

**CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS EMBALSES DESTINADOS
PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA EN LA REGIÓN ANTIOQUIA**



**ALEXANDRA BURGOS CASTIBLANCO
WILLIAM FERNANDO QUINTERO LÓPEZ**

**Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Civil
Universidad Católica de Colombia
Octubre de 2017, Bogotá D.C., Colombia**

**CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS EMBALSES DESTINADOS
PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA EN LA REGIÓN ANTIOQUIA**



**ALEXANDRA BURGOS CASTIBLANCO
WILLIAM FERNANDO QUINTERO LÓPEZ**

Tesis de grado

Director:

Ing. Fidel Alberto Pardo Ojeda

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Civil

Universidad Católica de Colombia

Octubre de 2017, Bogotá D.C., Colombia



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

NOTA DE ACEPTACIÓN

FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO No. 1

FIRMA DEL JURADO No. 2

FIRMA DEL DIRECTOR

Bogotá D.C., Noviembre de 2017

AGRADECIMIENTOS

Se expresan agradecimientos, principalmente a:

Dios... porque sin Él, no se hubiera podido llegar a esta meta, la cual es finalizar con el proyecto de grado, por permitir confiar y realizar las cosas con empeño y dedicación.

Al Ingeniero Fidel Alberto Pardo Ojeda, quién nos apoyó y orientó durante todo el proceso de elaboración del trabajo de Grado.

A nuestras familias, quienes estuvieron en este proceso, dándonos apoyo y aliento para poder culminarlo.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	31
2. ANTECEDENTES.....	33
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	34
3.1. Descripción del Problema:.....	34
3.2. Formulación del Problema:.....	35
4. OBJETIVOS.....	36
4.1. General:.....	36
4.2. Específicos:.....	36
5. JUSTIFICACIÓN.....	37
5.1. Principales Condicionantes en el Vaciado de Embalses.	37
5.1.1. El suministro de agua:.....	37
5.1.2. El régimen hidrológico elegido:.....	37
5.1.3. El estado trófico del embalse:.....	38
5.1.4. Las características de la presa y el estado de los desagües de fondo: 38	
5.1.5. Los usos del agua en el propio embalse y aguas abajo de éste:.....	38
5.1.6. El valor ambiental de conservación del propio embalse y del río aguas abajo: 39	
5.1.7. El estado de colmatación del embalse y la calidad del sedimento:	39
5.1.8. Efectos Ambientales de Embalses.....	40
6. DELIMITACIÓN.....	41
6.1. Alcances:.....	41
7. MARCO REFERENCIAL.....	45
7.1. Consideraciones Técnicas.....	45
7.1.1. Fenómenos que Afectan el Exceso o la Carencia de Agua en Colombia.....	45
7.1.2. Características de las Afluentes principales y Secundarias.	53
8. METODOLOGÍA.....	61
8.1. Tipo de Estudio:.....	61

8.2. Fuentes de Información:	61
9. DISEÑO METODOLÓGICO	62
9.1. Protocolo para el Estudio de Proyección de Caudales.	62
9.1.1. Evaluación del Análisis de Frecuencias.	63
9.1.2. Análisis de Frecuencia	64
9.1.3. Según Aplicaciones.....	64
9.1.4. Probabilidad de Excedencia (p).	64
9.1.5. Función de Probabilidad.....	65
9.1.6. Función de Probabilidad.....	65
9.1.7. Distribuciones Continuas, Función de Densidad.....	66
9.1.8. Método de Momentos.....	66
• Caudal Mínimo.....	67
• Caudal Asegurado.....	67
9.2. Procedimiento para la Ejecución del Software HYFA	67
10. CRONOGRAMA.....	81
11. PRODUCTOS A ENTREGAR.....	82
12. INSTALACIONES Y EQUIPO REQUERIDO	83
13. PRESUPUESTO	84
14. ESTRATEGIAS DE COMUNICACIÓN Y DIVULGACIÓN.....	85
15. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	86
15.1. EMBALSE PEÑOL	86
15.1.1. CÁLCULO DE VOLÚMEN ÚTIL DIARIO	86
15.1.2. EVALUACIÓN DE EVENTOS EXTREMOS O DE MÁXIMOS Y MÍNIMOS.....	103
15.1.3. CÁLCULO DE PERFILES DE SECCIONES TRANSVERSALES.....	110
15.1.4. TIEMPO DE RESPUESTA SAT.....	117
15.2. EMBALSE PLAYAS.....	119
15.2.1. CÁLCULO DE VOLÚMEN ÚTIL DIARIO	119
15.2.2. EVALUACIÓN DE EVENTOS EXTREMOS O DE MÁXIMOS Y MÍNIMOS.....	136
15.2.3. CÁLCULO DE PERFILES DE SECCIONES TRANSVERSALES.....	143

15.2.4.	TIEMPO DE RESPUESTA SAT.....	150
15.3.	EMBALSE RIOGRANDE2.....	152
15.3.1.	CÁLCULO DE VOLÚMEN ÚTIL DIARIO	152
15.3.2.	EVALUACIÓN DE EVENTOS EXTREMOS O DE MÁXIMOS Y MÍNIMOS.....	169
15.3.3.	.CÁLCULO DE PERFILES DE SECCIONES TRANSVERSALES	177
15.3.4.	TIEMPO DE RESPUESTA SAT.....	184
15.4.	EMBALSE SAN LORENZO	186
15.4.1.	CÁLCULO DE VOLÚMEN ÚTIL DIARIO	186
15.4.2.	EVALUACIÓN DE EVENTOS EXTREMOS O DE MÁXIMOS Y MÍNIMOS.....	203
15.4.3.	CÁLCULO DE PERFILES DE SECCIONES TRANSVERSALES.	211
15.4.4.	TIEMPO DE RESPUESTA SAT.....	218
15.5.	EMBALSE TRONERAS.....	220
15.5.1.	CÁLCULO DE VOLÚMEN ÚTIL DIARIO	220
15.5.2.	EVALUACIÓN DE EVENTOS EXTREMOS O DE MÁXIMOS Y MÍNIMOS.....	237
15.5.3.	CÁLCULO DE PERFILES DE SECCIONES TRANSVERSALES.	244
15.5.4.	TIEMPO DE RESPUESTA SAT.....	251
16.	CONCLUSIONES	253
17.	RECOMENDACIONES	256

LISTAS DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Distribución geográfica de las zonas hidrográficas en Colombia.....	32
Ilustración 2. Proporcionalidad de manejo de embalses (caso ideal).	41
Ilustración 3. Hidrografía general de los embalses en Antioquia.	42
Ilustración 4. Embalses y Afluencias de los Embalses en Antioquia.....	43
Ilustración 5. Mapeo de principales ríos de Colombia.....	49
Ilustración 6. Distribución geográfica por cuencas hidrográficas en Colombia.	50
Ilustración 7. Mapa Hidrográfico de Antioquia	51
Ilustración 8. Mapa hidrográfico de Antioquia.	52
Ilustración 9. Mapa hidrográfico de Antioquia.	53
Ilustración 10. Registro de comportamiento de volúmenes de almacenamiento (%) por embalse y por región, para una fecha específica.	56
Ilustración 11. Proceso-secuencia de análisis pre-SAT.	62
Ilustración 12. Definición de eventos probabilísticos.....	65
Ilustración 13. Definición de eventos probabilísticos, por Densidad	66
Ilustración 14. Paso 1, Modelamiento Software HYFA	69
Ilustración 15. Paso 2, Modelamiento Software HYFA	69
Ilustración 16. Paso 3, Modelamiento Software HYFA	70
Ilustración 17. Paso 4, Modelamiento Software HYFA	70
Ilustración 18. Paso 5, Modelamiento Software HYFA	71
Ilustración 19. Paso 6, Modelamiento Software HYFA	71
Ilustración 20. Paso 7, Modelamiento Software HYFA	72
Ilustración 21. Paso 8, Modelamiento Software HYFA	72
Ilustración 22. Paso 9, Modelamiento Software HYFA	73
Ilustración 23. Ejemplo de Perfil Máximos, según datos HYFA.	75
Ilustración 24. Ejemplo de Perfil Mínimos, según datos HYFA.	75
Ilustración 25. Pronósticos Probabilísticos.....	76
Ilustración 26 Validación de Periodos de Sequía.....	76
Ilustración 27. Ejemplo Condiciones Niveles Ríos, IDEAM.....	77
Ilustración 28. Pasos para Evaluación Metodología EVI (Extreme Values- Methodology o Metodología Gumbel).....	78
Ilustración 29. Generación de Alertas, según SAT.	78
Ilustración 30. Implementación SAT, según niveles de Umbrales.	79
Ilustración 31. VUD Peñol 2000.....	87
Ilustración 32. VUD Peñol 2001.....	88
Ilustración 33. VUD Peñol 2002.....	89
Ilustración 34. VUD Peñol 2003.....	90
Ilustración 35. VUD Peñol 2004.....	91

Ilustración 36. VUD Peñol 2005.....	92
Ilustración 37. VUD Peñol 2006.....	93
Ilustración 38. VUD Peñol 2007.....	94
Ilustración 39. VUD Peñol 2008.....	94
Ilustración 40. VUD Peñol 2009.....	96
Ilustración 41. VUD Peñol 2010.....	97
Ilustración 42. VUD Peñol 2011.....	98
Ilustración 43. VUD Peñol 2012.....	99
Ilustración 44. VUD Peñol 2013.....	100
Ilustración 45. VUD Peñol 2014.....	101
Ilustración 46. VUD Peñol 2015.....	102
Ilustración 47. Método de los Momentos, Caudales Máximos, Peñol.....	106
Ilustración 48. Método Máxima Verosimilitud, Caudales Máximos, Peñol.....	107
Ilustración 49. Método de los Momentos, Caudales Mínimos, Peñol.....	108
Ilustración 50. Método Máxima Verosimilitud, Caudales Mínimos, Peñol.....	109
Ilustración 51. Perfil, AA, Máximos, Peñol.....	113
Ilustración 52. Perfil, AA, Mínimos Peñol.....	114
Ilustración 53. Perfil, aa, Máximos Peñol.....	115
Ilustración 54. Perfil, aa, Mínimos Peñol.....	116
Ilustración 55. VUD Playas 2000.....	120
Ilustración 56. VUD Playas 2001.....	121
Ilustración 57. VUD Playas 2002.....	122
Ilustración 58. VUD Playas 2003.....	123
Ilustración 59. VUD Playas 2004.....	124
Ilustración 60. VUD Playas 2005.....	125
Ilustración 61. VUD Playas 2006.....	126
Ilustración 62. VUD Playas 2007.....	127
Ilustración 63. VUD Playas 2008.....	128
Ilustración 64. VUD Playas 2009.....	129
Ilustración 65. VUD Playas 2010.....	130
Ilustración 66. VUD Playas 2011.....	131
Ilustración 67. VUD Playas 2012.....	132
Ilustración 68. VUD Playas 2013.....	133
Ilustración 69. VUD Playas 2014.....	134
Ilustración 70. VUD Playas 2015.....	135
Ilustración 71. Método de los Momentos, Caudales Máximos, Playas.....	139
Ilustración 72. Método Máxima Verosimilitud, Caudales Máximos, Playas.....	140
Ilustración 73. Método de los Momentos, Caudales Mínimos, Playas.....	141
Ilustración 74. Método Máxima Verosimilitud, Caudales Mínimos, Playas.....	142
Ilustración 75. Perfil, AA, Máximos, Playas.....	146
Ilustración 76. Perfil, AA, Mínimos Playas.....	147

Ilustración 77. Perfil, aa, Máximos Playas.	148
Ilustración 78. Perfil, aa, Mínimos Playas.	149
Ilustración 79 VUD Riogrande2, 2000.....	153
Ilustración 80. VUD Riogrande2, 2001.....	154
Ilustración 81. VUD Riogrande2, 2002.....	155
Ilustración 82. VUD Riogrande2, 2003.....	156
Ilustración 83. VUD Riogrande2, 2004.....	157
Ilustración 84. VUD Riogrande2, 2005.....	158
Ilustración 85. VUD Riogrande2, 2006.....	159
Ilustración 86. VUD Riogrande2, 2007.....	160
Ilustración 87. VUD Riogrande2, 2008.....	161
Ilustración 88. VUD Riogrande2, 2009.....	162
Ilustración 89. VUD Riogrande2, 2010.....	163
Ilustración 90. VUD Riogrande2, 2011.....	164
Ilustración 91. VUD Riogrande2, 2012.....	165
Ilustración 92. VUD Riogrande2, 2013.....	166
Ilustración 93. VUD Riogrande2, 2014.....	167
Ilustración 94. VUD Riogrande2, 2015.....	168
Ilustración 95. Método de los Momentos, Caudales Máximos, Riogrande2.....	173
Ilustración 96. Método Máxima Verosimilitud, Caudales Máximos, Riogrande2..	174
Ilustración 97. Método de los Momentos, Caudales Mínimos, Riogrande2..	175
Ilustración 98. Método Máxima Verosimilitud, Caudales Mínimos, Riogrande2..	176
Ilustración 99. Perfil, AA, Máximos, Riogrande2.....	180
Ilustración 100. Perfil, AA, Mínimos Riogrande2.....	181
Ilustración 101. Perfil, aa, Máximos Riogrande2.....	182
Ilustración 102. Perfil, aa, Mínimos Riogrande2.....	183
Ilustración 103. VUD San Lorenzo 2000.....	187
Ilustración 104. VUD San Lorenzo 2000.....	188
Ilustración 105. VUD San Lorenzo 2000.....	189
Ilustración 106. VUD San Lorenzo 2000.....	190
Ilustración 107. VUD San Lorenzo 2000.....	191
Ilustración 108. VUD San Lorenzo 2000.....	192
Ilustración 109. . VUD San Lorenzo 2000.....	193
Ilustración 110. VUD San Lorenzo 2000.....	194
Ilustración 111. VUD San Lorenzo 2000.....	195
Ilustración 112. VUD San Lorenzo 2000.....	196
Ilustración 113. VUD San Lorenzo 2000.....	197
Ilustración 114. VUD San Lorenzo 2000.....	198
Ilustración 115. VUD San Lorenzo 2000.....	199
Ilustración 116. VUD San Lorenzo 2000.....	200
Ilustración 117. VUD San Lorenzo 2000.....	201

Ilustración 118. VUD San Lorenzo 2000.....	202
Ilustración 119. Método de los Momentos, Caudales Máximos, San Lorenzo.	207
Ilustración 120. Método Máxima Verosimilitud, Caudales Máximos, San Lorenzo.	208
Ilustración 121. Método de los Momentos, Caudales Mínimos, San Lorenzo.....	209
Ilustración 122. Método Máxima Verosimilitud, Caudales Mínimos, San Lorenzo.	210
Ilustración 123. Perfil, AA, Máximos, San Lorenzo.	214
Ilustración 124. Perfil, AA, Mínimos San Lorenzo.	215
Ilustración 125. Perfil, aa, Máximos San Lorenzo.	216
Ilustración 126. Perfil, aa, Mínimos San Lorenzo.	217
Ilustración 127. VUD Troneras 2000.....	221
Ilustración 128. VUD Troneras 2000.....	222
Ilustración 129. VUD Troneras 2000.....	223
Ilustración 130. VUD Troneras 2000.....	224
Ilustración 131. VUD Troneras 2000.....	225
Ilustración 132. VUD Troneras 2000.....	226
Ilustración 133. VUD Troneras 2000.....	227
Ilustración 134. VUD Troneras 2000.....	228
Ilustración 135. VUD Troneras 2000.....	229
Ilustración 136. VUD Troneras 2000.....	230
Ilustración 137. VUD Troneras 2000.....	231
Ilustración 138. VUD Troneras 2000.....	232
Ilustración 139. VUD Troneras 2000.....	233
Ilustración 140. VUD Troneras 2000.....	234
Ilustración 141. VUD Troneras 2000.....	235
Ilustración 142. VUD Troneras 2000.....	236
Ilustración 143. Distribución Gumbel, Método de los Momentos, Caudales Máximos, Troneras.	240
Ilustración 144. Método Máxima Verosimilitud, Caudales Máximos, Troneras. ...	241
Ilustración 145. Método de los Momentos, Caudales Mínimos, Troneras.....	242
Ilustración 146. Método Máxima Verosimilitud, Caudales Mínimos, Troneras.	243
Ilustración 147. Perfil, AA, Máximos, Troneras.	247
Ilustración 148. Perfil, AA, Mínimos Troneras.....	248
Ilustración 149. Perfil, aa, Máximos Troneras.....	249
Ilustración 150. Perfil, aa, Mínimos Troneras.....	250

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Relación (parcial) de embalses por región geográfica Andina (referencia por Antioquia).....	57
Tabla 2. Generación y Activación de un SAT	74
Tabla 3. Rangos Umbrales, Peñol 2000.	87
Tabla 4. Porcentaje Umbrales, Peñol 2000.	87
Tabla 5. Rangos Umbrales, Peñol 2001.	88
Tabla 6. Porcentaje Umbrales, Peñol 2001.	88
Tabla 7. Rangos Umbrales, Peñol 2002.	89
Tabla 8. Porcentaje Umbrales, Peñol 2002.	89
Tabla 9. Rangos Umbrales, Peñol 2003.	90
Tabla 10. Porcentaje Umbrales, Peñol 2003.	90
Tabla 11. Rangos Umbrales, Peñol 2004.	91
Tabla 12. Porcentaje Umbrales, Peñol 2004.	91
Tabla 13. Rangos Umbrales, Peñol 2005.	92
Tabla 14. Porcentaje Umbrales, Peñol 2005.	92
Tabla 15. Rangos Umbrales, Peñol 2006.	93
Tabla 16. Porcentaje Umbrales, Peñol 2006.	93
Tabla 17. Rangos Umbrales, Peñol 2007.	94
Tabla 18. Porcentaje Umbrales, Peñol 2007.	94
Tabla 19. Rangos Umbrales, Peñol 2008.	95
Tabla 20. Porcentaje Umbrales, Peñol 2008.	95
Tabla 21. Rangos Umbrales, Peñol 2009.	96
Tabla 22. Porcentaje Umbrales, Peñol 2009.	96
Tabla 23. Rangos Umbrales, Peñol 2010.	97
Tabla 24. Porcentaje Umbrales, Peñol 2010.	97
Tabla 25. Porcentaje Umbrales, Peñol 2011.	98
Tabla 26. Porcentaje Umbrales, Peñol 2011.	98
Tabla 27. Porcentaje Umbrales, Peñol 2012.	99
Tabla 28. Porcentaje Umbrales, Peñol 2012.	99
Tabla 29. Porcentaje Umbrales, Peñol 2013.	100
Tabla 30. Porcentaje Umbrales, Peñol 2013.	100
Tabla 31. Porcentaje Umbrales, Peñol 2014.	101
Tabla 32. Porcentaje Umbrales, Peñol 2014.	101
Tabla 33. Porcentaje Umbrales, Peñol 2015.	102
Tabla 34. Porcentaje Umbrales, Peñol 2015.	102
Tabla 35 DATOS MEDIO MENSUAL MULTIANUAL (m ³ /s) ESTACIÓN PEÑOL.	104
Tabla 36 ESTACIÓN PEÑOL, RESULTADOS MÁXIMOS, MEDIOS Y MÍNIMO (ANUALES), SEGÚN Q (m ³ /s).....	105

Tabla 37. Distribución Gumbel, Método de los Momentos, Peñol.....	106
Tabla 38. Distribución Gumbel, Método Máxima Verosimilitud, Peñol.....	107
Tabla 39. Distribución Gumbel, Método de los Momentos, Peñol.....	108
Tabla 40. Distribución Gumbel, Método Máxima Verosimilitud, Peñol.....	109
Tabla 41. Cotas de Inundación, Peñol.....	110
Tabla 42. Protocolo HYFA y SMADA, Peñol, AA.....	111
Tabla 43. Protocolo HYFA y SMADA, Peñol, aa.....	112
Tabla 44. Cotas Inundación, Peñol.....	113
Tabla 45. Cotas Inundación, Peñol.....	114
Tabla 46. Cotas Inundación, Peñol.....	115
Tabla 47. Cotas Inundación, Peñol.....	116
Tabla 48. AFLUENTES A EMBALSES EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA (Aguas Arriba).....	117
Tabla 49. AFLUENTES A EMBALSES EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA (Aguas Abajo).....	117
Tabla 50. Longitud Cauce, Peñol.....	118
Tabla 51. Tiempo Posible de Inundación.....	118
Tabla 52. Rangos Umbrales, Playas 2000.....	120
Tabla 53. Porcentaje Umbrales, Playas 2000.....	120
Tabla 54. Rangos Umbrales, Playas 2001.....	121
Tabla 55. Porcentaje Umbrales, Playas 2001.....	121
Tabla 56. Rangos Umbrales, Playas 2002.....	122
Tabla 57. Porcentaje Umbrales, Playas 2002.....	122
Tabla 58. Rangos Umbrales, Playas 2003.....	123
Tabla 59. Porcentaje Umbrales, Playas 2003.....	123
Tabla 60. Rangos Umbrales, Playas 2004.....	124
Tabla 61. Porcentaje Umbrales, Playas 2004.....	124
Tabla 62. Rangos Umbrales, Playas 2005.....	125
Tabla 63. Porcentaje Umbrales, Playas 2005.....	125
Tabla 64. Rangos Umbrales, Playas 2006.....	126
Tabla 65. Porcentaje Umbrales, Playas 2006.....	126
Tabla 66. Rangos Umbrales, Playas 2007.....	127
Tabla 67. Porcentaje Umbrales, Playas 2007.....	127
Tabla 68. Rangos Umbrales, Playas 2008.....	128
Tabla 69. Porcentaje Umbrales, Playas 2008.....	128
Tabla 70. Rangos Umbrales, Playas 2009.....	129
Tabla 71. Porcentaje Umbrales, Playas 2009.....	129
Tabla 72. Rangos Umbrales, Playas 2010.....	130
Tabla 73. Porcentaje Umbrales, Playas 2010.....	130
Tabla 74. Rangos Umbrales, Playas 2011.....	131
Tabla 75. Porcentaje Umbrales, Playas 2011.....	131

Tabla 76. Rangos Umbrales, Playas 2012.....	132
Tabla 77. Porcentaje Umbrales, Playas 2012.....	132
Tabla 78. Rangos Umbrales, Playas 2013.....	133
Tabla 79. Porcentaje Umbrales, Playas 2013.....	133
Tabla 80. Rangos Umbrales, Playas 2014.....	134
Tabla 81. Porcentaje Umbrales, Playas 2014.....	134
Tabla 82. Rangos Umbrales, Playas 2015.....	135
Tabla 83. Porcentaje Umbrales, Playas 2015.....	135
Tabla 84 IDEAM, DATOS MEDIO MENSUAL MULTIANUAL (m ³ /s) ESTACIÓN PLAYAS.....	137
Tabla 85 ESTACIÓN PLAYAS, RESULTADOS MÁXIMOS, MEDIOS Y MÍNIMO (ANUALES), SEGÚN Q (m ³ /s).....	138
Tabla 86. Distribución Gumbel, Método de los Momentos, Playas.....	139
Tabla 87. Distribución Gumbel, Método Máxima Verosimilitud, Playas.....	140
Tabla 88. Distribución Gumbel, Método de los Momentos, Playas.....	141
Tabla 89. Distribución Gumbel, Método Máxima Verosimilitud, Playas.....	142
Tabla 90. Cotas de Inundación, Playas.....	143
Tabla 91. Protocolo HYFA y SMADA, Playas, AA.....	144
Tabla 92. Protocolo HYFA y SMADA, Playas, aa.....	145
Tabla 93. Cotas Inundación, Playas.....	146
Tabla 94. Cotas Inundación, Playas.....	147
Tabla 95. Cotas Inundación, Playas.....	148
Tabla 96. Cotas Inundación, Playas.....	149
Tabla 97. AFLUENTES A EMBALSES EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA (Aguas Arriba).....	150
Tabla 98. AFLUENTES A EMBALSES EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA (Aguas Abajo).....	150
Tabla 99. Longitud Cauce, Playas.....	151
Tabla 100. Tiempo Posible de Inundación.....	151
Tabla 101 Rangos Umbrales, Riogrande2, 2000.....	153
Tabla 102 Porcentaje Umbrales, Riogrande2, 2000.....	153
Tabla 103. Rangos Umbrales, Riogrande2, 2001.....	154
Tabla 104. Porcentaje Umbrales, Riogrande2, 2001.....	154
Tabla 105. Rangos Umbrales, Riogrande2, 2002.....	155
Tabla 106. Porcentaje Umbrales, Riogrande2, 2002.....	155
Tabla 107. Rangos Umbrales, Riogrande2, 2003.....	156
Tabla 108. Porcentaje Umbrales, Riogrande2, 2003.....	156
Tabla 109. Rangos Umbrales, Riogrande2, 2004.....	157
Tabla 110. Porcentaje Umbrales, Riogrande2, 2004.....	157
Tabla 111. Rangos Umbrales, Riogrande2, 2005.....	158
Tabla 112. Porcentaje Umbrales, Riogrande2, 2005.....	158

Tabla 113. Rangos Umbrales, Riogrande2, 2006.....	159
Tabla 114. Porcentaje Umbrales, Riogrande2, 2006.....	159
Tabla 115. Rangos Umbrales, Riogrande2, 2007.....	160
Tabla 116. Porcentaje Umbrales, Riogrande2, 2007.....	160
Tabla 117. Rangos Umbrales, Riogrande2, 2008.....	161
Tabla 118. Porcentaje Umbrales, Riogrande2, 2008.....	161
Tabla 119. Rangos Umbrales, Riogrande2, 2009.....	162
Tabla 120. Porcentaje Umbrales, Riogrande2, 2009.....	162
Tabla 121. Rangos Umbrales, Riogrande2, 2010.....	163
Tabla 122. Porcentaje Umbrales, Riogrande2, 2010.....	163
Tabla 123. Rangos Umbrales, Riogrande2, 2011.....	164
Tabla 124. Porcentaje Umbrales, Riogrande2, 2011.....	164
Tabla 125. Rangos Umbrales, Riogrande2, 2012.....	165
Tabla 126. Porcentaje Umbrales, Riogrande2, 2012.....	165
Tabla 127. Rangos Umbrales, Riogrande2, 2013.....	166
Tabla 128. Porcentaje Umbrales, Riogrande2, 2013.....	166
Tabla 129. Rangos Umbrales, Riogrande2, 2014.....	167
Tabla 130. Porcentaje Umbrales, Riogrande2, 2014.....	167
Tabla 131. Rangos Umbrales, Riogrande2, 2015.....	168
Tabla 132. Porcentaje Umbrales, Riogrande2, 2015.....	168
Tabla 133. IDEAM, DATOS MEDIO MENSUAL MULTIANUAL (m ³ /s) ESTACIÓN RIONEGRO2.....	170
Tabla 134. ESTACIÓN RIONEGRO2, RESULTADOS MÁXIMOS, MEDIOS Y MÍNIMO (ANUALES), SEGÚN Q (m ³ /s).....	172
Tabla 135. Distribución Gumbel, Método de los Momentos, Riogrande2..	173
Tabla 136. Gumbel, Método Máxima Verosimilitud, Riogrande2..	174
Tabla 137. Distribución Gumbel, Método de los Momentos, Riogrande2..	175
Tabla 138. Distribución Gumbel, Método Máxima Verosimilitud, Riogrande2..	176
Tabla 139. Cotas de Inundación, Riogrande2.....	177
Tabla 140. Protocolo HYFA y SMADA, Riogrande2., AA.....	179
Tabla 141. Protocolo HYFA y SMADA, Riogrande2., aa.....	179
Tabla 142. Cotas Inundación, Riogrande2.....	180
Tabla 143. Cotas Inundación, Riogrande2.....	181
Tabla 144. Cotas Inundación, Riogrande2.....	182
Tabla 145. Cotas Inundación, Riogrande2.....	183
Tabla 146. AFLUENTES A EMBALSES EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA (Aguas Arriba).....	184
Tabla 147. AFLUENTES A EMBALSES EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA (Aguas Abajo).....	184
Tabla 148. Longitud Cauce, Riogrande2.....	185
Tabla 149. Tiempo Posible de Inundación.....	185

Tabla 150. Rangos Umbrales, San Lorenzo 2000.	187
Tabla 151. Porcentaje Umbrales, Peñol 2000.....	187
Tabla 152. Rangos Umbrales, San Lorenzo 2000.	188
Tabla 153. Porcentaje Umbrales, Peñol 2000.....	188
Tabla 154. Rangos Umbrales, San Lorenzo 2000.	189
Tabla 155. Porcentaje Umbrales, San Lorenzo 2000.	189
Tabla 156. Rangos Umbrales, San Lorenzo 2000.	190
Tabla 157. Porcentaje Umbrales, San Lorenzo 2000.	190
Tabla 158. Rangos Umbrales, San Lorenzo 2000.	191
Tabla 159. Porcentaje Umbrales, San Lorenzo 2000.	191
Tabla 160. Rangos Umbrales, San Lorenzo 2000.	192
Tabla 161. Porcentaje Umbrales, San Lorenzo 2000.	192
Tabla 162. Rangos Umbrales, San Lorenzo 2000.	193
Tabla 163. Porcentaje Umbrales, San Lorenzo 2000.	193
Tabla 164. Rangos Umbrales, San Lorenzo 2000.	194
Tabla 165. Porcentaje Umbrales, San Lorenzo 2000.	194
Tabla 166. Rangos Umbrales, San Lorenzo 2000.	195
Tabla 167. Porcentaje Umbrales, San Lorenzo 2000.	195
Tabla 168. Rangos Umbrales, San Lorenzo 2000.	196
Tabla 169. Porcentaje Umbrales, San Lorenzo 2000.	196
Tabla 170. Rangos Umbrales, San Lorenzo 2000.	197
Tabla 171. Porcentaje Umbrales, San Lorenzo 2000.	197
Tabla 172. Rangos Umbrales, San Lorenzo 2000.	198
Tabla 173. Porcentaje Umbrales, San Lorenzo 2000.	198
Tabla 174. Rangos Umbrales, San Lorenzo 2000.	199
Tabla 175. Porcentaje Umbrales, San Lorenzo 2000.	199
Tabla 176. Rangos Umbrales, San Lorenzo 2000.	200
Tabla 177. Porcentaje Umbrales, San Lorenzo 2000.	200
Tabla 178. Rangos Umbrales, San Lorenzo 2000.	201
Tabla 179. Porcentaje Umbrales, San Lorenzo 2000.	201
Tabla 180. Rangos Umbrales, San Lorenzo 2000.	202
Tabla 181. Porcentaje Umbrales, San Lorenzo 2000.	202
Tabla 182 IDEAM, DATOS MEDIO MENSUAL MULTIANUAL (m ³ /s) SAN LORENZO.....	204
Tabla 183. ESTACION SAN LORENZO, RESULTADOS MÁXIMOS, MEDIOS Y MÍNIMO (ANUALES), SEGÚN Q (m ³ /s).....	206
Tabla 184. Distribución Gumbel, Método de los Momentos, San Lorenzo.	207
Tabla 185. Distribución Gumbel, Método Máxima Verosimilitud, San Lorenzo....	208
Tabla 186. Distribución Gumbel, Método de los Momentos, San Lorenzo.	209
Tabla 187. Distribución Gumbel, Método Máxima Verosimilitud, San Lorenzo....	210
Tabla 188. Cotas de Inundación, San Lorenzo.	211

Tabla 189. Protocolo HYFA y SMADA, San Lorenzo, AA.....	213
Tabla 190. Protocolo HYFA y SMADA, San Lorenzo, aa.....	213
Tabla 191. Cotas Inundación, San Lorenzo.....	214
Tabla 192. Cotas Inundación, San Lorenzo.....	215
Tabla 193. Cotas Inundación, San Lorenzo.....	216
Tabla 194. Cotas Inundación, San Lorenzo.....	217
Tabla 195. AFLUENTES A EMBALSES EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA (Aguas Arriba).....	218
Tabla 196. AFLUENTES A EMBALSES EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA (Aguas Abajo).....	218
Tabla 197. Longitud Cauce, San Lorenzo.....	219
Tabla 198. Tiempo Posible de Inundación.....	219
Tabla 199. Rango Umbrales, Troneras 2000.....	221
Tabla 200. Porcentaje Umbrales, Troneras 2000.....	221
Tabla 201. Rango Umbrales, Troneras 2000.....	222
Tabla 202. Porcentaje Umbrales, Troneras 2000.....	222
Tabla 203. Rango Umbrales, Troneras 2000.....	223
Tabla 204. Porcentaje Umbrales, Troneras 2000.....	223
Tabla 205. Rango Umbrales, Troneras 2000.....	224
Tabla 206. Porcentaje Umbrales, Troneras 2000.....	224
Tabla 207. Rango Umbrales, Troneras 2000.....	225
Tabla 208. Porcentaje Umbrales, Troneras 2000.....	225
Tabla 209. Rango Umbrales, Troneras 2000.....	226
Tabla 210. Porcentaje Umbrales, Troneras 2000.....	226
Tabla 211. Rango Umbrales, Troneras 2000.....	227
Tabla 212. Porcentaje Umbrales, Troneras 2000.....	227
Tabla 213. Rango Umbrales, Troneras 2000.....	228
Tabla 214. Porcentaje Umbrales, Troneras 2000.....	228
Tabla 215. Rango Umbrales, Troneras 2000.....	229
Tabla 216. Porcentaje Umbrales, Troneras 2000.....	229
Tabla 217. Rango Umbrales, Troneras 2000.....	230
Tabla 218. Porcentaje Umbrales, Troneras 2000.....	230
Tabla 219. Rango Umbrales, Troneras 2000.....	231
Tabla 220. Porcentaje Umbrales, Troneras 2000.....	231
Tabla 221. Rango Umbrales, Troneras 2000.....	232
Tabla 222. Porcentaje Umbrales, Troneras 2000.....	232
Tabla 223. Rango Umbrales, Troneras 2000.....	233
Tabla 224. Porcentaje Umbrales, Troneras 2000.....	233
Tabla 225. Rango Umbrales, Troneras 2000.....	234
Tabla 226. Porcentaje Umbrales, Troneras 2000.....	234
Tabla 227. Rango Umbrales, Troneras 2000.....	235

Tabla 228. Porcentaje Umbrales, Troneras 2000.	235
Tabla 229. Rango Umbrales, Troneras 2000.	236
Tabla 230. Porcentaje Umbrales, Troneras 2000.	236
Tabla 231. IDEAM, DATOS MEDIO MENSUAL MULTIANUAL (m ³ /s) TRONERAS.	238
Tabla 232 ESTACIÓN TRONERAS, RESULTADOS MÁXIMOS, MEDIOS Y MÍNIMO (ANUALES), SEGÚN Q (m ³ /s).....	239
Tabla 233. Distribución Gumbel, Método de los Momentos, Troneras.	240
Tabla 234. Distribución Gumbel, Método Máxima Verosimilitud, Troneras.....	241
Tabla 235. Distribución Gumbel, Método de los Momentos, Troneras.	242
Tabla 236. Distribución Gumbel, Método Máxima Verosimilitud, Troneras.....	243
Tabla 237. Cotas de Inundación, Troneras.	244
Tabla 238. Protocolo HYFA y SMADA, Troneras, AA.....	246
Tabla 239. Protocolo HYFA y SMADA, Troneras, aa.....	246
Tabla 240. Cotas Inundación, Troneras.....	247
Tabla 241. Cotas Inundación, Troneras.....	248
Tabla 242. Cotas Inundación, Troneras.....	249
Tabla 243. Cotas Inundación, Troneras.....	250
Tabla 244. AFLUENTES A EMBALSES EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA (Aguas Arriba).....	251
Tabla 245. AFLUENTES A EMBALSES EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA (Aguas Abajo)	251
Tabla 246. Longitud Cauce, Troneras.....	252
Tabla 247. Tiempo Posible de Inundación.....	252

GLOSARIO

aa: Aguas abajo.

AA: Aguas arriba.

CAR: Corporación Autónoma Regional.

CDGRD: Concejo Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres.

CMGRD: Concejo Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres.

EPM: Empresas Públicas de Medellín.

IGAC: Instituto Geográfico “Agustín Codazzi”.

HIMAT: Instituto de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras (hoy IDEAM).

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

INDERENA: Instituto Colombiano de Recursos Naturales Renovables.

OMM: Organización Meteorológica Mundial.

OSPA: Oficina del Servicio de Pronóstico y Alertas.

PMGRD: Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres.

POT: Plan de Ordenamiento Territorial.

SAT: Sistema de Alerta Temprana.

SIATA: Sistema de Alertas Tempranas en el área metropolitana del Valle de Aburrá.

SNGRD: Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.

UNGRD: Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres.

UNISDR: Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres.

1. INTRODUCCIÓN

La Hidrología de una región está determinada por sus patrones de clima tales como la topografía, la geología y la vegetación. También a medida que la civilización progresa, las actividades humanas invaden gradualmente el medio ambiente natural del agua, alterando el equilibrio dinámico del ciclo hidrológico e iniciando nuevos procesos y eventos; los fenómenos hidrológicos son extremadamente complejos y es posible que nunca se les entienda en su totalidad¹. La determinación de la ocurrencia de eventos extremos en el ciclo hidrológico es una de las principales prioridades de los hidrólogos y administradores del agua, ya que estos eventos comúnmente tienen importantes impactos económicos, ambientales y sociales².

El hombre en su infinita búsqueda por comprender lo que pasa en su entorno realiza y genera patrones que puedan explicar los fenómenos naturales empleando así el estudio de la hidrología en Ingeniería principalmente al diseño y ejecución de estructuras hidráulicas; los embalses son definidos como puntos en la red hidrográfica donde el agua es retenida temporalmente formando una masa de agua relativamente profunda³, éstas estructuras además deben responder a los factores climatológicos que determinan sus capacidades para asegurar el suministro adecuado de agua para irrigación o consumo municipal durante las sequías, además como cualquier obra que construye el hombre, en mayor o menor grado las presas producen diversos impactos positivos y negativos lo cual representa ventajas y desventajas⁴. Durante el desarrollo de este proyecto se realizara la clasificación de información proyectando una tendencia en la cual se puedan observar las variables caudal, nivel, precipitación en tiempos de estiajes y de lluvias; un protocolo para estandarizar el proceso.

Es importante éste análisis ya que aunque no es una función principal la de un embalse, éste si debe tener la capacidad suficiente para amortiguar las crecidas de sus aportantes (afluentes directos e indirectos o subafluentes). La demanda de agua se ha incrementado en los últimos años y los embalses aparecen como una herramienta económicamente viable para poder almacenar el agua en el invierno

¹ Ven Te Chow, David R. Maidment y Larry W. Mays "Hidrología Aplicada", pag. 5.

² Extreme hydrological events and the influence of reservoirs in a highly regulated river basin of northeastern Spain. Zaragoza, Spain, 2017, vol. 12, ISSN 2214-5818

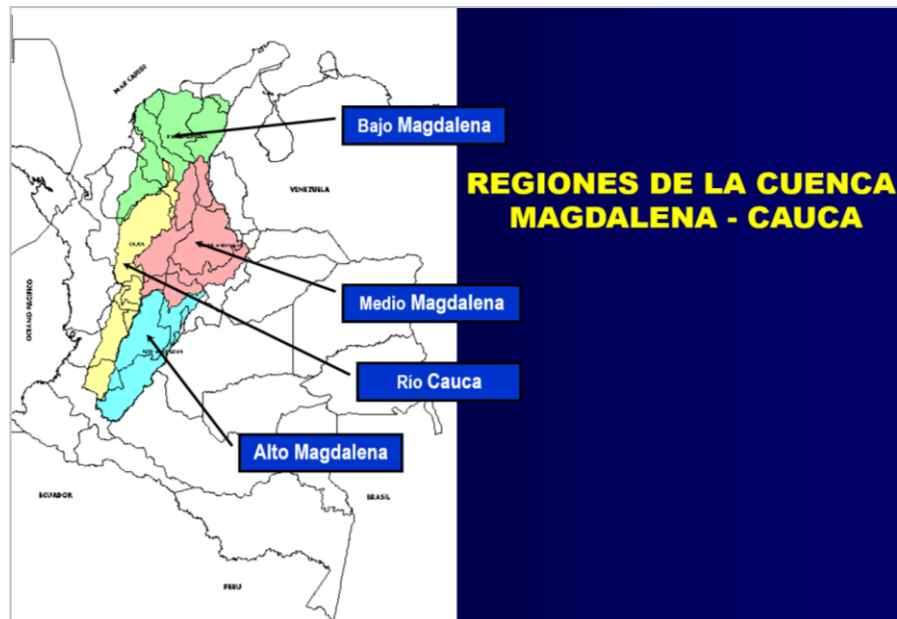
³ Revista Actualidades Biológicas. Medellín, 2015, vol 37, no 103, ISSN 034-3584

⁴ Revista Ingeniería del Agua. Catalunya, 2004, Vol. 11 N°4, ISSN 1886-4996

para usarla en época de sequía. De esta manera los embalses permiten satisfacer dicha demanda, frente a la imposibilidad de poder realizarlo mediante una obra de toma con el caudal firme de un curso de agua.

El país se encuentra subdividido por cuencas hidrográficas, y a su vez en cuencas de ríos mayores y para el caso del estudio se trabajarán no solamente las cuencas mayores (como puntos de afluencia), sino las cuencas menores; para el caso de 32 embalses del departamento de Antioquia se evaluarán los principales embalses, igualmente la potencialidad hídrica de los afluentes que aportan al complejo de embalses en Antioquia. En la Figura 1 se presenta la distribución geográfica por cuencas en Colombia.

Ilustración 1. Distribución geográfica de las zonas hidrográficas en Colombia⁵



Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras, IDEAM 2001

⁵ IDEAM 2001

2. ANTECEDENTES

El tema que se desea adelantar como Proyecto de Grado, hace parte del grupo de temas propuestos por el ingeniero Fidel Alberto Pardo Ojeda, docente de Tiempo Completo del Programa de Ingeniería Civil. Una vez se tuvo conocimiento de ésta propuesta por parte del ingeniero Fidel Alberto Pardo Ojeda, se acudió a una reunión explicativa, en la cual el docente indicó el alcance, objetivo y tipos de antecedentes necesarios (de índole académico). Se enfatizó que el trabajo está estrechamente relacionado con las asignaturas de Estadística y Probabilidad, Hidráulica, e Hidrología; adicionalmente como un valor agregado que es bien importante, es el hecho que éste trabajo de grado más allá de ser un requisito académico, va a servir a la comunidad en el sentido que permitirá un mejor conocimiento del recurso del agua, su mejor disposición y las afectaciones que se podrían presentar, ya sea por exceso o déficit de la misma, siendo un elemento importante de consulta para posteriores investigaciones relacionadas a las vertientes analizadas, mostrando a su vez que la variabilidad hidrológica forma parte de nuestra vida cotidiana, y aunque por lo general durante el año ofrece grandes beneficios, existen épocas y sitios en los cuales genera desastres como inundaciones y sequías extremas que afectan nuestra riqueza económica, social y ambiental⁶, estos riesgos se asocian con fenómenos naturales teniendo según CONPES 3146 (2001), que para los daños del desastre de Armero se estimaron alrededor de 211.8 millones de dólares (Naciones Unidas, 1985), mientras que para el terremoto en el Eje cafetero, se calculan en 1.589 millones de dólares, equivalentes a 2,2% del PIB de 1998⁷, hoy en día somos conscientes de los altos costos que se presentan a causa de estos fenómenos y al no tener un sistema de prevención adecuado.

