Factor de Reducción 25%	D/O	IE (%)	Categoría
Toribio	82,843	131,23	98,4225	0,842	84,171	**Alto**

El índice de escasez reportado en el presente estudio varía con respecto a los cálculos hechos con los datos recabados del Plan de acción Institucional (PAI) 2016-2019 del CORPAMAG, el cual es de 38,8 % se encuentra en la categoría "Medio Alta", lo que indica una demanda apreciable, (tabla 131) esto quizás debido a que en el presente estudio se realizó un análisis más detallado, teniendo en cuenta la mayor cantidad de variables que pudieran tener inferencia en la disminución del recurso.

Tabla 131. Índice de escasez cuenca del rio Toribio. Fuente: CORPAMAG.

	CAUDALES L/s						
	Fuente	**Caudal Medio Anual**	**Caudal ecológico**	**Caudal Concesionado**	**Caudal Disponible**	**IE (%)** (calculado)	**Categoría**
Toribio	Plan de acción Institucional (PAI) 2016-2019	880	220	455	205	38,8	**Medio Alto**

Demanda Hídrica por Sectores Productivos

En la cuenca del río Toribio la demanda por sector productivo es de 42,22 Mm^3, que representa el 51% de la demanda total, lo que indica que solo el sector productivo se está llevando la mitad del agua demandada en este cauce, de los cuales el café es el que mayor consumo de agua presenta con 38,41%, seguido de los pastos limpios, la industria y comercio y el banano con un porcentaje de demanda de 22,06; 15,25 y 14,67 respectivamente, por otro lado los cultivos de palmas de aceite son los que menos consumen el recurso con 2,59% (figura 116)

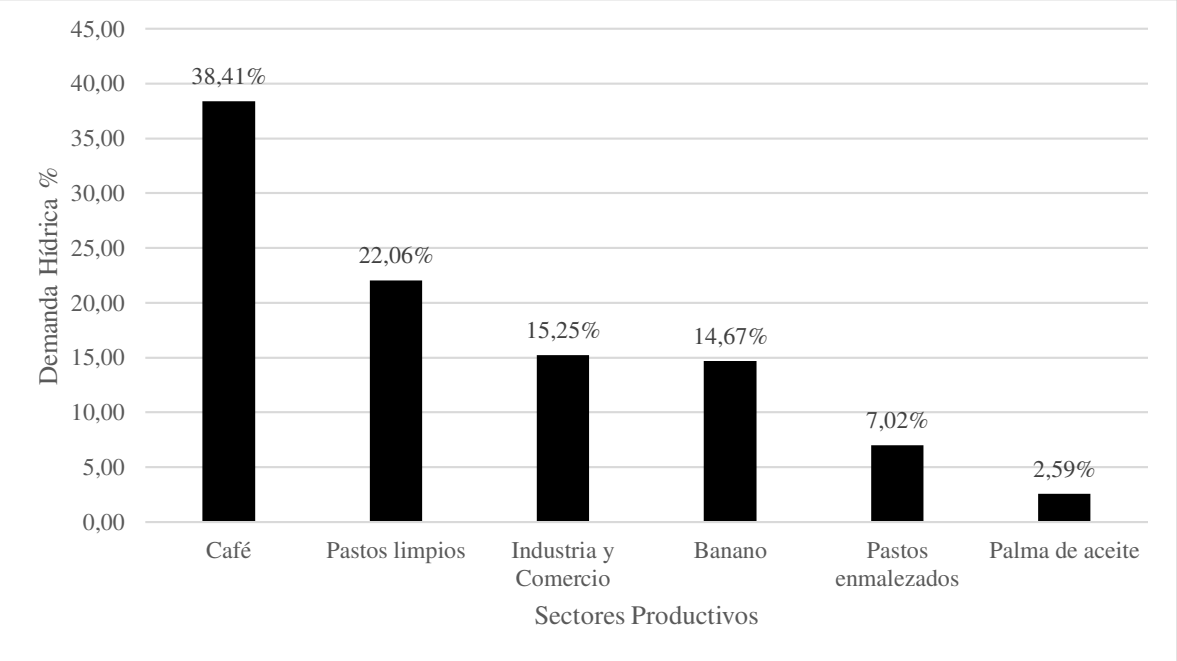


Figura 116. Demanda hídrica por sectores productivos en la cuenca del río Toribio.

La distribución de la demanda hídrica por sector económico en la cuenca del rio Toribio se aprecia en la Figura 117, en la cual se observa que la mayor demanda de agua se localiza desde la parte media al norte de la cuenca hacia el noreste, este, y sureste; en la parte baja de la cuenca a su vez se presenta una demanda hídrica importante. La mayor demanda hídrica por sector productivo se presenta por uso agrícola, el Café con el 16,15%, el con Banano 6,17% y la palma de aceite con 1,09% del total de la demanda hídrica de la cuenca son los de mayor demanda de agua por uso de este sector. El sector pecuario es el segundo en demanda por uso de agua, los pastos limpios y pastos enmalezados demandan un 9,28% y 2,95% respectivamente. Po último, el sector industrial con 6,41% de la demanda total de la cuenca.

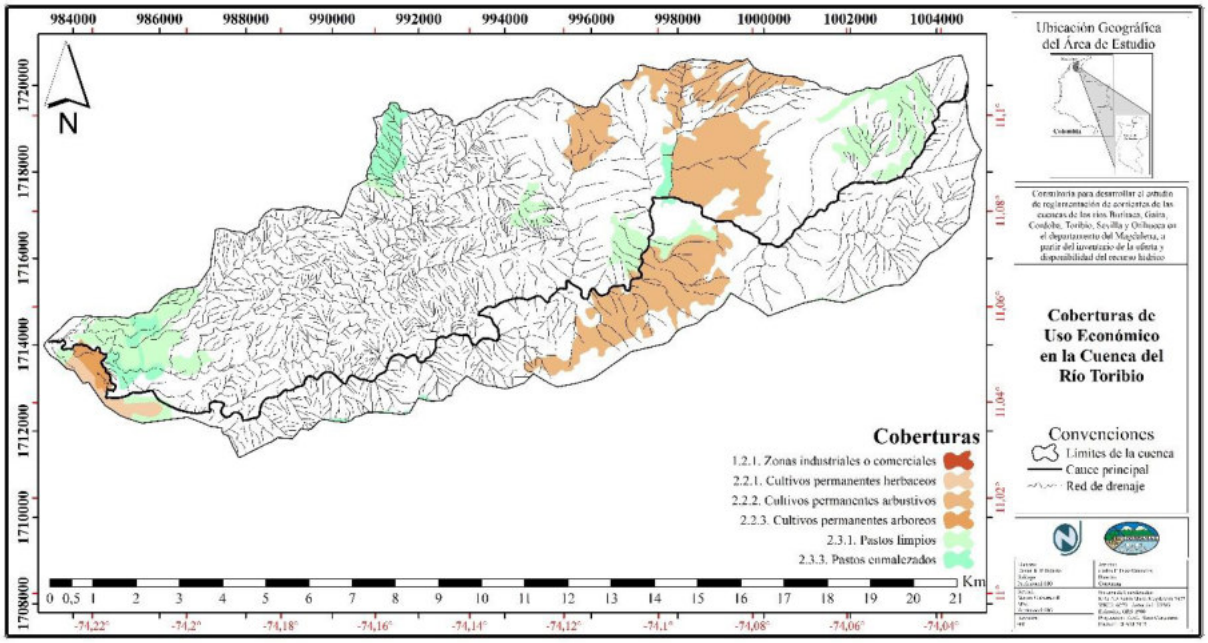


Figura 117. Demanda hídrica de la cuenca del río Toribio.

Índice de Escasez por Sectores Productivos

El índice de escasez en el sector productivo es de 42,90 Mm^3 se encuentra en la categoría "Medio Alta" lo que significa que la demanda Hidrica es apreciable, lo que al compáralo con el índice estimado disminuye a la mitad con una diferencia de 41,27 % (figura 132)

Tabla 132. Índice de escasez por sectores productivos en cuenca del rio Toribio. Fuente: autores.

	Demanda total Mm^3/año	Oferta superficial total Mm^3/año	Oferta superficial total Mm^3/año - Factor de Reducción 25%	D/O	IE (%)	Categoría
Toribio	42,22	131,23	98,42	0,43	42,90	**Medio Alto**

Demanda Hídrica Concesionada

Tabla 133. Concesiones otorgadas en la cuenca del rio Toribio.

Predio	Caudal concesionado L/s	Caudal concesionado m3/s	Caudal concesionado Mm3/año
Predio Ojo de Agua	7	0,007	0,22
La Yolamira	10	0,01	0,32
Santa Elena, Papare	155,6	0,16	4,91
C. I. PRODECO S.A.	24	0,02	0,76
El Triunfo	0,46	0,0005	0,01
Puerto Carbonífero - DRUMMOND	38	0,038	1,198
Puerto Marítimo Puerto Nuevo	124,7	0,12	3,93
Total Concesionado	**359,76**	**0,36**	**11,35**

Las concesiones otorgadas en la cuenca del rio Córdoba son resumidas en la tabla 133. COSTERA PROGESTUR LTDA Y CIA S. EN C., en el predio Ojo de Agua, el cual tiene una concesión de 0,22 Mm^3 al año, es decir, el 1,95% del total del caudal concesionado para esta cuenca (Figura 118) y cuyo uso es el riego de pasto y jardines. DRUMMOND LTD., el cual tiene otorgada una concesión de 0,038 $m^3.s^{-1}$ que equivale a 1,19 Mm^3 al año, es decir, el 10,56% del total de la concesión. C. I. PRODECO - PRODUCTOS DE COLOMBIA S.A., la cual tiene una concesión de 0,75 Mm^3 al año, que equivale al 6,67% de la concesión total de la cuenca (Figura 118). GRUPO EMPRESARIAL TRUMA S.A., en el predio El triunfo, el cual tiene una concesión de 0,014 Mm^3 al año, es decir, el 2,78% del total del caudal concesionado, cuyo principal uso es el consumo humano. PUERTO MARITIMO PUERTO NUEVO - C.I. PRODECO, la cual tiene una concesión de 3,93 Mm^3 al año, equivalente al 34,66% del total del caudal concesionado en la cuenca, el uso principal que se le da al recurso hídrico otorgado en esta concesión es tipo industrial para la humectación de carbón (Figura 6). JUAN MIGUEL DE VENGOECHEA Y CIA S EN C. S., en el predio Santa Elena Papare, el cual tiene una concesión de 4,90 Mm^3 al año, equivalente al 43,25% del total del caudal concesionado para esta cuenca y cuyo principal uso es el cultivo de Banano y la palma

africana. Por último, C.I. ANDIMINERALS S.A.S., en el predio La Yolamira, cual tiene una concesión de 0,31 Mm^3 al año, equivalente al 2,78% del total del caudal concesionado para esta cuenca y cuyo principal uso es el lavado de arenas.