Nuestro trabajo se desarrollara sobre áreas de conocimiento y aplicación: Se tienen como antecedentes académicos que se relacionarán estrechamente con el tema propuesto, las asignaturas de Estadística y Probabilidad, Mecánica de Fluidos, Hidráulica de Canales, Hidrología y Gestión Ambiental.

⁶ COLOMBIA. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2008, Protocolo para la emisión de los pronósticos hidrológicos, ISBN 978-958-8067-19-3

⁷ COLOMBIA, Departamento nacional de planeación, 2001, Copnes 3146 estrategia para consolidar la ejecución del plan nacional para la prevención y atención de desastres – pnpad - en el corto y mediano plazo.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Descripción del Problema:

La determinación de la escorrentía y su distribución en una área tiende a plantear dificultades debido a que en general existe un número insuficiente de estaciones de monitoreo o ninguna a lo largo de un curso⁸, la transformación del suelo dentro de la cuenca generan pérdidas considerables de materia orgánica, lo cual se representa en el incremento de la densidad del suelo y por ende en la erosión del mismo incrementando así la escorrentía superficial⁹, entre mayor sea la intensidad de la precipitación y teniendo en cuenta los valores de caudales, volúmenes, etc... del suelo se puede generar una mayor probabilidad de que se genere escorrentía superficial significativa, y por ende, ocurrirán crecidas de las fuentes naturales, sin importar que sean lentas o torrenciales (rápidas a muy rápidas); y en forma inversa mientras ésta disminuya, se incrementará la posibilidad de estiajes (o sequías) en las fuentes naturales, trayendo entre otros, inconvenientes en el abastecimiento y en la navegación.

Específicamente en Colombia, se presentan en forma alternada éstas circunstancias, las cuales no necesariamente se pueden asociar con los fenómenos de El Niño (períodos secos) y La Niña (períodos húmedos), también la influencia de los océanos y las corrientes de aire tienen una incidencia en el comportamiento del clima. Una mayor intensidad de precipitación puede resultar en más escorrentía porque el suelo no puede absorber el agua lo suficientemente rápido; aunque la saturación previa del suelo aumenta el riesgo de crecida repentina, muchas crecidas súbitas ocurren cuando el suelo no está saturado. Las crecidas repentinas pueden ocurrir y de hecho ocurren con suelos secos y condiciones de sequía.

⁸ Liebscher, H. (1972) A method for runoff-mapping from precipitation and air temperature data. In: Proc. Symp. World Water Balance (Reading, 1970), vol. 1, 115–121. IAHS Publ. 92. IAHS Press, Wallingford, UK

⁹ Wei, W., Chen, L., Fu, B., Huang, Z., Wu, D., & GuiL. (2007). The effect of land uses and rainfall regimes on runoff and soil erosion in the semi-arid loess hilly area, China. *Journal of Hydrology*, 335, 247-258.

3.2. Formulación del Problema:

La formación de un embalse dentro del cauce de un río conlleva múltiples cambios en el sistema acuático (Margalef 1983). Petts (1980) define que estos efectos pueden ser considerados como respuestas jerárquicas. Los efectos de primer orden se relacionan con el desvío del río, con el comienzo del llenado del embalse, con la alteración en la transferencia de energía que viene de la cuenca afluyente y con el cambio en la tipología del régimen de caudal aguas abajo. Los de segundo orden (en una escala mayor de tiempo), se relacionan con el cambio en la geomorfología del cauce y en la influencia que tiene el río sobre su plano lateral aguas abajo de la presa. Y los de tercer orden, aquellos que se dan sobre la biota acuática como resultado de la interacción de las dos primeras categorías de efectos¹⁰.

Los embalses son la principal fuente de suministro de agua para unos usos determinados, por éste motivo se debe caracterizar, monitorear y estudiar los comportamientos del líquido, toda vez que se puede presentar con mayor o menor intensidad en algunos periodos del año, afectando de forma considerada a los usuarios que se benefician de éstos.

Gracias a los registros hidrológicos y el apoyo de programas relacionados con el área, podemos determinar las condiciones hidrometeorológicas lo cual permitirá evaluar las variables de caudal, nivel y precipitación en periodos de lluvia o estiaje, con esto se puede incidir en el comportamiento de los embalses lo cual repercutirá directamente sobre las fuentes hídricas aguas abajo.

¹⁰ Revista Biota Colombiana, Especial embalses y ríos regulados Julio - diciembre de 2014, Volumen 15 Número 2, ISSN 0124-5376

4. OBJETIVOS

4.1. General:

Determinar las condiciones hidrometeorológicas de la zona de trabajo, con el fin de evaluar las condiciones de variación de los niveles y/o caudales, en períodos de estiaje y de lluvias, y su incidencia en aportes para generación y/o portes para fuentes hídricas aguas abajo del sitio de embalse.

4.2. Específicos:

- Analizar los resultados de la información evaluada, como protocolo de manejo para el manejo hidrológico de eventuales descargas.
- Determinar los procesos naturales que se producen en la cuenca, a través de la interacción entre el agua proveniente de los afluentes a los afluentes y su repercusión en procesos de generación en épocas de lluvias e incluso en secas.
- Determinar los niveles de umbrales, que sirvan para generar alertas en niveles altos; éstas alertas tiene como premisa fundamental, la de observar la potencial demanda por exceso o por déficit de agua.
- Determinar los niveles que generen alertas con respecto a los umbrales definidos aguas abajo, los cuales eventualmente se pueden ser superados, por efectos de descargas provenientes de la operación de los embalses.
- Determinar los niveles de umbrales, que sirvan para generar alertas en niveles bajos; estos datos suministrarán información oportuna, relacionada con la posibilidad de desabastecimiento en los puntos de toma y de afluencia a los embalses.
- Generar gráficos de tendencias durante el inicio de la temporada de precipitaciones altas y así prever alertas tempranas para por inundación.

5. JUSTIFICACIÓN

5.1. Principales Condicionantes en el Vaciado de Embalses.

El vaciado completo y forzado de un embalse es, por principio, una actuación de carácter extraordinario dentro de su explotación. Varios son los condicionantes que afectan a la elaboración y planificación de un proyecto de vaciado total de un embalse, siendo los más importantes los que se indican y comentan a continuación:

5.1.1. El suministro de agua: Todos los embalses cumplen como función básica y en muchos casos única, el suministro de agua para uno o más usos determinados. Este hecho supone la existencia de unos usuarios directos e indirectos y de un calendario de usos que puede presentar o no incompatibilidad en las necesidades de agua. Los dos usos más condicionantes son el suministro de agua a poblaciones, que no puede interrumpirse en ningún momento más allá de las capacidades de reserva de agua de los núcleos de población que deben ser abastecidos, y el suministro de agua para riego, que puede interrumpirse al final de la campaña de riegos, siempre que se garantice que para el inicio de la siguiente, el embalse estará en condiciones de asegurar el suministro de agua. La reducción de caudal, ya sea a causa de cambios climáticos, de un aumento de los consumos o de un cambio de los usos del suelo, tiene como consecuencia una disminución de la calidad del agua de los ríos y, por tanto, de los embalses, pero también puede suponer un riesgo para la provisión de agua potable¹¹, el proyecto de vaciado debe ajustarse a las posibilidades que ofrece el calendario de suministro de agua, y si ello no es posible o no permite ofrecer garantías, el propio proyecto debe contemplar suministros de agua alternativos.

5.1.2. El régimen hidrológico elegido: Una vez establecida la mejor época de vaciado a partir del calendario de suministro de agua, la fecha debe acabar de definirse teniendo en cuenta el régimen hidrológico del río por tres razones, una relacionada con los caudales entrantes al embalse y por tanto con la duración del vaciado (interferencias en el plan de obra), otra referida al riesgo de avenidas y la

¹¹ JHON, Junior Córdova Carmen, Diseño de embalse teniendo en consideración los impactos ambientales, Ingeniero Civil. Lima Peru. Universidad de Piura. Facultad de ingeniería. 2015. 55p.

última a la disponibilidad de los caudales necesarios para el llenado posterior del embalse lo más rápido posible con el fin de restablecer el normal suministro de agua.

5.1.3. El estado trófico del embalse: Algunas intervenciones de gestión de crecidas dañan los ecosistemas ribereños, al reducir la frecuencia de las inundaciones de los humedales que rodean las llanuras inundables. Estas zonas, inundadas con frecuencia, poseen una gran variedad de fauna y flora propias de las áreas afectadas por este fenómeno¹², según el grado de eutrofia del embalse y de los usos y valores ambientales de conservación existentes aguas abajo, puede ser conveniente tener en esquema los periodos de mezcla en función de la calidad del agua, con el fin de no afectar cauces aguas abajo después de la descarga.

5.1.4. Las características de la presa y el estado de los desagües de fondo: El volumen de agua embalsado, el número, tipo y localización de los dispositivos de vaciado, la capacidad de los desagües, el estado de las compuertas y mecanismos de cierre, el estado de los accesos para inspecciones visuales de los desagües etc. son un conjunto de aspectos condicionantes de consideración imprescindible en la planificación de un vaciado ya que de ellos depende en gran medida el éxito del proyecto.

5.1.5. Los usos del agua en el propio embalse y aguas abajo de éste: los conflictos por el uso del agua generalmente se originan por la asignación incorrecta del recurso ya sea por usos alternativos o entre regiones, estos conflictos podrían intensificarse a causa de escases relativa del agua, su menor calidad o la deficiente gestión del recurso¹³. Al margen de las concesiones de suministro de agua directamente relacionadas con el embalse, lo normal es que aguas abajo de éste existan un buen número de captaciones y usos periféricos del agua del río, con pleno derecho a la disponibilidad de agua (núcleos de población, industrias, actividades recreativas, etc.). En muchos de estos casos, la calidad del agua de la captación es tanto o más importante que la cantidad, de modo que un

¹² Gestión integrada de crecidas, Ginebra 2, Suiza. 2009, OMM-N° 1047, ISBN 978-92-63-31047-7.

¹³ Darío Jiménez, Sergio Orrego, Felipe Vásquez y Roberto Ponce, Estimación de la demanda de agua para uso residencial urbano usando un modelo discreto-continuo y datos desagregados a nivel de hogar: el caso de la ciudad de Manizales, Colombia. No. 86. Medellín, Lecturas de Economía. Enero-junio de 2017. 156p.

vaciado, en la medida en que puede afectar a la calidad de las aguas circulantes por el río aguas abajo del embalse, debe recoger en el proyecto una previsión de la afección a los usos cuantitativos y también cualitativos del agua, proponiendo alternativas si es necesario.

5.1.6. El valor ambiental de conservación del propio embalse y del río aguas abajo: Todo análisis hidrológico natural posee, por definición, un valor de conservación propio en la medida en que es único e irrepetible. Este valor de conservación se ve modificado (aumentado) en función de: las características de singularidad, rareza, fragilidad, etc. del sistema en cuestión. El propio embalse a vaciar, o el río aguas abajo, pueden ser ambientes con un valor paisajístico remarcable o albergar comunidades naturales de reconocido interés. Resulta imprescindible, por tanto, conocer el valor de conservación de los sistemas naturales (o cuasi-naturales, como el embalse) susceptibles de verse afectados por el vaciado, tanto para diseñar las adecuadas medidas de previsión, como para evaluar la magnitud y sentido de las afecciones, así como para establecer las medidas correctoras y/o de compensación pertinentes.

5.1.7. El estado de colmatación del embalse y la calidad del sedimento: Las presas en su operación retienen gran cantidad de sólidos sedimentables, dando lugar a la colmatación del embalse, este a su vez incrementa la capacidad erosiva de las aguas salientes, entre más decantadas mayor es su capacidad de erosionar el cauce y las riberas río abajo, afectando el hábitat físico de las comunidades naturales acuáticas, productores primarios y secundarios¹⁴. El volumen de sedimentos retenidos en el interior del embalse, su distribución en la cubeta, su estructura física (textura, compactación, etc.) y composición química, van a condicionar varios de los aspectos más trascendentales del vaciado de cualquier embalse. El volumen de sedimentos, su distribución y estructura física tendrán mucho que ver con las posibilidades de su movilización hacia el río aguas abajo y con su comportamiento una vez en el cauce. Por su parte la composición química junto con la cantidad de sedimentos movilizados, serán los factores responsables de la calidad del agua durante el vaciado y en los días posteriores, explicando prácticamente la totalidad de las principales afecciones sobre las comunidades acuáticas. El estudio batimétrico del embalse y la caracterización del tipo de sedimentos movilizables resulta indispensable para prever la afectación

¹⁴ Daniela María Acosta Díaz. Evaluación del impacto ambiental sobre la morfología del cauce del río porce, por retención de sedimentos en los embalses porce ii y porce iii, en el tramo comprendido entre el sitio de presa y el río nechi, Bogota D.C.: Universidad de la Salle Facultad de Ingeniería Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, 2016. 37 p.

ambiental del vaciado aguas abajo, así como para estimar la posible mejora trófica y volumétrica de la cubeta de embalse.

5.1.8. Efectos Ambientales de Embalses¹⁵: La necesidad de compaginar la mejora de la calidad de vida con los esquemas de un desarrollo sostenible conduce a la necesidad de evaluar los efectos que sobre los valores socioculturales o naturales pueden producir las infraestructuras y concretamente las presas y embalses. Gran parte del interés mundial en el estudio de la ecología de embalses deriva del efecto que estos ejercen en el ambiente y la necesidad de allegar información para su adecuada gestión. El efecto de los embalses sobre el ambiente, que con frecuencia revierte sobre los embalses mismos, puede generar grandes costos económicos y sociales e interferir con los usos previstos de las obras. Los analistas de la problemática ambiental de los embalses no han llegado a un acuerdo sobre el balance final costo-beneficio de los embalses, cuando se involucran las variables ambientales y sociales en el mismo. Aparentemente superada una posición temprana, según la cual los embalses serían obras de incuestionables efectos benéficos (pero que no obstante persiste en nuestros medios técnicos y políticos) se ha evolucionado hacia una posición más crítica. Dentro de esta se encuentran quienes, aceptando los riesgos implícitos en todo proyecto, se inclinan por considerar favorable el balance. Hay también quienes cuestionan los beneficios, como ilusorios, y señalan graves problemas ambientales y sociales; esta posición se refiere en especial a los llamados grandes embalses o grandes presas, megaproyectos para la creación de y aún más grandes. El cuestionamiento desde el punto de vista ambiental se encuentra en la pérdida irreversible de ecosistemas terrestres generalmente productivos y su sustitución por ecosistemas acuáticos menos productivos económica y/o biológicamente; la sustitución conlleva problemas ambientales múltiples, en especial baja calidad del agua.

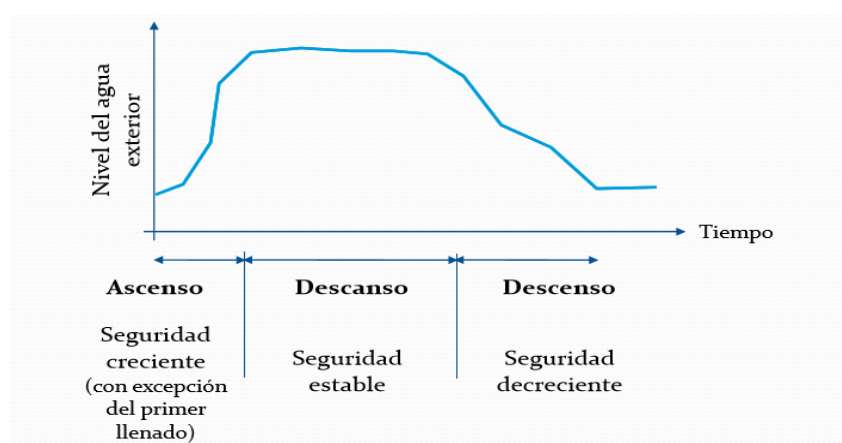
¹⁵ BUSTAMANTE, Carlos A. Efectos Ambientales Generados por la Construcción y Operación de un Embalse. Universidad de Sucre. Facultad de Ingeniería. Ingeniería Civil. 2008. Pág. 18.

6. DELIMITACIÓN

6.1. Alcances:

El estudio se limitará únicamente a un grupo de puntos de monitoreo en zonas aledañas a los embalses en Antioquia.

Ilustración 2. Proporcionalidad de manejo de embalses (caso ideal).



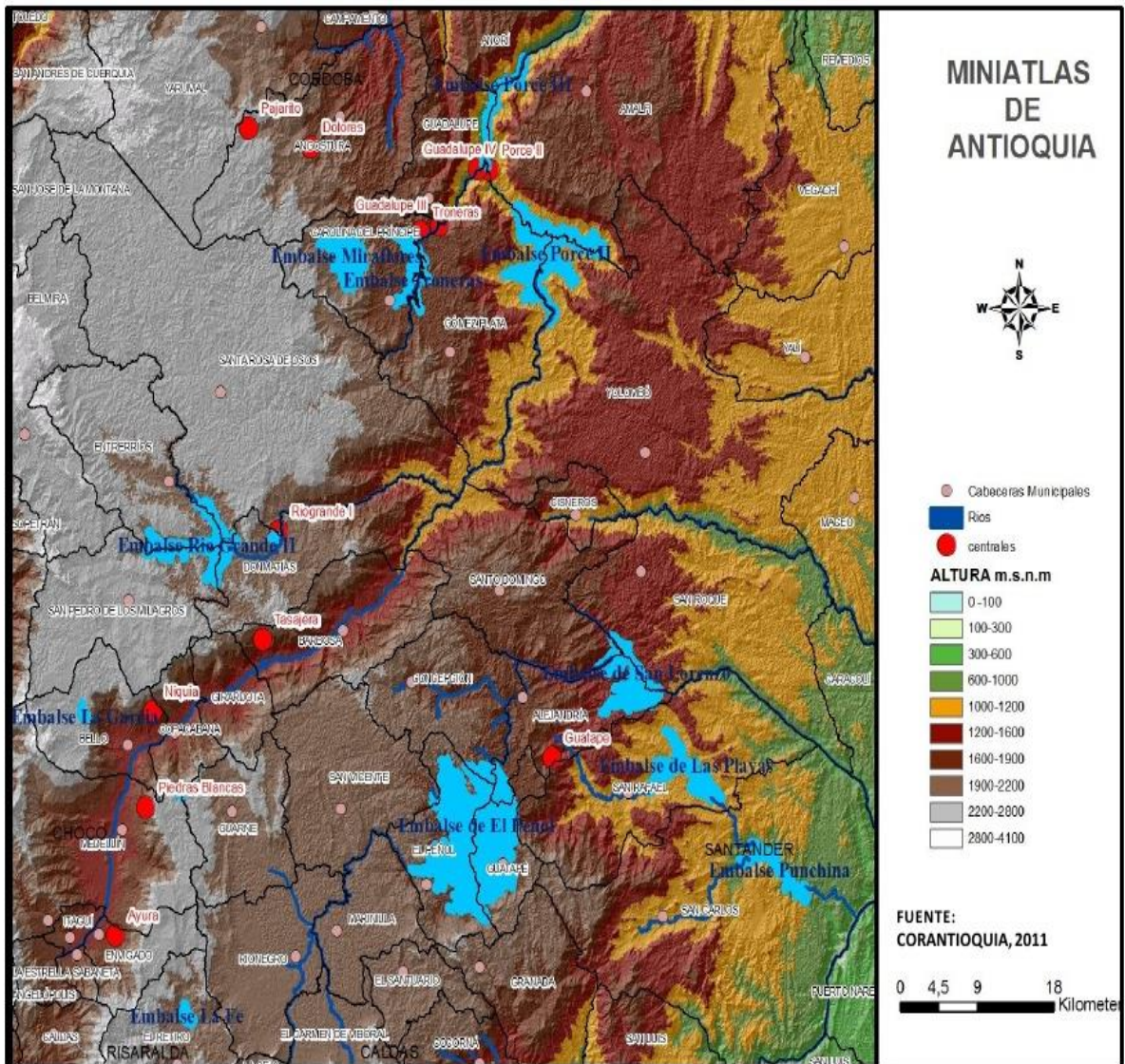
Fuente: Centro de Documentación, ISAGEN, 2009.

En la Ilustración 2 se presentan los diferentes estados de proporcionalidad (características de niveles altos, medios y bajos) de los embalses; dicha regulación solamente se logrará mediante estudios hidrológicos e hidráulicos que permitan conocer las características de los ríos que aportan en Antioquia a los embalses de trabajo en esa zona geográfica.

En la ilustración 3 se presentan las afluencias hidrológicas de los embalses de Antioquia.

Ilustración 3. Hidrografía general de los embalses en Antioquia.

EMBALSE Y CENTRALES DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA



Fuente: Centro de Documentación, ISAGEN, 2009.

Ilustración 4. Embalses y Afluencias de los Embalses en Antioquia.



Fuente: ISAGEN, Centro de Documentación, 2009.

Como principal elemento a identificar como alcance del estudio propuesto, está el de la identificación de sitios críticos para control de inundaciones realizado por la operación de las centrales en Antioquia. Los principales puntos a evaluar para lograr los objetivos propuestos, abarcarán los siguientes alcances técnicos y metodológicos:

- Análisis de desbordamientos previos.
- Determinación de la capacidad de almacenamiento.
- Evaluaciones de crecientes súbitas o torrenciales.
- Manejo de las crecientes dentro del embalse.
- Evaluación y balance caudales aportados – cuerpo de agua + descargas generadas.
- Evaluación y cálculo de caudales remanentes.
- Regla de operación de los embalses.
- Características técnicas de los embalses.
- Cálculo de volúmenes en épocas de lluvias.
- Cálculo de volúmenes en épocas de estiaje (secas).
- Cálculo de reboses permitidos.

Como se anotó anteriormente, bajo el evento de una alta hidrología afluente al embalse en la cual la capacidad de almacenamiento del embalse se vea copada y el vertedero empiece a rebosar, se activa la directiva de la siguiente manera: en la medida que el caudal del vertedero se incrementa, por ejemplo, sí se está generando con las cuatro unidades secuencialmente, se van sacando de operación las unidades de generación de tal manera que se mantenga el tope del caudal máximo, al punto que la central queda toda apagada y el caudal que se evacua de la hidroeléctrica sale por el vertedero sin control.

7. MARCO REFERENCIAL

7.1. Consideraciones Técnicas.

En general, entre mayor sea la intensidad de la precipitación, mayor probabilidad de que se genere escorrentía superficial significativa, y por ende, ocurrirán crecidas de las fuentes naturales, sin importar que sean lentas o torrenciales (rápidas a muy rápidas); y en forma inversa mientras ésta disminuya, se incrementará la posibilidad de estiajes (o sequías) en las fuentes naturales, trayendo entre otros, inconvenientes en el abastecimiento y en la navegación,

Específicamente en Colombia, se presentan en forma alternada éstas circunstancias, las cuales no necesariamente se pueden asociar con los fenómenos de El Niño (períodos secos) y La Niña (períodos húmedos). Una mayor intensidad de precipitación puede resultar en más escorrentía porque el suelo no puede absorber el agua lo suficientemente rápido; aunque la saturación previa del suelo aumenta el riesgo de crecida repentina, muchas crecidas súbitas ocurren cuando el suelo no está saturado. Las crecidas repentinas pueden ocurrir y de hecho ocurren con suelos secos y condiciones de sequía. Los embalses son la principal fuente de suministro de agua para unos usos determinados, por éste motivo se debe caracterizar, monitorear y estudiar los comportamientos del líquido, toda vez que se puede presentar con mayor o menor intensidad en algunos periodos del año, afectando de forma considerada a los usuarios que se benefician de éstos. La determinación de las condiciones hidrometeorológicas permitirá evaluar las variables de caudal, nivel y precipitación en periodos de lluvia o estiaje, ¿con esto se puede incidir en el comportamiento y generación de las fuentes hídricas aguas abajo del embalse?

7.1.1. Fenómenos que Afectan el Exceso o la Carencia de Agua en Colombia.

Pese a que Colombia y los países latinoamericanos tienen poca responsabilidad sobre la emisión de gases de efecto invernadero, ellos están sintiendo los efectos catastróficos de este fenómeno, y su población presenta una alta vulnerabilidad, lo que es agravado por la fragilidad de su infraestructura, el escaso nivel de

respuesta y acción inmediata ante la ocurrencia de desastres¹⁶. Los fenómenos de El Niño y de La Niña afectan directamente las fuentes de agua de Colombia, y debido a antecedentes históricos (el apagón al comienzo de la década de los 90 y las fuertes inundaciones en 2010-2011), son razones suficientes para que las autoridades estén atentas para desarrollar programas de prevención que permitan mitigar sus efectos.

Colombia es un país rico en agua. Es por ello que es apenas lógico que fenómenos climáticos como el de El Niño y La Niña afecten este recurso de manera evidente; éstos fenómenos influyen en el clima de Colombia de maneras diferentes, por ejemplo, El Niño trae sequía generalizada, sin embargo, en la región del Amazonas el comportamiento es contrario pues aumentan las precipitaciones. Ambos fenómenos han aumentado su frecuencia con el pasar de los años sin que aún se determine una causa. Lo cierto es que mientras antes había largos espacios de tiempo entre uno y otro, hoy el ritmo se ha acelerado. De ese modo, “intervalos de siete años se han reducido hoy a solo dos a cuatro años”¹⁷, y esto conlleva, además, a que el impacto de ambos sea cada vez más fuerte. Gracias al trabajo de entidades como el IDEAM, que en asocio con otras autoridades climáticas monitorean la temperatura del Océano Pacífico, es posible determinar la probabilidad de ocurrencia de alguno de los dos.

La disminución o el aumento de lluvias, según sea El Niño o La Niña, afectan directamente los recursos hídricos del país que se ven afectados fácilmente. Según informaciones del IDEAM, se tiene que el fenómeno de El Niño, por ejemplo, hace que los niveles de los ríos disminuyan entre un 30 y un 60%, según la zona del país; por otro lado, con el fenómeno de La Niña, los caudales aumentan entre un 40% y un 70%”. Por lo anterior se deduce que la sequía o la abundancia de agua es perjudicial para diversos sectores: el energético, el agrícola, el industrial, el de la salud, entre otros.

El Fenómeno del Niño trae períodos de sequía que influyen, por ejemplo, en el nivel de los embalses, por lo que la producción de energía eléctrica se afecta directamente, e igualmente afecta a los puntos de toma de agua ocasionando desabastecimiento. Por otro lado, cuando se presenta el fenómeno contrario, los embalses se desbordan, hecho que obliga a hacer un vaciado y a inundar algunas zonas aledañas. El fenómeno de La Niña está asociado con inundaciones y

¹⁶ Revista TRILOGÍA, La perspectiva del cambio climático en el departamento de Antioquia, Antioquia, Diciembre. 2013, vol, 9, ISSN 2145-4426.

¹⁷ IDEAM, 1999

desastres naturales como deslizamientos. Ante una inminente ocurrencia, el IDEAM reporta a las autoridades competentes para que estén preparadas para enfrentar los efectos de ambos, e igualmente avisa oportunamente a las CAR, agremiaciones, ministerios y otras instancias nacionales, departamentales y locales, para que permanezcan atentos para mitigar los efectos que se puedan presentar.

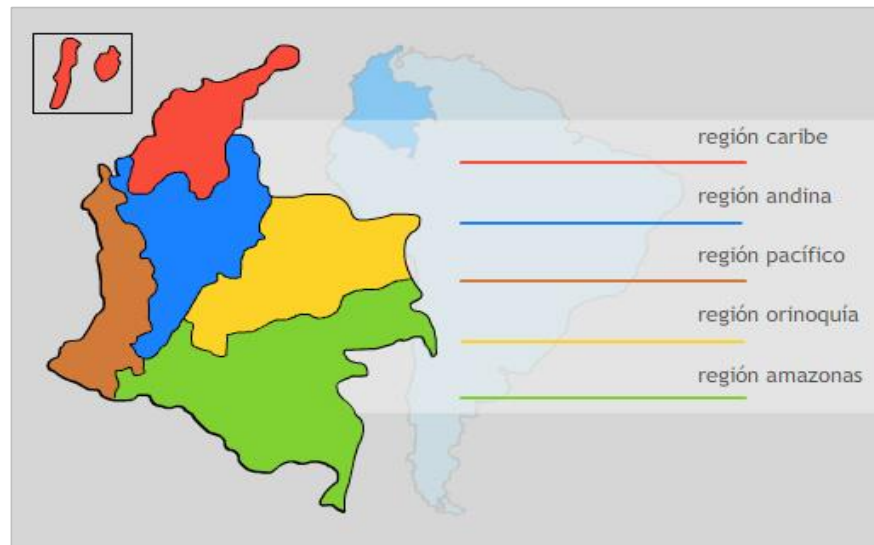
La gestión hídrica en Colombia se enfoca en la administración de la oferta-demanda del caudal que existe sobre los sistemas de agua dulce superficiales, la variabilidad climática afecta la función y operación de la infraestructura hídrica existente, así como las prácticas de gestión integral de los recursos hídricos, con el calentamiento del sistema climático existe probabilidad de alteración en la frecuencia e intensidad de los eventos meteorológicos extremos con consecuencias adversas para los sistemas naturales y humanos, la severidad de esos fenómenos dependerá no solamente de su naturaleza sino de la exposición y de la vulnerabilidad de la población¹⁸, La hidrografía de es bien compleja (Ilustración 5) y tiene bien definida su ubicación geográfica. No solamente se tienen identificadas las cuencas principales sino las secundaria (denominadas de segundo, tercer y cuarto orden). La primera experiencia en Colombia sobre Zonificación Hidrográfica fue registrada en el año de 1978 en el HIMAT, en ese entonces mediante la resolución 0337 se zonifica el país en áreas hidrográficas (por definición vertientes), en zonas y subzonas para efectos de establecer e identificar mediante un código la red de referencia Hidrometeorológica básica del país. Desde esa época, el territorio Colombiano fue Zonificado partiendo de las cinco regiones naturales existentes. Sin embargo, no se conceptualizó los términos de área hidrográfica, zona y subzona. Luego, en el año de 1985 el HIMAT culminó un inventario general de cuencas para todo el territorio colombiano a escala 1:500,000 con la base en la cartografía oficial suministrada en formato análogo del IGAC, con orientaciones del Proyecto Alemán GTZ -INDERENA- documento publicado en el segundo congreso de Cuencas Hidrográficas realizado en Cali en junio de 1985.

El IGAC, publicó en el Atlas Básico de Colombia en el año de 2006, con base en los datos suministrados por el IDEAM, un inventario de cuencas donde se clasifican por vertientes, zonas y subzonas el territorio colombiano. Posteriormente, el IDEAM, ha realizado ejercicios bajo las instrucciones normativas del Decreto 1729 del año 2002, la Delimitación, Codificación,

¹⁸ Revista logos ciencia & tecnología, Santander, Julio - Diciembre 2017, Vol. 9, No. 1, ISSN 2422-4200.

Jerarquización de cuencas y Orden en el cual las cuencas hidrográficas son afluentes a otros cursos de agua en formato digital, pero sin tener en cuenta la cartografía oficial del ente regulador. El territorio de Colombiano está constituido por 1,141,748 Km² de parte continental y de 988,000 Km² de parte marina. Como resultado de ubicación tropical y su diversidad climática y topográfica, el país cuenta con una enorme riqueza de ecosistemas y de especies que lo poseen como uno de los países más diversos del mundo. Con relación a los recursos hídricos, cuenta con ríos, quebradas, arroyos, caños, pantanos, lagunas y nacimientos de agua, siendo una de las principales fuentes hídricas del planeta, en cuyo territorio debido al complejo sistema orográfico, los ríos fluyen en diferentes direcciones, de esta forma, el territorio colombiano se encuentra dividido en cinco áreas definidas por la cadena montañosa de los Andes: la zona montañosa en la parte central andina, el Caribe en el norte, el Pacífico en el oeste, la región amazónica en el sur y la región de los Llanos en el este, denominadas: El Caribe, Magdalena-Cauca, Orinoco, Amazonas, Pacífico. Gracias a esa zonificación es que todos los cuerpos de agua (incluyendo los embalses) pueden ser caracterizados.

Ilustración 6²⁰. Distribución geográfica por cuencas hidrográficas en Colombia.

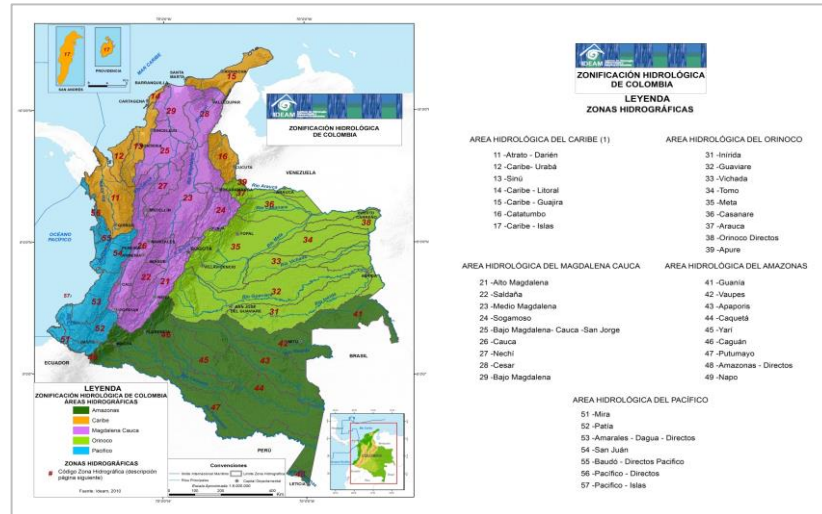


Fuente: Oficina del Servicio de Pronósticos y Alertas, OSPA, 2010.

Finalmente, a escala departamental se ubican las diferentes corrientes y sus cuerpos de agua (Ilustración 7 a mayor escala de detalle).

²⁰ Zonificación hidrográfica de Colombia OSPA, 2010.

Ilustración 8. Mapa hidrográfico de Antioquia.

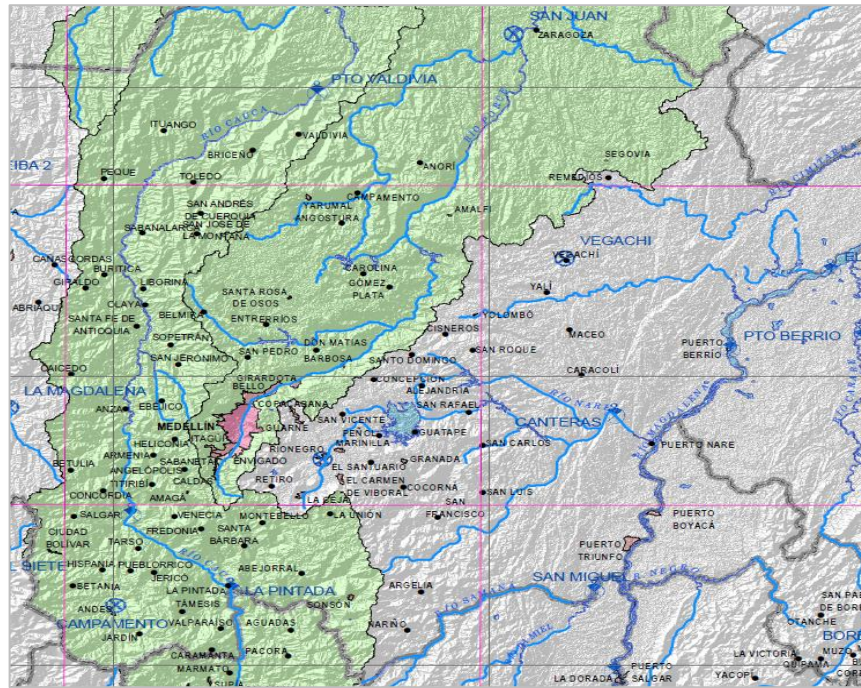


Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras, IDEAM

Finalmente, y de acuerdo con la clasificación de zonas hidrográficas, se identifican para el presente estudio (Ilustración 8²²).

²² IDEAM, 2010

Ilustración 9. Mapa hidrográfico de Antioquia.



Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras, IDEAM, 2010.

En la Ilustración 9²³ se presentan los principales afluentes de descarga, el río Cauca y el río Magdalena, sobre los cuales los embalses del departamento de Antioquia descargan, bien sea por caudal turbinado o por caudal de descarga por vertedero a los subafluentes, los cuales finalmente llegarán a los ríos mencionados.

7.1.2. Características de las Afluentes principales y Secundarias.

A continuación se definirán las principales cuencas, tanto las ubicadas AA como las ubicadas aa; es importante caracterizar las cuencas AA en función de los niveles y/o caudales e igualmente en su régimen de lluvias, y en forma similar las cuencas aa, pero adicionalmente para éstas para éstas es importante definir si

²³ IDEAM, 2010

dichos afluentes tienen capacidad hidráulica para transitar las descargas provenientes de los embalses, ya sea reguladas o extraordinarias.

7.1.2.1. Cuenca Media.

La ubicación geográfica de los embalses que descargan sus aportes, se referencia como cuenca media, la cual se ubica geográficamente tanto para el río Cauca como para el río Magdalena, siendo ésta ubicación la correspondiente a las partes medias de las montañas, aquí se forman las quebradas y los arroyos ya que los pequeños hilos de agua que vienen de las partes altas confluyen y aumentan la cantidad de agua que transportan. También, es donde los ríos tienen una forma de zigzag más definida. En esta zona es donde se desarrollan principalmente las actividades de agricultura y ganadería. Algunos valles destacados en nuestro departamento, son los valles de los ríos Cauca, Magdalena, el valle de San Nicolás y el Valle de Aburrá.

Específicamente para el departamento de Antioquia y el valle interandino correspondiente al río Magdalena, se tiene la siguiente caracterización por zonas:

Cuenca del río Magdalena. Está situada en el oriente de Antioquia y baña en su totalidad la subregión del Magdalena Medio y parte del Oriente y del Nordeste antioqueños. Es una cuenca muy diversa en topografía y coberturas, predominan las planicies y las vertientes cálidas y húmedas. Se destacan actividades como la minería, la explotación carbonífera, el cultivo de la palma de aceite y las actividades ganaderas. Su temperatura oscila entre 20 °C y 33 °C, lo que invita a refrescarse en las cascadas ubicadas en varios municipios y a detenerse en la exuberante flora que posee; además, del bosque húmedo tropical, grutas, cuevas, rocas y aguas cristalinas.

Cuenca del río Nechí. En la región del Nordeste antioqueño, el río Nechí es el principal afluente del río Cauca. En su trayectoria recorre los municipios de Nechí, El Bagre, Zaragoza y parte de Caucaasia. El Nechí se considera de gran importancia por sus características de navegabilidad que permiten el transporte fluvial entre los municipios que recorre. La cuenca hidrográfica del río Nechí abarca 1.290 km², navegables en toda su extensión y es la principal vía de

comunicación y fuente de abastecimiento del recurso pesquero y de explotación aurífera en la región.

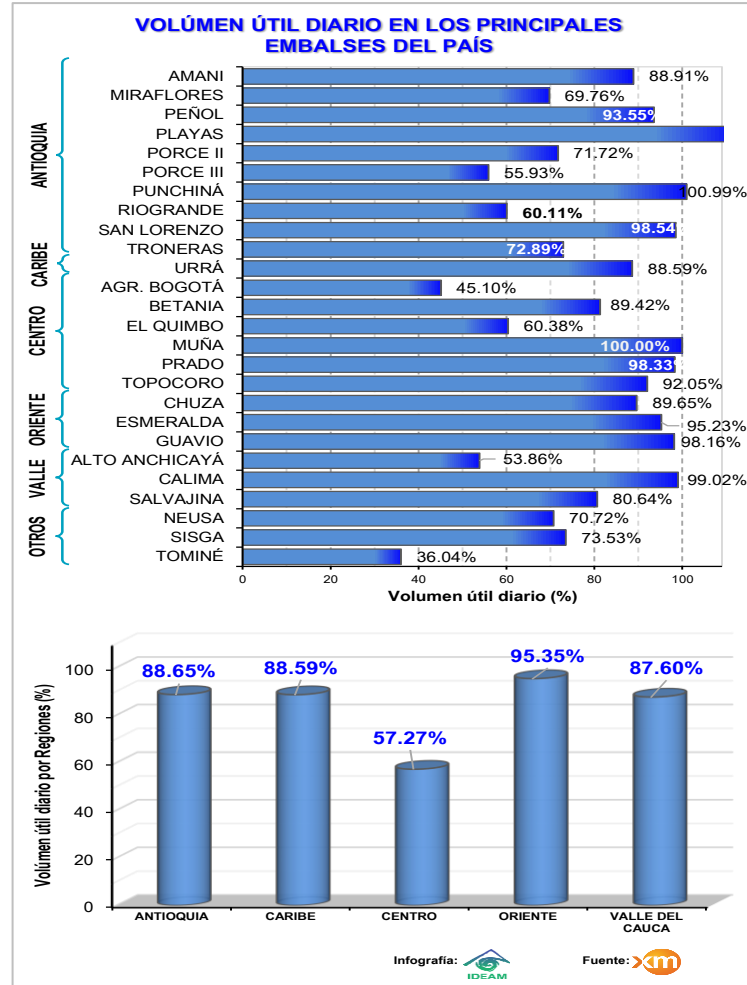
Cuenca del río Porce. Comprende las cuencas que le surten, donde se destacan los ríos Medellín o Aburrá, Grande, Chico y Guadalupe. Recorre los municipios del Valle de Aburrá; del Altiplano Norte y los municipios ubicados en el cañón del río Porce: Don Matías, Gómez Plata, Guadalupe, Yolombó, Amalfi y Anorí. Se destacan las laderas, los filos y las vertientes de la cordillera Central, con paisajes predominantes de cuchillas y con fuertes pendientes, las que se suavizan en la zona de embalses de los municipios de Carolina del Príncipe y Guadalupe.

Con respecto a los embalses, se tiene que Colombia cuenta varios embalses ubicados en las regiones de Antioquia, Caribe, Centro, Oriente y Valle, los cuales el IDEAM monitorea diariamente para evaluar el porcentaje del volumen embalsado con el fin determinar los comportamientos AA y aa y de ésta manera emitir las diferentes alertas que se pueden generar por inundaciones asociadas con la operación del embalse, y un ejemplo de esto se presenta en la Ilustración 10²⁴ En la Tabla 1²⁵ se presenta la relación de embalses por region geográfica; planta se refiere al nombre de la central de energía y embalse al nombre del cuerpo de agua.

²⁴ OSPA, 2017

²⁵ OSPA, 2011

Ilustración 10. Registro de comportamiento de volúmenes de almacenamiento (%) por embalse y por región, para una fecha específica.



Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras.

IDEAM

En la Tabla 1 relación (parcial) se presenta la relación parcial de embalses en el departamento de Antioquia.

REGIÓN	PLANTA	EMBALSE
Antioquia	Miel I	Amani
Antioquia	Guatrón	Miraflores

Antioquia	Guatapé	Peñol
Antioquia	Playas	Playas
Antioquia	Porce II	Porce II
Antioquia	Porce III	Porce III
Antioquia	San Carlos	Punchiná
Antioquia	La Tasajera	Riogrande 2
Antioquia	Jaguas	San Lorenzo
Antioquia	Guatrón	Troneras

Fuente: Empresas Públicas de Medellín, EPM.

Tabla 1²⁶. Relación (parcial) de embalses por región geográfica Andina (referencia por Antioquia).

CENTRAL (PLANTA) HIDRÁULICA	EMBALSE	RÍO
AMOYA LA ESPERANZA	NO APLICA	AMOYÁ.
CARLOS LLERAS	NO APLICA	CARLOS LLERAS.
CUCUANA	NO APLICA	CUCUANA.
		DESV. SAN MARCOS.
GUATAPE	PEÑOL	NARE.
GUATRON	TRONERAS	CONCEPCIÓN.
		DESVIACIONES EPPM (NEC, PAJ, DOL).
		GUADALUPE.
	MIRAFLORES	TENCHE.
JAGUAS	SAN LORENZO	A. SAN LORENZO.
LA TASAJERA	RIOGRANDE2	GRANDE.
MIEL I	AMANI	MIEL I.
		DESV. GUARINÓ.
		DESV. MANSO.
PLAYAS	PLAYAS	GUATAPÉ.
PORCE II	PORCE II	PORCE II.
PORCE III	PORCE III	PORCE III.
SAN CARLOS	PUNCHINA	SAN CARLOS.
SAN FRANCISCO	NO APLICA	SAN FRANCISCO.

Fuente: Empresas Públicas de Medellín, EPM.

7.2 . Caracterización de los embalses y afluentes.

7.2.1 PEÑOL (Embalse de Generación eléctrica).

La represa peñol-Guatapé finaliza su construcción en el año de 1978, esta se encuentra ubicada el oriente del departamento de Antioquia en una zona batolítica a 50 Km de Medellín, jurisdicción del municipio de San Rafael, su cota es de 1887.5 msnm. El principal tributario es el río Nare con un caudal promedio anual de 50 m³/s. En su margen izquierda tributan las quebradas San Miguel, La Magdalena, San Lorenzo y Cucurucho. En la margen derecha del embalse descargan las quebradas La Culebra, Santa Marina, San Pedro y La Candelaria. La represa recibe las aguas de la quebrada "Peñolcito", la capacidad del embalse está cercana a los 1240 x10⁶ m³, también profundidades máxima de 43 m y promedio y 27.5 m. Su longitud máxima es de 7.25 Kilómetros y su ancho máximo de 5 Kilómetros. En total, el embalse cubre un área de 6240 ha y el tiempo de retención hidráulico es 285 días²⁷.

7.2.2 PLAYAS (Embalse de Generación eléctrica).

Su construcción dio inicio entre enero de 1983 y septiembre de 1987 entro en operación el 25 de febrero de 1988, está Situada al oriente de la ciudad de Medellín en el departamento de Antioquia, a una distancia de 160 Km. por carretera pavimentada. Sus obras e instalaciones están en jurisdicción de los municipios de San Rafael y San Carlos y su cuenca hidrográfica comprende también territorios del municipio de Guatapé. Acumula 69,08 millones de metros cúbicos (Mm³), para un área tributaria de 292 km². Igualmente utiliza un caudal medio anual de 113 m³/s, el cual se descarga nuevamente al río Guatapé. Posee tres grupos generadores impulsados por sus correspondientes turbinas Francis de eje vertical, diseñadas para una potencia de 68.030 kilovatios cada una. Cuenta con una capacidad instalada de 204 MW (nominal) y 201 MW (efectiva), bajo una cabeza neta de 176 m., un caudal de 42.1

²⁷ Ricardo Andrés Palacios Sierra, inventario documentado de represas en Colombia, Trabajo de grado Ingeniero Civil, Bogota D.C.: Universidad Militar Nueva Granada. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil, 2013. 13 p.

(m³/seg.) y una velocidad sincrónica de 360 r.p.m. (Francis normal), aporta anualmente 1.380 GWh de energía firme al sistema energético colombiano²⁸.

7.2.3 RIOGRANDE II (Embalse de Generación eléctrica).

La cuenca del río Grande está localizada en la parte central del departamento de Antioquia, entre los 6°35'57" y 6°28'79" N y los 75°32'17" y 75°25'85" O, con un área de captación de 1.294 km² (= 129.400 ha), temperaturas entre los 14 y 18 °C, dos períodos lluviosos, uno entre abril y junio y otro entre septiembre y noviembre, y mayores valores de humedad entre octubre y noviembre, con promedios cercanos al 83 %. Las épocas secas van de diciembre a marzo y de julio a agosto, siendo la primera más seca que la segunda. Por su parte, el embalse Río grande II se localiza en las cuencas de drenaje de los ríos Grande y Chico en las que encuentran asentados los municipios de Belmira, Don Matías, Entreríos, San Pedro y Santa Rosa de Osos. Se sitúa a una altura media de 2.150 msnm, con un volumen de 253 millones de m³, una profundidad máxima de 59 m, un tiempo medio de residencia de 72,8 días, y un caudal de 35 m³/s en la captación. La presa, de 2,8 millones de m³ y 65 metros de altura, está provista de un vertedero a 2.270 msnm que crea el embalse que inunda un área aproximada de 10.100 ha.²⁹

7.2.4 TRONERAS (Embalse de Generación eléctrica).

La represa de Troneras se encuentra localizada en el municipio de Carolina del Príncipe 6°45'02"N 75°15'16"W, llegando al embalse de Troneras. La central hidroeléctrica bautizada con el mismo nombre, utiliza las aguas del río Concepción, después de haber recibido las aguas de desviación de los ríos Nechí, Pajarito y Dolores; junto con los provenientes del embalse de Miraflores y el río Guadalupe. Tiene dos unidades generadoras de 20 MW de capacidad efectiva neta cada una, accionadas por turbinas tipo Francis de eje vertical, para una capacidad efectiva de 40 MW. Esta central le aporta anualmente al sistema una

²⁸<http://www.eppm.com/epmcom/contenido/acercade/infraestructura/generacion/Centraleshidroelectricas/centralplayas.htm> .10 octubre de 2006

²⁹ John Jairo Ramírez R, Mónica Cristina Arcila L., Sandra Catalina Sepúlveda A. Cuantificación de los componentes que afectan el coeficiente de atenuación vertical para irradiancia descendente en el embalse Río grande II (Colombia). *En: Revista Académica. Colombiana. Ciencias.* Junio de 2015. Vol. 39, no 151, p 228.

energía media de 242 GWh y una energía firme de 208 GWh. Cuenta con un área de espejo de agua de 6.400ha, su volumen es de 1.235x106m³, Su cota de elevación esta por los 1.776msnm, longitud máxima del embalse 2.60km con un ancho de 0.95km, los afluentes de esta represa son rio Concepción, Nechi, Pajarito y dolores.

30

El Complejo Hidroeléctrico de Guadalupe está conformado por la cadena de generación hidráulica Troneras, Guadalupe III y Guadalupe IV; las cuales cuentan con una capacidad de generación de 40, 270 y 202 MW, respectivamente para completar los 512 MW de capacidad total del sistema.³¹

7.2.5 SAN LORENZO (Embalse de Generación eléctrica).

El embalse San Lorenzo tiene una capacidad total de 185,5 Mm³ y una extensión de 10,3 Km². Su operación comercial inició en 1988. Está ubicado en las coordenadas 6° 24' N y 75° 01' W, tiene su nivel máximo de operación sobre la cota 1.247 msnm y se localiza en jurisdicción de los municipios de Alejandría, Santo Domingo y San Roque; en éste se represan los ríos Nare, San Lorenzo y Nusito, así como las quebradas San Miguel y La Arenosa. La precipitación media anual en el embalse es de 3.500 mm y la temperatura anual varía entre 18 y 22,9°C.³²

³⁰ Ricardo Andrés Palacios Sierra, inventario documentado de represas en Colombia, Trabajo de grado Ingeniero Civil, Bogota D.C.: Universidad Militar Nueva Granada. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil, 2013. 33 p.

³¹ Camilo Andres Hernandez Torres, análisis ambiental de las grandes centrales hidroeléctricas de Colombia aplicando metodología multiobjetivo, Proyecto de grado para optar el título de Ingeniero Ambiental y Sanitario. Bogota, D.C.: Universidad De La Salle Facultad de Ingeniería Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, 2011, 115 p.

8. METODOLOGÍA

8.1. Tipo de Estudio:

Para la clasificación de los datos es importante emplear la siguiente metodología:

- Análisis de series de datos medios mensuales multianuales, para variables tipo caudal.
- Análisis de series de datos medios mensuales multianuales, para variables tipo nivel.
- Análisis de series de datos medios mensuales multianuales, para variables tipo precipitación.

8.2. Fuentes de Información:

La información de serie de datos será suministrada por el IDEAM, para poder realizar los análisis de la información y poder entregar las hojas electrónicas, que es en lo que consiste éste proyecto de grado.

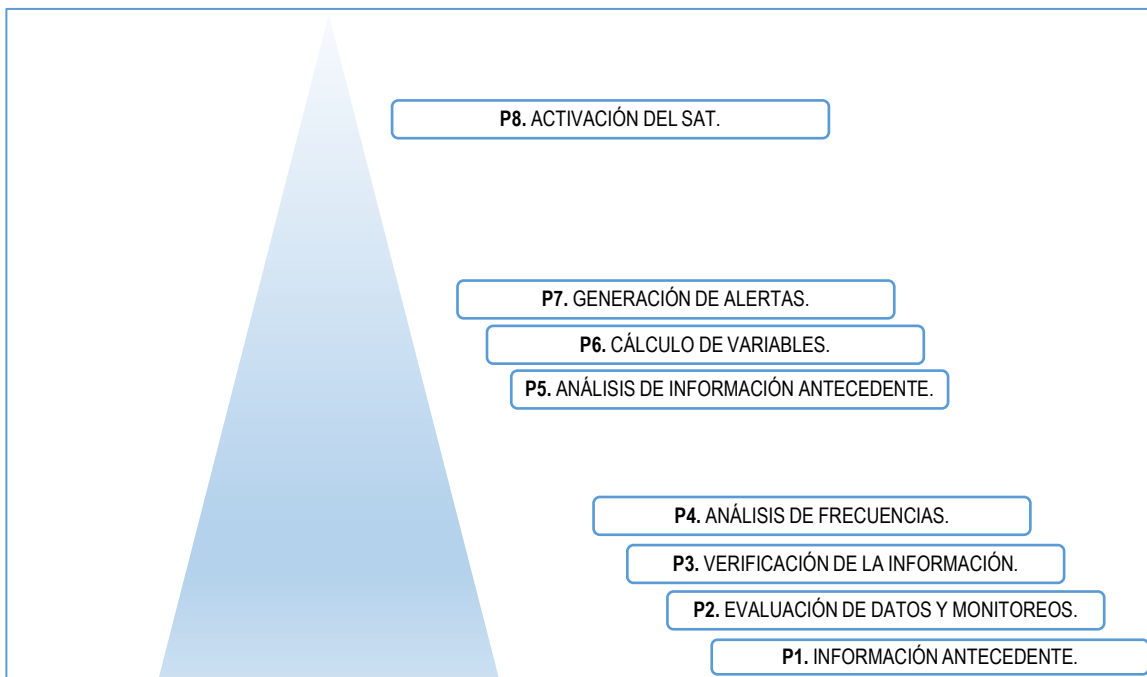
Adicional, se tendrán en cuenta libros, tesis de grados, revistas científicas, artículos, etc... Los cuáles serán debidamente referenciados para completar la información acerca de los embalses.

9. DISEÑO METODOLÓGICO

9.1. Protocolo para el Estudio de Proyección de Caudales.

Según los protocolos de la OMM, el IDEAM antes de activar las alertas generadas (bien sea por incrementos de los niveles o por descenso de los mismos), analiza la información general la pirámide de prioridades³³ presentada en la Figura 1.

Ilustración 11. Proceso-secuencia de análisis pre-SAT.



Fuente: Oficina del Servicio de Pronóstico y Alertas, OSPA, 2006

Para dicha figura se definen los siguientes procesos:

P1. Información antecedente. Consiste en determinar los puntos sobre los cuales se desea hacer el monitoreo para validar susceptibilidades y vulnerabilidades.

³³ OSPA, IDEAM 2006

P2. Evaluación de datos y Monitoreos. Determinar las variables a evaluar. Para el caso del presente estudio se evaluaron variables de caudal (m^3/S), niveles (m o msnm), curvas H vs Q y parámetros morfométricos. Todos los datos anteriormente mencionados fueron suministrados por el IDEAM.

P3. Verificación de la información. Todos los datos fueron suministrados por el IDEAM (datos reales no crudos o sin verificar); cabe anotar que a pesar de ser datos de fuente oficial, en algunos casos se encontraron datos faltantes (los cuales no pueden ser asumidos como igual a cero), por lo cual hubo necesidad de no tener en cuenta aquellos años que presentaban ésta característica.

P4. Análisis de Frecuencias. Se emplearon en primera instancia la metodología HYFA (programa patrón y de referencia) y en segunda instancia la metodología SMADA (valores a ser comparados). Al ser la metodología HYFA la correspondiente a patrón, o sea sobre la cual se deben tomar como referencia, corresponden sus valores de análisis estadístico los cuales ofrecen mayor veracidad y cercanía a resultados reales. A continuación se explicará la metodología HYFA³⁴.

9.1.1. Evaluación del Análisis de Frecuencias.

Para determinar su importancia y relevancia en estudios que deben generar información relacionada con eventos extremos, se puede definir la Hidrología así:

Determinística: Enfoque en el cual los parámetros se calculan en base a relaciones físicas para procesos dinámicos del ciclo hidrológico.

Estocástica: Enfoque en el cual los parámetros dinámicos son calculados basados en el supuesto de que su variación en el tiempo es aleatoria.

Se debe tener en cuenta para la evaluación de Frecuencias, los siguientes parámetros y definiciones:

Aleatorio: Significa los valores que puede tomar no puede ser predichos de manera exacta, lo más que se puede decir es que se comporta de acuerdo a una cierta distribución probabilística.

Estocástico: Su valor es aleatorio a través del tiempo.

³⁴ Estadísticas aplicadas en el HIMAT 1990. Texto de Consulta

9.1.2. Análisis de Frecuencia

Frecuencia: Corresponde al número de veces que se presenta una variable aleatoria. El Análisis de frecuencia está basado en el concepto de variables aleatorias.

9.1.3. Según Aplicaciones

Antes del inicio de cada ciclo agrícola se empiezan a tomar decisiones de que se va a sembrar y cuanto se va sembrar. Se calculan demandas de todos los cultivos. Pero ¿Alcanzará el agua de las presas? Eso depende de los volúmenes de agua que entren a presa a través del río. Esos volúmenes se pronostican o estiman con el enfoque de análisis de frecuencia

Los gastos (volumen por unidad de tiempo) transportados por un río para determinado periodo de retorno con fines de diseñar un bordo contra inundaciones o diseñar un vertedor o una presa, pueden ser pronosticados con el enfoque de análisis de frecuencia (siempre y cuando se tengan datos de aforos diarios máximos).

9.1.4. Probabilidad de Excedencia (p).

Probabilidad de que un evento de una magnitud dada será igualada o excedida dentro de un intervalo de tiempo específico (usualmente en un año; En distritos de riego trabajan entre el 50% y 90% (Probabilidad de Excedencia). Intervalo de recurrencia o Periodo de retorno (T): tiempo intervalo promedio (usualmente en años) entre ocurrencias sucesivas de un evento igual a o excediendo una cantidad específica.

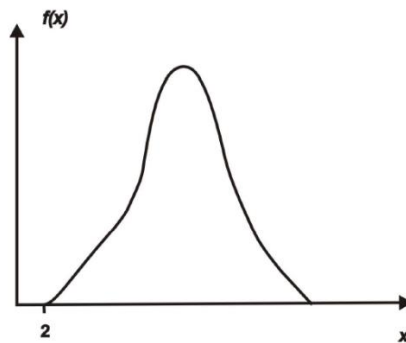
9.1.5. Función de Probabilidad

El comportamiento de una variable aleatoria puede ser descrito por su función de probabilidad. Para cada posible ocurrencia de un experimento se le asigna un valor numérico de acuerdo a una función probabilística. Si la variable aleatoria es discreta se le llama función masa de probabilidad y si la variable es continua se le llama función de distribución probabilística.

9.1.6. Función de Probabilidad

El comportamiento de una variable aleatoria puede ser descrito por su función de probabilidad. Se les debe buscar parecido a los histogramas de frecuencias relativas con una galería de funciones. En este caso es una función de distribución probabilística.

Ilustración 12. Definición de eventos probabilísticos.

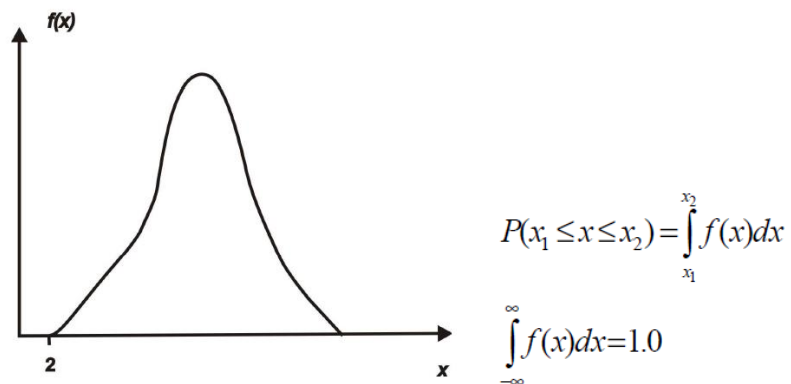


Fuente: Estadísticas aplicadas en el HIMAT 1990. Texto de Consulta

9.1.7. Distribuciones Continuas, Función de Densidad.

Para una variable aleatoria continua, el área bajo la función de densidad $f(x)$ representa probabilidad y el área bajo la función es igual a 1:

Ilustración 13. Definición de eventos probabilísticos, por Densidad



Fuente: Estadísticas aplicadas en el HIMAT 1990. Texto de Consulta

MÉTODOS DE CÁLCULO DE CUANTILES

- MÉTODOS GRÁFICOS
- MÉTODO DE MOMENTOS
- MÉTODO DE MÁXIMA VEROSIMILITUD

9.1.8. Método de Momentos.

Momentos de una distribución: las funciones probabilísticas tienen sus momentos y estos a su vez tienen relación con sus parámetros. Los momentos permiten caracterizar la forma de la función. Por lo tanto si se encuentran los momentos se puede encontrar a la función y a su forma.

Momentos alrededor del origen. Para una distribución discreta y una distribución continua el n-ésimo momento alrededor del origen puede ser definido como:

- Caudal Mínimo

Debe ser definido a partir de los estudios ambientales por lo que es denominado caudal ecológico. Este tiene especial importancia en los sistemas que requieren obras de desviación o retención como túneles, canales de baja presión o embalses los cuales limitan el caudal disponible aguas abajo del emplazamiento.

- Caudal Asegurado.

La estocasticidad en las afluencias lleva consigo una variabilidad de la potencia disponible en la unidad hidráulica, por tal razón, es importante definir el caudal mínimo que se puede asegurar con una probabilidad alta (normalmente entre el 85% al 95%). Los conceptos de caudal son regidos en el IDEAM, con el fin de determinar las probabilidades (altas o bajas) de ocurrencia de fenómenos de variabilidad climática (El Niño o sequía y La Niña o humedad).

9.2. Procedimiento para la Ejecución del Software HYFA

Con el fin de determinar la variación de los caudales para extremos (altos y bajos), se empleó el software HYFA, desarrollado en Holanda, en el período 1989 a 1991 (primera versión) y posteriormente fue actualizado (2003, segunda versión), en cuyos trabajos se contó con la participación de funcionarios del HIMAT -hoy IDEAM- en cuyo desarrollo tuvo participación directa el ingeniero Fidel Alberto Pardo Ojeda (con vinculación en la Universidad Católica de Colombia desde hace 27 años), y con vinculación directa en los institutos antes mencionados por más de 32 años. A continuación se presenta el protocolo HYFA³⁵, el cual cumple con normatividades de control de calidad en el marco de requisitos ISO, ASA y DIN. El siguiente es el contenido de secuencia de los estudios a seguir, con el fin de determinar eventos extremos:

³⁵ Desarrollo para Colombia, por el Ing. Fidel Alberto Pardo Ojeda

OBJETIVO DEL MODELAMIENTO POR LE MÉTODO HYFA: Emplear una metodología la cual permita evaluar en función de recurrencias (o periodos de retorno) y con diferentes distribuciones hidrológicas, parámetros tipo caudales y precipitaciones; se resalta que éste software permite analizar resultados provenientes de procesos matemáticos iterativos, y sin ser excluyente, quizás, una de las mayores aplicaciones que tiene es la evaluación de eventos extremos o de máximos y mínimos. Debido a su dinámica y buenos resultados es uno de los aplicativos de mayor aceptación para hacer evaluaciones de estricto cumplimiento de normatividades tipo ISO 9000.

AL DETERMINAR LA INDUCCIÓN DEL MODELO HYFA EL ESTUDIANTE DEBE ESTAR EN CAPACIDAD DE: Determinar completamente los criterios técnicos que se derivan de factores de recurrencia (expresados en años), los cuales permiten adelantar estudios posteriores, teniendo en cuenta los periodos de diseño de una obra civil que involucre estructuras hidráulicas (bien sea desde el punto de vista de vida útil o desde el punto de vista proyección a futuro).

Determinar completamente los parámetros hidrológicos que permitan efectuar diseños óptimos de estructuras hidráulicas, ciñéndose estrictamente a estándares de calidad de los datos.

Ilustración 14. Paso 1, Modelamiento Software HYFA

```
C:\Users\apardo\DOCUME~1\SOFTWARE\CANALES\HYFA\HYFA.EXE
HYFA
Press ENTER to continue
```

```
C:\Users\apardo\DOCUME~1\SOFTWARE\CANALES\HYFA\HYFA.EXE
HYFA
Press ENTER to continue
HYFA (Hydrological Frequency Analysis)
Hyfa computes parameters of
some frequency distributions as listed below.
parameter fitting is assessed by both
the method of moments and the maximum likelihood.
Hyfa estimates the variate value(s), the standard error
of estimate and confidence intervals corresponding
to a set of selected return periods.
Hyfa performs the goodness of fit test according to the
Chi-Square test and the Deviation method.
*****
Menu :
1.: Natural raw-original series Xi
2.: Modular series Ki = Xi/X
*****
Your choice is <1> or <2> ----> _
```

- **HYdrological Frequency Analysis (HYFA)**, es un aplicativo desarrollado inicialmente en ambiente DOS y que actualmente cuenta con plataforma *JAVA-Windows*.
- Los ajustes estadísticos que se evalúan corresponden a los métodos estadísticos de mayor aplicabilidad, como son MM (método de los Momentos, el cual puede ser directo o indirecto) y MV (método de la máxima verosimilitud).
- Los métodos de bondad de ajuste se realizan empleando el estadígrafo tipo Chi-cuadrado.
- Los datos de entrada pueden ser de alguno de los siguientes tipos: **natural** (1: provenientes de información ya complementada proveniente de alguna fuente confiable de consulta) o **modular** (2: información de fuente confiable pero con series incompletas).

Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA

Ilustración 15. Paso 2, Modelamiento Software HYFA

```
C:\Users\apardo\DOCUME~1\SOFTWARE\CANALES\HYFA\HYFA.EXE
HYFA
Press ENTER to continue
HYFA (Hydrological Frequency Analysis)
Hyfa computes parameters of
some frequency distributions as listed below.
parameter fitting is assessed by both
the method of moments and the maximum likelihood.
Hyfa estimates the variate value(s), the standard error
of estimate and confidence intervals corresponding
to a set of selected return periods.
Hyfa performs the goodness of fit test according to the
Chi-Square test and the Deviation method.
*****
Menu :
1.: Natural raw-original series Xi
2.: Modular series Ki = Xi/X
*****
Your choice is <1> or <2> ---->
1
Title of this programrun = ...
If you specify the new output-file that is the same as the existing output-file,
the new output-file will replace the old one
Name for output file = ...
ejemplo Output results will be in file ejemplo.PRT
INPUT OF THE VARIATE VALUES & FILE COMMUNICATION
are your data already on a file? n
Remember : The maximum number of x-values is 500
number of x-values = ... _
```

- El título del programa tiene formato alfanumérico que permite hasta 254 caracteres.
- El archivo de salida genera automática archivos de respaldo (*back-up*) los cuales permiten ser editados con procesadores de palabra genéricos.

Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA

Ilustración 16. Paso 3, Modelamiento Software HYFA

```

C:\Users\apardo\DOCUME~1\SOFTWARE\CANALES\HYFA\HYFA.EXE
Chi-Square test and the Deviation method
*****
* Menu :
* 1.: Natural-rav-original series Ki
*
* 2.: Modular series Ki = Xi/√
*****
Your choice is (1) or (2) ==> 1
Title of this programrun = ...
Ejemplo
If you specify the new output-file that is the same as the existing output-file,
the new output-file will replace the old one
Name for output file = ...
prueba
Output results will be in file prueba.PRT
INPUT OF THE VARIATE VALUES & FILE COMMUNICATION
are your data already on a file? n
Remember : The maximum number of x-values is 500
number of x-values =... 16
your x-values please : ...
2.45
0.45
1.94
2.87
4.63
5.12
0.34
1.34
2.01
3.05
1.15
3.04
0.23
0.92
0.09
1.69

in order to enable you to correct any value, your data
are printed below
1 = 2.450 6 = 5.120 11 = 1.150 16 = 1.690
2 = .450 7 = .340 12 = 3.040
3 = 1.940 8 = 1.340 13 = .230
4 = 2.870 9 = 2.010 14 = .920
5 = 4.630 10 = 3.050 15 = .090

do you want to correct any value? _
    
```

- Los archivos de salida generan una extensión .prt, los cuales permitirán su impresión, y que a su vez permiten su previa edición.
- Los datos de entrada son de tipo *pass-security* o centinela; de acuerdo con el tipo de respuesta que se de, el programa enrutará hacia opciones de acuerdo con las necesidades del diseño o del diseñador.
- El rango de valores será 12 (mínimo) hasta 500 (máximo); la primera opción se refiere a datos estacionales mensuales multianuales.
- Permite la edición de datos con errores. Los archivos de datos que se guardan pueden ser editados en cualquier momento y sobre éstos se realizan las evaluaciones estadísticas.

Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA

Ilustración 17. Paso 4, Modelamiento Software HYFA

```

C:\Users\apardo\DOCUME~1\SOFTWARE\CANALES\HYFA\HYFA.EXE
2.45
0.45
1.94
2.87
4.63
5.12
0.34
1.34
2.01
3.05
1.15
3.04
0.23
0.92
0.09
1.69

in order to enable you to correct any value, your data
are printed below
1 = 2.450 6 = 5.120 11 = 1.150 16 = 1.690
2 = .450 7 = .340 12 = 3.040
3 = 1.940 8 = 1.340 13 = .230
4 = 2.870 9 = 2.010 14 = .920
5 = 4.630 10 = 3.050 15 = .090

do you want to correct any value? y
value number = ?
2
new value = ?
0.73

in order to enable you to correct any value, your data
are printed below
1 = 2.450 6 = 5.120 11 = 1.150 16 = 1.690
2 = .730 7 = .340 12 = 3.040
3 = 1.940 8 = 1.340 13 = .230
4 = 2.870 9 = 2.010 14 = .920
5 = 4.630 10 = 3.050 15 = .090

do you want to correct any value? n

do you want to store your data on a file? y
the name of your file =...?modelo_
    
```

Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA

Ilustración 18. Paso 5, Modelamiento Software HYFA

```

C:\Users\apardo\DOCUME~1\SOFTWARE\CANALES\HYFA\HYFA.EXE
do you want to correct any value? n

do you want to store your data on a file? y
the name of your file =...?modelo
done copying

BASIC STATISTICS OF x and lnx

Descriptor      x-stat      lnx-stat
-----
mean =          1.9750      .2692
var =           2.2239      1.2524
st.dev =        1.4913      1.1191
cf of var =     -0.7551      4.1570
var. index =    1.3244      -2.405
biaskew =       -0.0003     -1.0067
biaskurt =      2.6478      3.2444
skew =          0.8294     -1.2273
kurt =          3.9727      4.8677

*****
*
* How do you want your data ranked ?
* Increasing order or decreasing order ?
* (1) or (2)
*
*****
Your choice is (1) or (2) ==> 1

M E N U

1 = The Normal Distribution
2 = The Two-parameter Lognormal Distribution
3 = The Three-parameter Lognormal Distribution
4 = The Two-parameter Gamma Distribution
5 = The Pearson type III Distribution
6 = The Log-pearson type III Distribution
7 = The Gumbel Distribution

Make your selection please :
How many selections do you have ?
>>advise : if you're interested in a plot
          limit your selection to 3 at the time
  
```

- La evaluación de los descriptores estadísticos se basan en los siguientes parámetros técnicos, los cuales permiten los ajustes estadísticos:
 - Media..
 - Kurtosis.
 - Varianza.
 - Desviación estándar.
 - Coeficiente de variación.
 - Bias-sesgo.
 - Bias-kurtosis.
 - Sesgo.
- Para el graficado se escoge de acuerdo con el tipo de papel que se tenga, esto es, valores de comienzo de menor a mayor o viceversa..
- El análisis de frecuencia se puede antes hacer de acuerdo con los siguientes tipos de distribuciones:
 - Normal.
 - Dos parámetros log-Normal.
 - Tres parámetros log-Normal.
 - Gamma.
 - Pearson.
 - Log-Pearson.
 - Gumbel.

Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA

Ilustración 19. Paso 6, Modelamiento Software HYFA

```

C:\Users\apardo\DOCUME~1\SOFTWARE\CANALES\HYFA\HYFA.EXE

M E N U

1 = The Normal Distribution
2 = The Two-parameter Lognormal Distribution
3 = The Three-parameter Lognormal Distribution
4 = The Two-parameter Gamma Distribution
5 = The Pearson type III Distribution
6 = The Log-pearson type III Distribution
7 = The Gumbel Distribution

Make your selection please :
How many selections do you have ?
>>advise : if you're interested in a plot
          limit your selection to 3 at the time 1
The Number(s) of your selection please :3

MENU OF PLOTTING POSITION FORMULAE

1 = The Hazen formula          pp=(n-.5)/n
2 = The Weibull-Gumbel formula pp=n/(n+1)
3 = The Elin formula          pp=(n-3.0)/(n+.25)
4 = The Tukey formula         pp=(3*n-1)/(3*n+1)
5 = The Chegodayev and Benard and Bog-Levnbach formula pp=(n-.3)/(n+.4)
6 = The G-ingorten formula   pp=(n-.44)/(n+.12)

MAKE YOUR SELECTION PLEASE :
HOW MANY SELECTIONS DO YOU HAVE ?1
THE NUMBER(S) OF YOUR SELECTION PLEASE :
<be aware that the goodness of fit test is based upon the first selected formula>2

The standard set of return periods comprises :
T=2,5,10,20,25,50 and 100 years respectively
are you interested in additional return periods ?y
How many additional return periods do you want? 3
The values of respective additional return periods=... 7 35 75
  
```

- La selección puede ser única o variada, esto es, todas las distribuciones para evaluación comparativa.
- Para el graficado se escoge de acuerdo con el tipo de papel que se tenga, esto es, valores de comienzo de menor a mayor o viceversa..
- El tipo de gráfica a realizar depende de la posición de ploteo, y para mayor claridad se tiene que:
 - Normal (en papel Normal).
 - Dos parámetros log-Normal (en papel log-Normal).
 - Tres parámetros log-Normal (en papel log-Normal).
 - Gamma (en papel log-Normal)..
 - Pearson (en papel log-Normal).
 - Log-Pearson (en papel log-Normal).
 - Gumbel . (en papel Gumbel).
- Permite la edición para más períodos de retorno (T_R) expresados en años, diferentes a los entregados por default.

Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA

Ilustración 20. Paso 7, Modelamiento Software HYFA

```
C:\Users\apardo\DOCUMENT~1\SOFTWARE\CANALES\HYFA\HYFA.EXE
The standard set of return periods comprises :
1-2,5,10,20,25,50 and 100 years respectively
are you interested in additional return periods ?y
How many additional return periods do you want? 3
The values of respective additional return periods=... 7 35 75

-----

The subroutine TVAL evaluates the students'tvalue
for a chosen significance level(one- or two tail)
and chosen degrees of freedom (minimum 2).
accuracy : .001 for sign.level > 1%
          .005 for sign.level < 1%

-----

One-tail (1) or Two-tail (2) ? 2
Level of significance alpha
expressed in % = 4

-----◇-----◇-----◇-----◇-----◇-----◇-----◇
      FREQUENCY ANALYSIS
-----◇-----◇-----◇-----◇-----◇-----◇-----◇
REMARK : if during the execution of a freq.distribution subroutine
error messages appear on the screen then
you should be aware that the output from the subsequent
subroutine contains nonsense
ADUISE : perform a new run avoiding the erroneous subroutine

Press ENTER to continue
```

- La selección de una o dos colas de estadígrafos a analizar permiten determinar los rangos de validez o el rango de validez (RV); para hacer éste proceso es necesario evaluar dos colas.
- En éste momento se tienen todos los datos y se procede con el análisis.

Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA

Ilustración 21. Paso 8, Modelamiento Software HYFA

```
C:\Users\apardo\DOCUMENT~1\SOFTWARE\CANALES\HYFA\HYFA.EXE
Press ENTER to continue

>>> THE GUMBEL TYPE I DISTRIBUTION <<<

---method of moments---
  T.Years      X      St.Error      lower      upper
      T         I
-----
 1.01010      -.422      .539      -1.684      .741
 1.02564      -.214      .486      -1.386      .878
 1.05263       .028      .439      -.959      1.015
 1.11111       .334      .387      -.536      1.204
 1.25000       .751      .335      -.082      1.503

 2.00000      1.730      .342       .961      2.500
 5.00000      3.048      .576      1.752      4.344
 7.00000      3.470      .674      1.963      4.793
10.00000      3.921      .778      2.170      5.571
20.00000      4.758      .983      2.547      6.958
25.00000      5.023      1.049      2.663      7.383
35.00000      5.421      1.159      2.836      8.096
50.00000      5.841      1.256      3.017      8.665
75.00000      6.316      1.377      3.220      9.412
100.00000     6.653      1.463      3.363      9.742

.alpha = .13039E+01
u

---maximum likelihood---
  T.Years      X      St.Error      lower      upper
      T         I
-----
 1.01010      -.422      .373      -1.261      .418
 1.02564      -.171      .344      -.943      .582
 1.05263       .065      .320      -.654      .783
 1.11111       .362      .297      -.386      1.030
 1.25000       .767      .283      -.131      1.403

 2.00000      1.720      .322       .973      2.466
 5.00000      3.001      .510      1.055      4.148
 7.00000      3.420      .579      2.117      4.722
10.00000      3.850      .654      2.379      5.321
20.00000      4.664      .800      2.864      6.463
25.00000      4.922      .848      3.016      6.828
35.00000      5.309      .919      3.242      7.376
50.00000      5.719      .995      3.479      7.956
75.00000      6.100      1.062      3.746      8.613
100.00000     6.507      1.144      3.935      9.079

.alpha = .08435E+00
u = .13052E+01
```

- Resultados: todos en función del periodo de retorno (en años), y los datos entregados son los siguientes:
 - > Período de retorno.
 - > Probabilidad de excedencia.
 - > Probabilidad de no excedencia.
 - > Valor estimado.
 - > Error estándar.
 - > Límites de confianza (el más bajo y el más alto).
- Permite la edición y cálculo de valores por diferentes métodos de ajuste.

Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA

Ilustración 22. Paso 9, Modelamiento Software HYFA

```

C:\Users\apardo\DOCUME~1\SOFTWARE\CANALES\HYFA\HYFA.EXE
 5.00000      3.001      -510      1.855      4.148
 7.00000      3.420      -579      2.117      4.722
10.00000      3.850      -654      2.379      5.321
20.00000      4.664      -800      2.864      6.463
25.00000      4.922      -848      3.016      6.828
35.00000      5.309      -919      3.242      7.376
50.00000      5.717      -995      3.479      7.956
75.00000      6.100      -1.082      3.746      8.613
100.00000     6.507      -1.144      3.935      9.079
alpha = .88435E+00
u      = .13052E+01

-----
G O O D N E S S   O F   F I T   T E S T S
-----
The Chi-square Test
~~~~~
The number of classes (min. 5)= ...5
freq= 3.200000
THE CHI-SQUARE TEST IS NOT APPLICABLE :
The number of classes is : 5
The expected absolute frequency is : 3.20

>>> THE GUMBEL TYPE I DISTRIBUTION <<<
>>> Are you interested in a graphical plot ? y
To print the results of:
erf

give the command: print rs.PRT
~~~~~
Do you want to make another selection?n
  
```

▪ Datos de salida y opciones varias.

Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA

P5. Análisis de información antecedente. Consiste en determinar los diferentes parámetros que presentan aquellas características morfométricas más relevantes en las cuencas de trabajo y en las diferentes subcuencas para las corrientes secundarias o aportantes. A continuación se enumeran las variables empleadas, las cuales fueron consultadas directamente en el IDEAM:

- Estaciones de monitoreo.
- Ubicación de las estaciones de monitoreo.
- Tipo de información de consulta (para el caso del estudio, únicamente se evaluaron datos de caudales).
- Series históricas de registro para determinar los períodos de trabajo.
- Parámetros morfométricos esenciales: diferencia de altura, área, pendiente, longitud del tramo del tránsito de la onda de crecida.
- Perfiles de secciones transversales.
- Umbrales para generación de alertas (**AMARILLA** - **NARANJA** - **ROJA**).

P6. Cálculo de variables. Emplear los modelos de simulación hidrológica con datos de entrada, los correspondientes a los caudales (m³/S)

P7. Generación de alertas. En la siguiente Tabla 3³⁶ se presenta la secuencia de trabajo relacionada con los protocolos de generación y activación de un SAT.

Tabla 2. Generación y Activación de un SAT

DESCRIPTIVO DE INFORMACIÓN BÁSICA PARA DEFINIR COMPARACIONES ENTRE PROTOCOLOS DE SIMULACIÓN HIDROLÓGICA

SECUENCIAL	DESCRIPCIÓN	ALCANCE	RESULTADOS
1	DATOS DE ENTRADA	SECUENCIA HYFA	Determinación de valores extremos, con el fin de determinar la información de entrada.
		SECUENCIA SMADA	
2	PROTOCOLO	MODELO HYFA	Proyección de caudales para metodología tipo MM(Método de los Momentos) y MV (Método de la máxima Verosimilitud).
		MODELO SMADA	Proyección de caudales para método único
3	EVALUACIÓN RESULTADOS	MODELO HYFA	Presenta resultados para límites de confianza con error del 5% (o probabilidad de acertividad o confianza del 95%.
		MODELO SMADA	Proyección de caudales para método único
4	ANÁLISIS DE RESULTADOS	MODELO HYFA	Cálculo del error relativo, tomando como caudal base (primario) el obtenido por la metodología HYFA y como caudal de comparación el caudal obtenido por la metodología SMADA.
		MODELO SMADA	

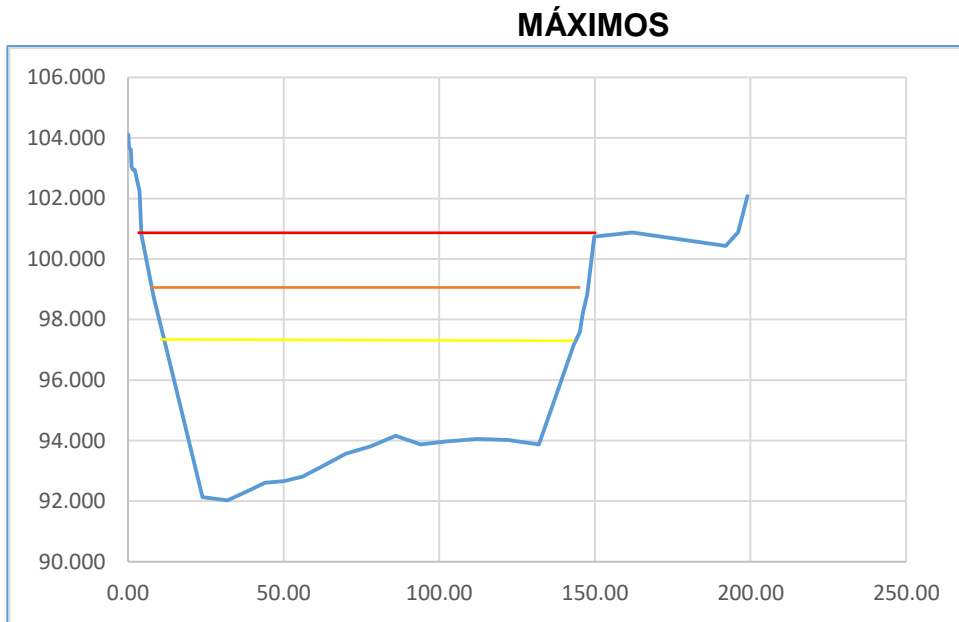
Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

La metodología seguida es la descrita a continuación:

- Graficar los perfiles suministrados.
- Referenciar: todos los perfiles se referencian indicando cotas máximas para los TR de 2, 10 y 20 años y las cotas mínimas para TR de 2, 5 y 10 años.
- Las cotas máximas se refieren a niveles de potencialidad de inundaciones.
- Las cotas mínimas se refieren a niveles que causarían desabastecimiento de agua para toma y en la restricción de navegación.

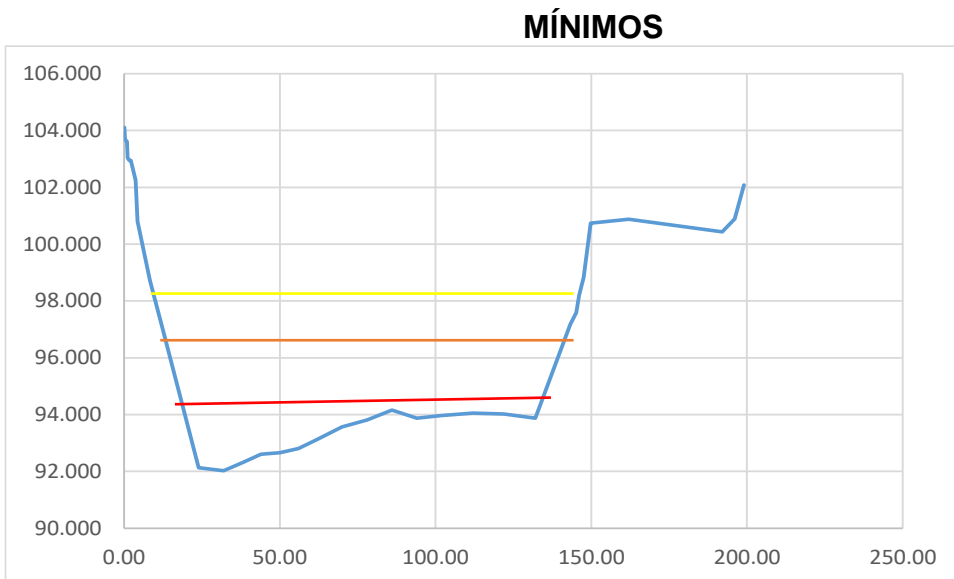
³⁶ F.A. Pardo Ojeda, Coordinador de Pronóstico y Alertas (IDEAM), Hidrólogo Principal

Ilustración 23. Ejemplo de Perfil Máximos, según datos HYFA.