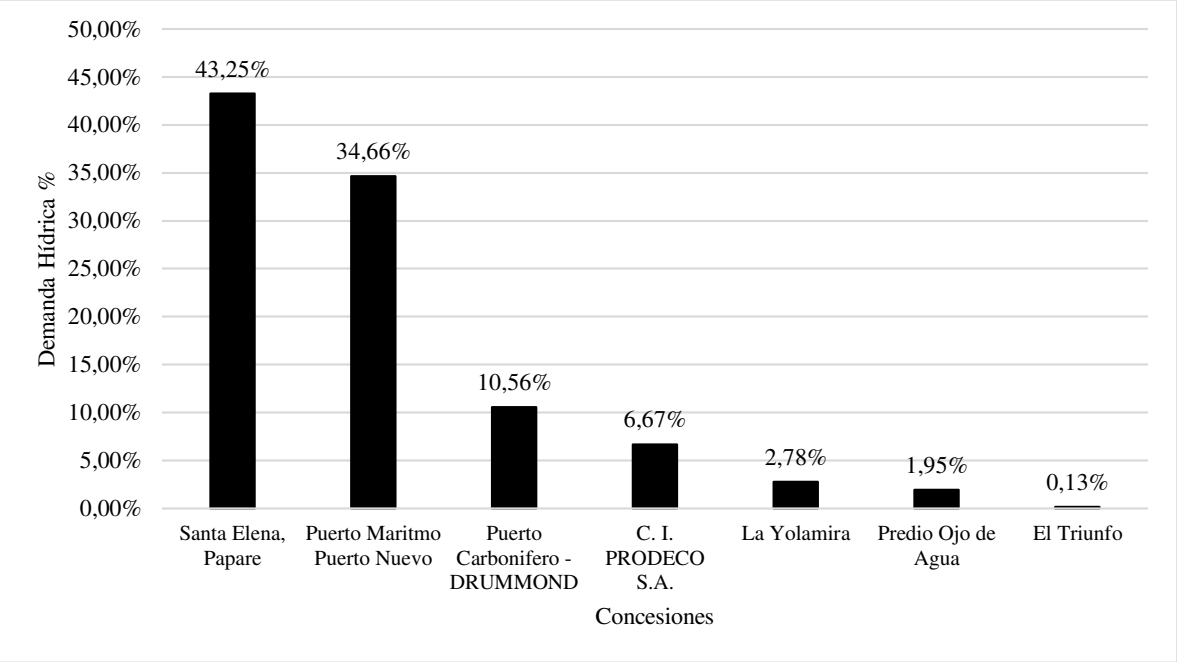


Figura 118. Porcentaje de demanda de las concesiones otorgadas en la cuenca del rio Toribio.

La figura 119 muestra que el 54,80% del total concesionado tiene un uso industrial, seguido por el sector agrícola con el 43,25% y por último el sector pecuario con el menor porcentaje 1,95%.

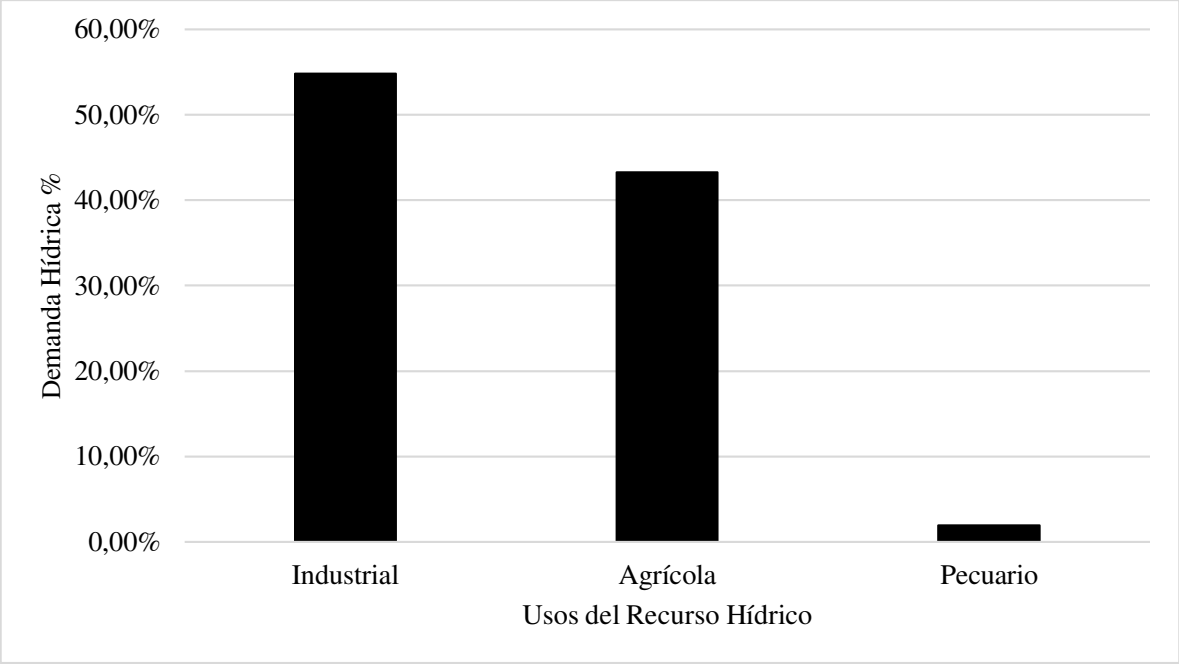


Figura 119. Porcentajes de los usos de las concesiones otorgadas en la cuenca del río Toribio.

CUENCA DEL RIO CÓRDOBA

Demanda Hídrica Estimada

La demanda total de la cuenca del rio Córdoba es de 100,411 Mm^3 al año, de los cuales el 55,25% es destinado al sector agrícola, seguido del sector pecuario con 26,66%; siendo éstos los principales usos en esta cuenca, el sector industrial por el contrario es el que menos agua demanda con 0,82% (Figura 120); dentro del sector agrícola el mayor consumo de agua lo presentan los Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (cultivos anuales, transitorios o permanentes con pastos que ocupan del 30 al 70% de la superficie total de la parcela) con el 23,56% del total de la demanda, seguido de los Pastos enmalezados con 17,34%; por otra parte, los Pastos arbolados son los que menor demanda hídrica presentan con un 0,003% del total de la demanda para la cuenca (Figura 121).

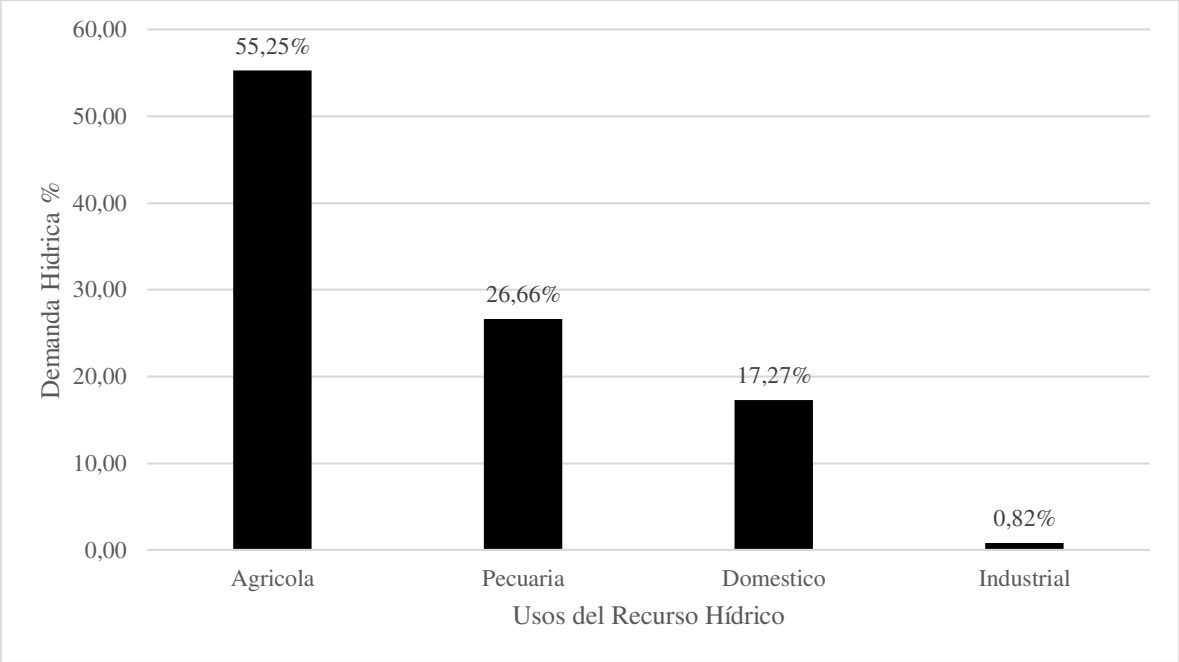


Figura 120. Demanda hídrica en porcentaje de los usos que se le dan al recurso hídrico en la cuenca del río Córdoba.

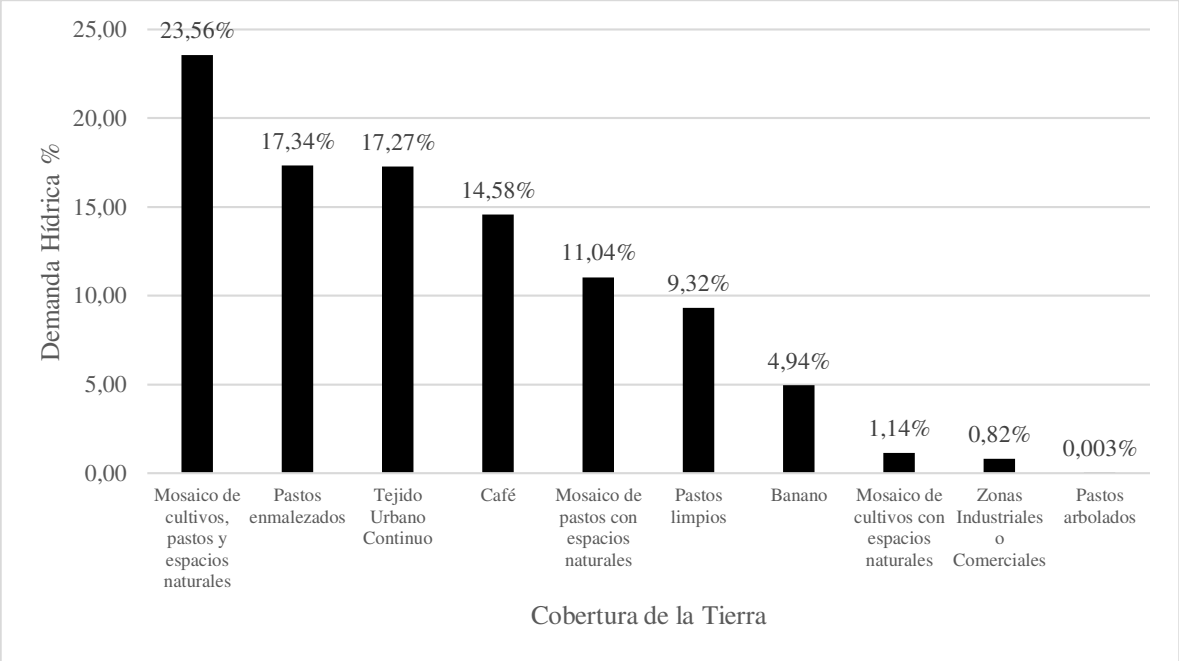


Figura 121. Porcentaje de la demanda hídrica anual para las coberturas CORINE Land Cover de la cuenca del río Córdoba.

La distribución de la demanda hídrica en la cuenca del rio Córdoba se aprecia en la Figura 122, en la cual se observa que la mayor demanda de agua se localiza desde la parte media hacia noreste y sureste de la cuenca, en donde se ubican cultivos como café y otros cultivos, pastos y espacios naturales como principales fuentes de demanda. Para el 50.49% del área total de la cuenca la demanda varia de 0 a 2 Mm^3 anuales; y el 14,93% de la superficie, que en su mayoría es de uso agrícola y pecuario, presenta una demanda de 20 a 30 Mm^3 al año.