Fuente: F.A. Pardo Ojeda, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM

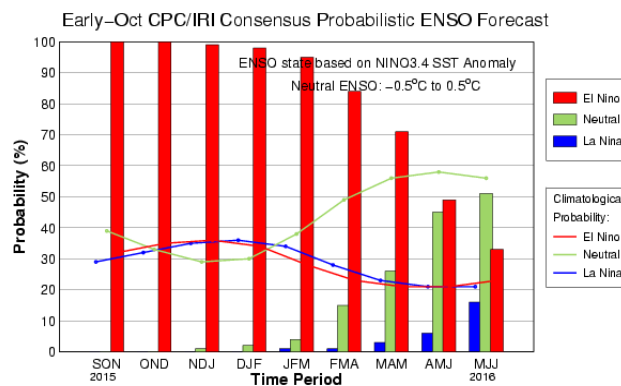
Ilustración 24. Ejemplo de Perfil Mínimos, según datos HYFA.



Fuente: F.A. Pardo Ojeda, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

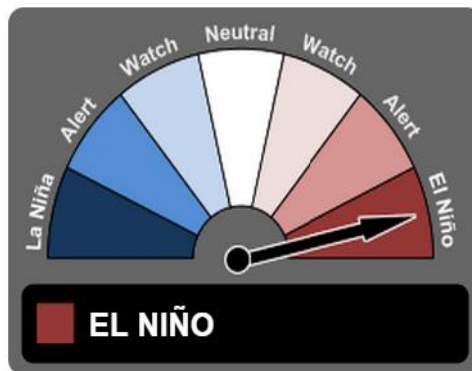
P8. Activación del SAT. Finalmente, después de verificar los datos evaluados, se procede a emitir las alertas referidas para cada sector, indicando en forma aproximada, el tiempo de llegada de la onda del tránsito de crecida (aplicable solamente para inundaciones). Ésta información es muy importante y debe ser evaluada por el grupo de expertos, quien definen las características de las posibles afectaciones que causarían efectos de las inundaciones lo mismo que las zonas más vulnerables. Si se está evaluando procesos de sequía se trabaja con información global, la cual valida los datos de acuerdo con parámetros de susceptibilidad³⁷

Ilustración 25. Pronósticos Probabilísticos.



Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Ilustración 26 Validación de Periodos de Sequía

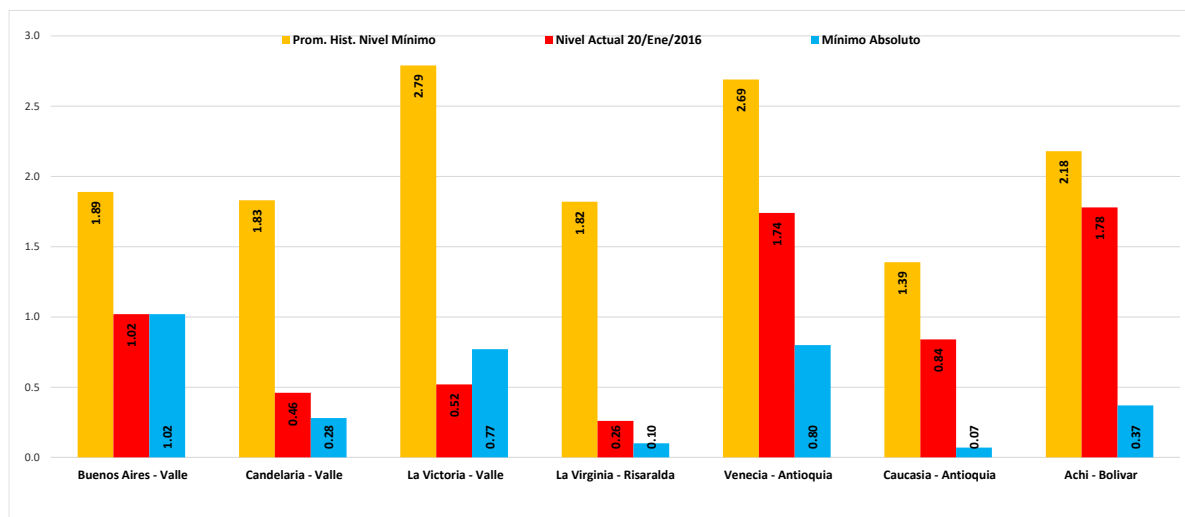


Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

³⁷ Validación de periodos de Sequía IRI 2016

CONDICIONES DE LOS NIVELES DE LOS RÍOS. Comparativo del nivel actual con promedios históricos mínimos.

Ilustración 27. Ejemplo Condiciones Niveles Ríos, IDEAM.

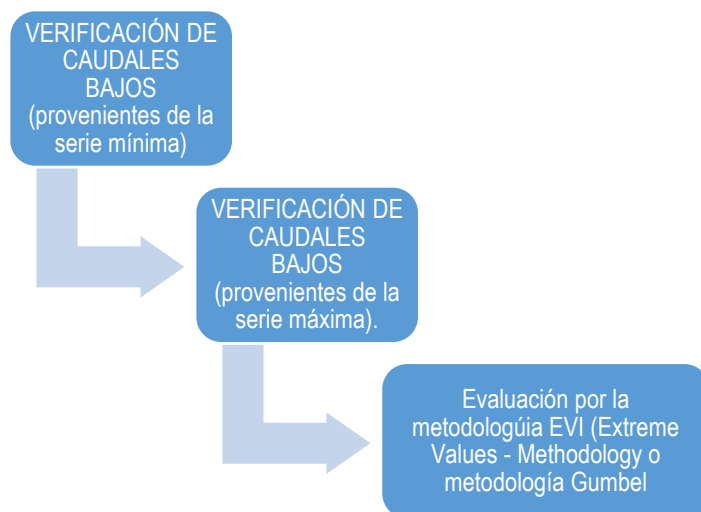


Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Con respecto a la metodología propuesta³⁸ se determinan por el método de comparación, los diferentes rangos sobre los cuales se establecen las alertas (**AMARILLA** - **NARANJA** - **ROJA**)

³⁸ F.A. Pardo Ojeda, Coordinador de Pronóstico y Alertas (IDEAM); Hidrólogo Principal.

Ilustración 28. Pasos para Evaluación Metodología EVI (Extreme Values-Methodology o Metodología Gumbel)



Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Estas alertas son las que generan la puesta en marcha de las actividades del SAT, de acuerdo con la información presentada a continuación.

Ilustración 29. Generación de Alertas, según SAT.



ALERTA ROJA. PARA TOMAR ACCIÓN Advierte al Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres sobre el peligro de un fenómeno y sus efectos adversos sobre la población. Se emite una alerta sólo cuando la identificación de un evento extraordinario indique la amenaza inminente y cuando la gravedad del fenómeno requiera atención prioritaria de los comités departamentales y locales.



ALERTA NARANJA. PARA PREPARARSE Indica la amenaza de un fenómeno. No implica riesgo inmediato por lo que es catalogado como un mensaje para informarse y prepararse. El aviso implica vigilancia continua ya que las condiciones son propicias para el desarrollo de un suceso natural.



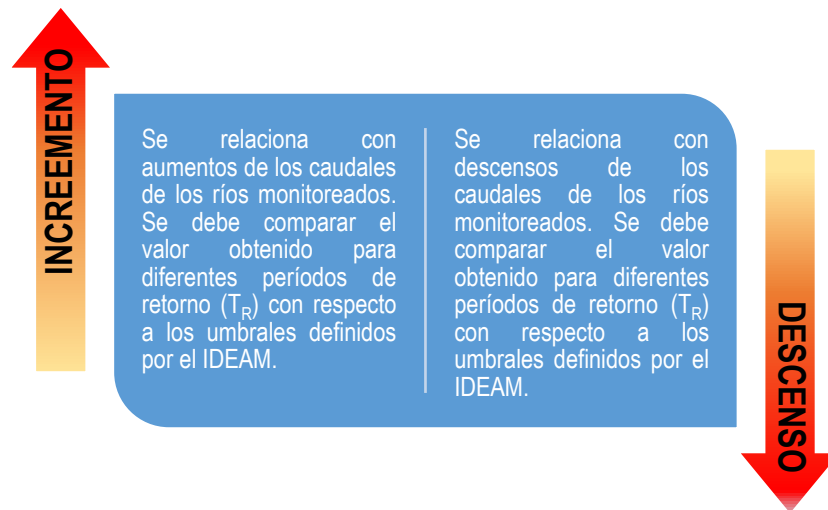
ALERTA AMARILLA. PARA INFORMARSE Se emite cuando las condiciones hidrometeorológicas son favorables para la ocurrencia de un fenómeno natural y pueden aumentar el riesgo según los pronósticos. Por sus características, este nivel está encaminado a informar.

CONDICIONES NORMALES Indica que no existe ninguna clase de alerta para la región o zona mencionada.

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM

Finalmente, habiéndose definidos los valores y su estado comparativo con los umbrales, se procede a implementarlos y actualizarlos en el SAT, bien sea que sean niveles extremos máximos (que generan inundaciones) o para niveles extremos mínimos (que generan sequías o restricción de la navegación fluvial).

Ilustración 30. Implementación SAT, según niveles de Umbrales.



Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Una vez se haya seguido el protocolo HYFA, empleado en metodologías de ajuste del IDEAM, se debe seguir con la secuencia de descripción, la cual se basa en la siguiente caracterización por variables³⁹.

- SECUENCIAL: Referido al número de orden
- DESCRIPCIÓN: Determina el proceso a seguir. Éste se basa en:
- Datos de entrada: Correspondientes al ingreso de información para cálculos de caudales proyectados.
- Protocolo: Se trabajan las condiciones por default para el caso del modelo HYFA (no se agregan más periodos de retorno) y para el caso del modelo SMADA para el caso de $TR = 20$ años se calcula el valor en función de la probabilidad de excedencia. Únicamente para el modelo HYFA es necesario realizar las gráficas ya que el formato original de ajuste no evalúa las bandas de confianza.

³⁹ F.A. Pardo Ojeda, Coordinador de Pronósticos y Alertas (IDEAM), Hidrólogo Principal.

- Evaluación de resultados: Presenta resultados para evaluar solamente para el análisis de frecuencias predeterminado, correspondiente a Gumbel Extrema Values, type I o GEV-I ((valores extremos de Gumbel).
- Análisis de resultados: Cálculo del error relativo, referido a:

ALCANCE: Relacionado con el cumplimiento de interpretación de resultados del campo DESCRIPCIÓN.

RESULTADOS. SE refiere a la determinación de los valores extremos (máximos y mínimos) de los caudales evaluados, según metodología ISO-9002⁴⁰

⁴⁰ F.A. Pardo Ojeda, Coordinador de Pronósticos y Alertas (IDEAM), Hidrólogo Principal. Modificaciones para cumplimiento del protocolo.

11. PRODUCTOS A ENTREGAR

Hojas Electrónicas.

12. INSTALACIONES Y EQUIPO REQUERIDO

Las siguientes son las facilidades que se tendrán acceso en la sede del IDEAM en Bogotá:

- Equipos de cómputo.
- Plataformas de bases de datos.
- Software especializado de Hidrología e Hidráulica.

13. PRESUPUESTO

PRESUPUESTO GLOBAL DEL ANTEPROYECTO		
	INGRESOS	EGRESOS
Ingresos		
Auxilio o patrocinio para la elaboración del trabajo.		
Recurso propio (s)		
Egresos		
Recurso Humano –Honorarios y servicios personales-		
Equipo (Se debe especificar el tipo de equipo que se va a utilizar y detallar si es en arriendo, compra...)		
Materiales (pueden enlistarse por categoría, p.e. suministros, fotografías, etc...)		\$200.000
Viajes (transporte)		\$50.000
Pruebas de laboratorio		
Imprevistos		\$100.000
Totales		\$350.000

14. ESTRATEGIAS DE COMUNICACIÓN Y DIVULGACIÓN

Se realizarán los siguientes productos de salida y presentación:

- Poster.
- Presentación en Flash de los resultados.
- Memorias en medio impreso y magnético.

15. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Según la información suministrada por el IDEAM, para cada caso en los cuales se graficaron los comportamientos históricos a nivel diario del volumen útil de los embalses (en porcentaje, %)⁴¹, ésta información es importante desde el punto de vista estadístico, ya que permite establecer comparaciones entre años secos (asociados con El Niño) y años húmedos (asociados con La Niña). A continuación se realiza el debido análisis por cada embalse trabajado, desde el año 2000 hasta el año 2015, toda vez que hasta este año hay registro histórico.

15.1. EMBALSE PEÑOL

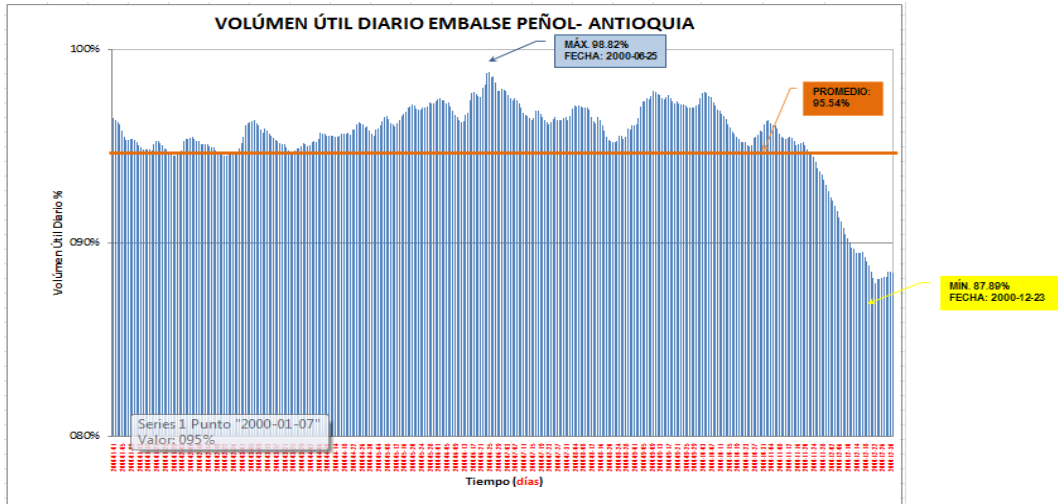
15.1.1. CÁLCULO DE VOLÚMEN ÚTIL DIARIO

Se realiza el análisis de resultados con la información suministrada, con el fin de dar un manejo hidrológico a eventuales descargas.

Según los comportamientos históricos a nivel diario del volumen útil del embalse, se realiza el cálculo de los valores máximos y mínimos (mensuales), y a su vez se calcula el promedio (mensual), lo cual arroja, según gráfica adjunta, que para los valores que se encuentren por encima de éste promedio (línea en color naranja), hay exceso de agua, es decir, se presenta Fenómeno de la Niña, y para los valores que se encuentren por debajo de éste promedio, hay déficit de agua, es decir, se presenta Fenómeno del Niño.

⁴¹ IDEAM, Hidrología, Histórico Reserva Diario.

Ilustración 31. VUD Peñol 2000.



Fuente: Autor

Tabla 3. Rangos Umbrales, Peñol 2000.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	98.82%	
Mínimo	87.89%	
Promedio	95.54%	

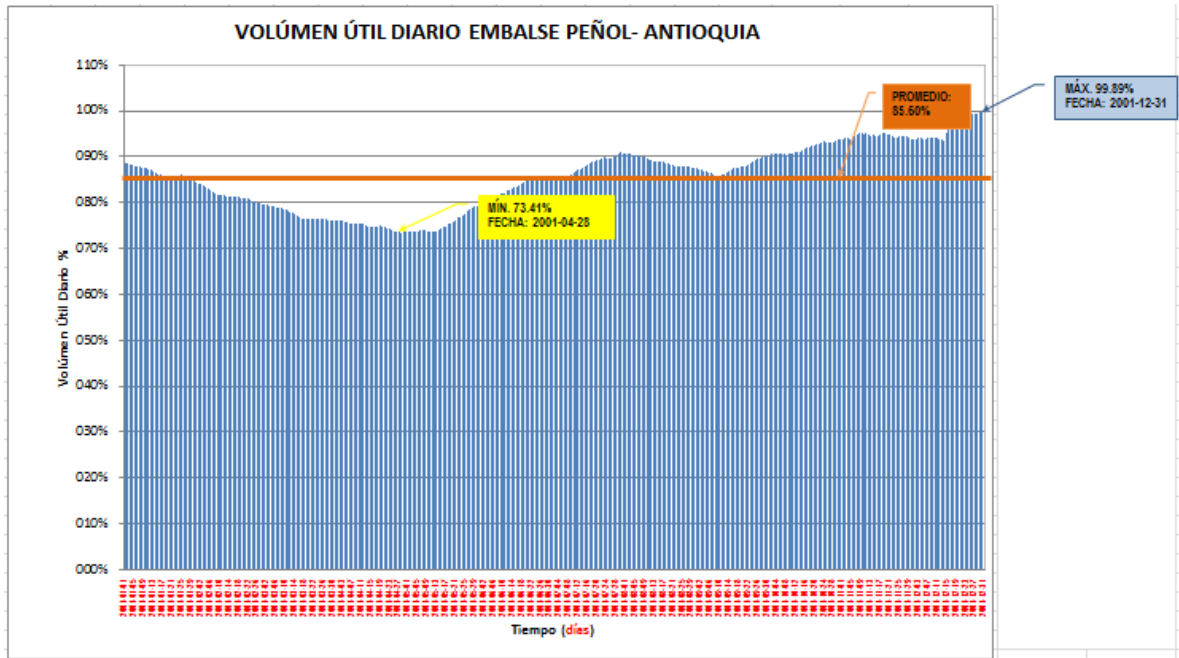
Fuente: Autor

Tabla 4. Porcentaje Umbrales, Peñol 2000.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
94.49%	94.49%	94.64%	95.01%	95.53%	96.26%	96.16%	95.22%	96.06%	95.01%	92.97%	87.89%	87.89%	96.26%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
96.47%	95.48%	96.37%	96.26%	97.31%	98.82%	97.99%	97.10%	97.88%	97.83%	96.37%	92.66%	92.66%	98.82%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
95.20%	94.95%	95.45%	95.64%	96.61%	97.47%	96.83%	96.17%	97.23%	96.26%	95.08%	89.69%	95.55%	

Fuente: Autor

Ilustración 32. VUD Peñol 2001.



Fuente: Autor

Tabla 5. Rangos Umbrales, Peñol 2001.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	99.89%	
Mínimo	73.41%	
Promedio	85.60%	

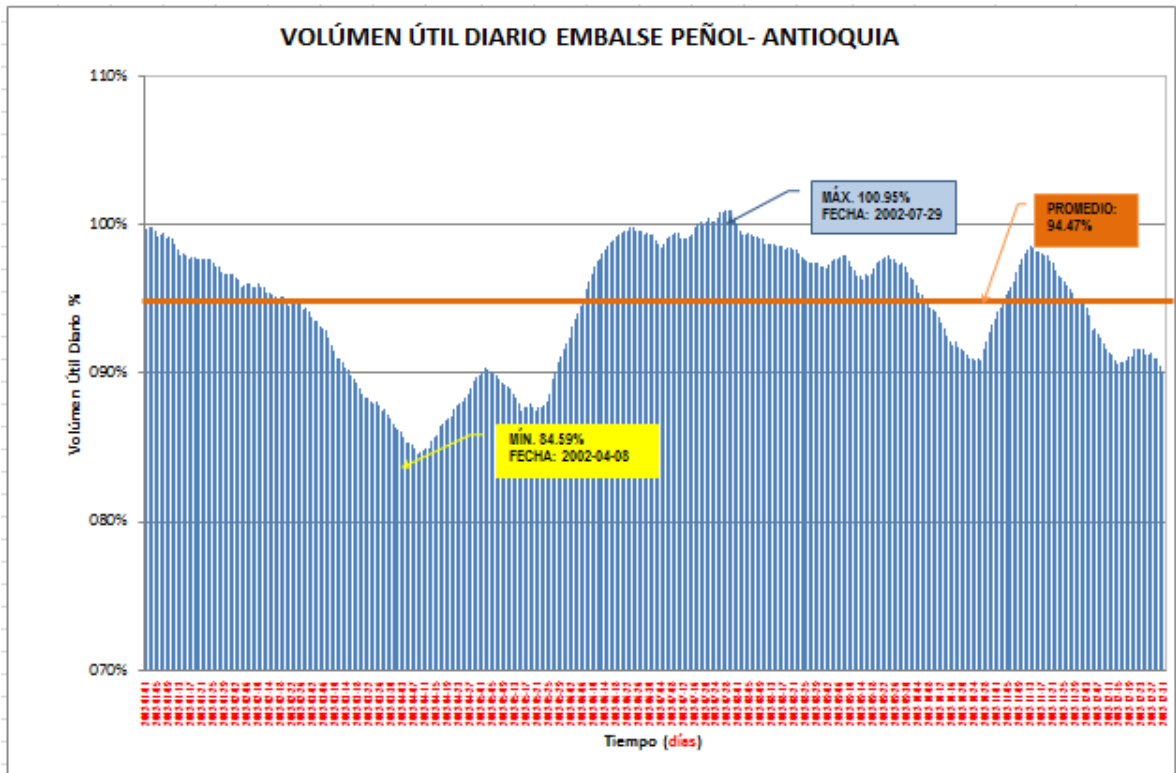
Fuente: Autor

Tabla 6. Porcentaje Umbrales, Peñol 2001.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
84.45%	79.70%	76.03%	73.41%	73.51%	79.65%	85.44%	87.47%	85.60%	90.35%	93.86%	93.28%	73.41%	93.86%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
88.42%	84.14%	79.70%	76.18%	79.49%	85.55%	90.87%	90.72%	90.19%	93.86%	95.12%	99.89%	76.18%	99.89%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
86.53%	81.59%	77.47%	74.85%	75.51%	83.17%	88.04%	88.93%	87.59%	91.84%	94.57%	96.59%	85.56%	

Fuente: Autor

Ilustración 33. VUD Peñol 2002.



Fuente: Autor

Tabla 7. Rangos Umbrales, Peñol 2002.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	100.95%	
Mínimo	84.59%	
Promedio	94.47%	

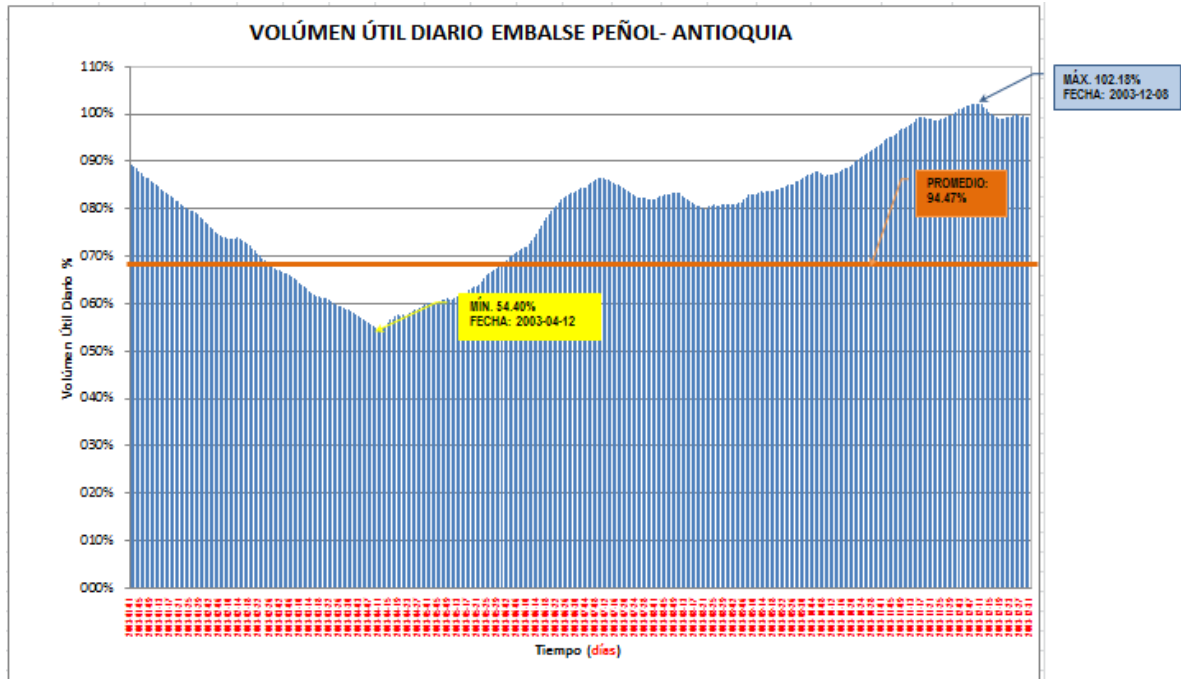
Fuente: Autor

Tabla 8. Porcentaje Umbrales, Peñol 2002.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
96.72%	94.17%	86.33%	84.59%	87.48%	92.34%	98.45%	97.11%	96.33%	90.90%	94.11%	89.90%	84.59%	98.45%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
99.78%	96.61%	93.72%	89.85%	92.01%	99.83%	100.95%	99.61%	97.95%	96.44%	98.56%	94.78%	89.85%	100.95%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
98.16%	95.35%	89.86%	86.66%	89.11%	97.66%	99.76%	98.41%	97.29%	93.06%	96.64%	91.73%	94.47%	

Fuente: Autor

Ilustración 34. VUD Peñol 2003.



Fuente: Autor

Tabla 9. Rangos Umbrales, Peñol 2003.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	102.18%	
Mínimo	54.40%	
Promedio	79.34%	

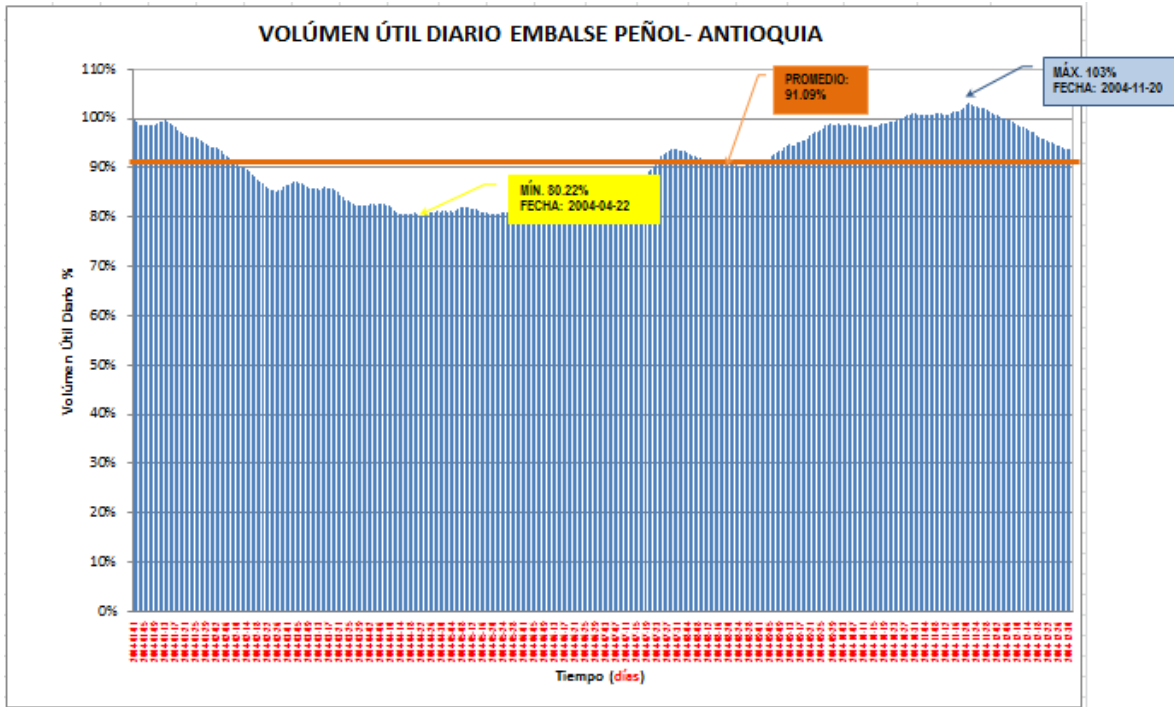
Fuente: Autor

Tabla 10. Porcentaje Umbrales, Peñol 2003.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
77.18%	67.51%	58.43%	54.40%	59.96%	68.74%	81.95%	79.94%	81.05%	86.86%	93.89%	98.89%	54.40%	98.89%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
89.43%	76.69%	67.10%	59.77%	68.43%	83.82%	86.63%	83.42%	86.63%	93.47%	100.06%	102.18%	59.77%	102.18%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
83.13%	72.46%	62.54%	56.97%	62.99%	76.34%	84.31%	81.66%	83.63%	89.13%	97.77%	100.38%	79.28%	

Fuente: Autor

Ilustración 35. VUD Peñol 2004.



Fuente: Autor

Tabla 11. Rangos Umbrales, Peñol 2004.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	103.00%	
Mínimo	80.22%	
Promedio	91.09%	

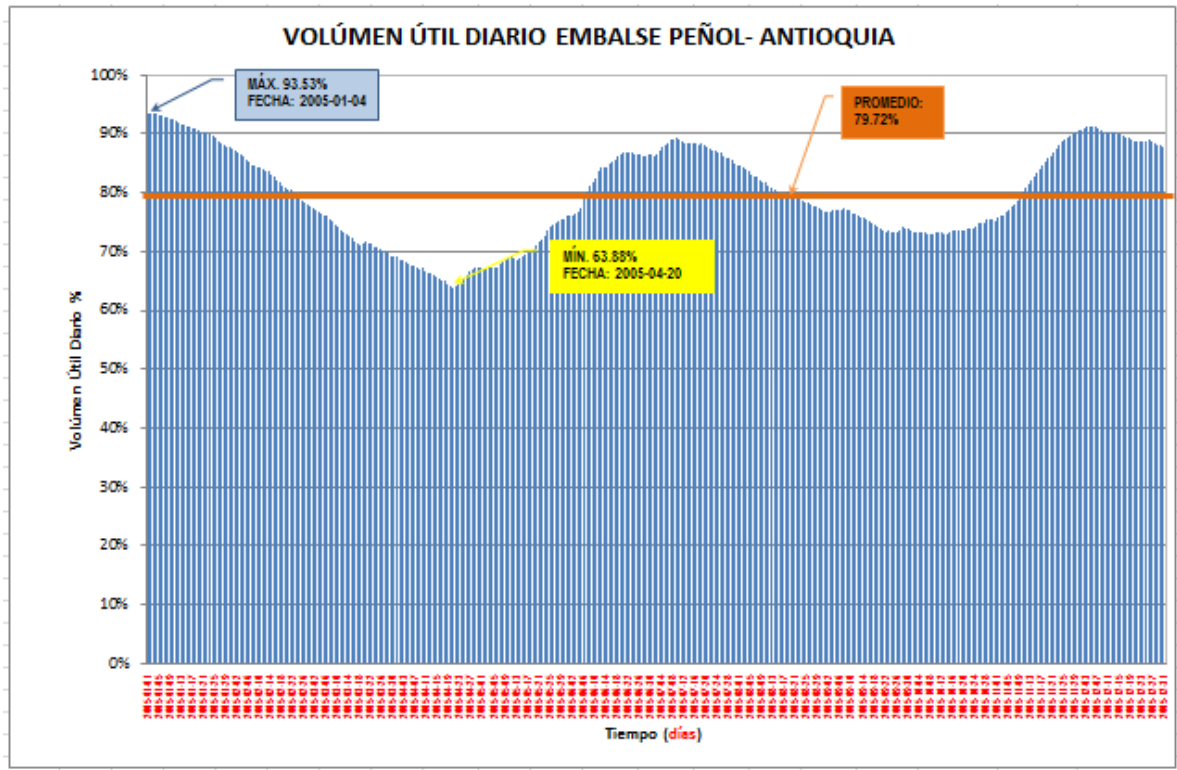
Fuente: Autor

Tabla 12. Porcentaje Umbrales, Peñol 2004.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
94.01%	85.13%	82.29%	80.22%	80.55%	83.70%	84.56%	89.90%	91.55%	98.21%	100.62%	93.59%	80.22%	100.62%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
99.63%	94.07%	87.21%	82.74%	84.05%	87.03%	93.89%	93.47%	98.89%	101.00%	103.00%	100.81%	82.74%	103.00%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
97.61%	89.13%	85.00%	81.33%	81.49%	85.44%	88.55%	91.34%	95.29%	99.17%	101.48%	97.04%	91.07%	

Fuente: Autor

Ilustración 36. VUD Peñol 2005.



Fuente: Autor

Tabla 13. Rangos Umbrales, Peñol 2005.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	93.53%	
Mínimo	63.88%	
Promedio	79.72%	

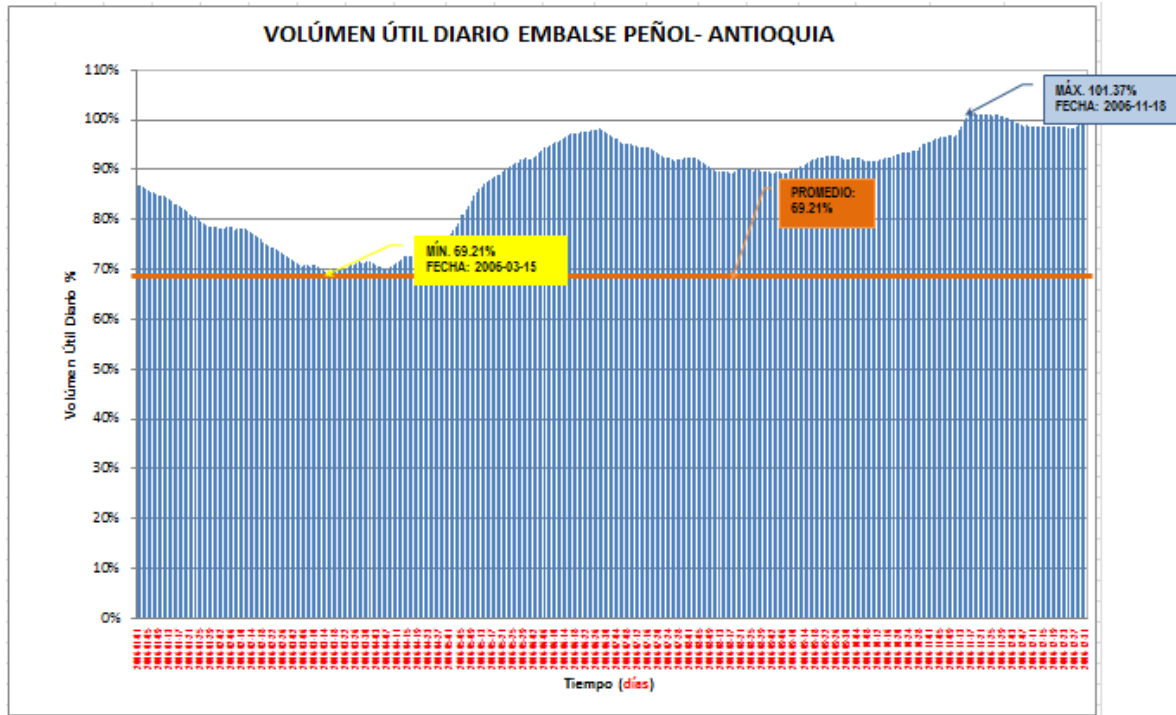
Fuente: Autor

Tabla 14. Porcentaje Umbrales, Peñol 2005.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
87.44%	77.57%	69.05%	63.88%	66.90%	76.04%	84.73%	76.86%	73.30%	72.88%	75.88%	87.32%	63.88%	87.44%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
93.53%	86.57%	76.86%	68.38%	76.20%	86.92%	89.31%	83.93%	77.18%	75.99%	90.90%	91.38%	68.38%	93.53%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
90.13%	81.32%	71.13%	66.15%	72.36%	84.91%	86.90%	79.40%	74.44%	74.14%	86.36%	89.44%	79.72%	

Fuente: Autor

Ilustración 37. VUD Peñol 2006.



Fuente: Autor

Tabla 15. Rangos Umbrales, Peñol 2006.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	101.37%	
Mínimo	69.21%	
Promedio	87.66%	

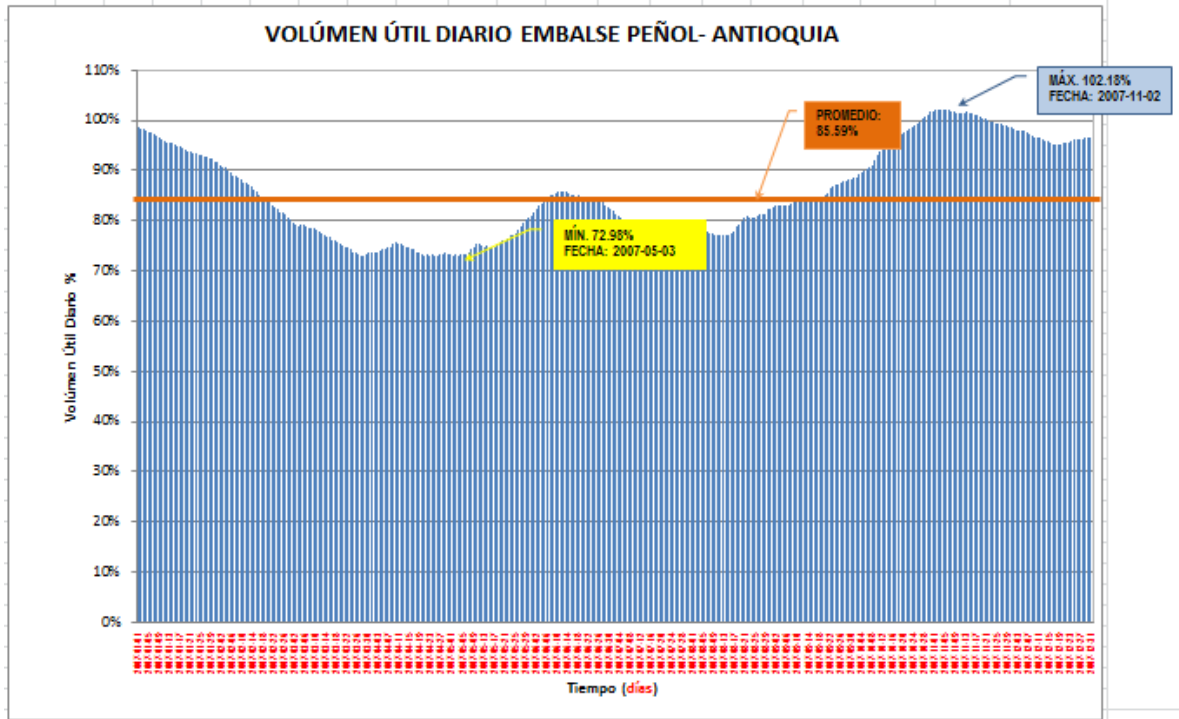
Fuente: Autor

Tabla 16. Porcentaje Umbrales, Peñol 2006.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
78.39%	72.40%	69.21%	69.73%	76.97%	92.21%	91.85%	89.25%	89.25%	91.55%	95.58%	98.27%	69.21%	98.27%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
86.98%	78.50%	71.87%	76.04%	92.45%	98.21%	97.04%	92.45%	92.81%	95.46%	101.37%	100.37%	71.87%	101.37%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
82.69%	76.26%	70.63%	72.37%	86.62%	96.16%	94.01%	90.33%	91.15%	92.89%	99.09%	98.90%	87.59%	

Fuente: Autor

Ilustración 38. VUD Peñol 2007.



Fuente: Autor

Tabla 17. Rangos Umbrales, Peñol 2007.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	102.18%	
Mínimo	72.98%	
Promedio	85.59%	

Fuente: Autor

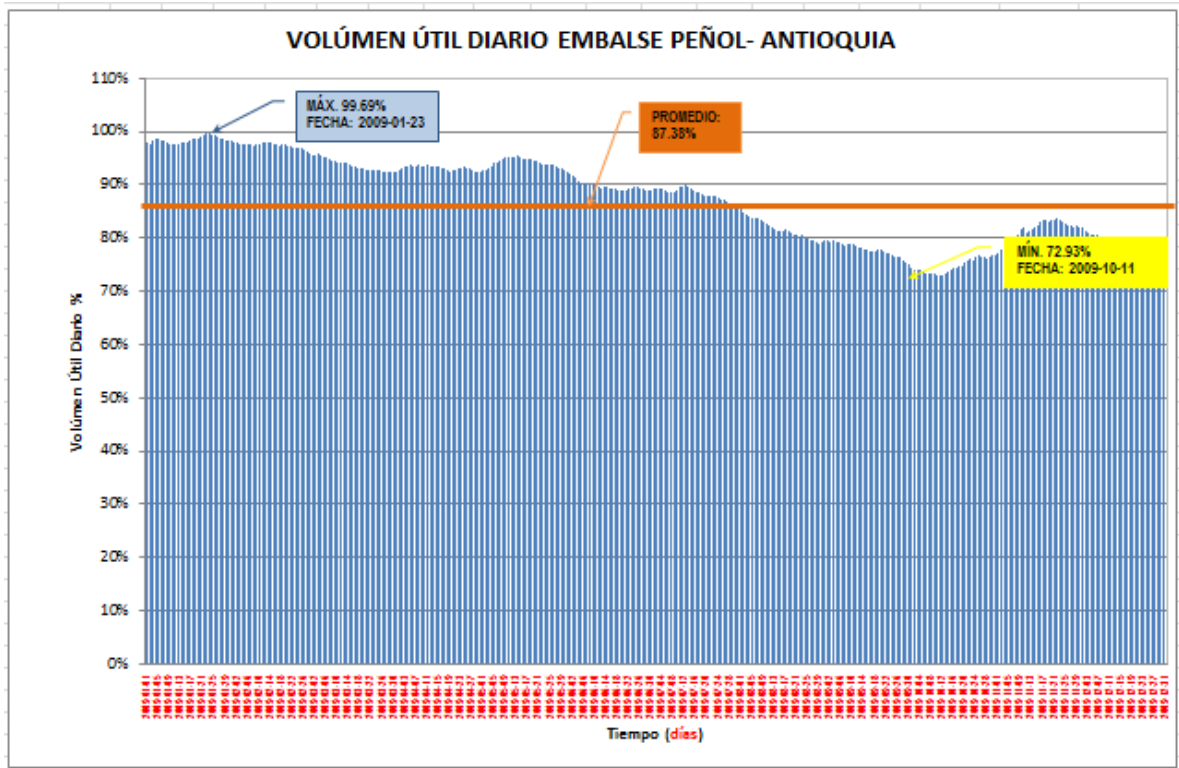
Tabla 18. Porcentaje Umbrales, Peñol 2007.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
91.55%	80.16%	73.04%	73.04%	72.98%	81.50%	77.84%	77.07%	83.02%	88.43%	98.52%	95.15%	72.98%	98.52%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
98.64%	91.08%	79.61%	75.61%	80.83%	85.88%	81.84%	82.85%	88.20%	101.87%	102.18%	98.21%	75.61%	102.18%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
95.01%	85.78%	76.28%	74.05%	75.84%	84.40%	78.90%	79.19%	85.00%	95.49%	100.76%	96.44%	85.60%	

Fuente: Autor

Ilustración 39. VUD Peñol 2008.

Ilustración 40. VUD Peñol 2009.



Fuente: Autor

Tabla 21. Rangos Umbrales, Peñol 2009.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	99.69%	
Mínimo	72.93%	
Promedio	87.38%	

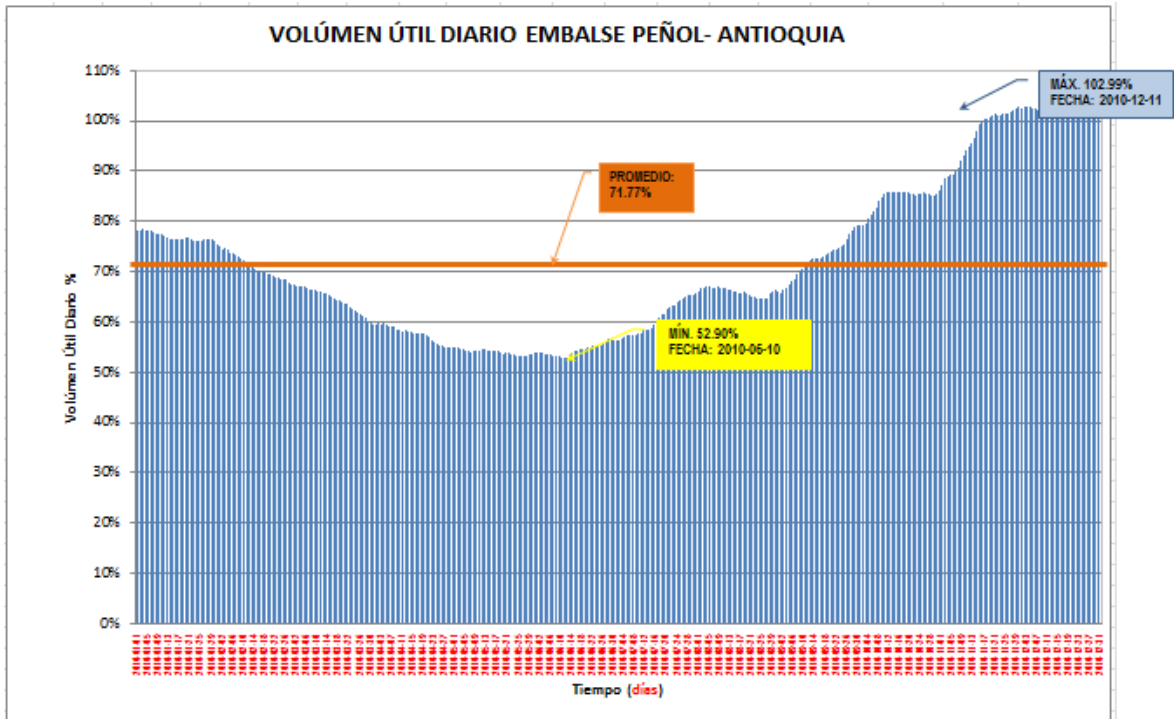
Fuente: Autor

Tabla 22. Porcentaje Umbrales, Peñol 2009.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
97.59%	96.00%	92.33%	92.33%	92.33%	88.78%	85.48%	78.94%	75.01%	72.93%	77.24%	77.39%	72.93%	97.59%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
99.69%	98.08%	95.82%	93.77%	95.58%	92.09%	89.96%	85.36%	79.55%	76.86%	83.64%	81.93%	76.86%	99.69%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
98.47%	97.39%	93.69%	93.15%	94.10%	89.72%	88.21%	81.67%	77.80%	74.74%	81.45%	78.92%	87.44%	

Fuente: Autor

Ilustración 41. VUD Peñol 2010.



Fuente: Autor

Tabla 23. Rangos Umbrales, Peñol 2010.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	102.99%	
Mínimo	52.90%	
Promedio	71.77%	

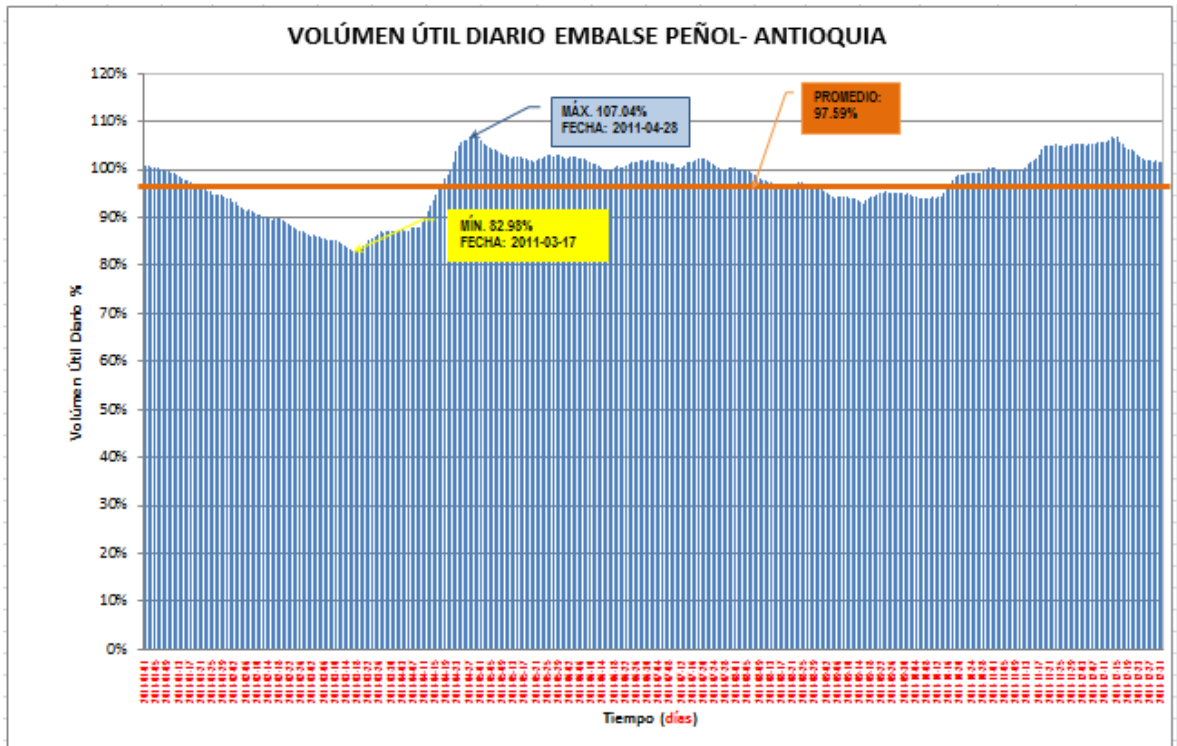
Fuente: Autor

Tabla 24. Porcentaje Umbrales, Peñol 2010.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
75.38%	67.45%	59.59%	54.91%	53.03%	52.90%	56.26%	64.60%	65.83%	79.15%	87.29%	101.31%	52.90%	101.31%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
78.41%	75.11%	67.35%	59.78%	54.90%	56.52%	65.68%	66.98%	79.15%	86.32%	102.69%	102.99%	54.90%	102.99%
PROMEDIOS MENSUALES													
76.92%	71.04%	64.29%	57.53%	53.99%	54.38%	60.62%	65.96%	72.53%	84.42%	96.87%	102.40%	PROMEDIO	
												71.75%	

Fuente: Autor

Ilustración 42. VUD Peñol 2011.



Fuente: Autor

Tabla 25. Porcentaje Umbrales, Peñol 2011.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	107.04%	
Mínimo	82.98%	
Promedio	97.59%	

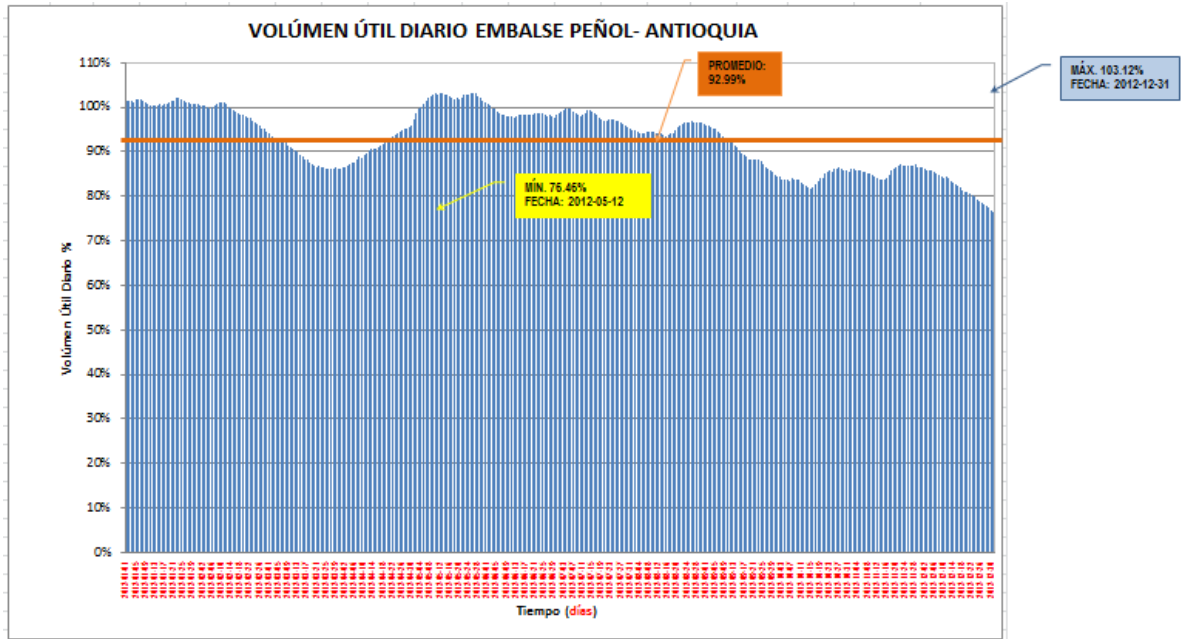
Fuente: Autor

Tabla 26. Porcentaje Umbrales, Peñol 2011.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
93.85%	86.26%	82.98%	87.24%	101.57%	99.57%	99.64%	95.81%	92.94%	93.81%	99.50%	101.38%	82.98%	101.57%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
100.80%	93.41%	87.29%	107.04%	106.06%	102.69%	102.48%	100.23%	95.54%	100.51%	105.22%	106.75%	87.29%	107.04%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
97.57%	89.89%	85.37%	96.19%	103.11%	101.33%	101.15%	97.71%	94.50%	96.84%	102.48%	104.36%	97.54%	

Fuente: Autor

Ilustración 43. VUD Peñol 2012.



Fuente: Autor

Tabla 27. Porcentaje Umbrales, Peñol 2012.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	103.12%	
Mínimo	76.46%	
Promedio	92.99%	

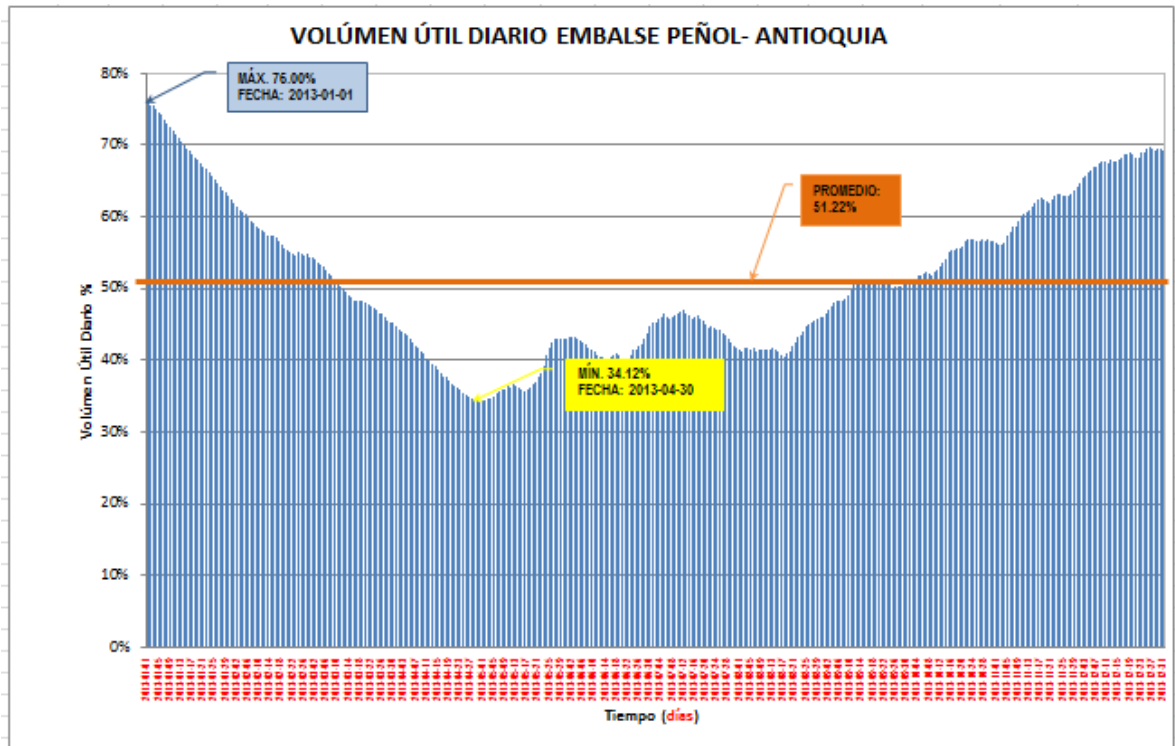
Fuente: Autor

Tabla 28. Porcentaje Umbrales, Peñol 2012.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
100.31%	94.61%	85.99%	86.43%	97.14%	97.46%	95.22%	93.54%	84.91%	81.68%	83.62%	76.46%	76.46%	100.31%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
102.09%	101.15%	94.07%	95.81%	103.12%	100.65%	99.72%	96.83%	96.02%	86.43%	87.05%	86.43%	86.43%	103.12%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
101.12%	98.72%	89.13%	91.14%	101.91%	98.54%	97.89%	95.07%	90.50%	84.23%	85.68%	82.07%	93.00%	

Fuente: Autor

Ilustración 44. VUD Peñol 2013.



Fuente: Autor

Tabla 29. Porcentaje Umbrales, Peñol 2013.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	76.00%	
Mínimo	34.12%	
Promedio	51.22%	

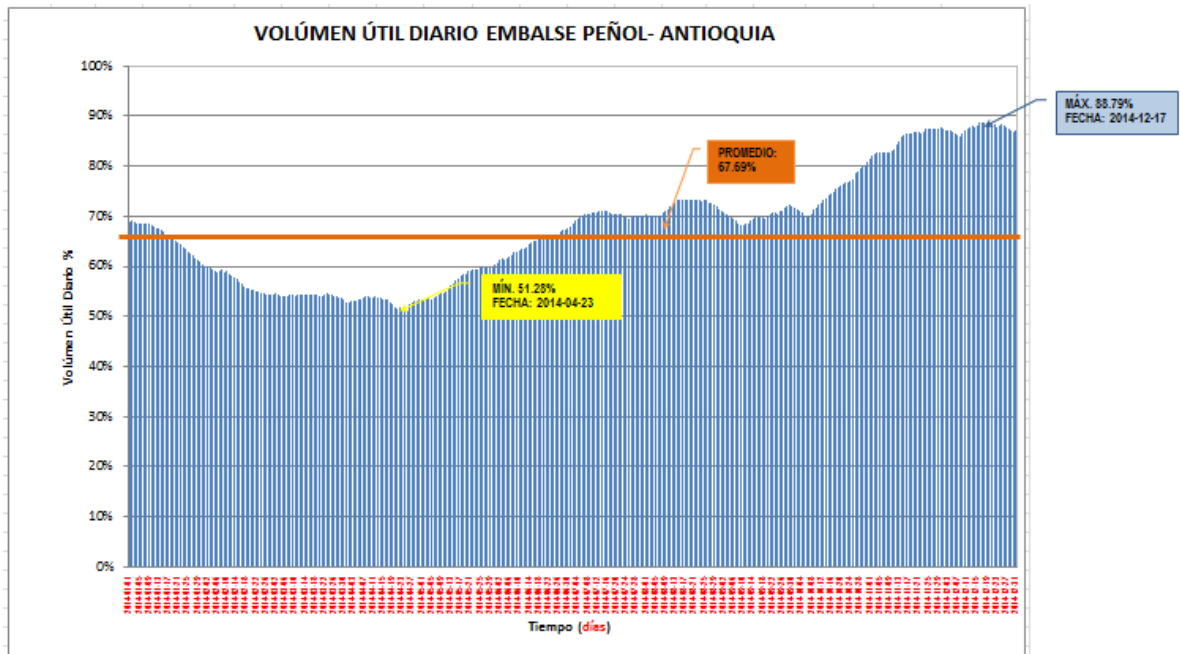
Fuente: Autor

Tabla 30. Porcentaje Umbrales, Peñol 2013.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
62.44%	54.44%	44.84%	34.12%	34.37%	40.03%	41.59%	40.51%	46.47%	50.90%	56.04%	64.64%	34.12%	64.64%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
76.00%	61.95%	54.37%	44.35%	43.06%	44.72%	46.89%	46.03%	51.24%	56.92%	64.20%	69.79%	43.06%	76.00%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
69.28%	57.44%	49.20%	38.75%	37.73%	41.64%	45.10%	42.57%	49.85%	54.41%	60.82%	68.00%	51.23%	

Fuente: Autor

Ilustración 45. VUD Peñol 2014.



Fuente: Autor

Tabla 31. Porcentaje Umbrales, Peñol 2014.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	88.79%	
Mínimo	51.28%	
Promedio	67.69%	

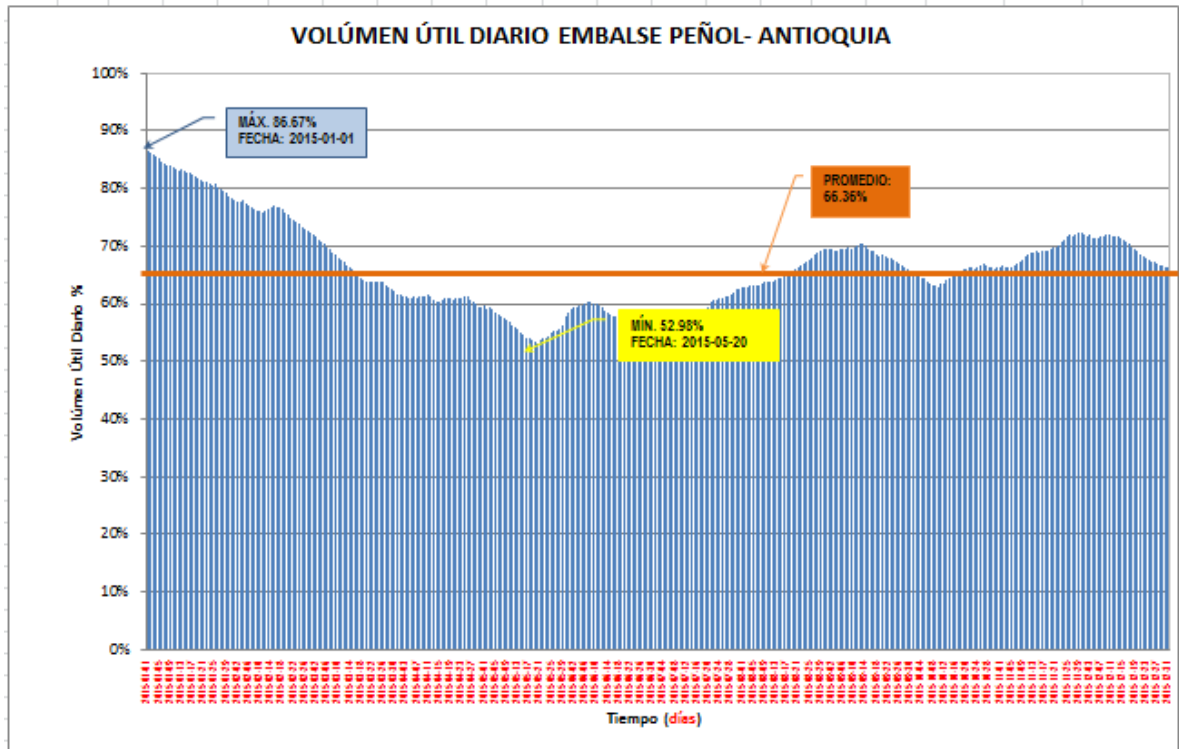
Fuente: Autor

Tabla 32. Porcentaje Umbrales, Peñol 2014.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
60.47%	54.23%	52.76%	51.28%	53.25%	60.78%	68.04%	70.10%	68.24%	69.90%	81.57%	85.94%	51.28%	85.94%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
69.07%	60.17%	54.68%	53.94%	60.37%	67.64%	71.21%	73.43%	72.21%	80.99%	87.67%	88.79%	53.94%	88.79%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
65.81%	57.10%	54.18%	52.94%	57.01%	64.38%	70.23%	72.11%	70.12%	74.63%	85.22%	87.60%	67.61%	

Fuente: Autor

Ilustración 46. VUD Peñol 2015.



Fuente: Autor

Tabla 33. Porcentaje Umbrales, Peñol 2015.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	86.67%	
Mínimo	52.98%	
Promedio	66.36%	

Fuente: Autor

Tabla 34. Porcentaje Umbrales, Peñol 2015.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
78.46%	72.37%	61.72%	59.47%	52.98%	57.11%	56.52%	62.72%	65.79%	62.72%	66.18%	66.41%	52.98%	78.46%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
86.67%	78.13%	72.06%	61.52%	59.64%	60.41%	62.58%	69.57%	70.38%	66.85%	72.24%	72.05%	59.64%	86.67%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
82.50%	75.88%	66.20%	60.84%	56.06%	58.55%	58.71%	65.45%	68.65%	65.15%	69.09%	69.84%	66.41%	

Fuente: Autor

15.1.2. EVALUACIÓN DE EVENTOS EXTREMOS O DE MÁXIMOS Y MÍNIMOS.

Para la evaluación de eventos extremos o de máximos y mínimos, los cuales fueron calculados a través de la información suministrada de las estaciones por el IDEAM a cerca del caudal (m³/s), de igual forma los años que no contaban con información, no se tenían en cuenta para el cálculo de los máximos y mínimos; estos valores fueron evaluados en el software HYFA que están en función de un periodo de retorno. Documento que puede ser verificado según anexo "GGM y GGMV". Todo esto con el fin de adelantar estudios, teniendo en cuenta periodos de diseño de una obra civil que involucre estructuras hidráulicas.

Tabla 35 DATOS MEDIO MENSUAL MULTIANUAL (m³/s) ESTACIÓN PEÑOL.

ESTACIÓN-PEÑOL- DATOS MEDIO MENSUAL MULTIANUAL, (m ³ /s)													
AÑO	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
1997	311.304	266.016	236.13	234.804	255.918	237.558	217.872	227.97	232.152	239.088	372.606	273.564	258.7485
1998	220.626	196.146	188.19	236.334	417.69	431.154	407.592	354.654	317.832	296.718	278.868	221.442	297.2705
1999	142.8	299.676	391.68	247.962	235.824	368.832	572.73	360.366	308.652	345.882	396.474	253.674	327.046
2000	209.202	159.528	208.08	182.886	245.106	262.242	284.172	259.59	240.21	234.804	231.846	237.354	229.585
2001	181.866	175.44	151.47	133.314	138.72	145.044	257.346	259.59	181.866	247.962	362.202	396.474	219.2745
2002	220.932	172.482	605.472	468.996	424.83	381.888	406.47	371.382	224.502	249.594	412.59	419.424	363.2135
2003	305.694	301.206	254.184	211.14	279.582	330.378	366.792	363.936	299.574	263.262	295.188	417.384	307.36
2004	271.83	132.294	153.714	159.834	153.816	187.986	286.518	345.984	206.448	127.602	163.2	109.038	191.522
2005	77.112	131.784	141.882	171.564	164.016	195.432	337.416	298.146	159.426	137.394	151.062	214.404	181.6365
2006	111.078	147.696	134.334	152.388	165.342	233.682	265.302	233.376	186.966	150.144	199.104	158.814	178.1855
2007	157.08	124.032	135.15	123.93	181.05	164.73	398.31	260.508	198.696	181.56	168.096	163.098	188.02
2008	119.75	114.75	135.56		176.36	146.98	187.88	144.23	145.45	160.45	127.19	159.94	
2009	264.38	174.32	317.73	185.03	193.39	210.63	342.01	257.14	165.85	215.53	159.63	179.01	222.05
2010								151.98	127.60	126.48	176.66	146.57	
2011	229.19	181.87	206.45					216.34	182.07	166.46	345.98	352.00	
2012	147.80	235.21	232.56	282.85	294.58	342.62	282.64	302.02	292.03	356.18	317.02	341.29	285.57
2013	330.79	284.89	593.74	370.67	316.81	247.55	242.96	200.94	192.78	171.16	310.90	279.89	295.26
2014	217.26	213.49	256.12	215.53	142.90	162.18	178.60	188.80	158.00	157.39	298.55	120.97	192.48

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Tabla 36 ESTACIÓN PEÑOL, RESULTADOS MÁXIMOS, MEDIOS Y MÍNIMO (ANUALES), SEGÚN Q (m³/s)

MEDIO	211.317	200.947	266.696	225.148	240.638	260.127	323.116	285.627	224.332	224.951	274.489	252.389	249.148
MAXIMO	330.786	301.206	605.472	468.996	424.830	431.154	572.730	371.382	317.832	356.184	412.590	419.424	605.472
MINIMO	77.112	124.032	134.334	123.930	138.720	145.044	178.602	188.802	157.998	127.602	151.062	109.038	77.112

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Con la información de los máximos caudales anuales (m^3/s), (1997-2014), por medio del Software HYFA, se generan las Distribuciones Gumbel: Métodos de los Momentos y Método de Máxima Verosimilitud, con su respectiva gráfica de Distribución Gumbel.

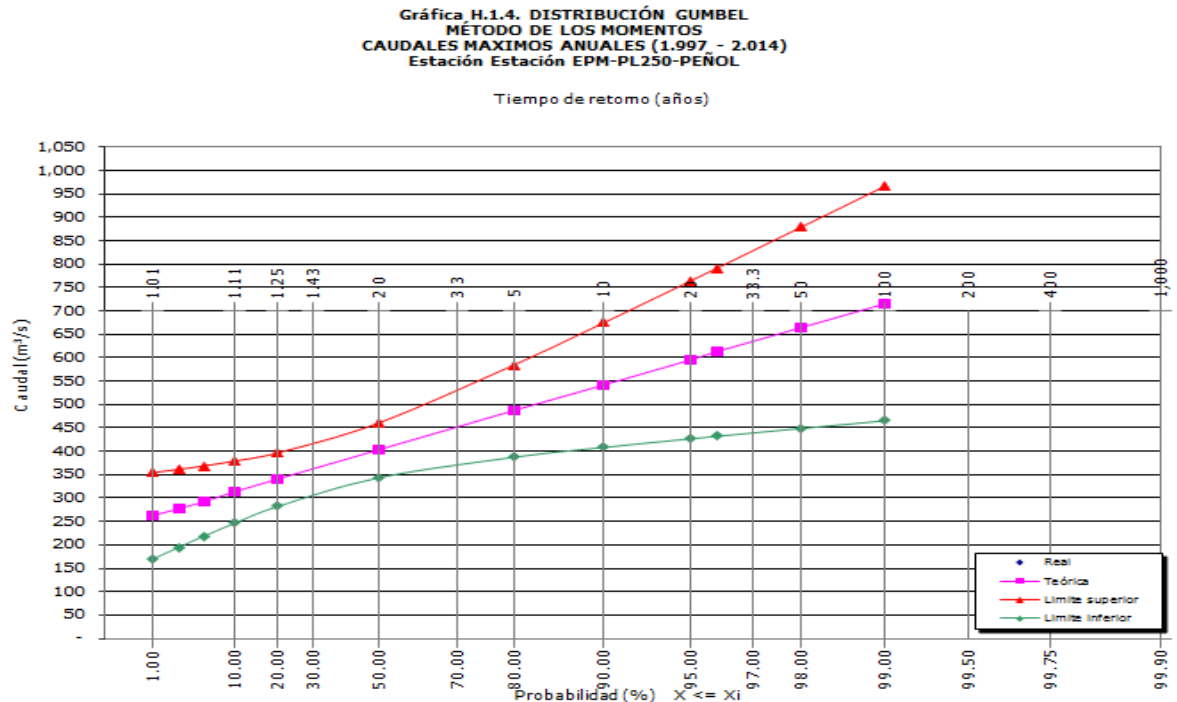
Tabla 37. Distribución Gumbel, Método de los Momentos, Peñol.

Tabla H.1.5. DISTRIBUCIÓN GUMBEL. MÉTODO DE LOS MOMENTOS

Período de retorno T = 1/p (años)	Probabilidad X >= Xi	Probabilidad X <= Xi	Variable reducida Y	Valor estimado Xi (m^3/s)	Error estándar S (m^3/s)	Límites de confidencia	
	p (%)	1 - p (%)				Inferior Xi - tS	Superior Xi + tS
1.01	99.0	1.0	-1.527	261.89	39.65	169.59	354.20
1.03	97.5	2.5	-1.305	278.32	35.72	195.17	361.47
1.05	95.0	5.0	-1.097	293.73	32.29	218.56	368.91
1.11	90.0	10.0	-0.834	313.22	28.46	246.95	379.49
1.25	80.0	20.0	-0.476	339.74	24.61	282.44	397.04
2	50.0	50.0	0.367	402.12	25.16	343.53	460.70
5	20.0	80.0	1.500	486.05	42.38	387.39	584.71
10	10.0	90.0	2.250	541.61	57.24	408.36	674.87
20	5.0	95.0	2.970	594.92	72.31	426.58	763.25
25	4.0	96.0	3.199	611.82	77.18	432.15	791.50
50	2.0	98.0	3.902	663.91	92.35	448.91	878.91
100	1.0	99.0	4.600	715.61	107.58	465.16	966.07

Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

Ilustración 47. Método de los Momentos, Caudales Máximos, Peñol.



Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

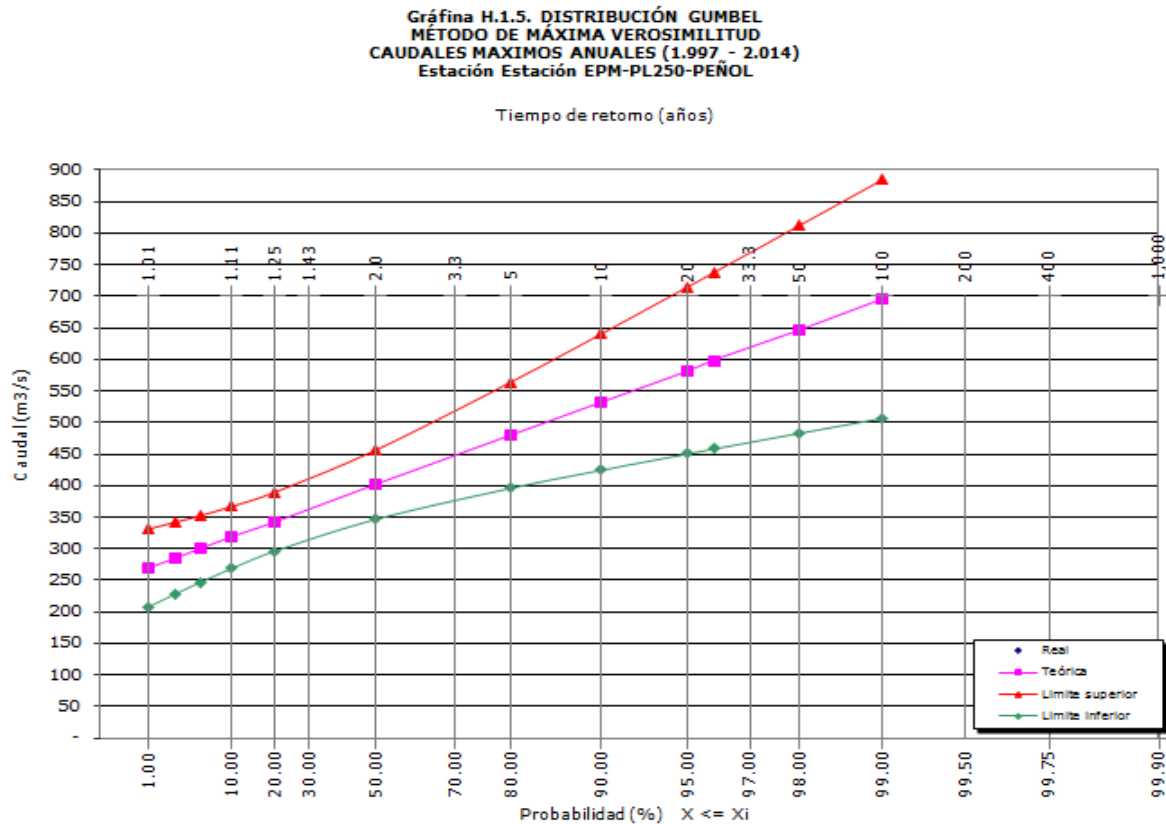
Tabla 38. Distribución Gumbel, Método Máxima Verosimilitud, Peñol.

Tabla H.1.6. DISTRIBUCIÓN GUMBEL. MÉTODO DE MÁXIMA VEROSIMILITUD

Período de retorno T = 1/p (años)	Probabilidad X >= Xi p (%)	Probabilidad X <= Xi 1 - p (%)	Variable reducida Y	Valor estimado Xi (m³/s)	Error estándar S (m³/s)	Límites de confidencia	
						Inferior Xi - tS	Superior Xi + tS
1.01	99.0	1.0	-1.527	269.91	26.51	208.19	331.63
1.03	97.5	2.5	-1.305	285.33	24.38	228.57	342.09
1.05	95.0	5.0	-1.097	299.80	22.69	246.98	352.62
1.11	90.0	10.0	-0.834	318.09	21.08	269.01	367.17
1.25	80.0	20.0	-0.476	342.98	20.09	296.22	389.74
2	50.0	50.0	0.367	401.53	23.56	346.68	456.39
5	20.0	80.0	1.500	480.31	36.18	396.08	564.54
10	10.0	90.0	2.250	532.47	46.42	424.39	640.55
20	5.0	95.0	2.970	582.50	56.80	450.26	714.74
25	4.0	96.0	3.199	598.37	60.16	458.31	738.43
50	2.0	98.0	3.902	647.26	70.65	482.79	811.73
100	1.0	99.0	4.600	695.79	81.19	506.76	884.82

Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

Ilustración 48. Método Máxima Verosimilitud, Caudales Máximos, Peñol.



Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

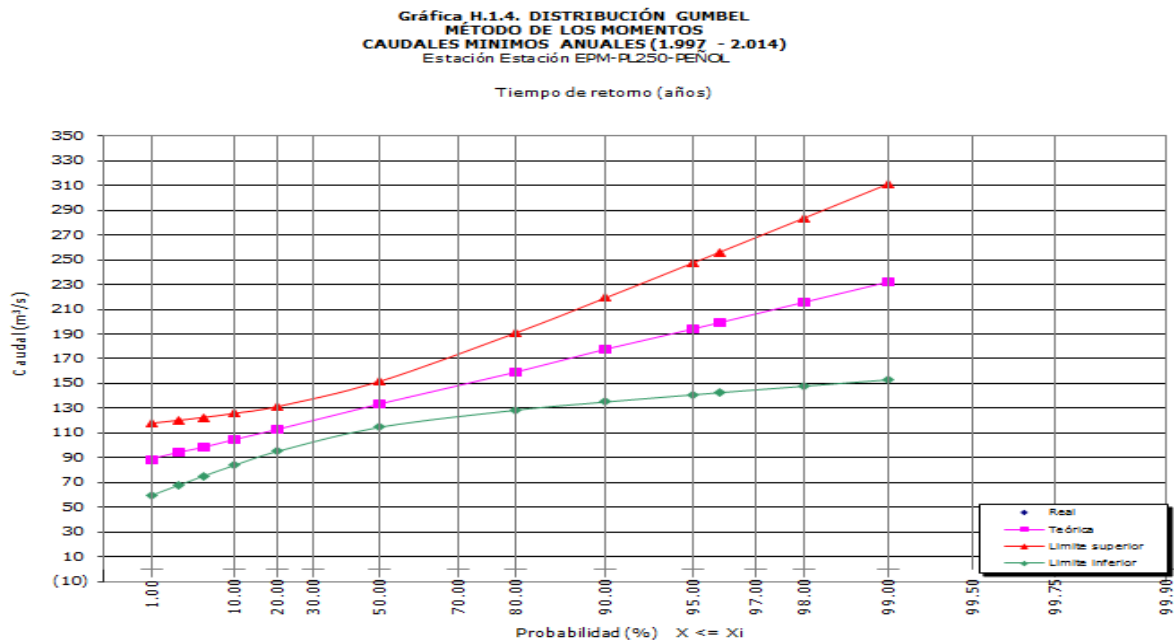
Con la información de los mínimos caudales anuales (m^3/s), (1997-2014), por medio del Software HYFA, se generan las Distribuciones Gumbel: Métodos de los Momentos y Método de Máxima Verosimilitud, con su respectiva gráfica de Distribución Gumbel.

Tabla 39. Distribución Gumbel, Método de los Momentos, Peñol.

Tabla H.1.5. DISTRIBUCIÓN GUMBEL. MÉTODO DE LOS MOMENTOS							
Período de retorno $T = 1/p$ (años)	Probabilidad $X \geq X_i$ p (%)	Probabilidad $X \leq X_i$ $1 - p$ (%)	Variable reducida Y	Valor estimado X_i (m^3/s)	Error estándar S (m^3/s)	Límites de confianza	
						Inferior $X_i - tS$	Superior $X_i + tS$
1.01	99.0	1.0	-1.527	88.77	12.53	59.60	117.95
1.03	97.5	2.5	-1.305	93.97	11.29	67.68	120.25
1.05	95.0	5.0	-1.097	98.84	10.21	75.08	122.60
1.11	90.0	10.0	-0.834	105.00	9.00	84.05	125.94
1.25	80.0	20.0	-0.476	113.38	7.78	95.27	131.49
2	50.0	50.0	0.367	133.09	7.95	114.58	151.61
5	20.0	80.0	1.500	159.62	13.39	128.44	190.80
10	10.0	90.0	2.250	177.18	18.09	135.06	219.30
20	5.0	95.0	2.970	194.03	22.85	140.82	247.23
25	4.0	96.0	3.199	199.37	24.39	142.58	256.16
50	2.0	98.0	3.902	215.83	29.19	147.88	283.79
100	1.0	99.0	4.600	232.17	34.00	153.02	311.33

Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

Ilustración 49. Método de los Momentos, Caudales Mínimos, Peñol.



Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

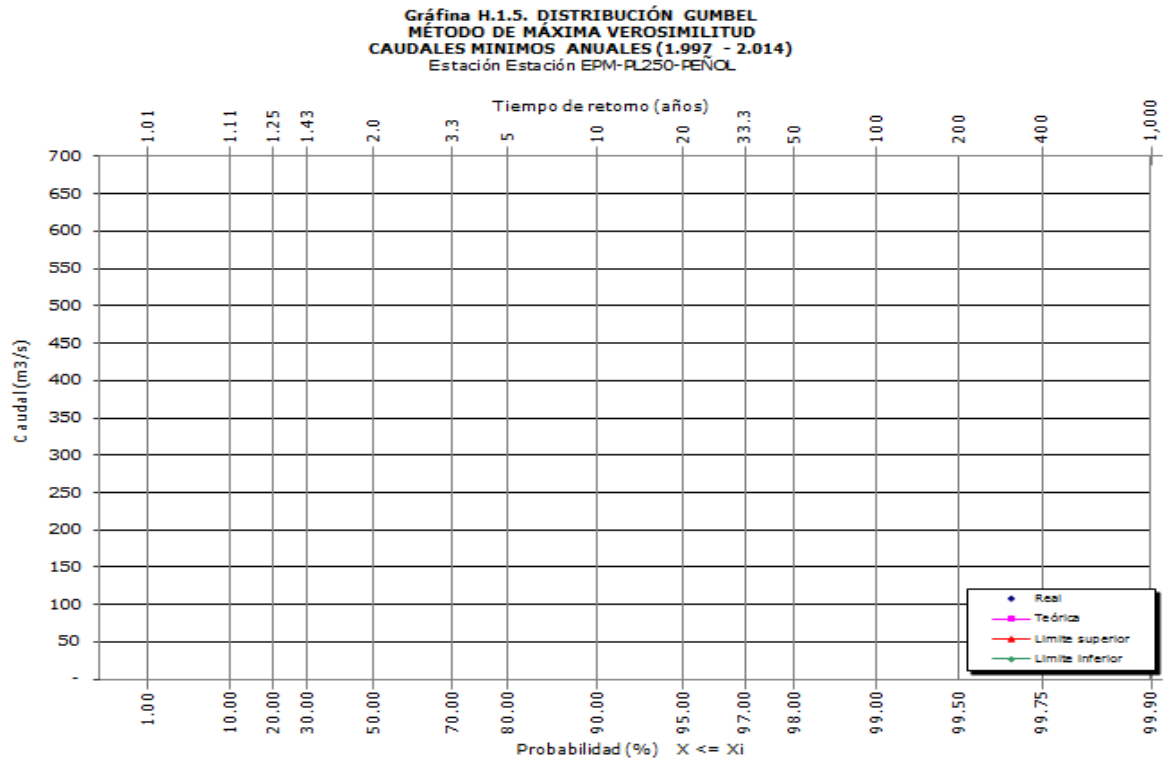
Tabla 40. Distribución Gumbel, Método Máxima Verosimilitud, Peñol.

Tabla H.1.6. DISTRIBUCIÓN GUMBEL. MÉTODO DE MÁXIMA VEROSIMILITUD

Período de retorno T = 1/p (años)	Probabilidad X >= Xi p (%)	Probabilidad X <= Xi 1 - p (%)	Variable reducida Y	Valor estimado Xi (m ³ /s)	Error estándar S (m ³ /s)	Límites de confidencia	
						Inferior Xi - tS	Superior Xi + tS
1.01	99.0	1.0	-1.527				
1.03	97.5	2.5	-1.305				
1.05	95.0	5.0	-1.097				
1.11	90.0	10.0	-0.834				
1.25	80.0	20.0	-0.476				
2	50.0	50.0	0.367				
5	20.0	80.0	1.500				
10	10.0	90.0	2.250				
20	5.0	95.0	2.970				
25	4.0	96.0	3.199				
50	2.0	98.0	3.902				
100	1.0	99.0	4.600				

Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

Ilustración 50. Método Máxima Verosimilitud, Caudales Mínimos, Peñol.



Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

Como se puede observar en las gráficas de GMM y GMMV, se determinó la variación de los caudales para extremos (altos y bajos), se define el caudal mínimo, que se puede asegurar con una probabilidad alta del 85% al 90%, éstos conceptos son regidos por el IDEAM, con el fin de determinar las probabilidades (altas y bajas) de ocurrencia de fenómenos de variabilidad climática (Fenómeno del Niño y de la Niña).

15.1.3. CÁLCULO DE PERFILES DE SECCIONES TRANSVERSALES

Se procede a realizar los perfiles, con información suministrada por el IDEAM, para aguas arriba y aguas abajo del embalse:

Tabla 41. Cotas de Inundación, Peñol.