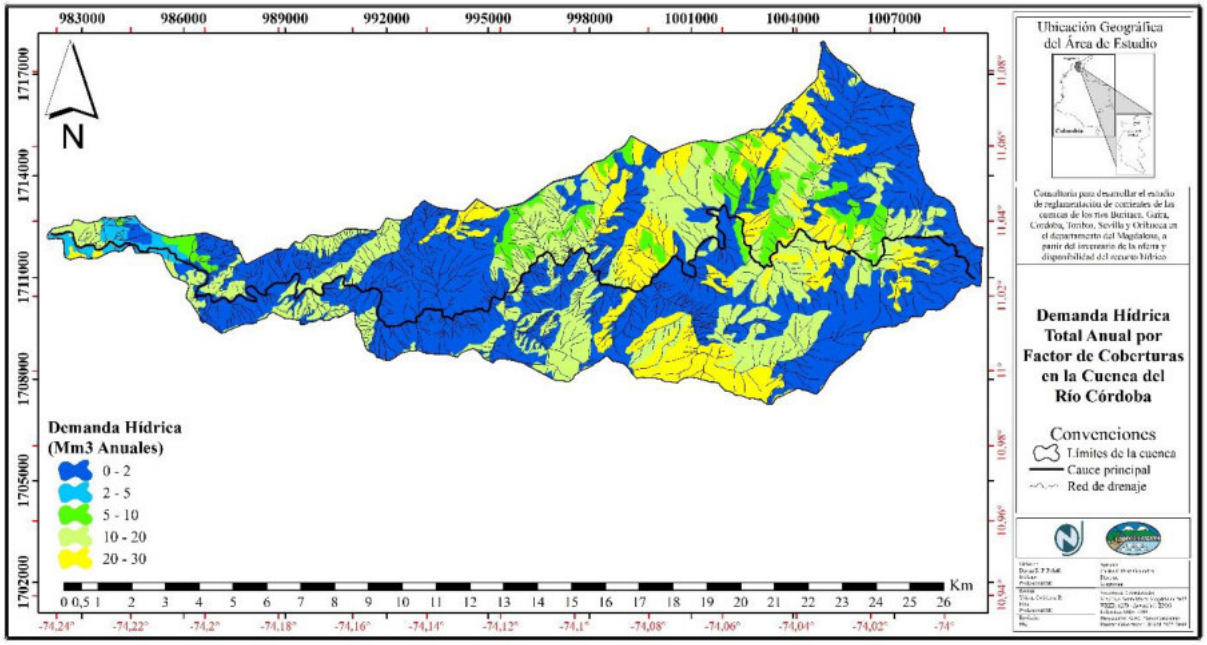


Figura 122. Demanda hídrica de la cuenca del río Córdoba.

Índice de Escasez

El índice de escasez estimado en esta cuenca es de 79,862%, lo que lo ubica en la categoría "Alta" caracterizada por presentar una demanda hídrica alta (tabla 134).

Tabla 134. Índice de escasez cuenca del rio Córdoba. Fuente: autores.

	Demanda total Mm^3/año	Oferta superficial total Mm^3/año	Oferta superficial total Mm^3/año - Factor de Reducción 25%	D/O	IE (%)	Categoría
Córdoba	100,411	167,64	125,73	0,799	79,862	**Alto**

Con relación a los datos del Plan de acción Institucional (PAI) 2016-2019 del CORPAMAG, se aprecia un diferencial de 49,762% respecto de lo reportado en el presente estudio, quizá

debido a que se tuvieron un mayor número de variables que inciden en el índice de escasez, ambos datos se encuentran en categorías diferentes, siendo "Alta" en el presente documento y "Medio Alta" en el calculado con los datos de la Corporación (Tabla 135), el diferencial presentado es muy significativo.

Tabla 135. Índice de escasez cuenca del rio Córdoba. Fuente: CORPAMAG.

	CAUDALES L/s						
	Fuente	**Caudal Medio Anual**	**Caudal ecológico**	**Caudal Concesionado**	**Caudal Disponible**	**IE (%)** (calculado)	**Categoría**
Córdoba	Plan de acción Institucional (PAI) 2016-2019	1.750	438	703	609	30,1	**Medio Alta**

Demanda Hídrica por Sector Productivo

La demanda para el sector productivo en la cuenca del río córdoba es de 47,18 Mm^3, que representa el 47% de la demanda total, de los cuales el 36,90% es para pastos enmalezados, seguido del café con 31,02% y pastos limpios con 19,82%; las zonas industriales y comerciales junto con los pastos arbolados son los que menos consumen agua con 1,74% y 0,01% respectivamente; tomando solo estos productos la demanda de la cuenca disminuye a más del 50% (Figura 123)

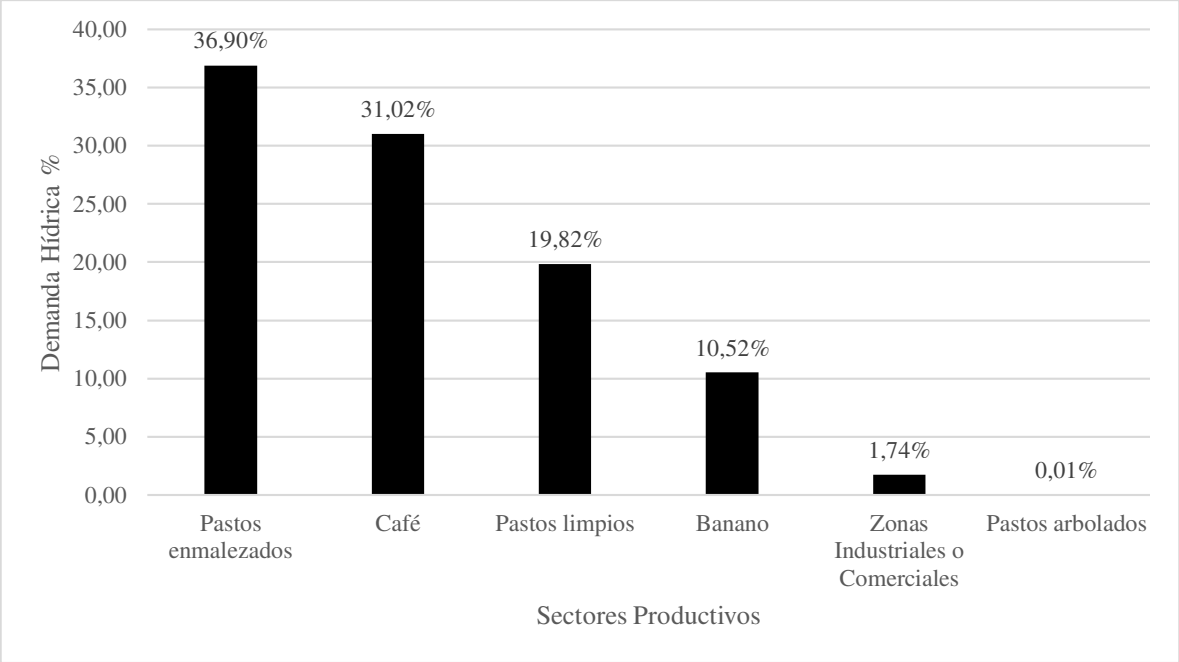


Figura 123. Demanda hídrica por sector productivo de la cuenca del río Córdoba.

La distribución de la demanda hídrica por sector económico en la cuenca del rio Córdoba se aprecia en la Figura 124, en la cual se observa que la mayor demanda de agua se localiza desde la parte media hacia noreste y sureste de la cuenca; en la cuenca baja a su vez se presenta una demanda hídrica importante. La mayor demanda hídrica por sector productivo se presenta por uso pecuario, los pastos enmalezados, pastos limpios y pastos arbolados son los de mayor demanda en este sector, con un porcentaje alto de agua extraída no consumida con respecto a la demanda hídrica total, con 17,33% y 9,31% y 0,003%, respectivamente. Por otra parte, la segunda mayor demanda la presenta el sector agrícola a través del café con 14,58% y el banano con 4,94% del total de la demanda para toda la cuenca.

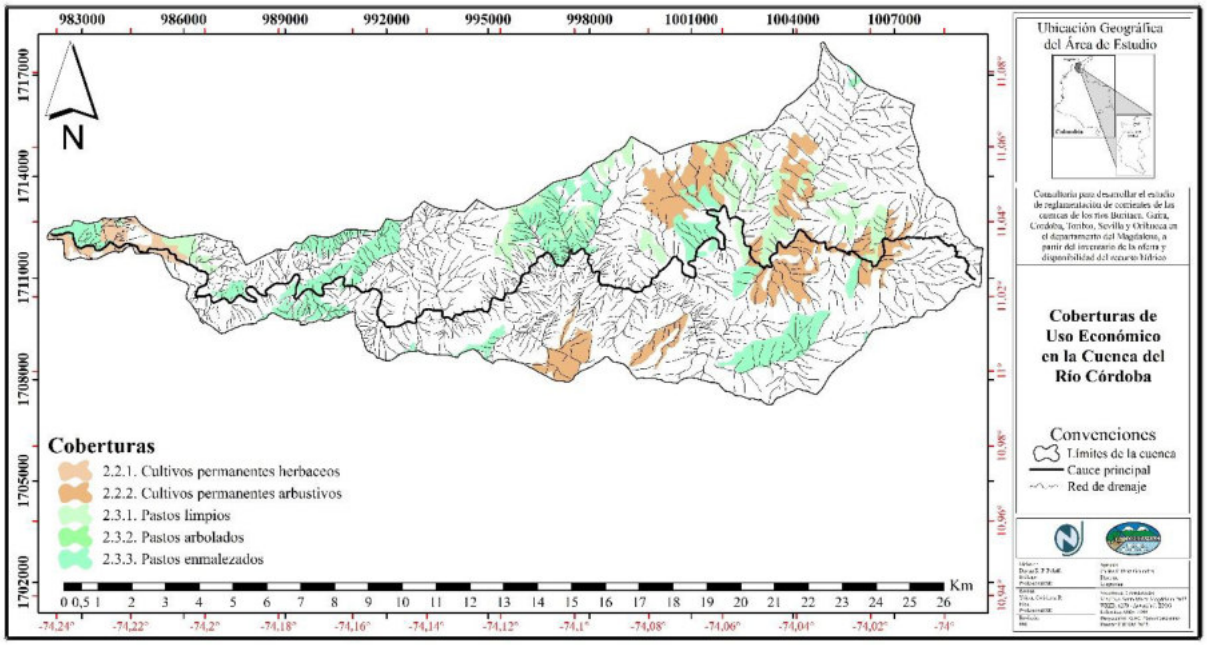


Figura 124. Demanda hídrica por sector productivo de la cuenca del río Córdoba.

Índice de escasez por Sector Productivo

El índice de escasez estimado en esta cuenca es de 37,53%, lo que lo ubica en la categoría "Medio Alta" caracterizada por presentar una demanda hídrica apreciable, lo que al compáralo con el índice total estimado de la cuenca disminuye a la mitad con una diferencia de 42,33% (tabla 136)

Tabla 136. Índice de escasez por sectores productivos cuenca del rio Córdoba. Fuente: autores.

	Demanda total Mm^3/año	Oferta superficial total Mm^3/año	Oferta superficial total Mm^3/año - Factor de Reducción 25%	D/O	IE (%)	Categoría
Córdoba	47,18	167,64	125,73	0,38	37,53	**Medio Alto**

Demanda Concesionada

Tabla 137**.** Concesiones otorgadas en la cuenca del rio Córdoba.

Predio	Caudal concesionado m^3/s	Caudal concesionado Mm^3/año
La Vega	0,04	1,17
Puerto Marítimo Puerto Nuevo	0,003	0,09
Acueducto de Ciénaga y Pueblo Viejo	0,55	17,35
Santa Elena	0,02	0,55
Sociedad Portuaria Río Córdoba S.A.	0,02	0,72
Total Concesionado	**0,631**	**19,88**

Las concesiones otorgadas en la cuenca del rio Córdoba son resumidas en la tabla 137. Mostrando que OPERADORES DE LA SIERRA S.A. E.S.P., la cual tiene una concesión de 0,55 $m^3.s^{-1}$ que equivale a 17,34 Mm^3 al año, es decir, el 87,23% del total del caudal concesionado para esta cuenca (Figura 125) y cuyo uso es destinado exclusivamente al abastecimiento de agua en Ciénaga y Pueblo viejo. JUAN MIGUEL DE VENGOECHEA Y CIA S EN C.S., en el predio Santa Elena, el cual tiene una concesión de 0,017 $m^3.s^{-1}$ que equivale a 0,55 Mm^3 al año, es decir, el 2,78% del total del caudal concesionado para esta cuenca (Figura 125), cuyo principal uso es el cultivo de Banano. Por último la SOCIEDAD PORTUARIA RIO CORDOBA, la cual tiene una concesión de 0,72 Mm^3 al año, equivalente al 3,65% del total del caudal concesionado en la cuenca, el uso principal que se le da al recurso hídrico otorgado en esta concesión es tipo industrial para la humectación de carbón (Figura 125).

La figura 126 muestra que el 87,23% del total concesionado tiene un uso doméstico, seguido por el sector agrícola con el 8,64% y por último el sector industrial con el menor porcentaje 4,12%.

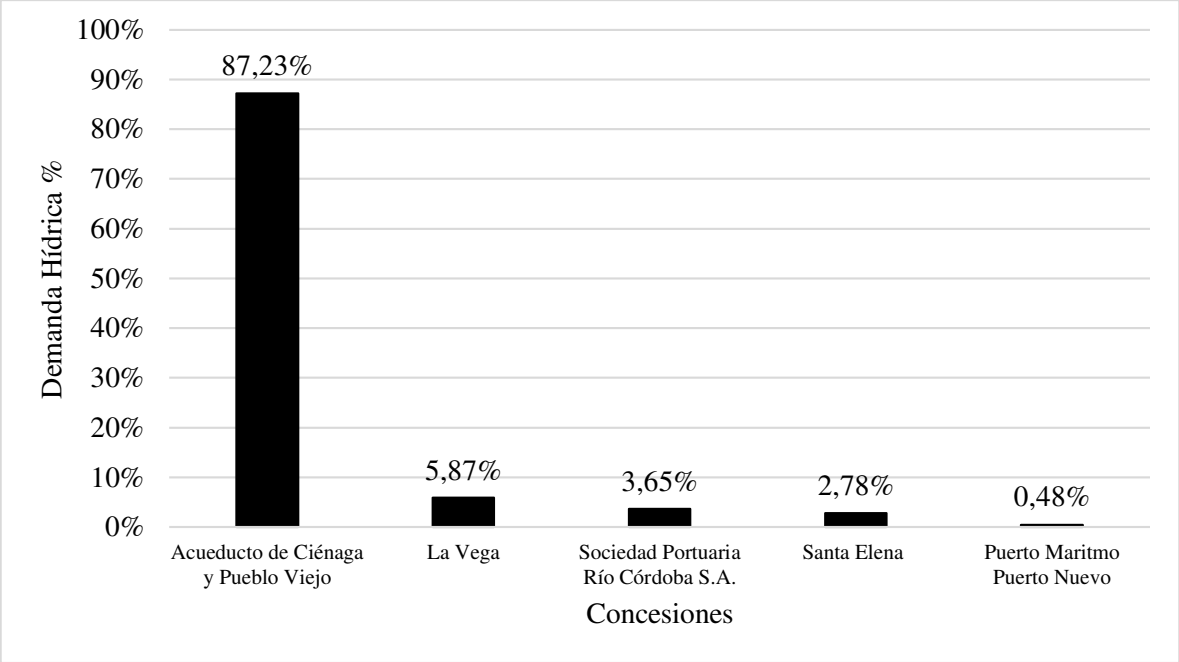


Figura 125. Porcentaje de demanda de las concesiones otorgadas en la cuenca del rio Córdoba.

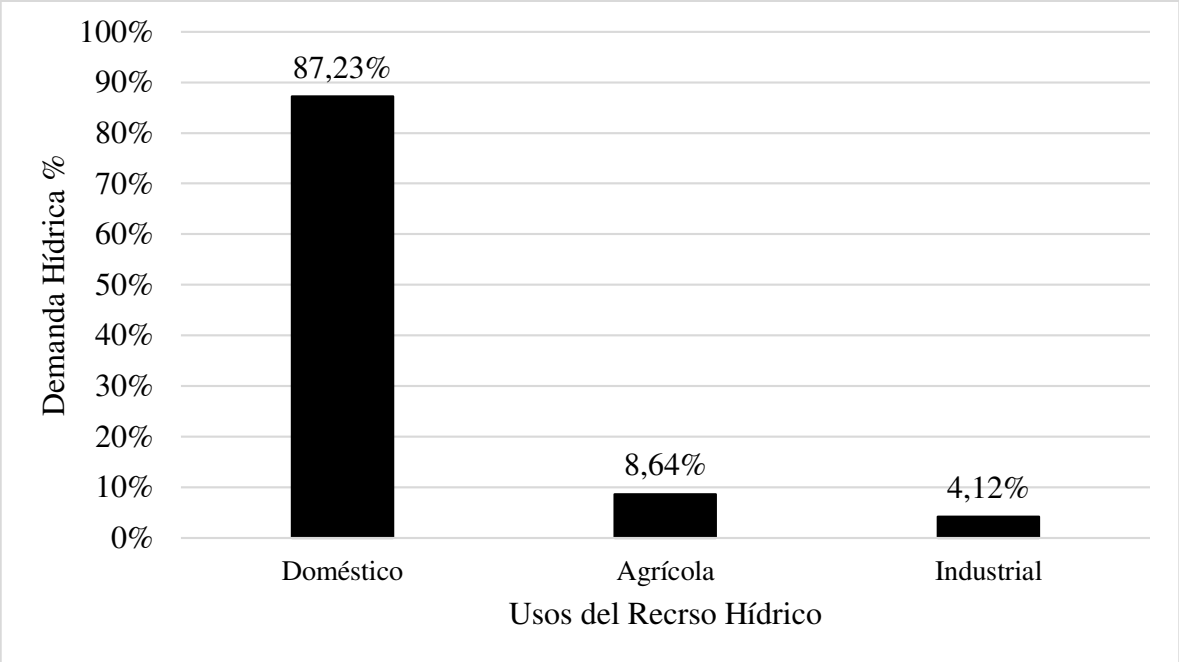


Figura 126. Porcentajes de los usos de las concesiones otorgadas en la cuenca del río Córdoba.

QUEBRADA ORIHUECA

Demanda Hídrica

La demanda hídrica total de la Quebrada Orihueca es de 231,507 Mm^3 al año, de los cuales el 81,7% proviene del sector agrícola, seguido del sector pecuario con 18,3%; siendo estos los principales usos en la cuenca (Figura 127). Dentro del sector agrícola el mayor consumo de agua lo presentan los Cultivos semipermanentes y permanentes como el banano con el 24,52% del total de la demanda, seguido de la palma de aceite con 18,88%; por otra parte los Mosaicos de pastos y cultivos, y Otros cultivos permanentes herbáceos son los que menor demanda hídrica presentan con 0,62% y 0,0035% respectivamente (Figura 128).

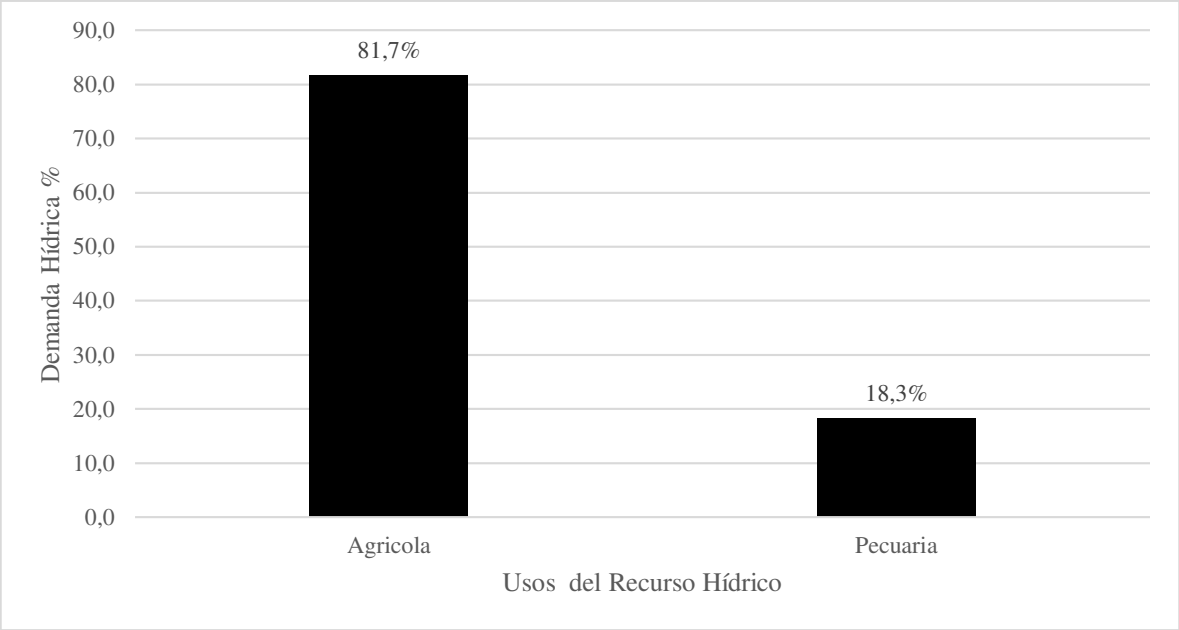


Figura 127. Demanda hídrica en porcentaje de los usos que se le dan al recurso hídrico en la Quebrada Orihueca.

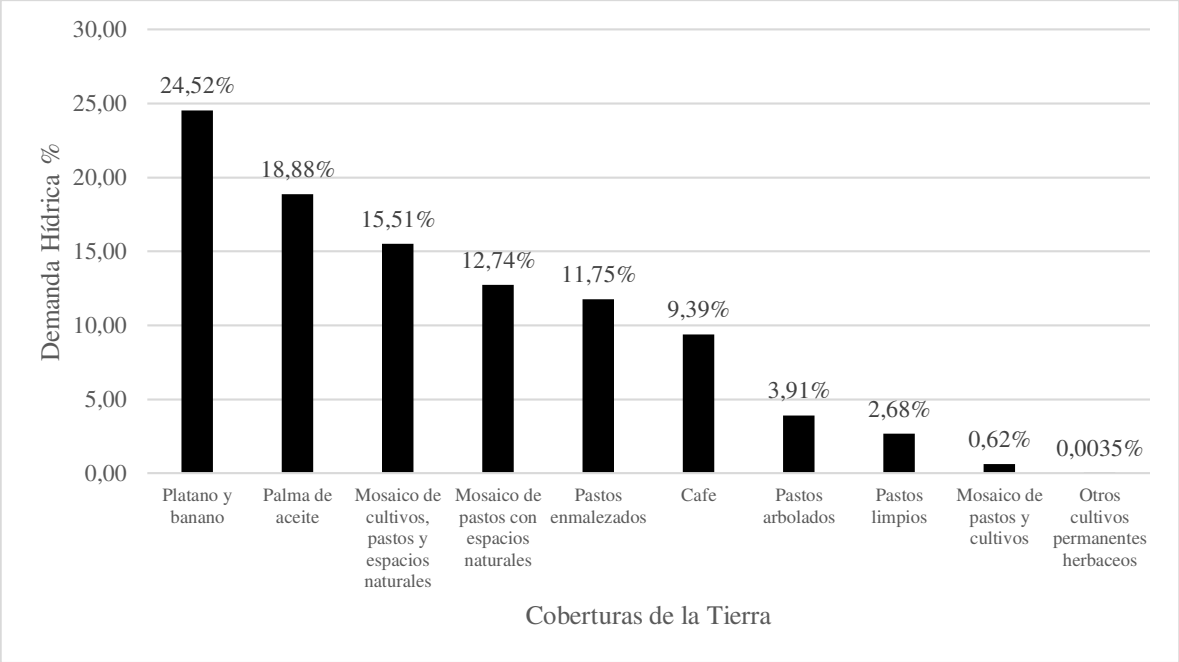


Figura 128. Porcentaje de la demanda hídrica anual para las coberturas CORINE Land Cover de la cuenca del río Quebrada Orihueca.