UBICACIÓN	PEÑOL	
	ABSCISADO (m)	COTA (msnm)
AGUAS ARRIBA	0.00	532.829
	0.20	533.842
	0.60	532.042
	2.40	531.642
	3.00	530.242
	6.00	529.412
	10.40	528.882
	24.00	528.282
	31.00	527.842
	38.00	527.322
	45.00	526.882
	52.00	526.432
	58.00	526.022
	64.00	525.782
	70.00	525.382
	76.00	524.972
	82.00	524.552
	88.00	524.242
	94.00	524.132
	100.00	523.872
	106.00	523.352
112.00	522.702	
118.00	523.162	
124.00	522.362	
130.00	523.462	
136.00	525.382	
137.00	528.882	
137.80	532.776	
AGUAS ABajo	0.98	532.829
	1.00	531.560

	2.00	531.000
	3.50	530.785
	5.50	530.001
	8.50	528.975
	29.60	528.860
	42.00	527.880
	48.00	527.520
	54.00	527.180
	60.00	527.100
	66.00	526.760
	72.00	526.460
	78.00	526.250
	84.00	525.850
	90.00	525.610
	96.00	525.010
	102.00	524.760
	108.00	524.300
	114.00	524.090
	120.00	524.150
	126.00	523.560
	132.00	525.940
	137.00	528.050
	137.40	528.860
	138.00	530.425
	140.00	530.985
	141.00	531.615
	142.00	533.165
	160.00	533.545

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Posteriormente, con los protocolos de HYFA y SMADA, para un tiempo de retorno T_R y caudales mínimos (m^3/s), se calcula el error relativo de evaluación, el cual permite observar la variación de caudales de un programa a otro en un T_R determinado.

Tabla 42. Protocolo HYFA y SMADA, Peñol, AA.

ESTACIÓN 1 (aguas arriba)							
estación de monitoreo	corriente		variable analizada	serie histórica analizada			
EPM-PL250 -Peñol.	Río Nare.		CAUDAL (m^3/S)				
	DATOS ANALITICOS			COMPARACIÓN		COTAS DE REFERENCIA PARA GENERACIÓN DE ALERTAS (m)	
T_R	PROTOCOLO			ERROR RELATIVO DE EVALUACIÓN			
	HYFA		SMADA	HYFA			
	MM	MV	ÚNICO	MM	MV		
(años)	Q (m^3/S)	Q (m^3/S)	Q (m^3/S)	(%)	(%)	MÍNIMOS	MÁXIMOS
2	402.118	401.532	416.315	-3.531	-3.682	526.40	528.00
5	486.046	480.311	552.010	-13.572	-14.928	525.00	
10	541.614	532.470	641.851	-18.507	-20.542	524.70	529.00

20	594.915	582.501	728.030	-22.375	-24.983		529.20
50	663.909	647.262	839.579	-26.460	-29.712		
100	715.610	695.791	923.169	-29.005	-32.679		

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

Tabla 43. Protocolo HYFA y SMADA, Peñol, aa.

ESTACIÓN 2 (aguas abajo)							
estación de monitoreo		corriente		variable analizada		serie histórica analizada	
EPM-PL250 -Peñol.		Río Nare.		CAUDAL (m ³ /S)			
T _R (años)	DATOS ANALITICOS			COMPARACIÓN		COTAS DE REFERENCIA PARA GENERACIÓN DE ALERTAS (m)	
	PROTOCOLO			ERROR RELATIVO DE EVALUACIÓN			
	HYFA		SMADA	HYFA			
	MM	MV	ÚNICO	MM	MV		
	Q (m ³ /S)	Q (m ³ /S)	Q (m ³ /S)	(%)	(%)	MÍNIMOS	MÁXIMOS
2	133.092		133.769	-0.509	#jDIV/0!	527.20	528.80
5	159.618		168.958	-5.851	#jDIV/0!	526.40	
10	177.181		192.256	-8.508	#jDIV/0!	526.00	529.00
20	194.028		214.604	-10.604	#jDIV/0!		528.40
50	215.834		243.531	-12.832	#jDIV/0!		
100	232.174		265.208	-14.228	#jDIV/0!		

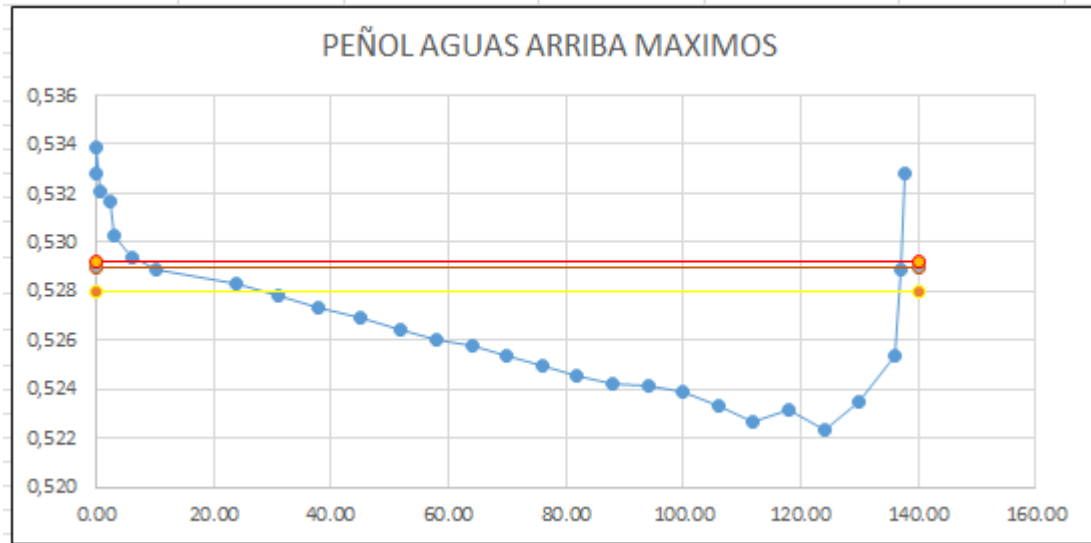
Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

Todos los perfiles se referencian indicando cotas máximas para los T_R de 2, 10 y 20 años y las cotas mínimas para T_R de 2, 5 y 10 años.

Las cotas máximas se refieren a niveles de potencialidad de inundaciones.

Las cotas mínimas se refieren a niveles que causarían desabastecimiento de agua para toma y en la restricción de navegación.

Ilustración 51. Perfil, AA, Máximos, Peñol.



Fuente: Autor

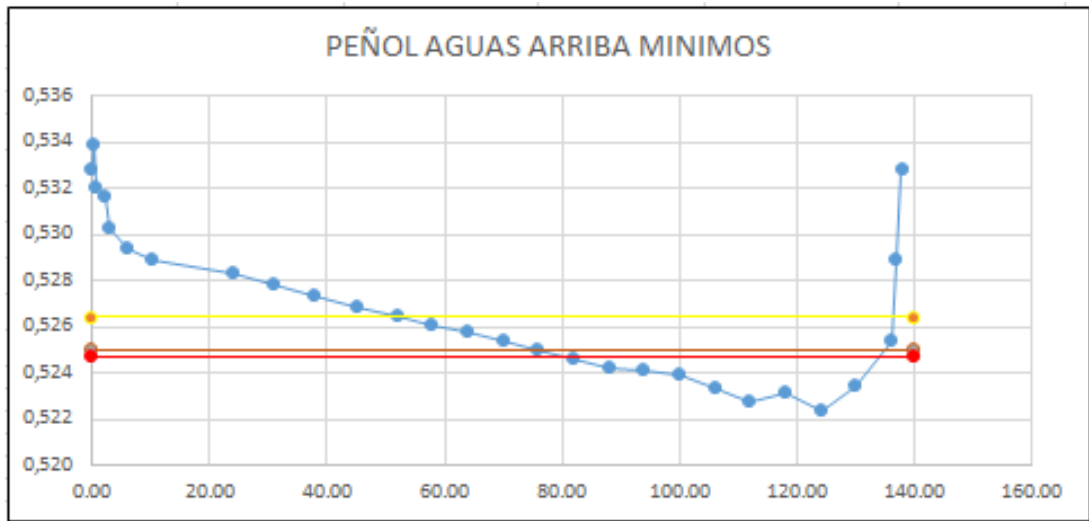
Tabla 44. Cotas Inundación, Peñol.

ABCISADO	MAXIMOS		
	T2	T10	T20
0.00	528.00	529.00	529.20
140.00	528.00	529.00	529.20

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Según las cotas de referencia para generación de alertas (m), indican exceso de agua, aguas arriba del embalse, en lo cual se están generando las alertas con el cambio de las corrientes de agua al paso de los tiempos, la alerta amarilla nos indica que todavía se puede hacer aviso para controlar lo que está pasando en el embalse, estas alertas se generan por creciente máxima o mínima de un caudal proyectado, y tienen como premisa fundamental, la de observar la potencial demanda por exceso de agua, cuando ya está en alerta roja, se deben tomar medidas urgentes para controlar la llegada del agua al embalse, evitando así inundaciones.

Ilustración 52. Perfil, AA, Mínimos Peñol.



Fuente: Autor

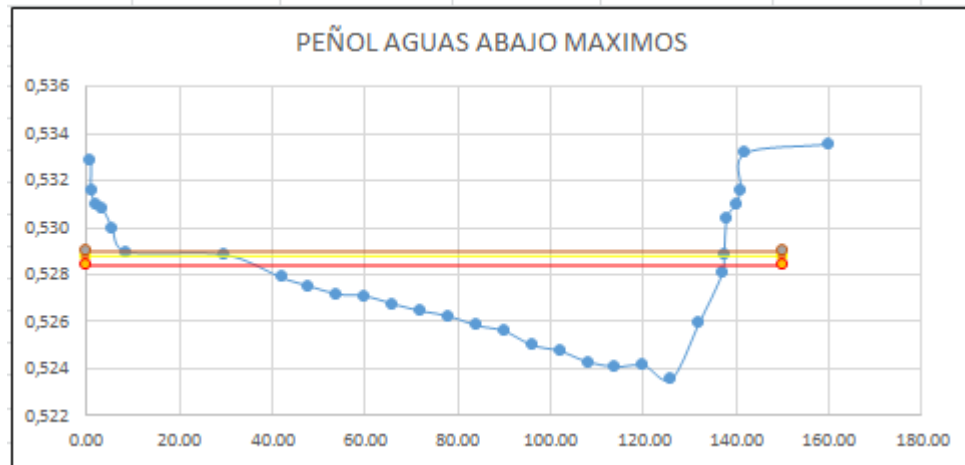
Tabla 45. Cotas Inundación, Peñol.

ABCISADO	MÍNIMOS		
	T2	T5	T10
0.00	526.40	525.00	524.70
140.00	526.40	525.00	524.70

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Según las cotas de referencia para generación de alertas (m), indican déficit de agua, aguas arriba del embalse, en lo cual se están generando las alertas con el cambio de las corrientes de agua al paso de los tiempos, la alerta amarilla nos indica que con la demanda de agua que llega, se está generando un problema de déficit y que se puede hacer aviso para controlar lo que está pasando en el embalse, estas alertas tienen como premisa fundamental, la de observar la potencial demanda por déficit de agua; cuando ya está en alerta roja, se deben tomar medidas urgentes para controlar el déficit del agua al embalse, toda vez que puede traer problemas a las poblaciones que se suministran de éste, como desabastecimiento de agua y en la restricción de la navegación.

Ilustración 53. Perfil, aa, Máximos Peñol.



Fuente: Autor

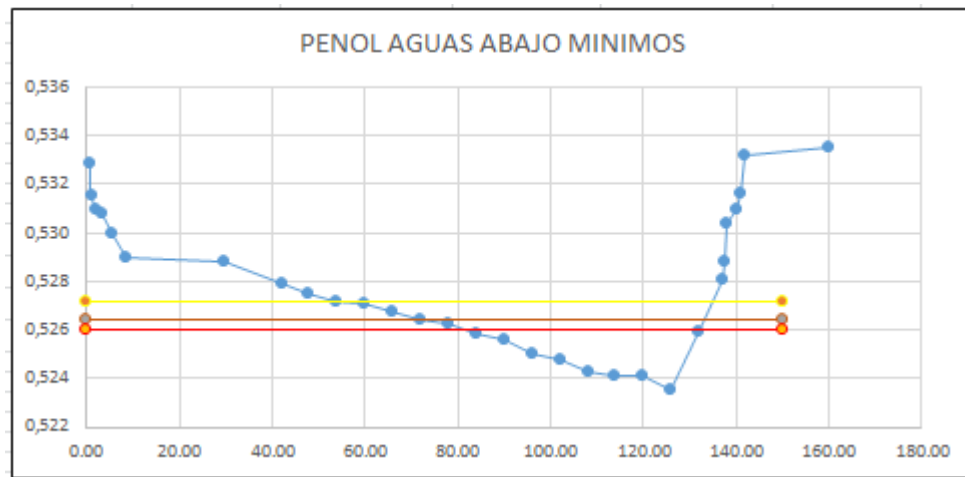
Tabla 46. Cotas Inundación, Peñol.

ABCISADO	MAXIMOS		
	T2	T10	T20
0.00	528.80	529.00	528.40
150.00	528.80	529.00	528.40

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Según las cotas de referencia para generación de alertas (m), indican exceso de agua, aguas abajo del embalse, en lo cual se están generando las alertas con el cambio de las corrientes de agua al paso de los tiempos, la alerta amarilla nos indica que todavía se puede hacer aviso para controlar lo que está pasando en el embalse, estos niveles que generan alertas respecto a los umbrales, teniendo en cuenta que estamos revisando aguas abajo, pueden ser eventualmente superados, por efectos de descargas provenientes del embalse, y los afluentes que descargan allí, para este caso el afluente es el río Nare; cuando ya está en alerta roja, se deben tomar medidas urgentes para controlar la llegada del agua a los municipios que se encuentran aguas abajo del embalse.

Ilustración 54. Perfil, aa, Mínimos Peñol.



Fuente: Autor

Tabla 47. Cotas Inundación, Peñol.

ABCISADO	MÍNIMOS		
	T2	T5	T10
0.00	527.20	526.40	526.00
150.00	527.20	526.40	526.00

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Según las cotas de referencia para generación de alertas (m), indican déficit de agua, aguas abajo del embalse, en lo cual se están generando las alertas con el cambio de las corrientes de agua al paso de los tiempos, la alerta amarilla nos indica que con la demanda de agua que llega, se está generando un problema de déficit y que se puede hacer aviso para controlar lo que está pasando en el embalse, estas alertas tienen como premisa fundamental, determinar los niveles de umbrales, suministrando información oportuna, debido al posible desabastecimiento en los puntos de toma y de afluencia a los embalses; cuando ya está en alerta roja, se deben tomar medidas urgentes para controlar el déficit del agua al embalse, toda vez que puede traer problemas a las poblaciones que se suministran de éste, afectando sus labores cotidianas.

En caso tal, que el caudal baje de forma repentina, se debe generar la alerta para mínimos, toda vez que pudo haber un represamiento aguas arriba del embalse, siendo así la generación del tiempo de Respuesta de la Alerta.

15.1.4. TIEMPO DE RESPUESTA SAT

Con la información suministrada por el IDEAM, respecto a la corriente que descarga a este embalse, para la generación del tiempo de respuesta a la Alerta (tiempo de viaje de la onda de crecida), se tienen en cuenta las variables de velocidad de propagación de olas de inundación y distancia en metros desde el embalse hasta el sitio del posible evento, lo cual genera un tiempo posible en el que va a pasar el desbordamiento o inundación. Documento que puede ser verificado según anexo “Tiempo de Respuesta G Alerta”. El cual fue calculado como $T = \text{ESPACIO} / \text{VELOCIDAD}$.

Tabla 48. AFLUENTES A EMBALSES EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA
(Aguas Arriba)

Nº	CÓDIGO	ESTACIÓN	CORRIENTE	H (m)	L (m)	W (m/S)
1	EPM-PL250	Peñol.	Río Nare.	81.579	3,978.048	1.94

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Tabla 49. AFLUENTES A EMBALSES EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA
(Aguas Abajo)

Nº	CÓDIGO	ESTACIÓN	CORRIENTE	H (m)	L (m)	W (m/S)
1	EPM-PL250	Peñol.	Río Nare.	71.420	1,785.400	2.90

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Ecuación 1. Fórmula empírica para calcular W: velocidad de propagación de olas de inundación, de acuerdo con la metodología de Rzhiha:

$$W = 20 \left(\frac{H}{L} \right)^{0.6} \text{ (m/s)}$$

Fuente: Metodología de Rzhiha

Para la generación del tiempo de respuesta a la Alerta, se analiza lo que ocurre aguas abajo del embalse, porque la Alerta se genera para poder estimar un tiempo en el cual las poblaciones que se encuentran, puedan evacuar en caso de un desbordamiento.

En función de los resultados de caudal obtenidos y con la consulta en el IDEAM, éstos se referenciaron con respecto a las alturas que potencialmente alcanzarían en una sección típica de monitoreo. Documento que puede ser verificado según anexo “Umbral Generación de Alertas”.

Tabla 50. Longitud Cauce, Peñol.

Nº	EMBALSES		S (m)
	ESTACIÓN	CORRIENTE	
6	Peñol	Río Nare	25,979.12

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

Tabla 51. Tiempo Posible de Inundación.

EMBALSES			
ESTACIÓN	W (m/S)	S (m)	T (horas)
	aa		
6	2.9	25,979.12	2.49

Fuente: Autor

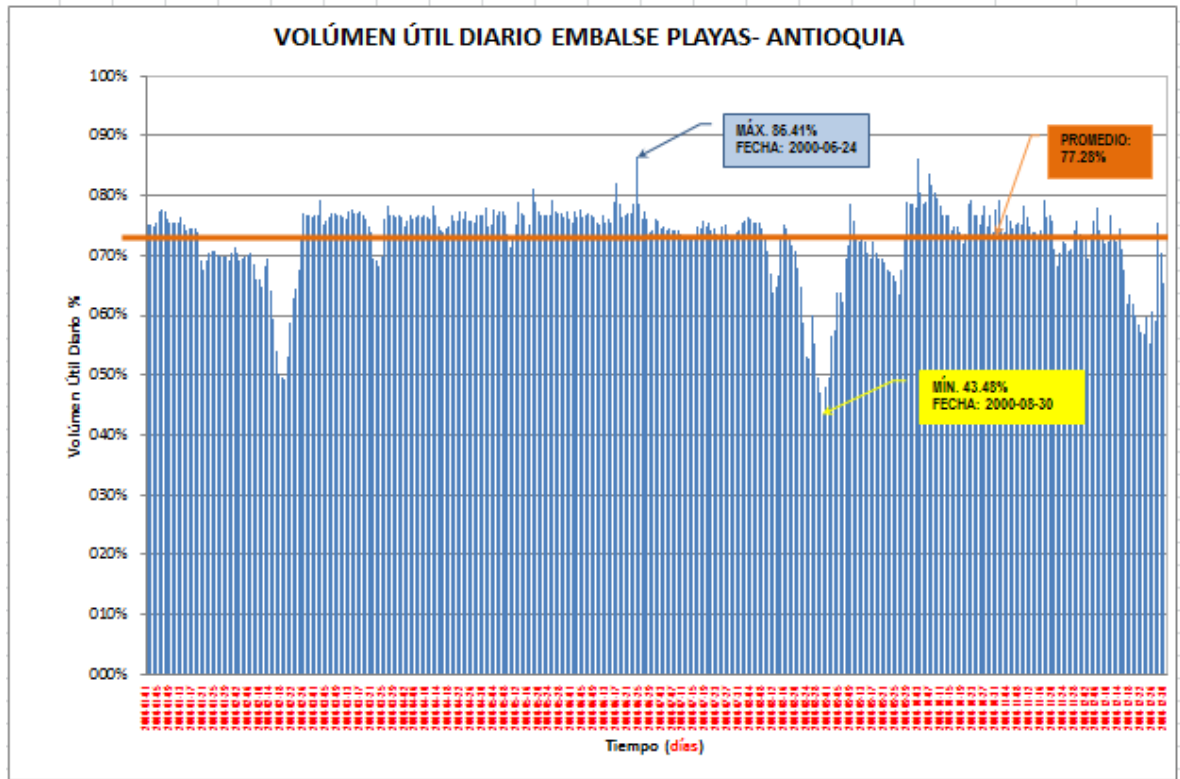
15.2. EMBALSE PLAYAS

15.2.1. CÁLCULO DE VOLÚMEN ÚTIL DIARIO

Se realiza el análisis de resultados con la información suministrada, con el fin de dar un manejo hidrológico a eventuales descargas.

Según los comportamientos históricos a nivel diario del volumen útil del embalse, se realiza el cálculo de los valores máximos y mínimos (mensuales), y a su vez se calcula el promedio (mensual), lo cual arroja, según gráfica adjunta, que para los valores que se encuentren por encima de éste promedio (línea en color naranja), hay exceso de agua, es decir, se presenta Fenómeno de la Niña, y para los valores que se encuentren por debajo de éste promedio, hay déficit de agua, es decir, se presenta Fenómeno del Niño.

Ilustración 55. VUD Playas 2000.



Fuente: Autor

Tabla 52. Rangos Umbrales, Playas 2000.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	86.41%	
Mínimo	43.48%	
Promedio	72.78%	

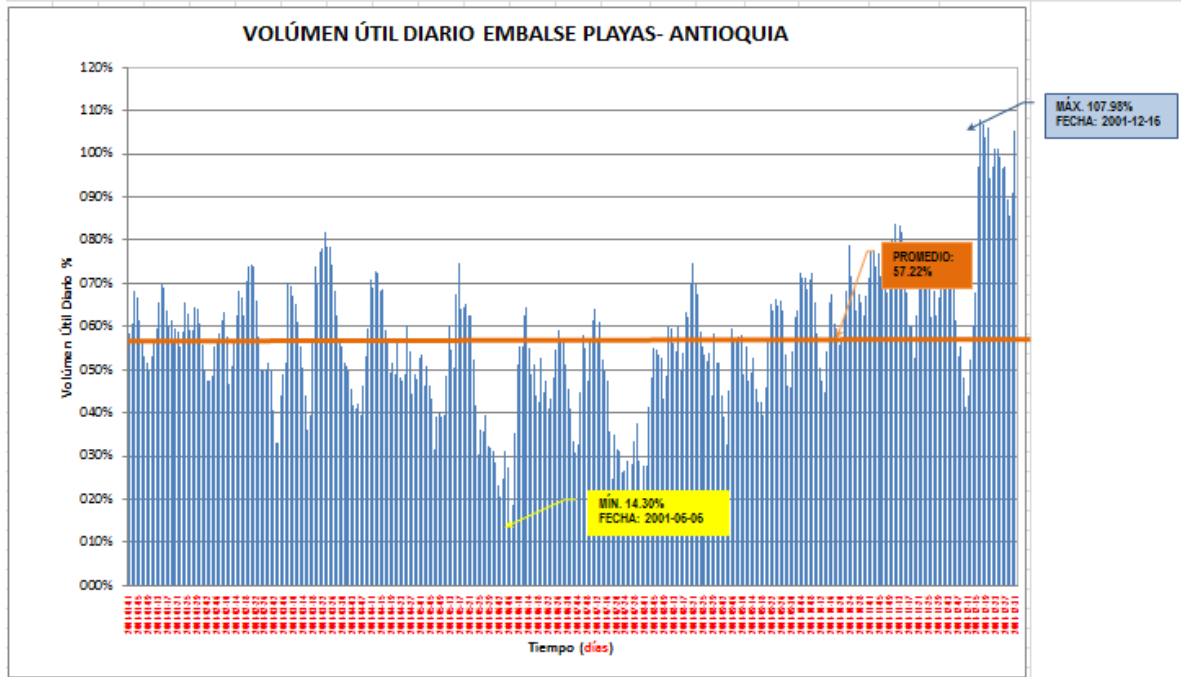
Fuente: Autor

Tabla 53. Porcentaje Umbrales, Playas 2000.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
67.63%	49.27%	68.17%	73.88%	71.41%	73.79%	72.55%	43.48%	49.72%	72.17%	68.17%	55.37%	43.48%	73.88%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
77.69%	77.09%	79.28%	78.18%	81.31%	86.41%	76.01%	76.50%	79.08%	86%	79.28%	77.98%	76.01%	86.41%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
73.29%	65.76%	75.69%	76.09%	76.57%	77.11%	74.19%	66.15%	68.64%	77.56%	74.43%	67.61%	66.09	

Fuente: Autor

Ilustración 56. VUD Playas 2001.



Fuente: Autor

Tabla 54. Rangos Umbrales, Playas 2001.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	107.98%	
Mínimo	14.30%	
Promedio	57.22%	

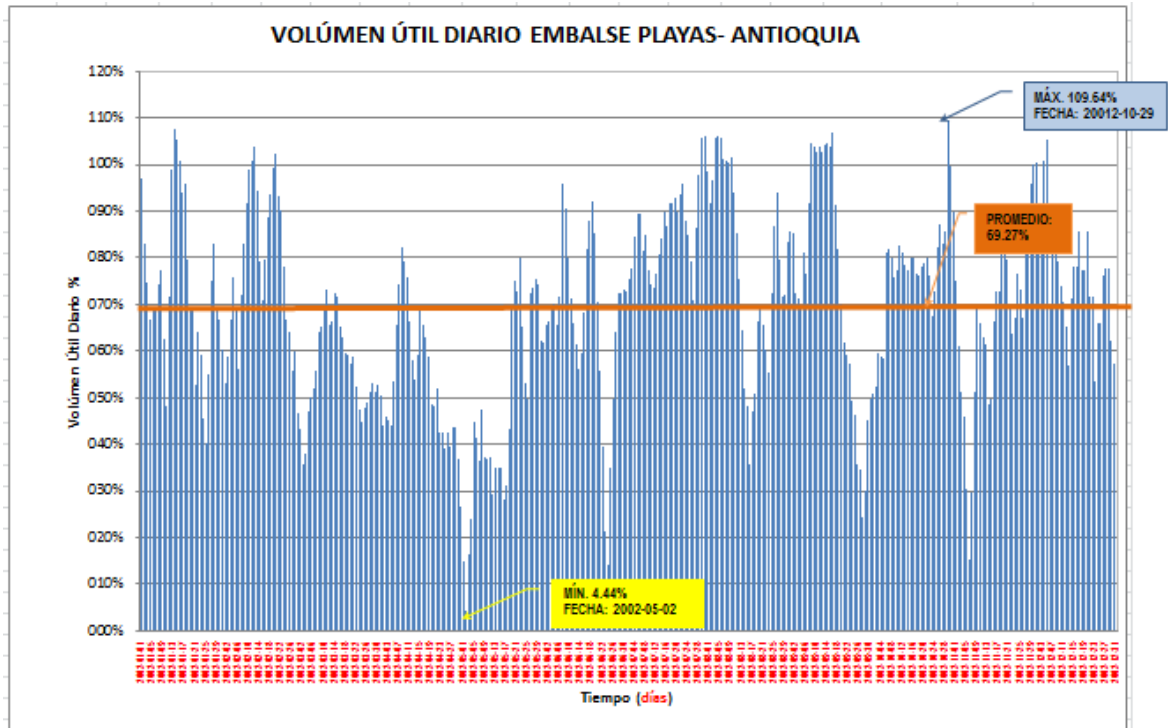
Fuente: Autor

Tabla 55. Porcentaje Umbrales, Playas 2001.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
49.88%	46.66%	32.92%	39.33%	28.47%	14.30%	16.91%	27.66%	32.74%	44.91%	52.82%	41.45%	14.30%	52.82%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
69.64%	74.17%	81.92%	72.83%	74.85%	64.31%	64.05%	74.65%	66.18%	79%	83.78%	107.98%	64.05%	107.98%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
60.24%	58.18%	58.86%	53.91%	47.23%	44.22%	39.55%	55.00%	52.21%	64.09%	71.72%	81.37%	57.21%	

Fuente: Autor

Ilustración 57. VUD Playas 2002.



Fuente: Autor

Tabla 56. Rangos Umbrales, Playas 2002.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	109.64%	
Mínimo	4.44%	
Promedio	69.27%	

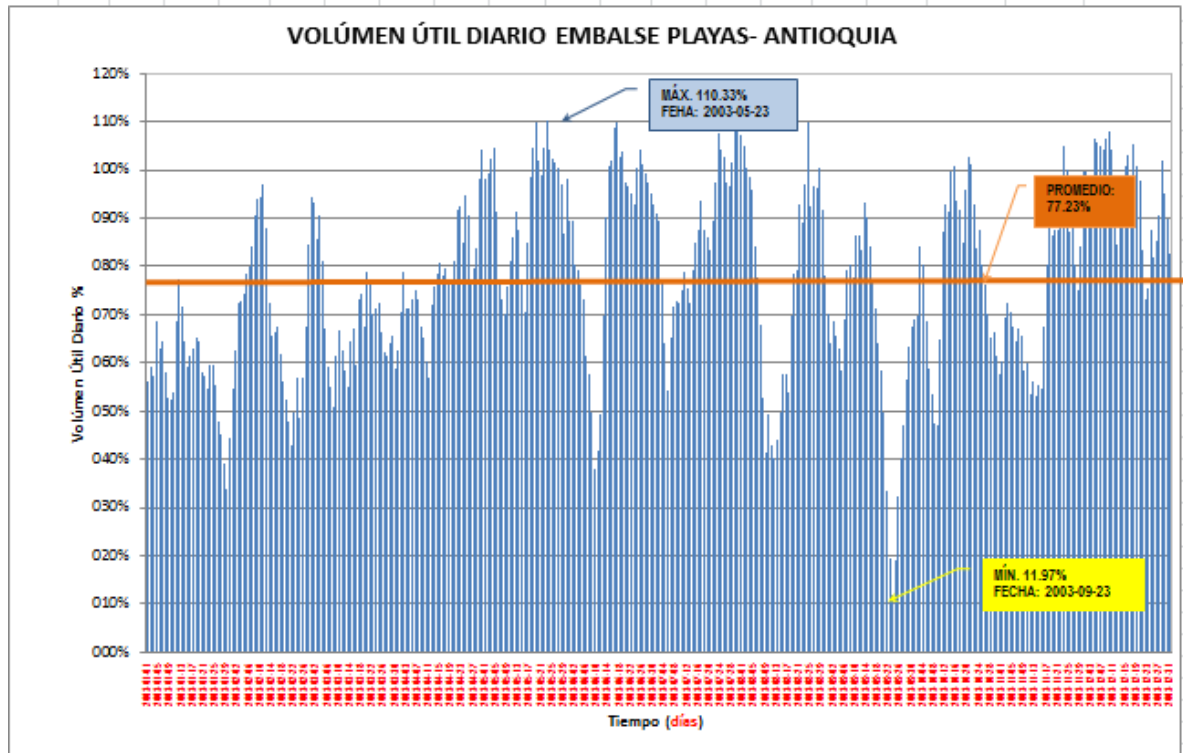
Fuente: Autor

Tabla 57. Porcentaje Umbrales, Playas 2002.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
40.15%	46.78%	35.73%	26.78%	4.44%	14.26%	70.75%	35.81%	24.20%	50.89%	15.14%	47.03%	4.44%	70.75%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
107.70%	104.01%	73.25%	82.22%	80.01%	95.71%	106.19%	106.19%	106.74%	110%	99.87%	105.37%	73.25%	109.64%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
73.71%	78.30%	55.85%	53.63%	47.18%	65.75%	86.17%	78.28%	74.02%	77.37%	65.42%	75.88%	69.30%	

Fuente: Autor

Ilustración 58. VUD Playas 2003.



Fuente: Autor

Tabla 58. Rangos Umbrales, Playas 2003.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	110.33%	
Mínimo	11.97%	
Promedio	77.23%	

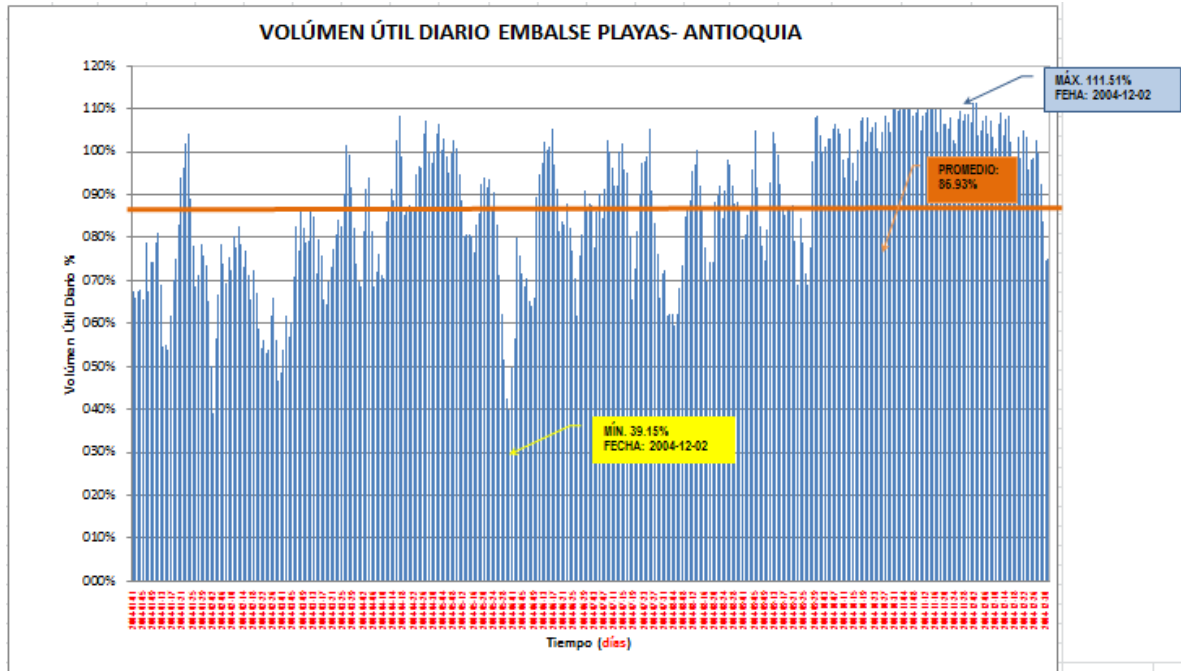
Fuente: Autor

Tabla 59. Porcentaje Umbrales, Playas 2003.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
33.85%	43.05%	50.79%	56.78%	70.30%	37.78%	54.12%	40.30%	11.97%	47.11%	53.09%	73.12%	11.97%	73.12%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
77.47%	96.86%	93.28%	104.13%	110.33%	109.91%	108.79%	109.77%	93.15%	103%	104.94%	107.96%	77.47%	110.33%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
57.75%	69.85%	67.84%	78.64%	92.87%	85.22%	86.54%	76.16%	62.04%	78.29%	74.96%	94.90%	77.09%	

Fuente: Autor

Ilustración 59. VUD Playas 2004.



Fuente: Autor

Tabla 60. Rangos Umbrales, Playas 2004.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	111.51%	
Mínimo	39.15%	
Promedio	86.93%	

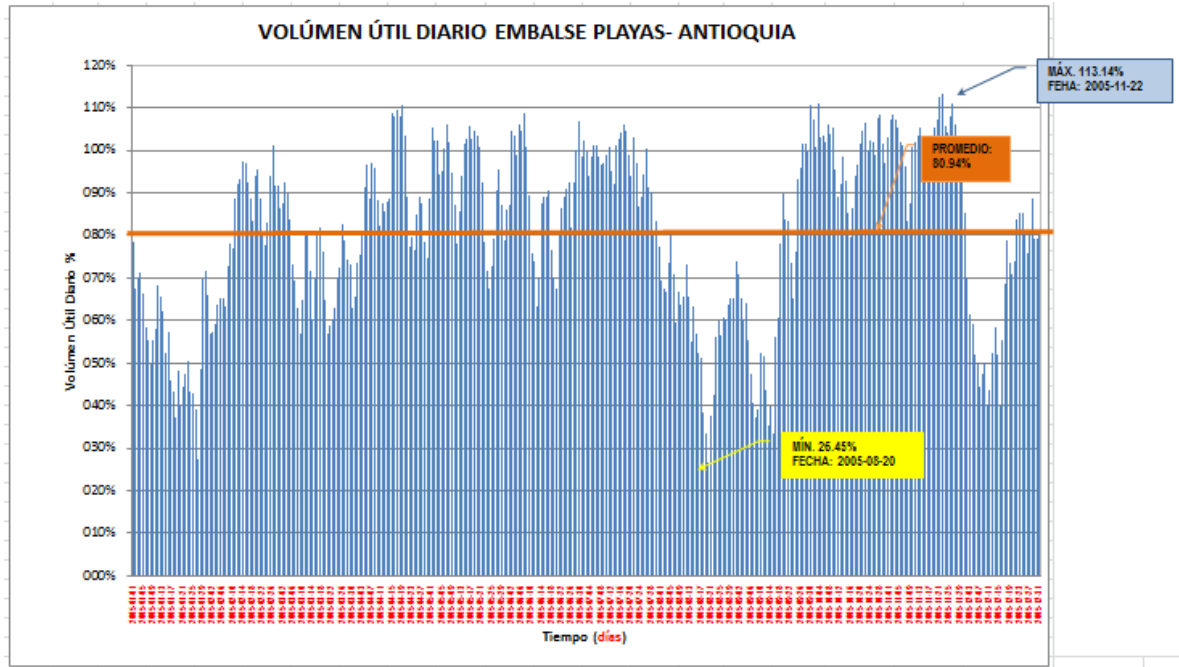
Fuente: Autor

Tabla 61. Porcentaje Umbrales, Playas 2004.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
53.84%	39.15%	53.93%	68.59%	39.89%	56.68%	65.47%	59.71%	68.82%	93.42%	102.00%	74.57%	39.15%	102.00%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
104.40%	82.79%	101.45%	108.37%	106.31%	105.21%	105.37%	100.27%	108.25%	110%	109.93%	111.51%	82.79%	111.51%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
74.47%	64.96%	77.29%	88.80%	84.28%	82.00%	88.12%	82.41%	87.70%	103.46%	108.07%	100.84%	86.87%	

Fuente: Autor

Ilustración 60. VUD Playas 2005.



Fuente: Autor

Tabla 62. Rangos Umrales, Playas 2005.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	113.14%	
Mínimo	26.45%	
Promedio	80.94%	

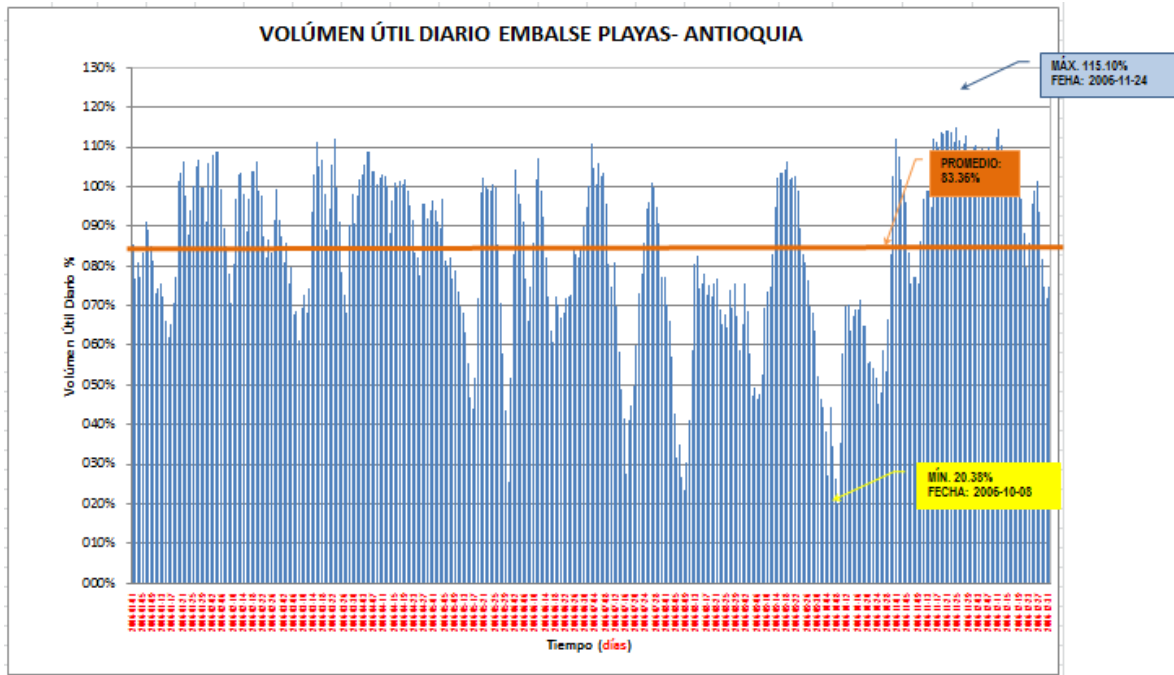
Fuente: Autor

Tabla 63. Porcentaje Umrales, Playas 2005.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
27.18%	57.04%	56.85%	73.71%	67.58%	63.17%	77.52%	26.45%	33.42%	79.51%	83.45%	39.85%	26.45%	83.45%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
78.51%	101.11%	92.39%	110.56%	106.10%	108.77%	106.10%	80.40%	110.56%	111%	113.14%	88.51%	78.51%	113.14%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
54.87%	81.80%	72.66%	89.80%	92.60%	89.23%	96.23%	59.40%	66.88%	99.56%	103.12%	66.08%	81.02%	

Fuente: Autor

Ilustración 61. VUD Playas 2006.



Fuente: Autor

Tabla 64. Rangos Umbrales, Playas 2006.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	115.10%	
Mínimo	20.38%	
Promedio	83.36%	

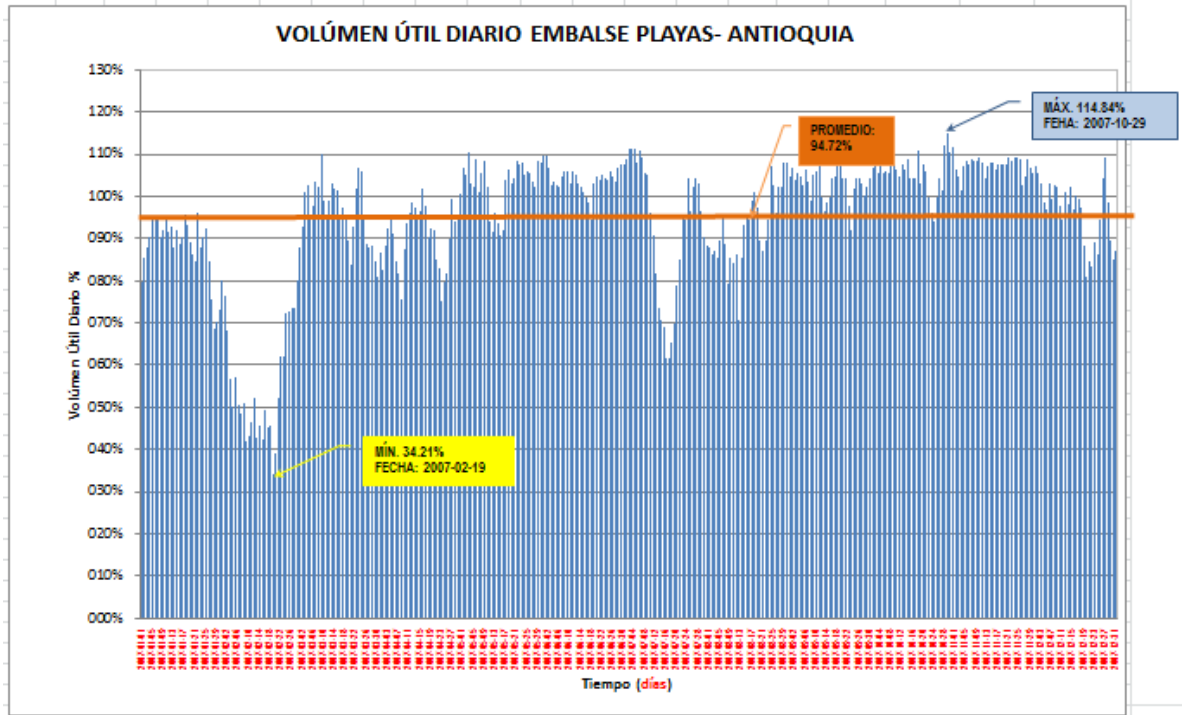
Fuente: Autor

Tabla 65. Porcentaje Umbrales, Playas 2006.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
61.97%	70.61%	61.07%	77.63%	25.37%	60.77%	27.62%	23.59%	46.53%	20.38%	75.55%	72.00%	20.38%	77.63%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
106.61%	108.77%	111.98%	108.90%	102.35%	107.24%	110.95%	82.54%	106.36%	112%	115.10%	114.45%	82.54%	115.10%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
86.72%	94.58%	87.02%	97.88%	75.81%	82.30%	79.70%	62.05%	78.33%	57.15%	101.87%	98.87%	83.52%	

Fuente: Autor

Ilustración 62. VUD Playas 2007.