La distribución de la demanda hídrica en la cuenca del rio Orihueca se aprecia en la Figura 129, se observa que la mayor demanda de agua se localiza desde la parte media (carretera troncal) hacia el oeste, suroeste y sur de la cuenca (cuenca baja). En la cuenca baja del rio Orihueca se ubican cultivos permanentes de banano, palma de aceite y pastos y espacios naturales como principales fuentes de demanda. Para el 16.27% del área total de la cuenca, en su mayoría de uso agrícola y pecuario (en esta zona se ubican grandes extensiones de cultivos de banano y palma de aceite) la demanda varia de 50 a 80 Mm^3 anuales.

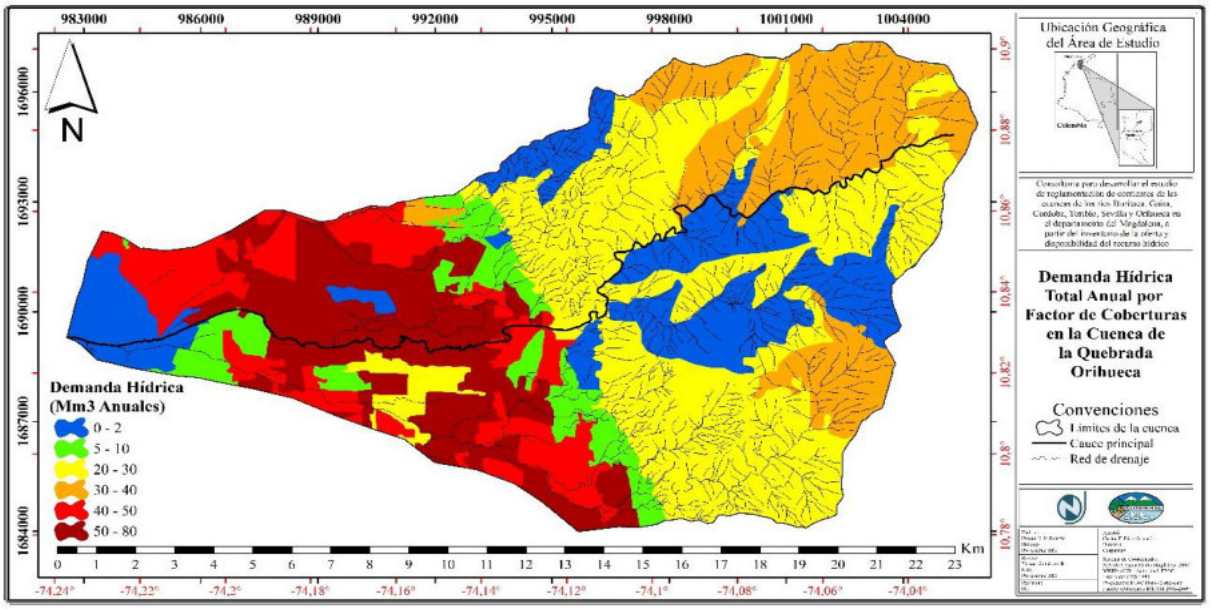


Figura 129. Demanda hídrica de la Quebrada Orihueca.

Índice de escasez

Índice de escasez estimado en la Quebrada Orihueca es de 611,723%, lo que indica que se ubica en la categoría "Alta" caracterizada por presentar una alta demanda hídrica (Tabla 138).

Tabla 138. Índice de escasez cuenca del rio Orihueca. Fuente: autores.

	Demanda total Mm^3/año	Oferta superficial total Mm^3/año	Oferta superficial total Mm^3/año - Factor de Reducción 25%	D/O	IE (%)	Categoría
Orihueca	231,507	50,46	37,845	6,117	611,723	**Alto**

Respecto del índice de escasez, no existen estudios que reporten medidas comparativas para ésta cuenca o datos con los cuales se pueda realizar dicho cálculo.

Demanda Hídrica por Sector productivo

La demanda de este sector en la quebrada Orihueca es de 164,67 Mm^3, que representa el 71% de la demanda total, de los cuales el 34,47% son para el banano, seguido de la palma de aceite con 26,54% y los pastos enmalezados y el café con 16,52% y 13,21% respectivamente, mientras que los que menos agua demandan son los pastos arbolados con 5,50% y los pastos

limpios con 3,77%; al tomar solo este sector la demanda disminuye 66,84 Mm^3 (Figura 130); lo que quiere decir que aun excluyendo el resto de las presiones que hay sobre esta cuenca existe una sobreexplotación del recurso hídrico.

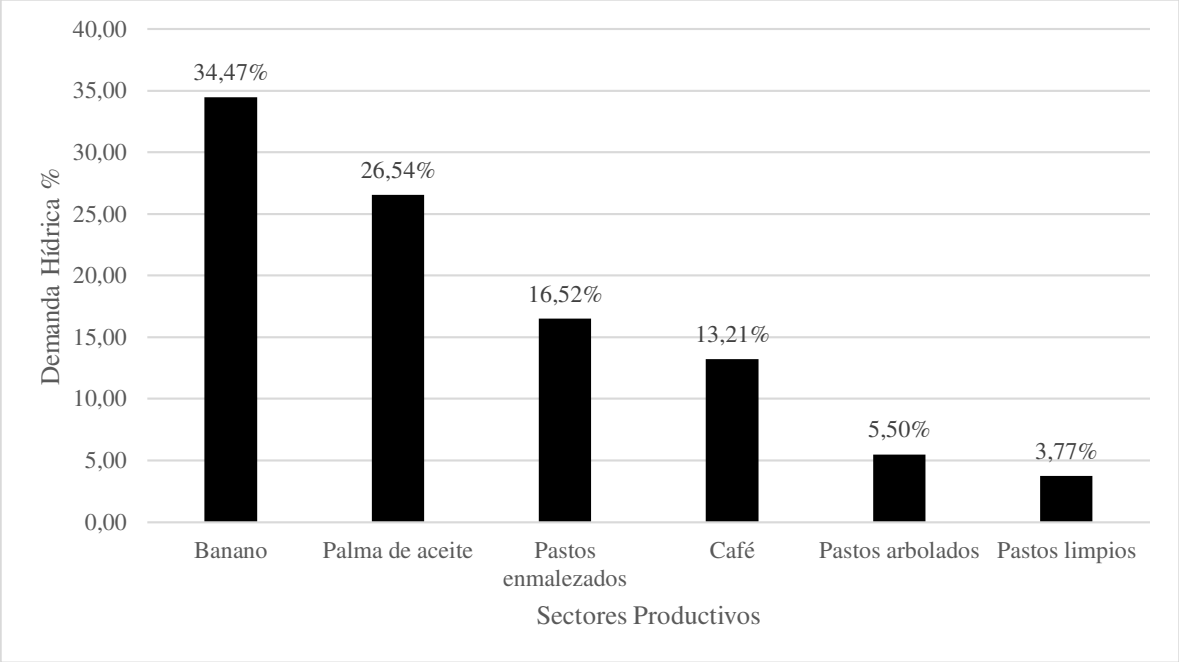


Figura 130. Demanda hídrica por sector productivo en la Quebrada Orihueca.

La distribución de la demanda hídrica por sector productivo en la cuenca del rio Orihueca se aprecia en la Figura 131, se observa que la mayor demanda de agua se localiza desde la parte media (carretera troncal) hacia el oeste, suroeste y sur de la cuenca (cuenca baja). La mayor demanda hídrica por sector productivo se presenta por uso agrícola, el Banano con el 24,52%, la Palma de aceita con 18,88% y el Café con 9,39% del total de la demanda hídrica de la cuenca son los de mayor demanda de agua por uso de este sector. El sector pecuario completa la demanda productiva por uso de agua de la cuenca con pastos enmalezados, pastos arbolados y pastos limpios los cuales demandan un 11,75%, 3,15% y 2,68% respectivamente.

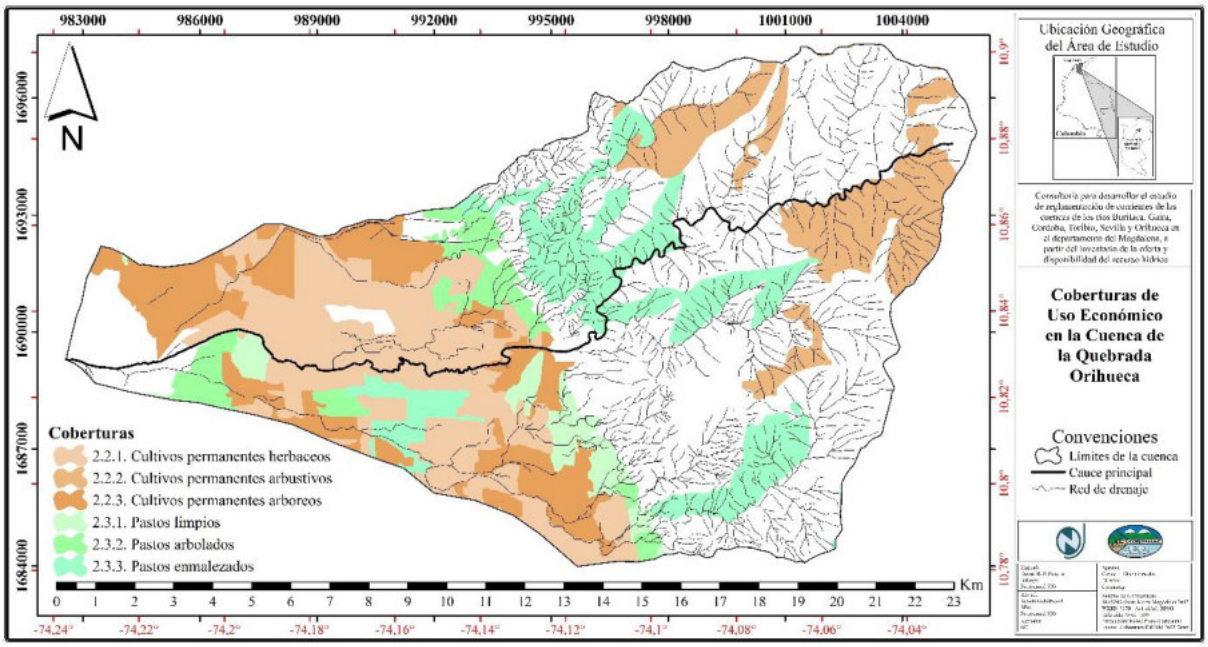


Figura 131. Demanda hídrica por sector productivo de la Quebrada Orihueca.

Índice de escasez por Sector productivo

El índice de escasez del sector productivo es de 435,12%; se encuentra en la categoría "Alta", lo que indica que la demanda Hídrica en esta cuenca es alta, a pesar de estimarse el índice solo con estos productos sigue siendo significativa, por lo que se infiere que esta cuenca se encuentra en un estado crítico del recurso hídrico por las fuertes presiones que hay sobre ella (tabla 139).

Tabla 139. Índice de escasez por sector productivo cuenca del rio Orihueca. Fuente: autores.

	Demanda total Mm^3/año	Oferta superficial total Mm^3/año	Oferta superficial total Mm^3/año - Factor de Reducción 25%	D/O	IE (%)	Categoría
Orihueca	164,67	50,46	37,85	4,351	435,12	**Alta**

Demanda Concesionada

Tabla 140. Concesiones otorgadas en la cuenca del rio Orihueca.

Predio	caudal concesionado L/s	caudal concesionado m3/s	caudal concesionado Mm3/año
Eufemia Dolores	39	0,039	1,229
Teresa	38	0,038	1,198
Total Concesionado	**77**	**0,077**	**2,428**

Las concesiones otorgadas en la cuenca del rio Orihueca se resumen en la tabla 140. AGRICOLA EUFEMIA S.A.S., posee las dos concesiones otorgadas en la cuenca, en el predio Eufemia Dolores, se presenta una concesión de 1,22 Mm^3 al año, es decir, el 50,65% del total del caudal concesionado (Figura 132) y cuyo uso es el cultivo de Banano. Adicionalmente esta misma empresa posee una segunda concesión en el predio Teresa, con un caudal de 1,19 Mm^3 utilizados igualmente para en el cultivo del banano. Por lo anterior deducimos que el 100% del caudal concesionado en la cuenca del rio Orihueca es de uso agrícola.

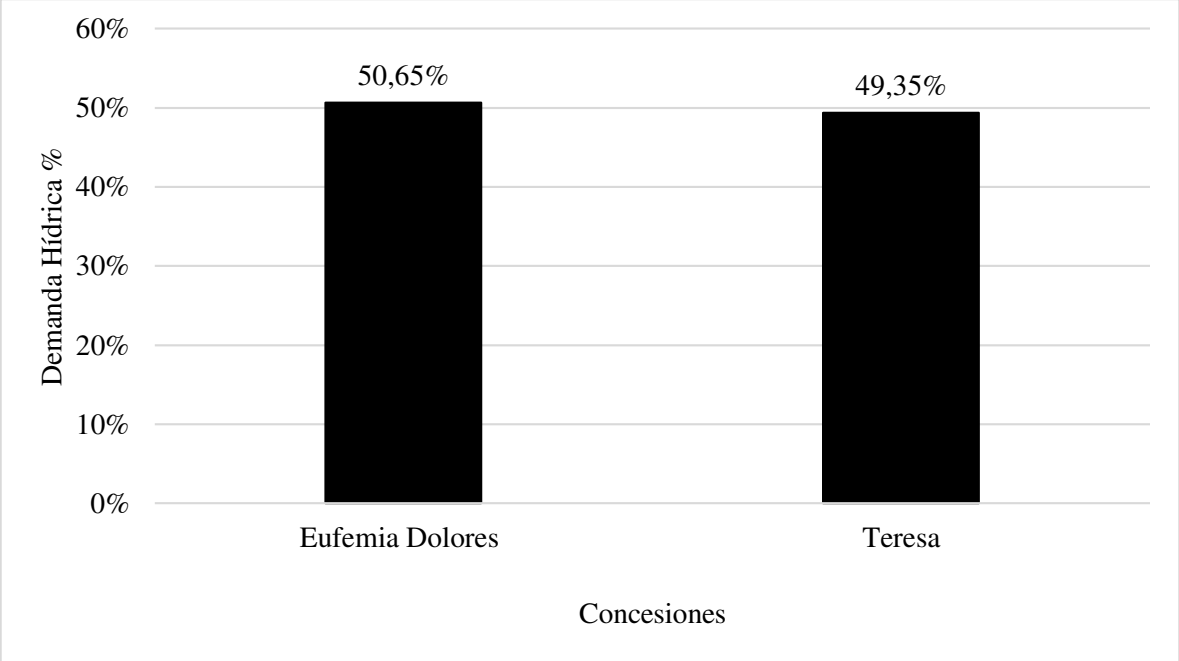


Figura 132. Porcentaje de demanda de las concesiones otorgadas en la cuenca del rio Orihueca.

CUENCA DEL RIO SEVILLA

Demanda Hídrica Estimada

La demanda hídrica total de la cuenca del rio Sevilla es de 318,29 Mm^3 anuales, de los cuales el 77,42% está destinado al sector agrícola, seguido del sector pecuario con 20,1%; siendo estos los principales usos que se dan del recurso hídrico en la cuenca; el sector industrial por el contrario es el que menos agua demanda con 2,48% del total (Figura 133). Dentro del sector agrícola el mayor consumo de agua lo presentan los Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (cultivos anuales, transitorios o permanentes con pastos que ocupan del 30 al 70% de la superficie total de la parcela) con el 23,83% del total de la demanda; seguido por los cultivo de banano con 15,79%; por otra parte, las Zonas industriales y comerciales, y Otros cultivos permanentes herbáceos son los que menor demanda hídrica tienen con 2,48% y 0,62% respectivamente (Figura 134).

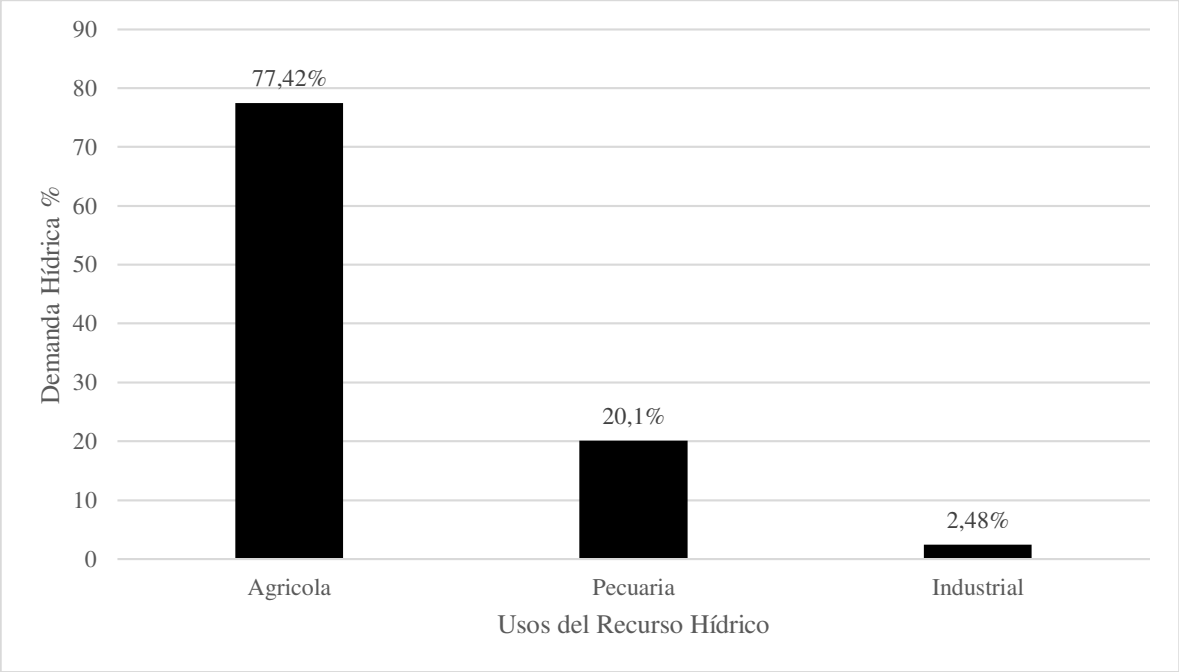


Figura 133. Demanda hídrica en porcentaje de los usos que se le dan al recurso hídrico en la cuenca del río Sevilla.

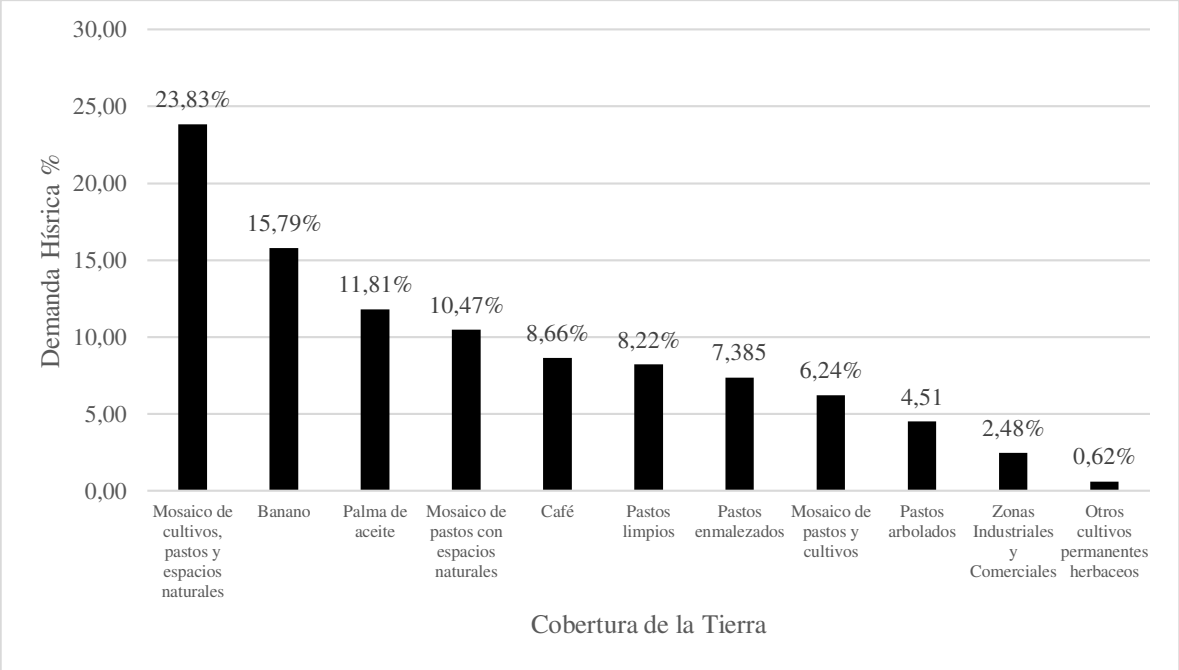


Figura 134. Porcentaje de la demanda hídrica anual para las coberturas CORINE Land Cover de la cuenca del río Sevilla.

La distribución de la demanda hídrica en la cuenca del rio Sevilla se aprecia en la Figura 135, en la cual se observa que la mayor demanda de agua se localiza desde la parte media al norte de la cuenca hacia el noreste por una gran extensión de cultivos de café y por la ubicación de uno de los principales centros poblados (Palmor) que tiene una concesión para la producción de energía hidroeléctrica (Micro central hidroeléctrica de Palmor). Adicionalmente en la parte baja al oeste de la cuenca se ubican cultivos de banano y palma de aceite como principales fuentes de demanda. Para el 48,69% del área total de la cuenca la demanda varia de 0 a 2 Mm^3 anuales; y el 20,09% de la superficie que en su mayoría es de uso agrícola y pecuario, presenta una demanda de 50 a 80 Mm^3 al año.