Fuente: Autor

Tabla 66. Rangos Umbrales, Playas 2007.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	114.84%	
Mínimo	34.21%	
Promedio	94.72%	

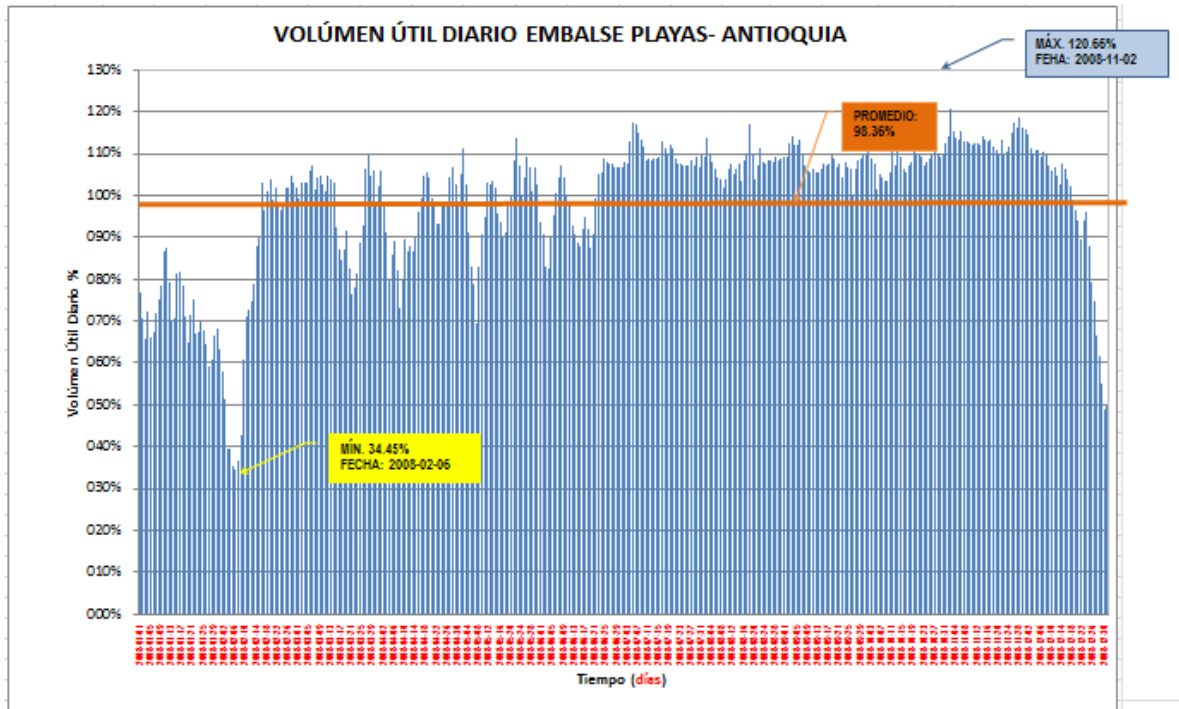
Fuente: Autor

Tabla 67. Porcentaje Umbrales, Playas 2007.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
68.62%	34.21%	81.08%	75.33%	90.73%	94.30%	61.67%	70.83%	91.92%	94.18%	101.23%	81.08%	34.21%	101.23%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
96.22%	80.29%	110.18%	101.73%	110.56%	109.66%	111.46%	108.13%	108.26%	115%	109.28%	109.15%	80.29%	114.84%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
87.63%	54.82%	95.87%	90.44%	103.28%	103.95%	92.29%	92.97%	102.95%	105.91%	107.17%	96.37%	94.47%	

Fuente: Autor

Ilustración 63. VUD Playas 2008.



Fuente: Autor

Tabla 68. Rangos Umbrales, Playas 2008.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	120.66%	
Mínimo	34.45%	
Promedio	98.36%	

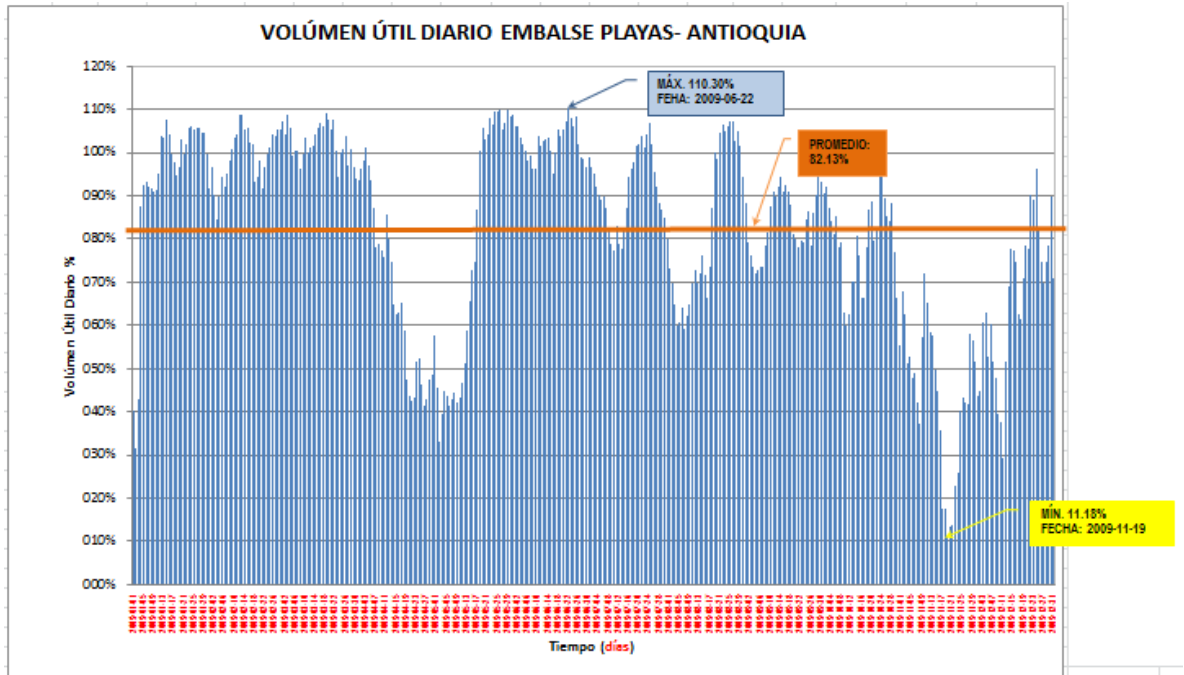
Fuente: Autor

Tabla 69. Porcentaje Umbrales, Playas 2008.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
58.99%	34.45%	76.21%	73.07%	69.35%	82.65%	106.61%	101.73%	99.88%	101.48%	109.79%	49.06%	34.45%	109.79%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
87.35%	104.72%	109.53%	106.61%	113.79%	108.77%	117.34%	117.20%	113.93%	113%	120.66%	114.71%	87.35%	120.66%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
71.52%	78.78%	97.28%	94.25%	98.17%	97.87%	109.87%	107.76%	107.97%	108.16%	113.68%	94.40%	98.31%	

Fuente: Autor

Ilustración 64. VUD Playas 2009.



Fuente: Autor

Tabla 70. Rangos Umbrales, Playas 2009.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	110.30%	
Mínimo	11.18%	
Promedio	82.13%	

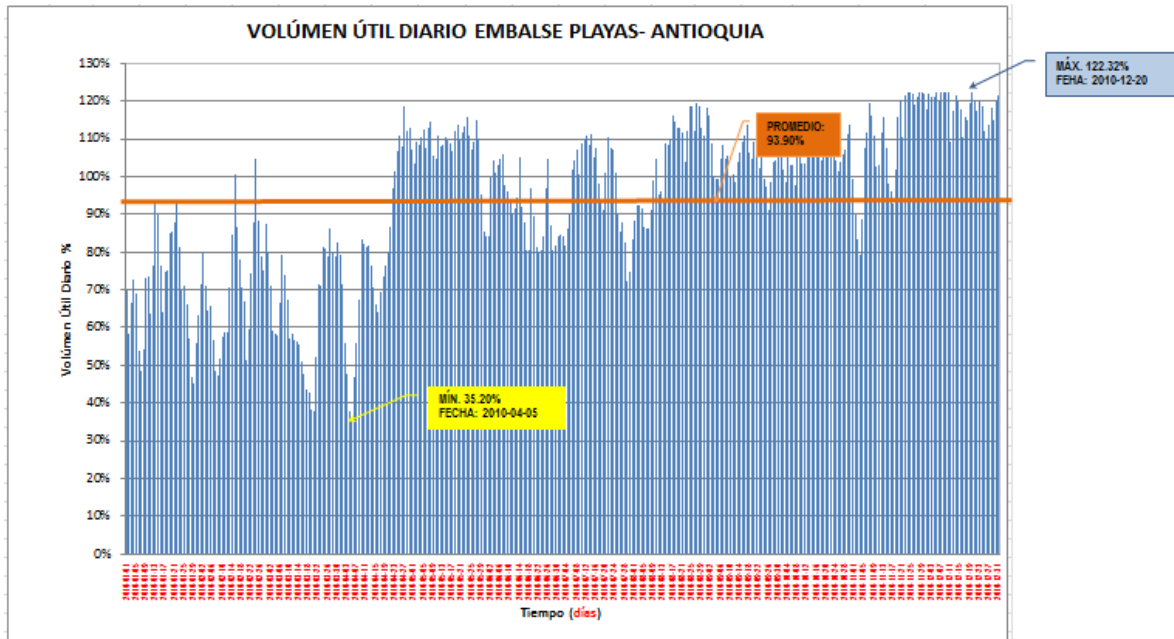
Fuente: Autor

Tabla 71. Porcentaje Umbrales, Playas 2009.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
31.62%	84.36%	93.46%	41.30%	33.18%	95.26%	77.52%	59.29%	71.89%	55.41%	11.18%	29.19%	11.18%	95.26%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
107.49%	108.90%	109.02%	101.23%	110.05%	110.30%	106.74%	107.24%	95.02%	96%	72.21%	96.22%	72.21%	110.30%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
93.27%	99.17%	102.05%	66.75%	76.55%	102.28%	91.18%	82.77%	83.66%	78.93%	43.55%	66.05%	82.19%	

Fuente: Autor

Ilustración 65. VUD Playas 2010.



Fuente: Autor

Tabla 72. Rangos Umbrales, Playas 2010.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	122.32%	
Mínimo	35.20%	
Promedio	93.90%	

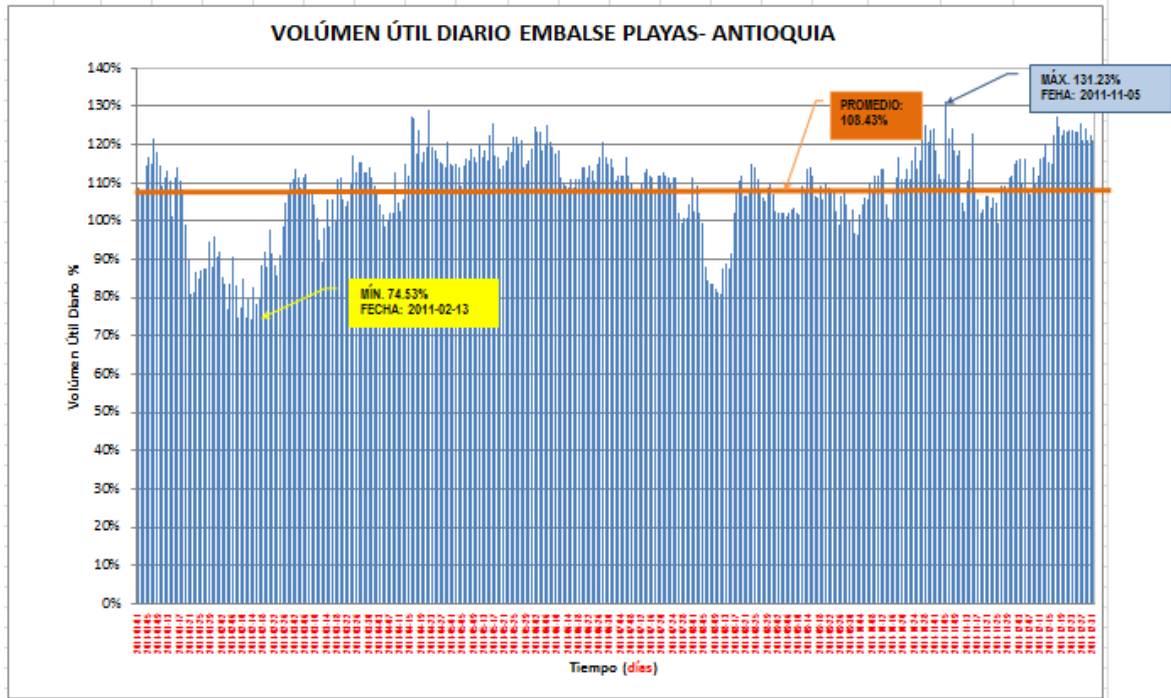
Fuente: Autor

Tabla 73. Porcentaje Umbrales, Playas 2010.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
45.42%	47.08%	37.64%	35.20%	84.36%	80.03%	72.48%	86.11%	91.12%	97.56%	79.39%	109.23%	35.20%	109.23%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
93.13%	104.85%	86.25%	118.83%	115.84%	105.81%	111.06%	119.53%	116.01%	114%	122.32%	122.32%	86.25%	122.32%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
69.75%	71.36%	64.57%	79.49%	107.94%	92.02%	96.45%	104.64%	104.30%	106.79%	109.29%	118.34%	93.75%	

Fuente: Autor

Ilustración 66. VUD Playas 2011.



Fuente: Autor

Tabla 74. Rangos Umbrales, Playas 2011.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	131.23%	
Mínimo	74.53%	
Promedio	108.43%	

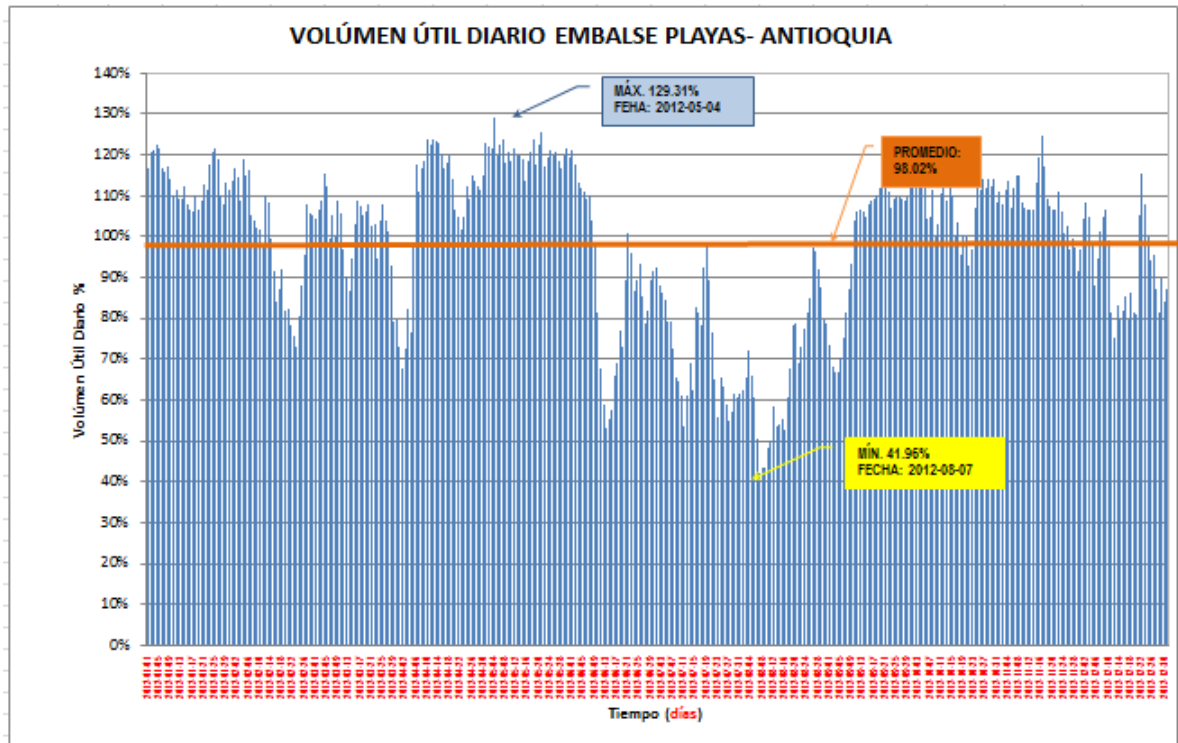
Fuente: Autor

Tabla 75. Porcentaje Umbrales, Playas 2011.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
80.93%	74.53%	89.42%	98.46%	109.40%	108.57%	99.68%	80.93%	98.92%	96.51%	99.38%	106.94%	74.53%	109.40%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
121.51%	109.89%	117.06%	128.93%	125.54%	125.17%	116.71%	114.80%	114.11%	125%	131.23%	127.41%	109.89%	131.23%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
102.23%	87.30%	107.76%	113.02%	117.20%	115.70%	109.75%	99.73%	105.50%	111.34%	111.17%	118.80%	108.29%	

Fuente: Autor

Ilustración 67. VUD Playas 2012.



Fuente: Autor

Tabla 76. Rangos Umbrales, Playas 2012.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	129.31%	
Mínimo	41.96%	
Promedio	98.02%	

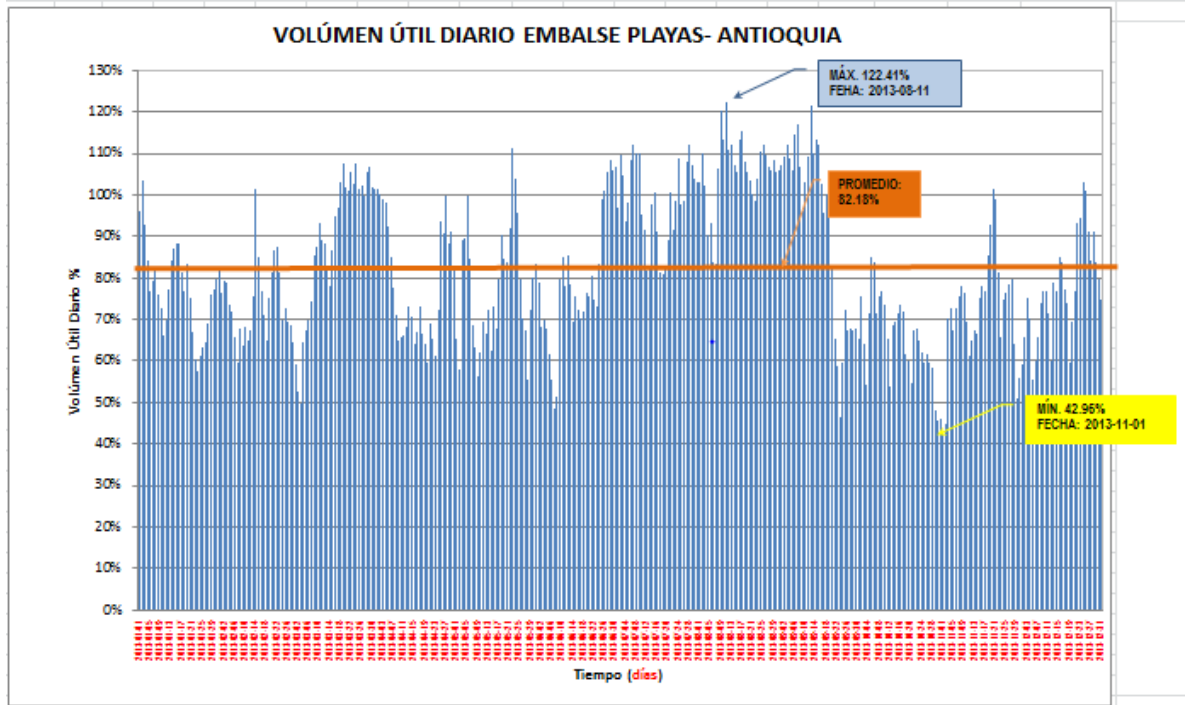
Fuente: Autor

Tabla 77. Porcentaje Umbrales, Playas 2012.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
106.13%	72.96%	72.84%	67.72%	113.60%	53.15%	53.73%	41.96%	66.60%	92.70%	91.69%	75.38%	41.96%	113.60%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
122.59%	118.82%	115.49%	123.69%	129.31%	121.15%	97.71%	97.11%	113.94%	119%	124.62%	115.32%	97.11%	129.31%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
113.71%	98.21%	100.50%	109.10%	120.48%	87.88%	71.70%	67.16%	99.00%	108.36%	107.83%	92.65%	98.05%	

Fuente: Autor

Ilustración 68. VUD Playas 2013.



Fuente: Autor

Tabla 78. Rangos Umbrales, Playas 2013.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	122.41%	
Mínimo	42.96%	
Promedio	82.18%	

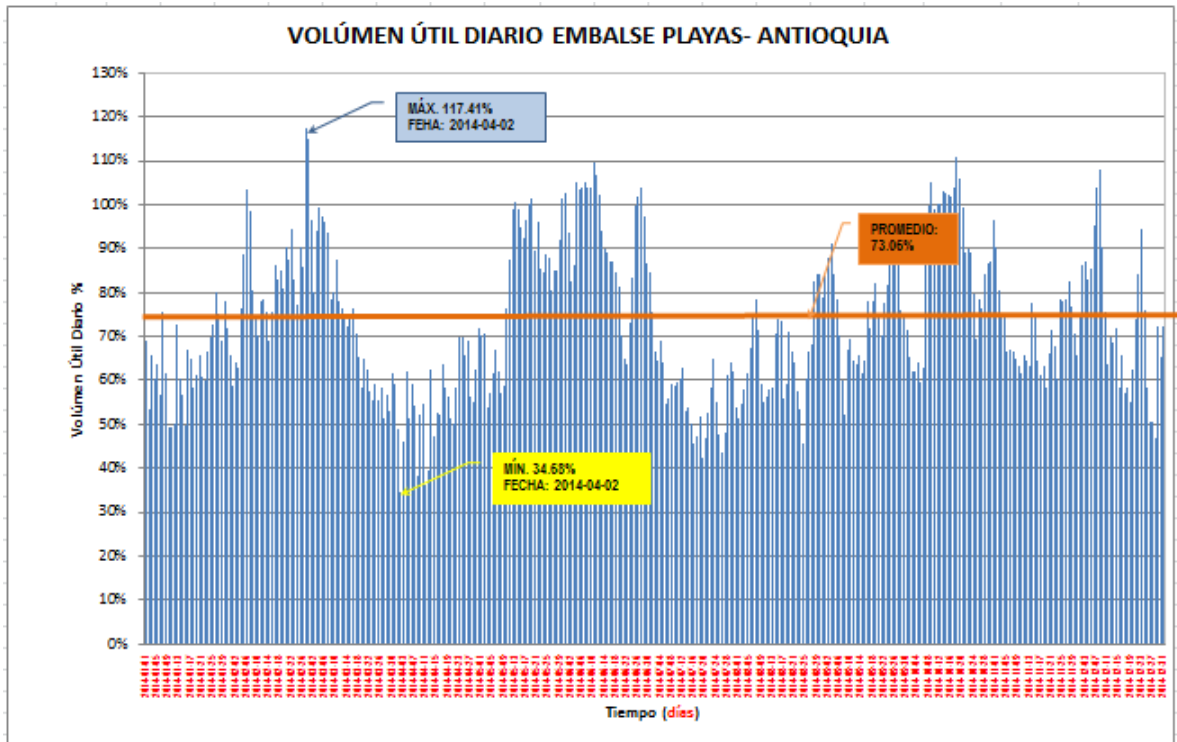
Fuente: Autor

Tabla 79. Porcentaje Umbrales, Playas 2013.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
57.67%	59.51%	49.60%	59.41%	55.38%	48.70%	81.06%	83.42%	46.65%	45.51%	42.96%	55.58%	42.96%	83.42%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
103.57%	101.38%	107.59%	101.22%	111.40%	108.41%	112.07%	122.41%	121.69%	85%	101.54%	103.10%	84.88%	122.41%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
77.43%	73.90%	89.27%	78.05%	77.37%	78.57%	98.29%	105.69%	92.02%	65.28%	72.20%	77.06%	82.09%	

Fuente: Autor

Ilustración 69. VUD Playas 2014.



Fuente: Autor

Tabla 80. Rangos Umbrales, Playas 2014.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	117.41%	
Mínimo	34.68%	
Promedio	73.06%	

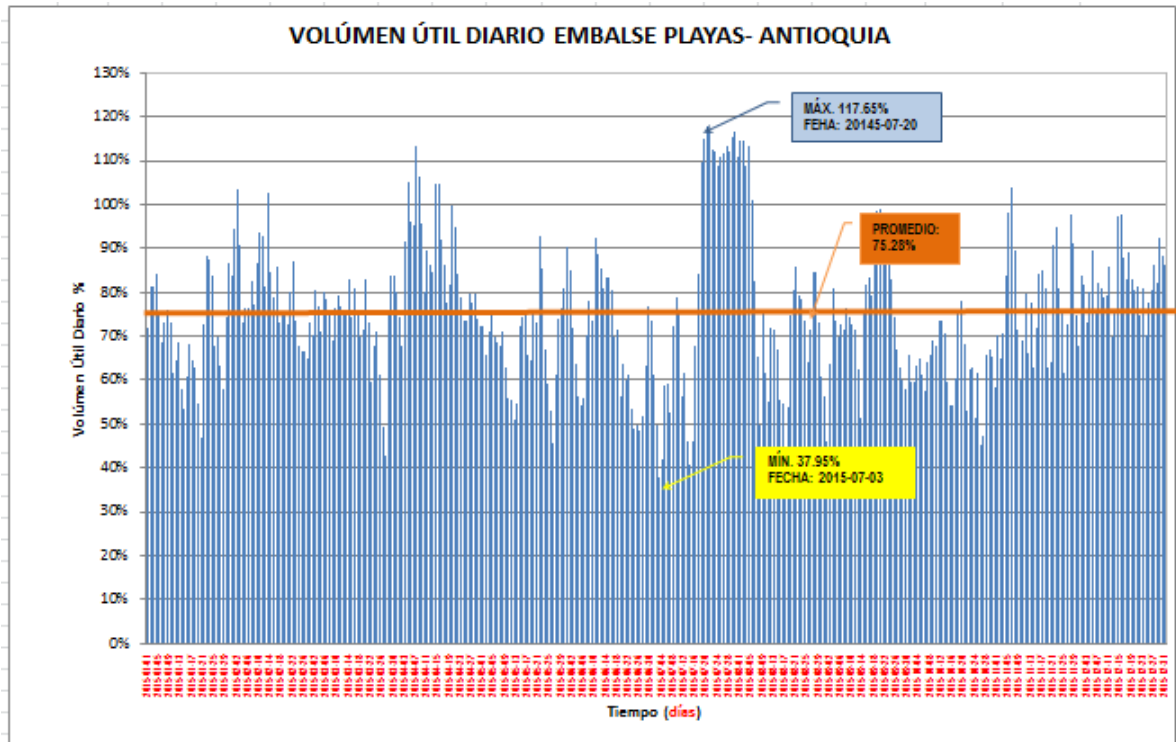
Fuente: Autor

Tabla 81. Porcentaje Umbrales, Playas 2014.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
49.15%	58.79%	51.27%	34.68%	54.02%	63.85%	42.54%	45.60%	52.30%	59.61%	58.38%	46.82%	34.68%	63.85%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
80.03%	117.41%	99.22%	71.89%	102.63%	109.56%	75.75%	84.35%	94.00%	111%	90.41%	107.92%	71.89%	117.41%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
63.91%	83.24%	72.46%	55.07%	83.42%	91.67%	56.60%	65.17%	75.18%	87.90%	69.96%	73.06%	73.14%	

Fuente: Autor

Ilustración 70. VUD Playas 2015.



Fuente: Autor

Tabla 82. Rangos Umbrales, Playas 2015.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	117.65%	
Mínimo	37.95%	
Promedio	75.28%	

Fuente: Autor

Tabla 83. Porcentaje Umbrales, Playas 2015.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
46.91%	64.94%	42.71%	67.68%	45.69%	48.68%	37.95%	41.99%	46.06%	45.40%	60.15%	69.70%	37.95%	69.70%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
88.17%	103.27%	83.93%	113.36%	92.98%	92.41%	117.65%	114.70%	99.09%	78%	103.76%	97.64%	77.85%	117.65%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
70.46%	80.56%	73.16%	87.33%	68.66%	68.38%	83.05%	75.04%	74.84%	62.63%	77.53%	82.39%	75.34%	

Fuente: Autor

15.2.2. EVALUACIÓN DE EVENTOS EXTREMOS O DE MÁXIMOS Y MÍNIMOS.

Para la evaluación de eventos extremos o de máximos y mínimos, los cuales fueron calculados a través de la información suministrada de las estaciones por el IDEAM a cerca del caudal (m³/s), de igual forma los años que no contaban con información, no se tenían en cuenta para el cálculo de los máximos y mínimos; estos valores fueron evaluados en el software HYFA que están en función de un periodo de retorno. Documento que puede ser verificado según anexo "GGM y GGMV". Todo esto con el fin de adelantar estudios, teniendo en cuenta periodos de diseño de una obra civil que involucre estructuras hidráulicas.

Tabla 84 IDEAM, DATOS MEDIO MENSUAL MULTIANUAL (m³/s) ESTACIÓN PLAYAS.

ESTACIÓN PLAYAS-DATOS MEDIO MENSUAL MULTIANUAL (m ³ /s)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NO	DIC	TOTAL
1994	14.012	12.452	9.79	19.221	21.591	16.821	13.811	11.821	16.631	31.211	29.221	14.481	17.589
1995	10.678	8.1808	16.198	17.448	24.688	30.168	29.138	47.118	28.028	25.568	19.958	23.238	23.367
1996	21.488	19.331	23.928	23.118	42.788	44.558	44.608	31.188	33.468	37.468	29.408	19.598	30.912
1997	17.701	15.808	14.908	20.908	13.608	28.308	11.508	8.8003	9.8003	10.208	12.008	9.2009	14.397
1998	8.6008	8.3008	8.5008	11.008	24.208	34.408	28.608	23.108	33.608	30.208	30.208	34.808	22.965
1999	25.881	31.171	36.661	33.381	39.681	34.721	23.791	18.851	39.101	42.361	47.051	49.952	35.217
2000	21.382	21.128	22.181	22.201	38.628	46.778	39.298	34.958	48.528	38.918	32.498	18.381	32.073
2001	16.211	11.471	13.731	13.321	20.568	21.718	18.478	11.381	15.411	15.631	21.718	17.928	16.464
2002	11.412	10.322	11.512	27.448	26.728	29.678	18.288	12.68	16.52	15.278	22.748	15.951	18.214
2003	8.8521	8.9431	12.808	19.338	20.998	36.368	16.941	17.021	18.928	26.388	32.008	22.098	20.058
2004	16.891	10.158	13.271	22.45	31.25	21.458	25.078	16.118	28.85	34.468	49.278	20.591	24.155
2005	16.161	11.751	15.358	21.488	43.598	36.548	21.928	13.47	19.678	37.038	43.288	17.57	24.823
2006	15.78	14.541	18.978	39.838	52.958	32.068	15.19	17.742	21.46	30.678	41.273	18.73	26.603
2007	13.512	8.4358	11.8	29.198	43.873	27.208	19.141	22.683	34.058	54.368	40.818	26.418	27.626
2008	20.080	32.028	58.228	51.703	62.233	38.258	43.388	43.103	52.083	58.968	74.463	34.698	47.436
2009	29.648	27.328	25.668	32.218	43.018	39.568	24.108	18.91	19.228	25.158		14.548	27.218
2010	10.438	8.4963	9.1753	13.243	21.648	34.063	41.848	29.918	51.883	48.478	58.243	50.518	31.496
2011	22.298	18.751	34.738	81.548	50.868	33.108	38.328	24.192	25.392	39.758	48.718	50.678	39.031
2012	23.128	14.668	14.528	53.478	66.918	20.682	14.928	15.258	10.878	21.238	30.858	17.828	25.366
2013	10.408	14.858	16.838	12.558	31.488	23.428	14.118	13.078	24.062	33.238	21.122	16.718	19.326
2014	12.018	10.278	11.698	11.698	24.028	17.668	11.978	15.058	20.698	25.808	28.408	15.028	17.031
2015	9.5753												9.575

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Tabla 85 ESTACIÓN PLAYAS, RESULTADOS MÁXIMOS, MEDIOS Y MÍNIMO (ANUALES), SEGÚN Q (m³/s)

MEDIO	15.847	14.554	18.742	27.230	35.117	30.401	24.520	21.377	27.453	32.864	35.665	24.721	25.707
MAXIM	25.881	32.028	58.228	81.548	66.918	46.778	44.608	47.118	52.083	58.968	74.463	50.678	81.548
MINIM	8.601	8.181	8.501	11.008	13.608	16.821	11.508	8.800	9.800	10.208	12.008	9.201	8.181

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

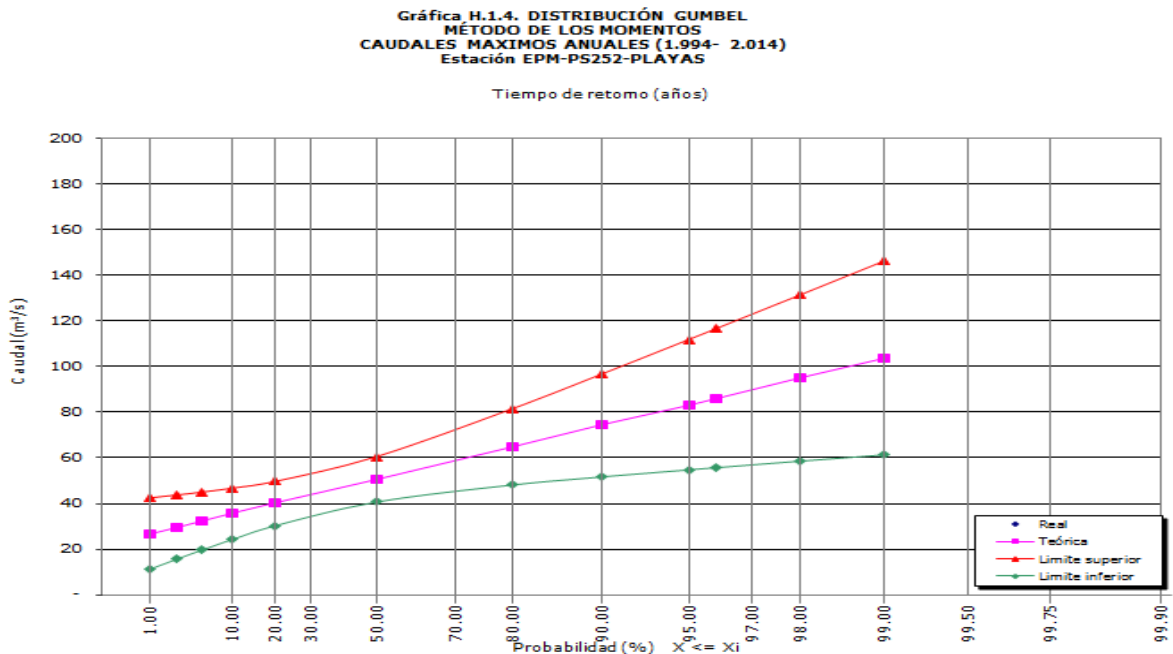
Con la información de los máximos caudales anuales (m^3/s), (1994-2014), por medio del Software HYFA, se generan las Distribuciones Gumbel: Métodos de los Momentos y Método de Máxima Verosimilitud, con su respectiva gráfica de Distribución Gumbel.

Tabla 86. Distribución Gumbel, Método de los Momentos, Playas.

Tabla H.1.5. DISTRIBUCIÓN GUMBEL. MÉTODO DE LOS MOMENTOS							
Período de retorno $T = 1/p$ (años)	Probabilidad $X \geq X_i$ p (%)	Probabilidad $X \leq X_i$ 1 - p (%)	Variable reducida Y	Valor estimado X_i (m^3/s)	Error estándar S (m^3/s)	Límites de confianza	
						Inferior $X_i - tS$	Superior $X_i + tS$
1.01	99.0	1.0	-1.527	26.84	6.73	11.17	42.50
1.03	97.5	2.5	-1.305	29.62	6.06	15.51	43.73
1.05	95.0	5.0	-1.097	32.24	5.48	19.48	44.99
1.11	90.0	10.0	-0.834	35.55	4.83	24.30	46.79
1.25	80.0	20.0	-0.476	40.05	4.18	30.32	49.77
2	50.0	50.0	0.367	50.63	4.27	40.69	60.57
5	20.0	80.0	1.500	64.87	7.19	48.13	81.61
10	10.0	90.0	2.250	74.30	9.71	51.69	96.91
20	5.0	95.0	2.970	83.34	12.27	54.78	111.91
25	4.0	96.0	3.199	86.21	13.10	55.73	116.70
50	2.0	98.0	3.902	95.05	15.67	58.57	131.53
100	1.0	99.0	4.600	103.82	18.25	61.33	146.32

Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

Ilustración 71. Método de los Momentos, Caudales Máximos, Playas.



Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

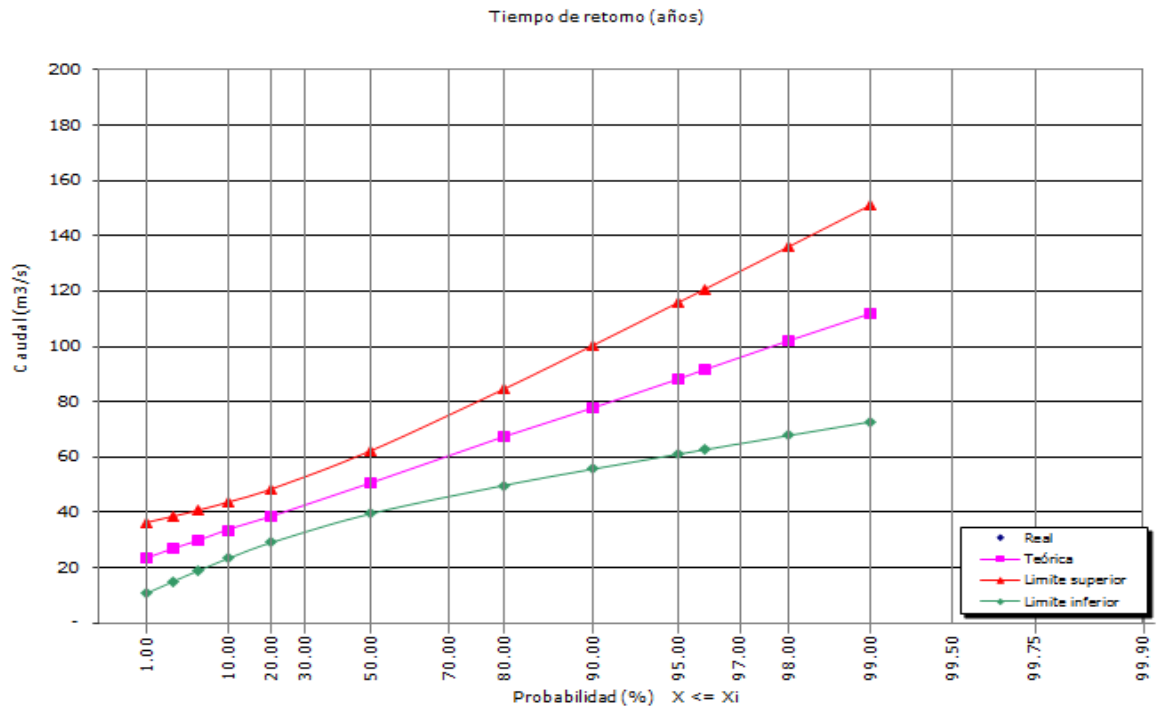
Tabla 87. Distribución Gumbel, Método Máxima Verosimilitud, Playas.

Tabla H.1.6. DISTRIBUCIÓN GUMBEL. MÉTODO DE MÁXIMA VEROSIMILITUD							
Período de retorno T = 1/p (años)	Probabilidad X >= Xi p (%)	Probabilidad X <= Xi 1 - p (%)	Variable reducida Y	Valor estimado Xi (m³/s)	Error estándar S (m³/s)	Límites de confidencia	
						Inferior Xi - tS	Superior Xi + tS
1.01	99.0	1.0	-1.527	23.60	5.50	10.80	36.41
1.03	97.5	2.5	-1.305	26.80	5.06	15.02	38.58
1.05	95.0	5.0	-1.097	29.80	4.71	18.84	40.76
1.11	90.0	10.0	-0.834	33.60	4.37	23.41	43.78
1.25	80.0	20.0	-0.476	38.76	4.17	29.06	48.46
2	50.0	50.0	0.367	50.91	4.89	39.53	62.29
5	20.0	80.0	1.500	67.25	7.51	49.78	84.73
10	10.0	90.0	2.250	78.08	9.63	55.65	100.50
20	5.0	95.0	2.970	88.46	11.79	61.02	115.89
25	4.0	96.0	3.199	91.75	12.48	62.69	120.81
50	2.0	98.0	3.902	101.89	14.66	67.77	136.02
100	1.0	99.0	4.600	111.96	16.85	72.74	151.18

Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

Ilustración 72. Método Máxima Verosimilitud, Caudales Máximos, Playas.