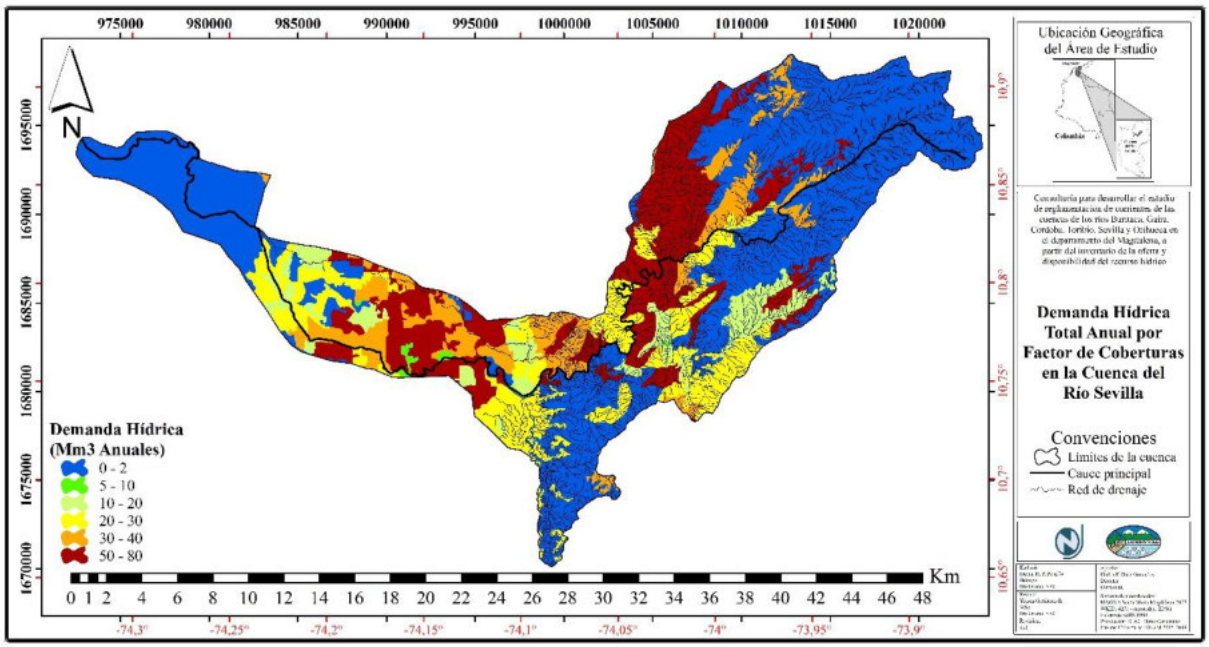


Figura 135. Demanda hídrica de la cuenca del río Sevilla.

Índice de escasez

Índice de escasez estimado en ésta cuenca es de 130,653%, lo que indica que se encuentra en la categoría "Alta" que se caracteriza por presentar una alta demanda hídrica (tabla 141).

Tabla 141. Índice de escasez cuenca del rio Sevilla. Fuente: autores.

	Demanda total Mm^3/año	Oferta superficial total Mm^3/año	Oferta superficial total Mm^3/año - Factor de Reducción 25%	D/O	IE (%)	Categoría
Sevilla	318,29	324,82	243,615	1,307	130,653	**Alto**

Respecto de los datos recabados en el Plan de Acción Institucional de COPAMAG 2016-2019 con los que se calculó el índice de escasez para ésta cuenca (tabla 142), se halló que éste mantiene una diferencia de 72,55% por debajo del reportado en éste estudio lo podría obedecer a cambio en las coberturas o posible desactualización en los datos reportados por la autoridad ambiental; en todo caso ambos se encuentran dentro de la misma categoría "Alta" en ambos escenarios, lo que indica una fuerte presión sobre el recurso hídrico producido por ésta cuenca.

Tabla 142. Índice de escasez cuenca del rio Sevilla. Fuente: CORPAMAG.

	CAUDALES L/s						
	Fuente	**Caudal Medio Anual**	**Caudal ecológico**	**Caudal Concesionado**	**Caudal Disponible**	**IE (%)** (calculado)	**Categoría**
Sevilla	Plan de acción Institucional (PAI) 2016-2019	6.700	1.340	5.187	173	58,1	**Alta**

Demanda por Sector Productivo

La demanda para el sector productivo en la cuenca del rio Sevilla es de 187,29 Mm^3, que representa el 59% de la demanda total, de los cuales el 26,84% es para el banano, seguido de la palma de aceite con 20,08% y el café con 14,72%; mientras que los pastos arbolados y las zonas industriales comerciales son las que menor agua demandan con 7,66% y 4,21% respectivamente (Figura 136), la demanda hídrica de la cuenca solo teniendo en cuenta este sector disminuye 130,9 Mm^3.

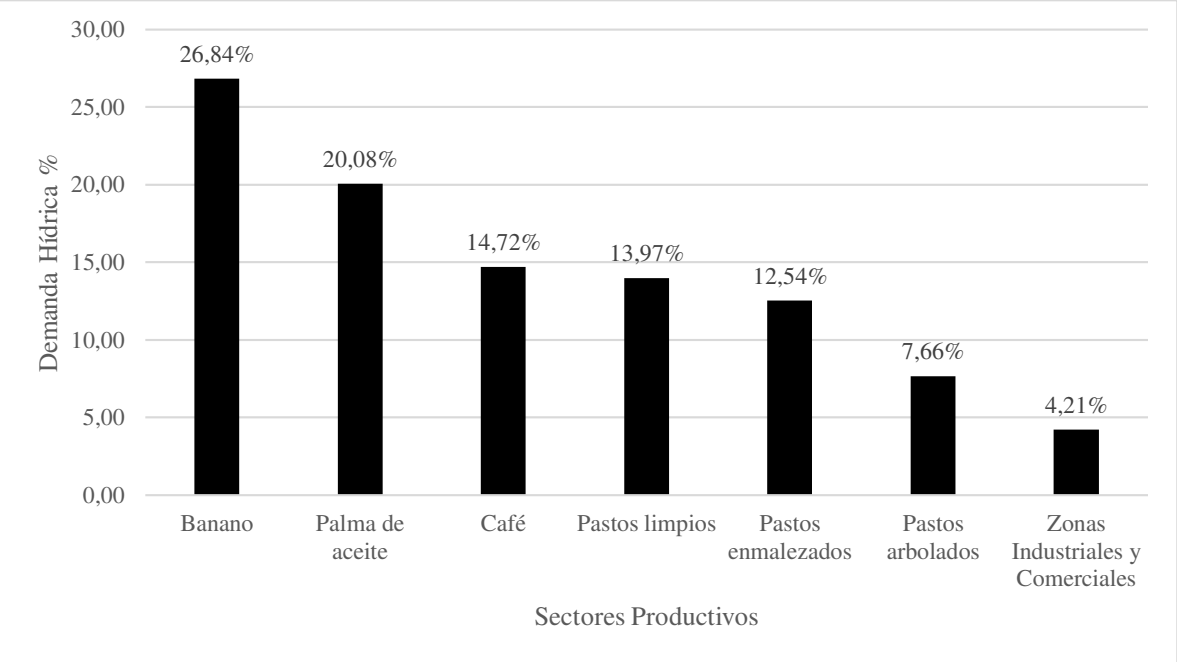


Figura 136. Demanda hídrica por sector productivo en la Quebrada Orihueca.

La distribución de la demanda hídrica por sector económico en la cuenca del rio Sevilla se aprecia en la Figura 137, en la cual se observa que la mayor demanda de agua se localiza

desde la parte media al oeste de la cuenca. La mayor demanda hídrica por sector productivo se presenta por uso agrícola, el Banano con el 15,79%, la Palma de aceite con 11,81% y el Café con 8,66% del total de la demanda hídrica de la cuenca son los de mayor demanda de agua por uso de este sector. El sector pecuario a su vez presente una demanda productiva importante, con pastos limpios, pastos enmalezados y pastos arbolados los cuales demandan un 8,22%, 7,38% y 4,51% respectivamente. Finalmente, el sector industrial demanda el 2,48% del total de la demanda de la cuenca.

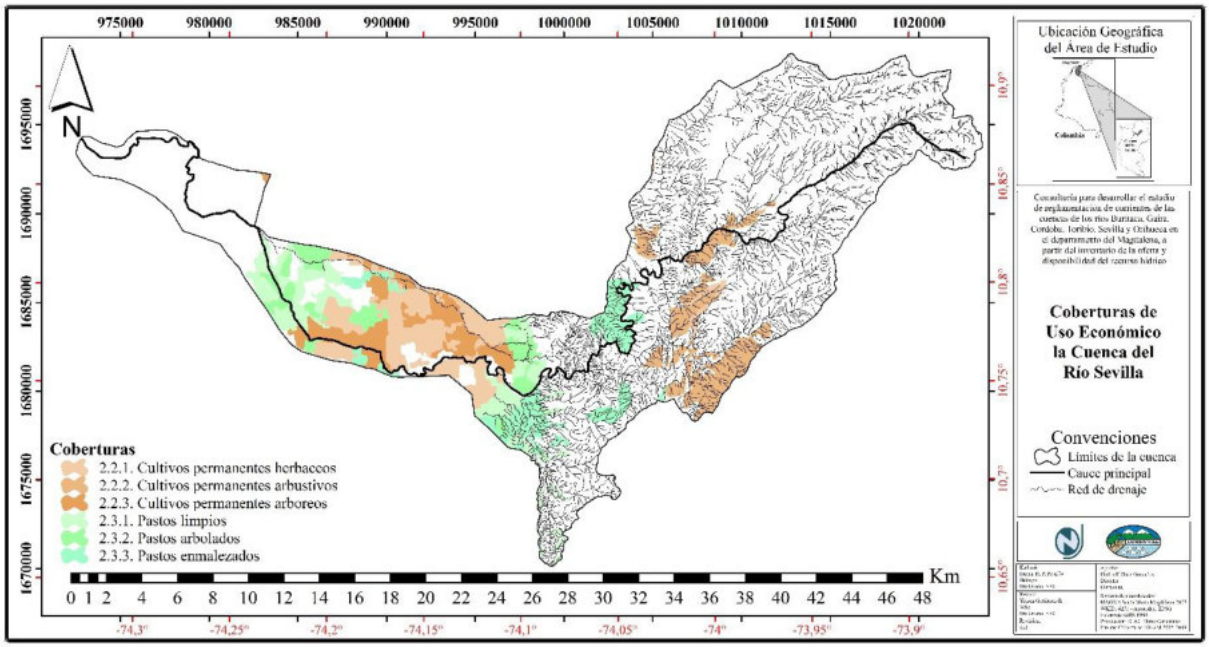


Figura 137. Demanda hídrica por sector productivo de la cuenca del río Sevilla.

Índice de Escasez por Sector Productivo

El índice de escasez del sector productivo es de 76,88%; se encuentra en la categoría "Alta", lo que indica que la demanda Hídrica en esta cuenca es alta, a pesar de estimarse el índice solo con estos productos sigue siendo significativa, por lo que se infiere que esta cuenca se encuentra en un estado crítico del recurso hídrico por las fuertes presiones que hay sobre ella (tabla 143).

Tabla 143. Índice de escasez por sector productivo en cuenca del rio Sevilla. Fuente: autores.

	Demanda total Mm^3/año	Oferta superficial total Mm^3/año	Oferta superficial total Mm3/año - Factor de Reducción 25%	D/O	IE (%)	Categoría
Sevilla	187,29	324,82	243,62	0,77	76,88	**Alta**

Demanda Concesionada

Tabla 144. Concesiones otorgadas en la cuenca del rio Sevilla.

Predio	Caudal concesionado L/s	Caudal concesionado m3/s	Caudal concesionado Mm3/año
La Recina, Berlin, Isabelita y Esperanza	9,2	0,009	0,29
El Oasis	2,6	0,003	0,082
Micro Central Hidroelectrica Palmor	250	0,25	7,884
Total Concesionado	**261,8**	**0,262**	**8,256**

Las concesiones otorgadas en la cuenca del rio Sevilla se resumen en la tabla 144. GROPECUARIA BERLIN LTDA, en los predios La recina, Berlin, Isabelita y Esperanza presentan una concesión de 0,29 Mm^3 al año, es decir, el 3,51% del total del caudal concesionado para esta cuenca (Figura 138) y cuyo uso es exclusivo para el cultivo de café orgánico. FILADELFO JESUS DAZA MARTINEZ, en el predio El Oasis, el cual tiene otorgada una concesión de 0,08 Mm^3 al año, que equivale al 0,99% del total de la concesión, cuyo uso principal es la trituración de piedra. Por ultimo ELECTRIFICADORA DE PALMOR E. S. P. S. A. S., la cual tiene una concesión de 7,88 Mm^3 al año, que equivale al 95,49% de la concesión total de la cuenca (Figura 138).

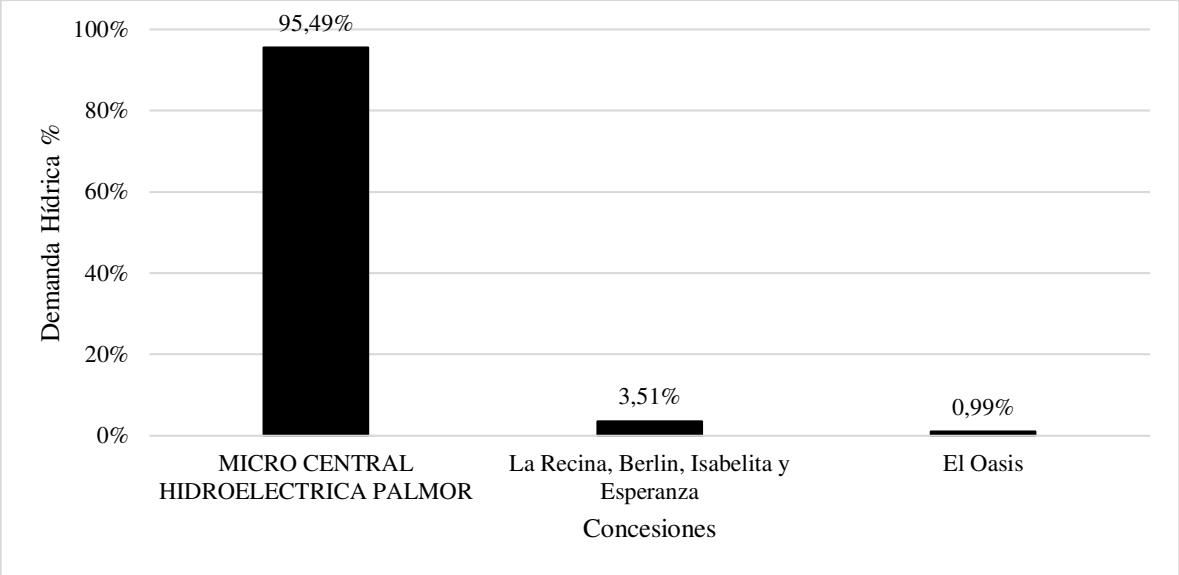


Figura 138. Porcentaje de demanda de las concesiones otorgadas en la cuenca del rio Sevilla.

La figura 139 muestra que el 96,49% del total concesionado tiene un uso industrial y el 3,51% presenta un uso agrícola.

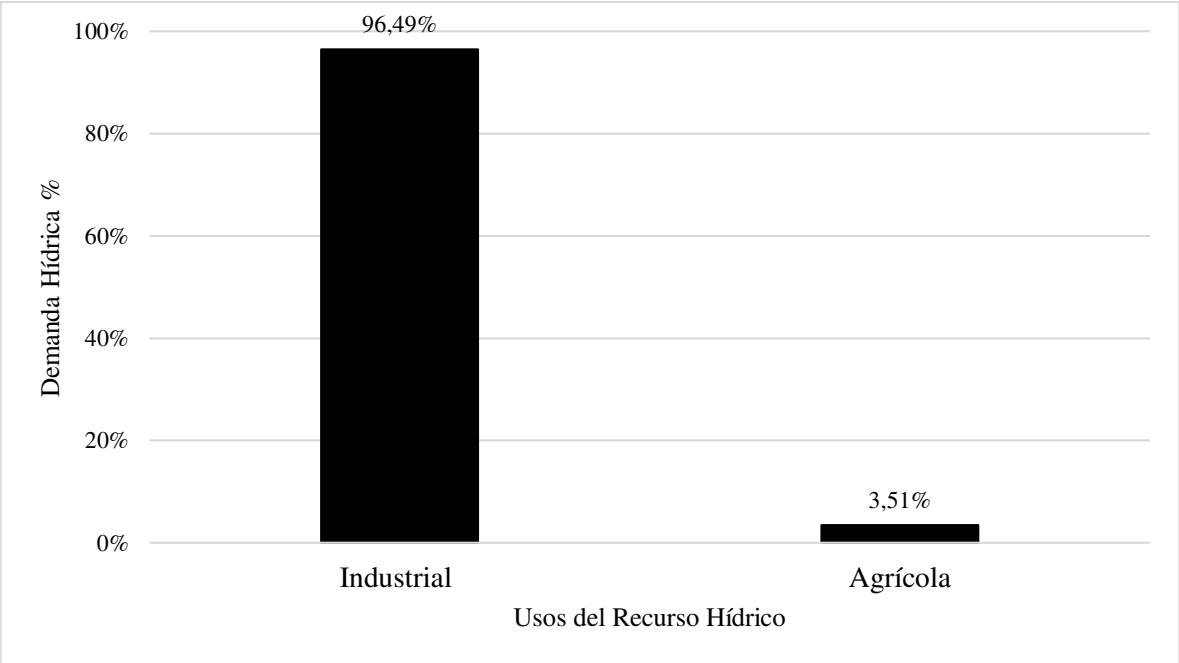


Figura 139. Porcentajes de los usos de las concesiones otorgadas en la cuenca del río Sevilla.

BIBLIOGRAFIA

AJA ESLAVA L. **Agua, territorio y poder: representaciones, significados, usos y manejos del agua en la Sierra Nevada de Santa Marta, Estudio de Caso./Water, territory and power: representations, meanings and uses of water in the Sierra Nevada de Santa Marta, case study handles**. Doctoral dissertation. Universidad Nacional de Colombia.

ALVAREZ O, VELEZ J, POVEDA G. 2008. **Nuevos campos de precipitación promedio anual en Colombia.** XXIII Congreso latinoamericano de Hidráulica. Colombia.

ARÉVALO D, LOZANO J, SABOGAL J. 2011. **Estudio nacional de Huella Hídrica Colombia Sector Agrícola**. Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo. Número 7, 101-126 pág. Cátedra UNESCO de Sostenibilidad, Universidad Politécnica de Cataluña, España.

BUDYKO M. 1974. **Climate and life.** Traducido del ruso por D.H Miller. Academic. San Diego, California.

CHOW VT. 2000. **Hidráulica de canales abiertos.** McGraw Hill.

CHOW V, MAIDMENT D, SALDARRIAGA, L JUAN G. 1994. **Hidrología Aplicada**.(No. 551.48 C4H5).

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL MAGDALENA –CORPAMAG, 2016. **Plan de acción institucional PAI 2016-2019**. Santa Marta. 133 páginas.

DELGADO S, QUINTANA C. 2014. **Determinación del índice de escasez en la cuenca del rio Guachaca en el Departamento del Magdalena**. Tesis. Universidad de Cartagena. 85pp.

DOMÍNGUEZ E, RIVERA H, VANEGAS R, MORENO P. 2008. **Relaciones Demanda Oferta de Agua y el Índice de Escasez de Agua como Herramientas de Evaluación del Recurso Hídrico Colombiano**. Revista de la Académica Colombiana de Ciencias. 32(123): 195-212, 2008. ISSN 0370-3908.

FAO. 2006. **Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.** Roma. 323p. ISBN: 92-5-304219-2, ISSN: 0254-5293.

FAO. 2013. **Afrontar la escasez de agua. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura**. Recuperado de: http://www.fao.org/3/a-i3015s.pdf.

FORERO, B. C. 2008. **La gestión integral del recurso hídrico**. (No. Doc. 23074) CO-BAC, Bogotá. P. 90.

GARCÍA, M. C., BOTERO, A. P., QUIROGA, F. A. B., & ROBLES, E. A. (2012). **Variabilidad climática, cambio climático y el recurso hídrico en Colombia**. *Revista de Ingeniería*, (36), 60-64.

GLOBAL WATER PARTNERSHIP (GWP), LA RED INTERNACIONAL DE ORGANISMOS DE CUENCA (INTERNATIONAL NETWORK OF BASIN ORGANIZATIONS, INBO). 2009. **Manual para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos En Cuencas**. Empresa Gráfica Mosca.112 pp

GWP - GLOBAL WATER PARTNERSHIP, SAMTAC - SOUTH AMERICAN TECHNICAL ADVISORY COMMITTEE. 2000. **Agua para el siglo XXI: de la visión a la acción: América del Sur**. Global Water Partnership (GWP). Plata Argentina. 77 pp.

IDEAM, MADS. 2015. **Estudio Nacional del Agua 2014.** Bogotá. 496p. ISBN: 978-958-8067-70-4

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEAM. 2010. **Estudio Nacional del Agua**. pp. 29

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEAM, MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE - MADS. 2013. **Zonificación y Codificación de Cuencas Hidrográficas.**

JAMETT G, RODRÍGUEZ A. 2013. **Métodos para la Determinación del Caudal Ecológico: Panorama en Chile y Brasil**. Chile y Brasil.17pp.

JARAMILLO A. 2006. **Evapotranspiración de referencia en la región Andina de Colombia.** Cenicafé, 57 (4), 288-298.

MADS, ANLA.2013. **Metodología para la Estimación y Evaluación del Caudal Ambiental en Proyectos que Requieren Licencia Ambiental**. Bogotá. 66pp.

MAVDT. 2010. **Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico.** Bogotá. 124p.

MINISTERIO DE RELACIONES EXTERIORES. 2009. **El Vivir Bien como respuesta a la Crisis Global: Manual de construcción del Vivir Bien para nuestras comunidades y organizaciones ante las tendencias globales de crisis y probable colapso de los model**. 2ª Edición. La Paz, Bolivia. 202 pp.

PARRA E. 2012**. Modelamiento y manejo de las interacciones entre la hidrología, la ecología y la economía en una cuenca hidrográfica para la estimación de caudales ambientales**. Tesis Universidad Nacional de Colombia. Colombia. 35p.

RODRÍGUEZ, C. Z. 2012. **Gobernabilidad sobre el recurso hídrico en Colombia: entre avances y retos**. Gestión y Ambiente, 15(3), 99-112.

RUIZ, M. A. G., DAZA, L. E. G., & SANTA GUZMÁN, L. F. 2016**. Modelo Lineal Generalizado con respuesta Beta para estudiar el Índice de Escasez Hídrica en el Caribe colombiano incluyendo efectos espaciales**. Perspectiva Geográfica, 20(1), 175-202.

SABAS C, PAREDES D. 2009. **Estudio de Oferta y Demanda Hídrica en la Cuenca del Río Barbas**. Scientia et Technica 15 (42): 405-410. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701.

VELEZ J, RIOS L. 2004**. Corrientes Naturales Intervenciones y Condiciones Ecológicas. Seminario Internacional Sobre Eventos Extremos Mínimos en Regímenes de Caudales: Diagnóstico, Modelamiento y Análisis**. Universidad Nacional. Colombia. 9pp.

Normatividad consultada
Decreto 3930 de 2010

Abreviaturas y Siglas y Convenciones

FAO: Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación.
IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia.
MADS: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
MAVDT: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.