Gráfica H.1.5. DISTRIBUCIÓN GUMBEL
MÉTODO DE MÁXIMA VEROSIMILITUD
CAUDALES MÁXIMOS ANUALES (1.994- 2.014)
Estación EPM-P5252-PLAYAS



Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

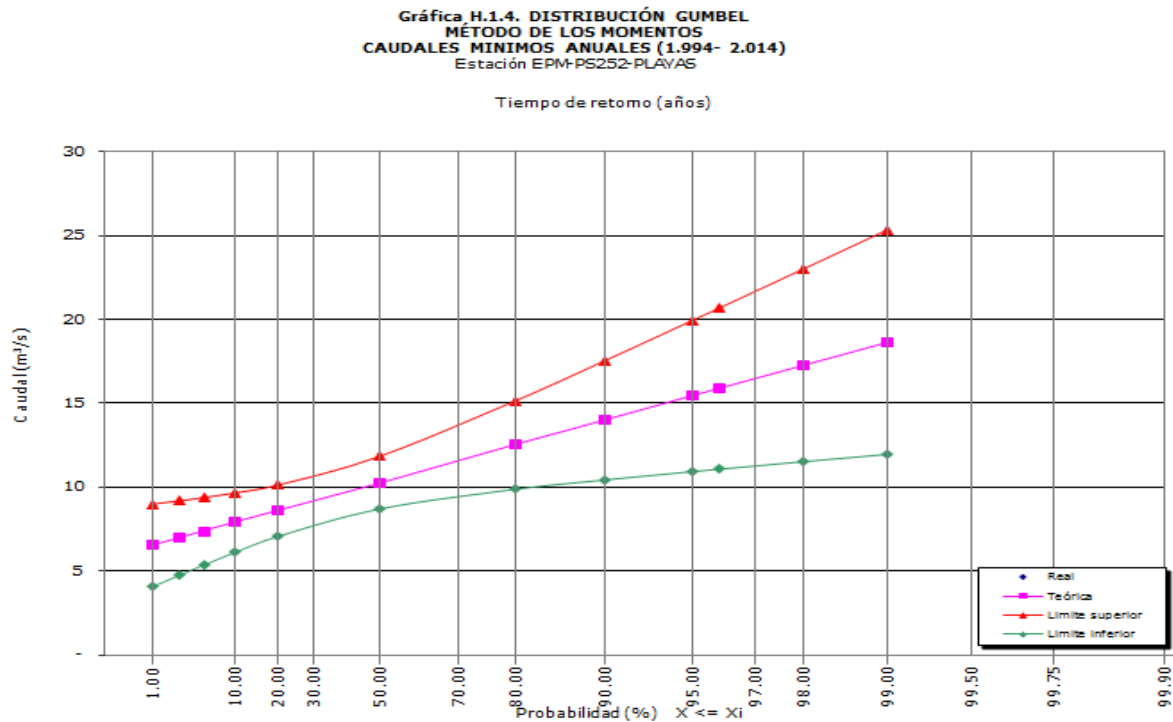
Con la información de los mínimos caudales anuales (m^3/s), (1994-2014), por medio del Software HYFA, se generan las Distribuciones Gumbel: Métodos de los Momentos y Método de Máxima Verosimilitud, con su respectiva gráfica de Distribución Gumbel.

Tabla 88. Distribución Gumbel, Método de los Momentos, Playas.

Tabla H.1.5. DISTRIBUCIÓN GUMBEL. MÉTODO DE LOS MOMENTOS							
Período de retorno $T = 1/p$ (años)	Probabilidad $X \geq X_i$	Probabilidad $X \leq X_i$	Variable reducida Y	Valor estimado X_i	Error estándar S	Límites de confianza	
	p (%)	1 - p (%)		X_i (m^3/s)		Inferior $X_i - tS$	Superior $X_i + tS$
1.01	99.0	1.0	-1.527	6.52	1.06	4.05	8.99
1.03	97.5	2.5	-1.305	6.96	0.96	4.74	9.18
1.05	95.0	5.0	-1.097	7.37	0.86	5.36	9.38
1.11	90.0	10.0	-0.834	7.89	0.76	6.12	9.67
1.25	80.0	20.0	-0.476	8.60	0.66	7.07	10.14
2	50.0	50.0	0.367	10.27	0.67	8.70	11.84
5	20.0	80.0	1.500	12.51	1.13	9.88	15.15
10	10.0	90.0	2.250	14.00	1.53	10.44	17.56
20	5.0	95.0	2.970	15.43	1.93	10.92	19.93
25	4.0	96.0	3.199	15.88	2.06	11.07	20.68
50	2.0	98.0	3.902	17.27	2.47	11.52	23.02
100	1.0	99.0	4.600	18.65	2.88	11.96	25.35

Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

Ilustración 73. Método de los Momentos, Caudales Mínimos, Playas.



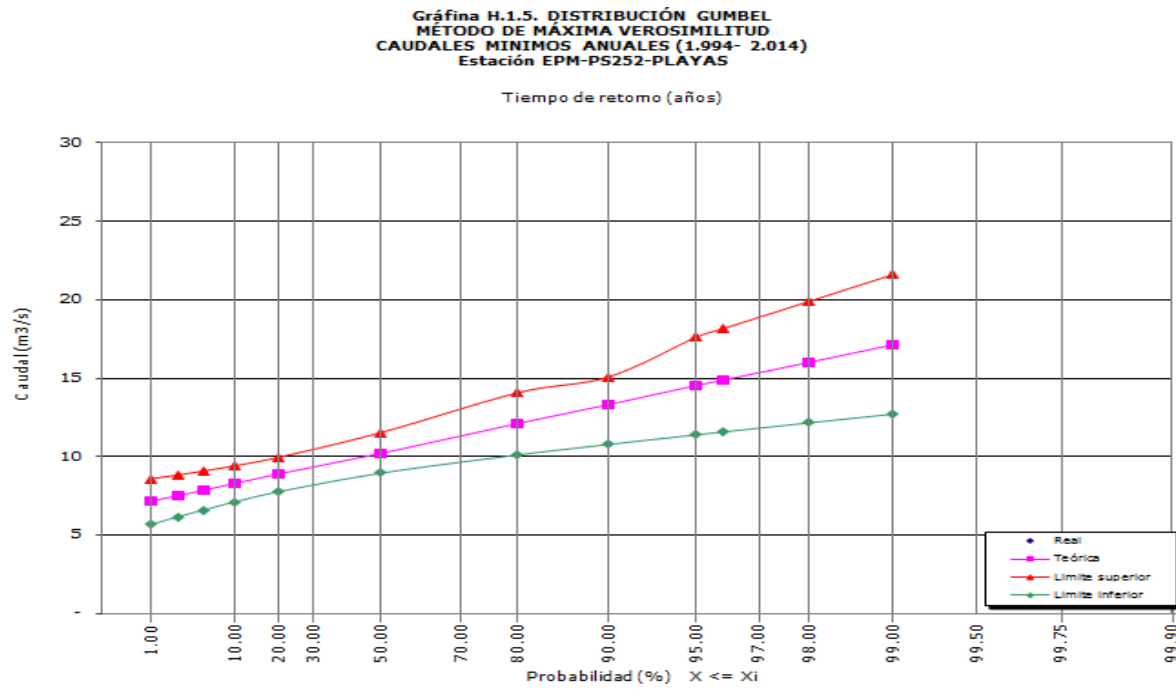
Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

Tabla 89. Distribución Gumbel, Método Máxima Verosimilitud, Playas.

Tabla H.1.6. DISTRIBUCIÓN GUMBEL. MÉTODO DE MÁXIMA VEROSIMILITUD							
Período de retorno T = 1/p (años)	Probabilidad X >= Xi p (%)	Probabilidad X <= Xi 1 - p (%)	Variable reducida Y	Valor estimado Xi (m ³ /s)	Error estándar S (m ³ /s)	Límites de confidencia	
						Inferior Xi - tS	Superior Xi + tS
1.01	99.0	1.0	-1.527	7.14	0.62	5.69	8.59
1.03	97.5	2.5	-1.305	7.50	0.57	6.17	8.84
1.05	95.0	5.0	-1.097	7.84	0.53	6.60	9.09
1.11	90.0	10.0	-0.834	8.27	0.50	7.12	9.43
1.25	80.0	20.0	-0.476	8.86	0.47	7.76	9.96
2	50.0	50.0	0.367	10.24	0.55	8.95	11.53
5	20.0	80.0	1.500	12.09	0.85	10.11	14.07
10	10.0	90.0	2.250	13.32	1.09	10.78	15.08
20	5.0	95.0	2.970	14.50	1.34	11.38	17.61
25	4.0	96.0	3.199	14.87	1.42	11.57	18.16
50	2.0	98.0	3.902	16.02	1.66	12.15	19.89
100	1.0	99.0	4.600	17.16	1.91	12.71	21.61

Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

Ilustración 74. Método Máxima Verosimilitud, Caudales Mínimos, Playas.



Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

Como se puede observar en las gráficas de GMM y GMMV, se determinó la variación de los caudales para extremos (altos y bajos), se define el caudal mínimo, que se puede asegurar con una probabilidad alta del 85% al 90%, éstos conceptos son regidos por el IDEAM, con el fin de determinar las probabilidades (altas y bajas) de ocurrencia de fenómenos de variabilidad climática (Fenómeno del Niño y de la Niña).

15.2.3. CÁLCULO DE PERFILES DE SECCIONES TRANSVERSALES

Se procede a realizar los perfiles, con información suministrada por el IDEAM, para aguas arriba y aguas abajo del embalse:

Tabla 90. Cotas de Inundación, Playas.

UBICACIÓN	PLAYAS	
	ABSCISADO (m)	COTA (msnm)
AGUAS ARRIBA	0.00	91.730
	1.00	91.223
	2.00	90.884
	3.00	90.421
	4.00	89.330
	5.00	88.890
	6.00	88.352
	8.00	87.938
	12.00	85.238
	18.00	83.238
	24.00	83.138
	30.00	82.938
	36.00	82.738
	42.00	82.838
	48.00	82.718
	54.00	82.538
	60.00	82.438
	66.00	82.538
	72.00	82.588
	76.00	82.838
80.00	82.52	
84.00	83.34	
88.00	84.34	
93.00	87.93	
94.00	89.18	
95.00	90.69	
96.00	91.20	
98.00	92.01	
	98.30	92.10

AGUAS ABAJO	0.00	532.829
	0.00	533.527
	0.55	531.627
	7.10	529.728
	24.00	528.048
	36.00	526.958
	46.00	526.548
	55.00	525.868
	63.00	525.368
	70.00	524.808
	77.00	524.708
	84.00	524.148
	90.00	523.408
	96.00	523.388
	102.00	523.258
	108.00	522.788
	113.00	521.978
	118.00	520.938
	122.00	520.178
	126.00	522.128
132.00	524.038	
137.90	529.728	
142.00	533.134	
142.15	533.502	
148.45	533.586	
148.70	534.658	
149.60	534.656	

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Posteriormente, con los protocolos de HYFA y SMADA, para un tiempo de retorno T_R y caudales mínimos (m^3/s), se calcula el error relativo de evaluación, el cual permite observar la variación de caudales de un programa a otro en un T_R determinado.

Tabla 91. Protocolo HYFA y SMADA, Playas, AA.

ESTACIÓN 3 (aguas arriba)							
estación de monitoreo		corriente		variable analizada		serie histórica analizada	
EPM-PS252-Playas.		Guatapé		CAUDAL (m^3/S)			
T_R	DATOS ANALITICOS			COMPARACIÓN		COTAS DE REFERENCIA PARA GENERACIÓN DE ALERTAS (m)	
	PROTOCOLO			ERROR RELATIVO DE EVALUACIÓN			
	HYFA		SMADA	HYFA			
	MM	MV	ÚNICO	MM	MV		
(años)	Q (m^3/S)	Q (m^3/S)	Q (m^3/S)	(%)	(%)	MÍNIMOS	MÁXIMOS
2	105.896	105.751	106.475	-0.546	-0.684	85.70	86.40
5	128.566	127.309	136.548	-6.208	-7.257	85.10	

10	143.576	141.583	156.459	-8.973	-10.507	84.20	87.40
20	157.974	155.274	175.559	-11.131	-13.064		88.90
50	176.610	172.996	200.281	-13.403	-15.772		
100	190.575	186.276	218.807	-14.814	-17.464		

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

Tabla 92. Protocolo HYFA y SMADA, Playas, aa.

ESTACIÓN 4 (aguas abajo)							
estación de monitoreo		corriente		variable analizada		serie histórica analizada	
EPM-PS252-Playas.		Guatapé		CAUDAL (m³/S)			
	DATOS ANALITICOS			COMPARACIÓN		COTAS DE REFERENCIA PARA GENERACIÓN DE ALERTAS (m)	
T _R	PROTOCOLO			ERROR RELATIVO DE EVALUACIÓN			
	HYFA		SMADA	HYFA			
	MM	MV	ÚNICO	MM	MV		
(años)	Q (m³/S)	Q (m³/S)	Q (m³/S)	(%)	(%)	MÍNIMOS	MÁXIMOS
2	36.955	37.013	37.083	-0.347	-0.189	527.20	528.00
5	41.973	42.394	43.739	-4.208	-3.173	526.40	126.00
10	45.295	45.957	48.146	-6.294	-4.763	525.00	529.00
20	48.481	49.375	52.373	-8.028	-6.072		530.40
50	52.606	53.799	57.845	-9.958	-7.520		
100	55.697	57.114	61.945	-11.218	-8.459		

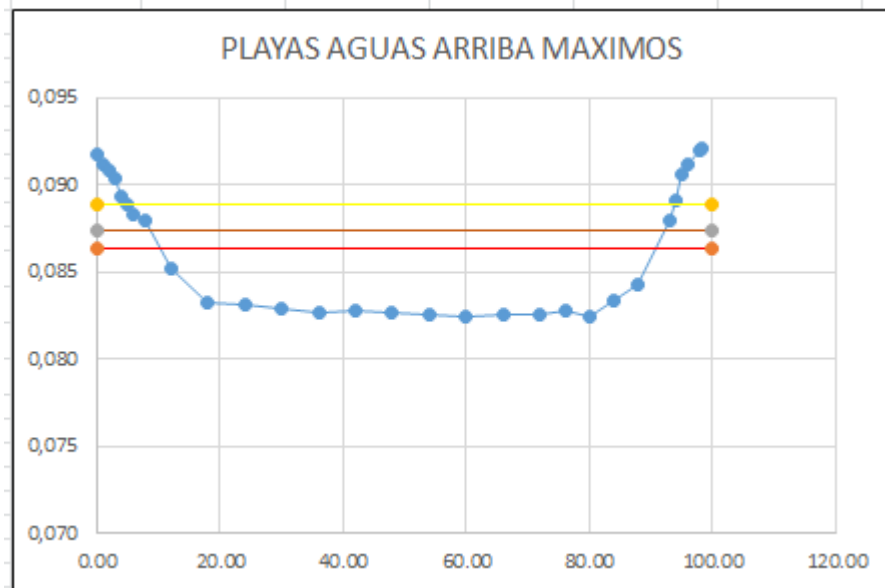
Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

Todos los perfiles se referencian indicando cotas máximas para los T_R de 2, 10 y 20 años y las cotas mínimas para T_R de 2, 5 y 10 años.

Las cotas máximas se refieren a niveles de potencialidad de inundaciones.

Las cotas mínimas se refieren a niveles que causarían desabastecimiento de agua para toma y en la restricción de navegación.

Ilustración 75. Perfil, AA, Máximos, Playas.



Fuente: Autor

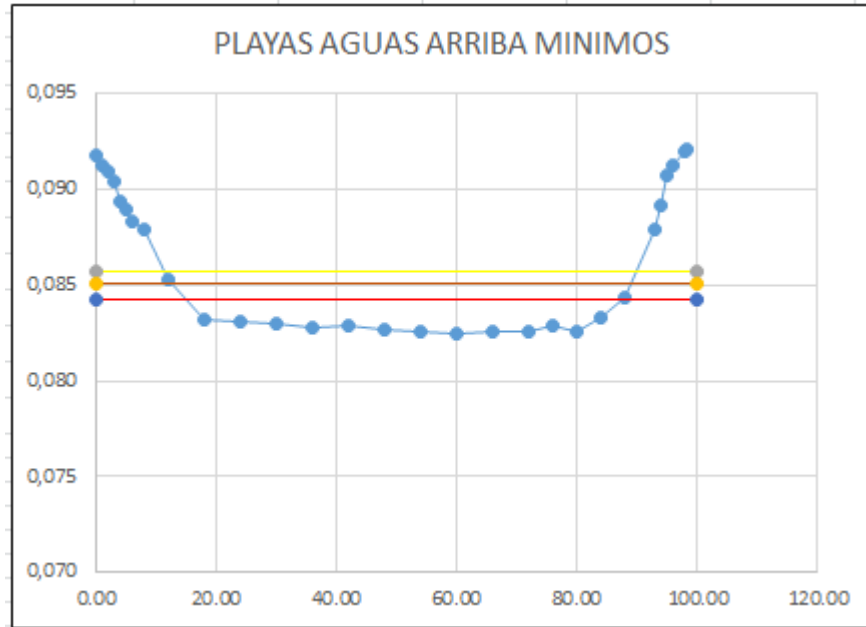
Tabla 93. Cotas Inundación, Playas.

ABCISADO	MAXIMOS		
	T2	T10	T20
0.00	86.40	87.40	88.90
100.00	86.40	87.40	88.90

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Según las cotas de referencia para generación de alertas (m), indican exceso de agua, aguas arriba del embalse, en lo cual se están generando las alertas con el cambio de las corrientes de agua al paso de los tiempos, la alerta amarilla nos indica que todavía se puede hacer aviso para controlar lo que está pasando en el embalse, estas alertas se generan por creciente máxima o mínima de un caudal proyectado, y tienen como premisa fundamental, la de observar la potencial demanda por exceso de agua, cuando ya está en alerta roja, se deben tomar medidas urgentes para controlar la llegada del agua al embalse, evitando así inundaciones.

Ilustración 76. Perfil, AA, Mínimos Playas.



Fuente: Autor

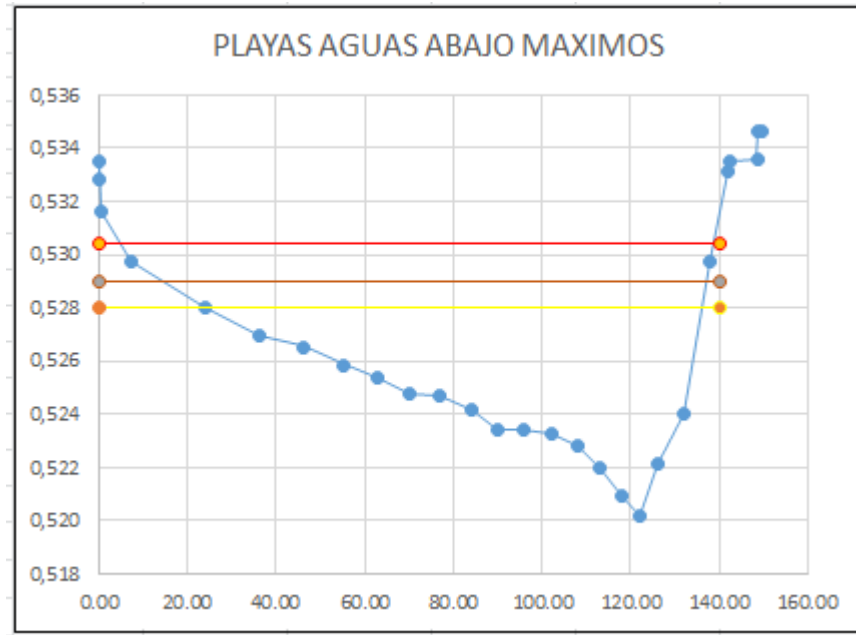
Tabla 94. Cotas Inundación, Playas.

ABCISADO	MÍNIMOS		
	T2	T5	T10
0.00	85.70	85.10	84.20
100.00	85.70	85.10	84.20

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Según las cotas de referencia para generación de alertas (m), indican déficit de agua, aguas arriba del embalse, en lo cual se están generando las alertas con el cambio de las corrientes de agua al paso de los tiempos, la alerta amarilla nos indica que con la demanda de agua que llega, se está generando un problema de déficit y que se puede hacer aviso para controlar lo que está pasando en el embalse, estas alertas tienen como premisa fundamental, la de observar la potencial demanda por déficit de agua; cuando ya está en alerta roja, se deben tomar medidas urgentes para controlar el déficit del agua al embalse, toda vez que puede traer problemas a las poblaciones que se suministran de éste, como desabastecimiento de agua y en la restricción de la navegación.

Ilustración 77. Perfil, aa, Máximos Playas.



Fuente: Autor

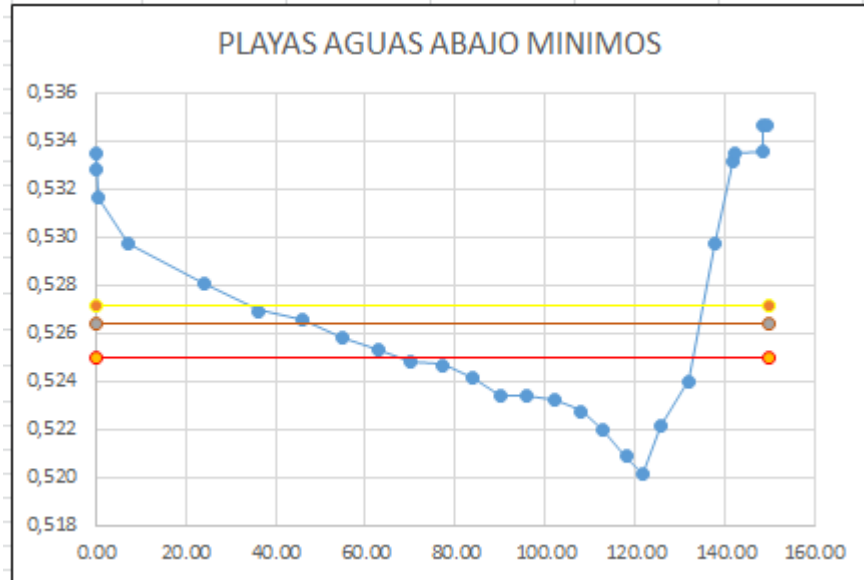
Tabla 95. Cotas Inundación, Playas.

ABCISADO	MAXIMOS		
	T2	T10	T20
0.00	528.00	529.00	530.40
140.00	528.00	529.00	530.40

Fuente: Autor

Según las cotas de referencia para generación de alertas (m), indican exceso de agua, aguas abajo del embalse, en lo cual se están generando las alertas con el cambio de las corrientes de agua al paso de los tiempos, la alerta amarilla nos indica que todavía se puede hacer aviso para controlar lo que está pasando en el embalse, estos niveles que generan alertas respecto a los umbrales, teniendo en cuenta que estamos revisando aguas abajo, pueden ser eventualmente superados, por efectos de descargas provenientes del embalse, y los afluentes que descargan allí, para este caso el afluente es el río Guatapé; cuando ya está en alerta roja, se deben tomar medidas urgentes para controlar la llegada del agua a los municipios que se encuentran aguas abajo del embalse.

Ilustración 78. Perfil, aa, Mínimos Playas.



Fuente: Autor

Tabla 96. Cotas Inundación, Playas.

ABCISADO	MÍNIMOS		
	T2	T5	T10
0.00	527.20	526.40	525.00
150.00	527.20	526.40	525.00

Fuente: Autor

Según las cotas de referencia para generación de alertas (m), indican déficit de agua, aguas abajo del embalse, en lo cual se están generando las alertas con el cambio de las corrientes de agua al paso de los tiempos, la alerta amarilla nos indica que con la demanda de agua que llega, se está generando un problema de déficit y que se puede hacer aviso para controlar lo que está pasando en el embalse, estas alertas tienen como premisa fundamental, determinar los niveles de umbrales, suministrando información oportuna, debido al posible desabastecimiento en los puntos de toma y de afluencia a los embalses; cuando ya está en alerta roja, se deben tomar medidas urgentes para controlar el déficit del agua al embalse, toda vez que puede traer problemas a las poblaciones que se suministran de éste, afectando sus labores cotidianas.

En caso tal, que el caudal baje de forma repentina, se debe generar la alerta para mínimos, toda vez que pudo haber un represamiento aguas arriba del embalse, siendo así la generación del tiempo de Respuesta de la Alerta.

15.2.4. TIEMPO DE RESPUESTA SAT

Con la información suministrada por el IDEAM, respecto a la corriente que descarga a este embalse, para la generación del tiempo de respuesta a la Alerta (tiempo de viaje de la onda de crecida), se tienen en cuenta las variables de velocidad de propagación de olas de inundación y distancia en metros desde el embalse hasta el sitio del posible evento, lo cual genera un tiempo posible en el que va a pasar el desbordamiento o inundación. Documento que puede ser verificado según anexo "Tiempo de Respuesta G Alerta". El cual fue calculado como $T = \text{ESPACIO} / \text{VELOCIDAD}$.

Tabla 97. AFLUENTES A EMBALSES EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA (Aguas Arriba)

Nº	CÓDIGO	ESTACIÓN	CORRIENTE	H (m)	L (m)	W (m/S)
2	EPM-PS252	Playas.	Guatapé	93.087	4,597.067	1.93

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Tabla 98. AFLUENTES A EMBALSES EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA (Aguas Abajo)

Nº	CÓDIGO	ESTACIÓN	CORRIENTE	H (m)	L (m)	W (m/S)
2	EPM-PS252	Playas.	Guatapé	101.140	3,120.690	2.56

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Ecuación 1. Fórmula empírica para calcular W: velocidad de propagación de olas de inundación, de acuerdo con la metodología de Rzhiha:

$$W = 20 \left(\frac{H}{L} \right)^{0.6} \text{ (m/s)}$$

Fuente: Metodología de Rzhiha

Para la generación del tiempo de respuesta a la Alerta, se analiza lo que ocurre aguas abajo del embalse, porque la Alerta se genera para poder estimar un tiempo en el cual las poblaciones que se encuentran, puedan evacuar en caso de un desbordamiento.

En función de los resultados de caudal obtenidos y con la consulta en el IDEAM, éstos se referenciaron con respecto a las alturas que potencialmente alcanzarían en una sección típica de monitoreo. Documento que puede ser verificado según anexo “Umbral Generación de Alertas”.

Tabla 99. Longitud Cauce, Playas.

Nº	EMBALSES		S (m)
	ESTACIÓN	CORRIENTE	
7	Playas	Guatapé	19,657.90

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

Tabla 100. Tiempo Posible de Inundación.

EMBALSES			
ESTACIÓN	W (m/S)	S (m)	T (horas)
	aa		
7	2.56	19,657.90	2.13

Fuente: Autor

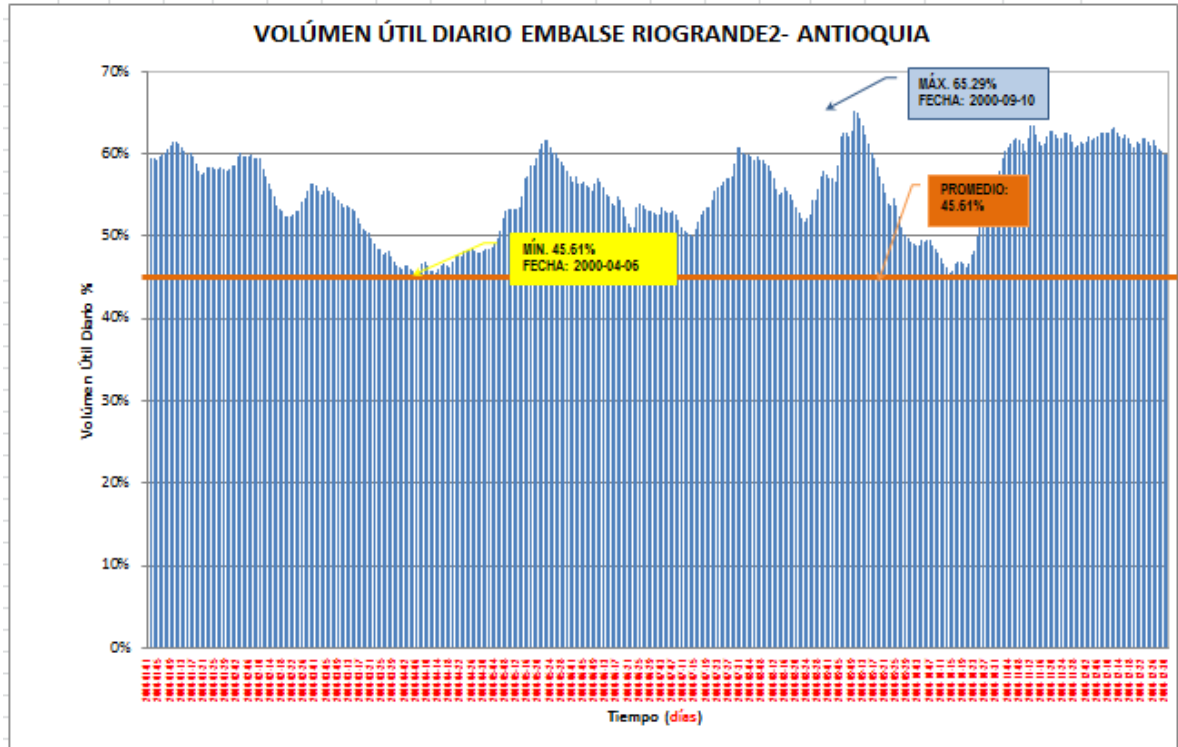
15.3. EMBALSE RIOGRANDE2

15.3.1. CÁLCULO DE VOLÚMEN ÚTIL DIARIO

Se realiza el análisis de resultados con la información suministrada, con el fin de dar un manejo hidrológico a eventuales descargas.

Según los comportamientos históricos a nivel diario del volumen útil del embalse, se realiza el cálculo de los valores máximos y mínimos (mensuales), y a su vez se calcula el promedio (mensual), lo cual arroja, según gráfica adjunta, que para los valores que se encuentren por encima de éste promedio (línea en color naranja), hay exceso de agua, es decir, se presenta Fenómeno de la Niña, y para los valores que se encuentren por debajo de éste promedio, hay déficit de agua, es decir, se presenta Fenómeno del Niño.

Ilustración 79 VUD Riogrande2, 2000.



Fuente: Autor

Tabla 101 Rangos Umbrales, Riogrande2, 2000.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	65.29%	
Mínimo	45.61%	
Promedio	55.44%	

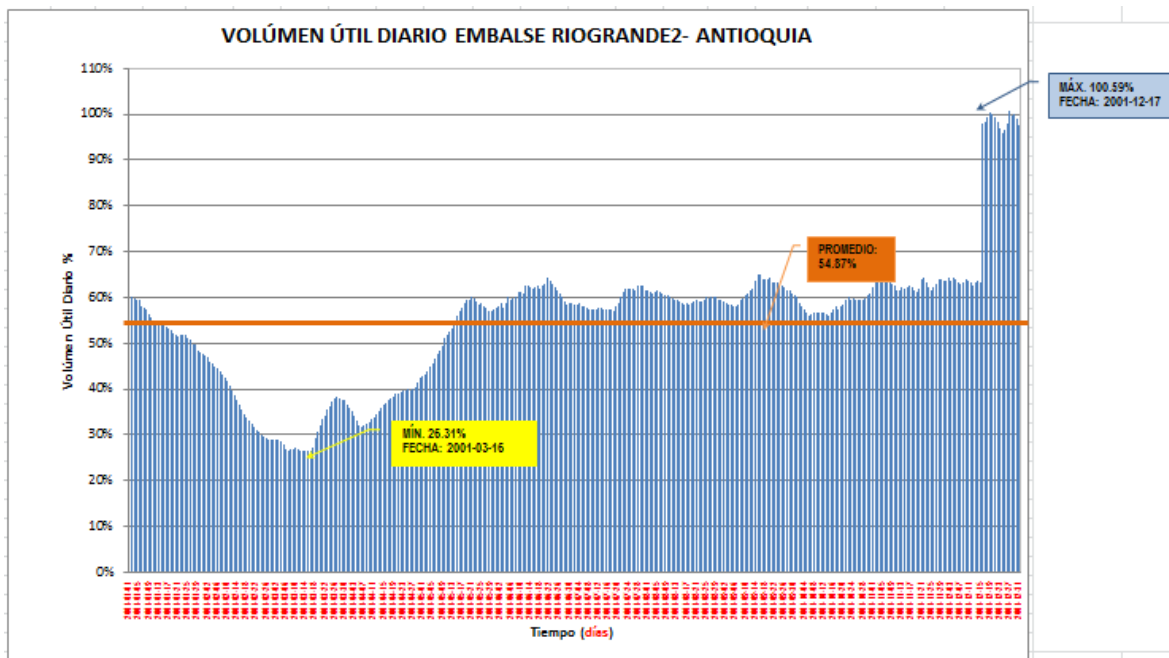
Fuente: Autor

Tabla 102 Porcentaje Umbrales, Riogrande2, 2000.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
57.46%	52.33%	46.30%	45.61%	48.33%	51.06%	50.07%	51.78%	49.31%	45.65%	57.83%	59.82%	45.61%	59.82%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
61.50%	60.11%	56.15%	48.33%	61.69%	57.18%	60.78%	60.20%	65.29%	56.38%	63.48%	63.14%	48.33%	65.29%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
59.31%	56.27%	51.67%	46.87%	55.83%	54.55%	53.96%	56.42%	57.96%	49.16%	61.57%	61.68%	55.44%	

Fuente: Autor

Ilustración 80. VUD Riogrande2, 2001.



Fuente: Autor

Tabla 103. Rangos Umbrales, Riogrande2, 2001.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	100.59%	
Mínimo	26.31%	
Promedio	54.87%	

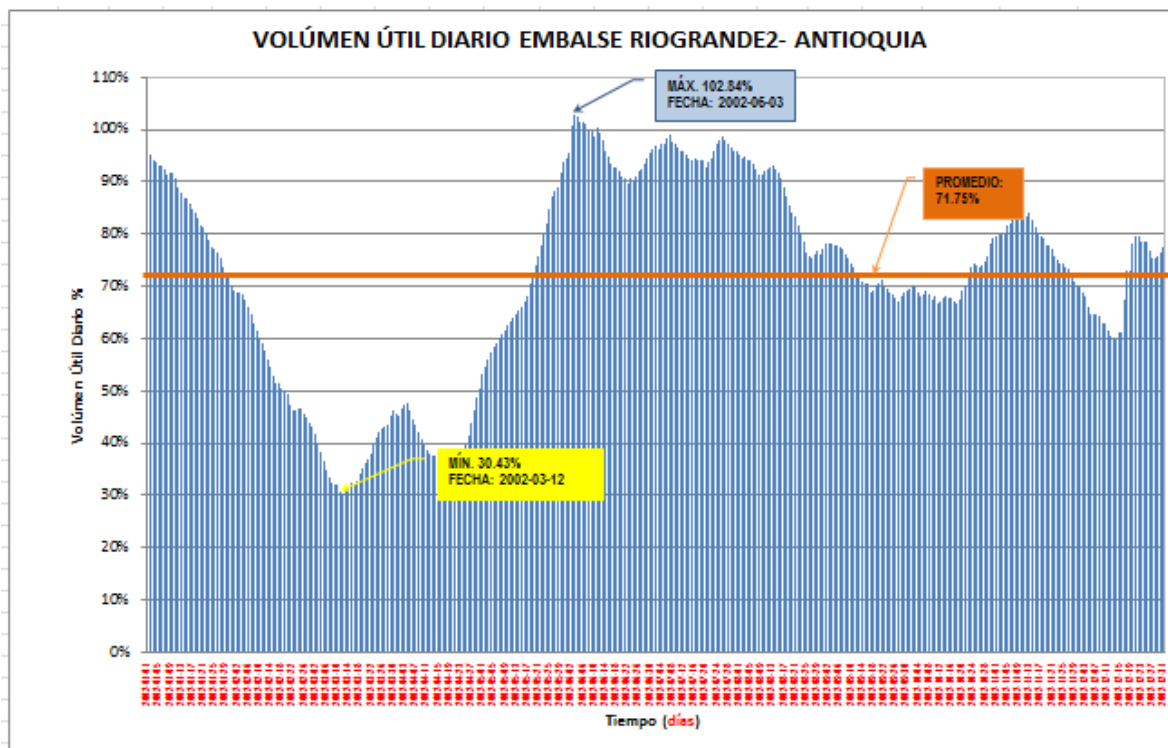
Fuente: Autor

Tabla 104. Porcentaje Umbrales, Riogrande2, 2001.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
47.80%	28.84%	26.31%	31.51%	42.63%	57.83%	57.13%	58.45%	57.88%	55.82%	61.26%	62.61%	26.31%	62.61%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
60.20%	47.18%	38.31%	42.33%	60.16%	64.16%	62.65%	61.69%	64.89%	60.73%	64.50%	100.59%	38.31%	100.59%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
53.96%	37.45%	30.90%	36.60%	53.73%	60.95%	59.23%	59.87%	61.46%	58.13%	62.90%	81.68%	54.74%	

Fuente: Autor

Ilustración 81. VUD Riogrande2, 2002.



Fuente: Autor

Tabla 105. Rangos Umbrales, Riogrande2, 2002.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	102.84%	
Mínimo	30.43%	
Promedio	71.75%	

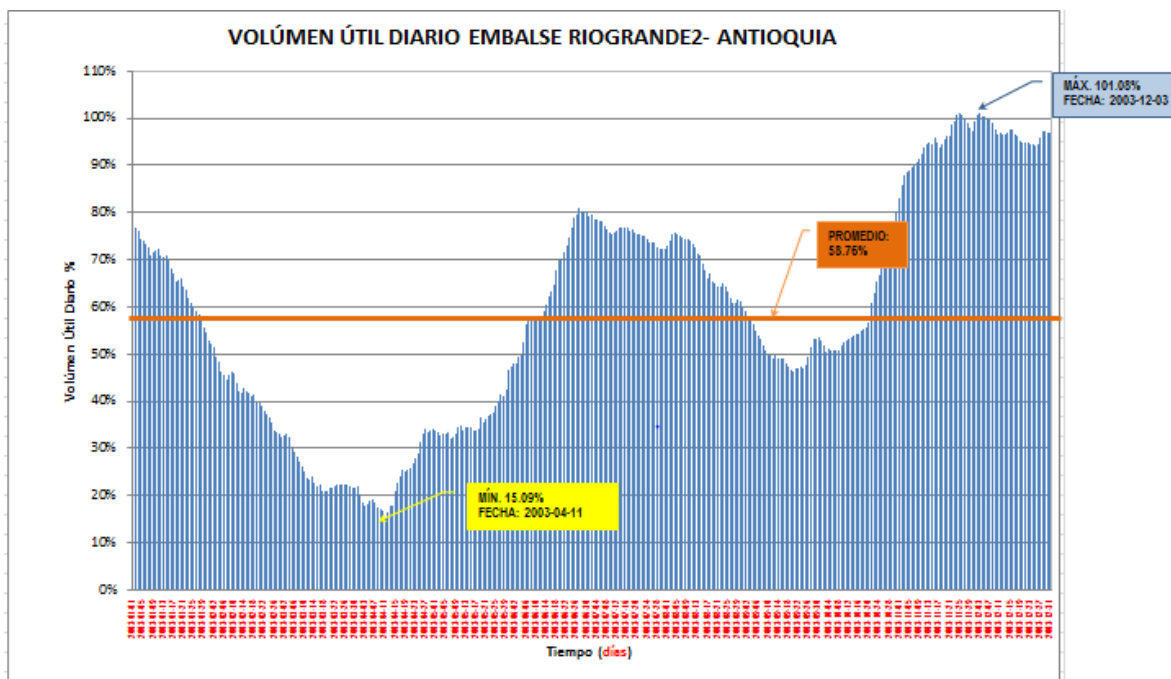
Fuente: Autor

Tabla 106. Porcentaje Umbrales, Riogrande2, 2002.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
70.11%	44.00%	30.43%	33.94%	53.04%	89.63%	92.86%	75.55%	66.92%	66.63%	70.26%	59.69%	30.43%	92.86%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
96.45%	69.14%	46.34%	50.28%	94.65%	102.84%	99.01%	95.14%	78.15%	79.31%	84.54%	79.73%	46.34%	102.84%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
84.78%	55.63%	37.21%	40.65%	71.09%	95.81%	96.12%	86.80%	72.27%	70.46%	78.80%	69.83%	71.62%	

Fuente: Autor

Ilustración 82. VUD Riogrande2, 2003.



Fuente: Autor

Tabla 107. Rangos Umbrales, Riogrande2, 2003.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	101.08%	
Mínimo	15.09%	
Promedio	58.76%	

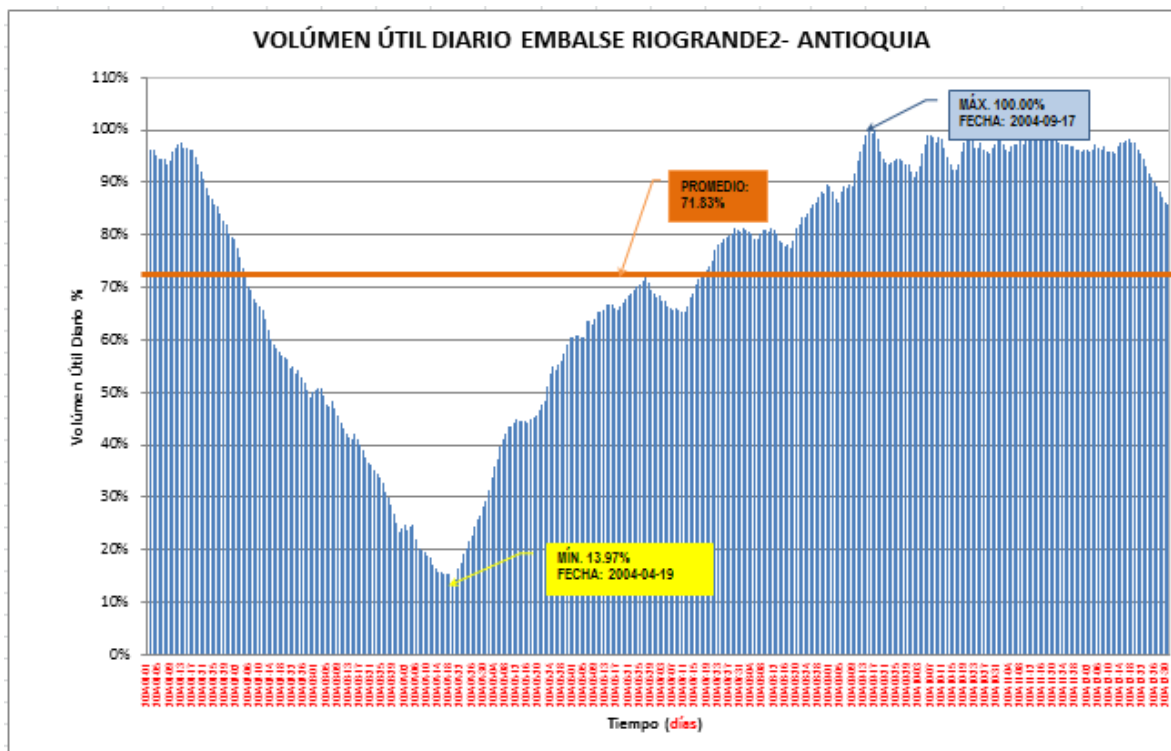
Fuente: Autor

Tabla 108. Porcentaje Umbrales, Riogrande2, 2003.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
52.78%	33.04%	20.80%	15.09%	32.03%	47.83%	72.25%	59.76%	46.14%	50.36%	82.92%	94.25%	15.09%	94.25%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
77.26%	52.02%	33.23%	34.11%	47.16%	80.81%	79.73%	75.73%	59.05%	80.43%	100.91%	101.08%	33.23%	101.08%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
66.94%	42.08%	24.58%	23.40%	36.22%	64.78%	75.81%	68.45%	50.79%	58.97%	94.26%	97.16%	58.62%	

Fuente: Autor

Ilustración 83. VUD Riogrande2, 2004.



Fuente: Autor

Tabla 109. Rangos Umbrales, Riogrande2, 2004.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	100.00%	
Mínimo	13.97%	
Promedio	71.83%	

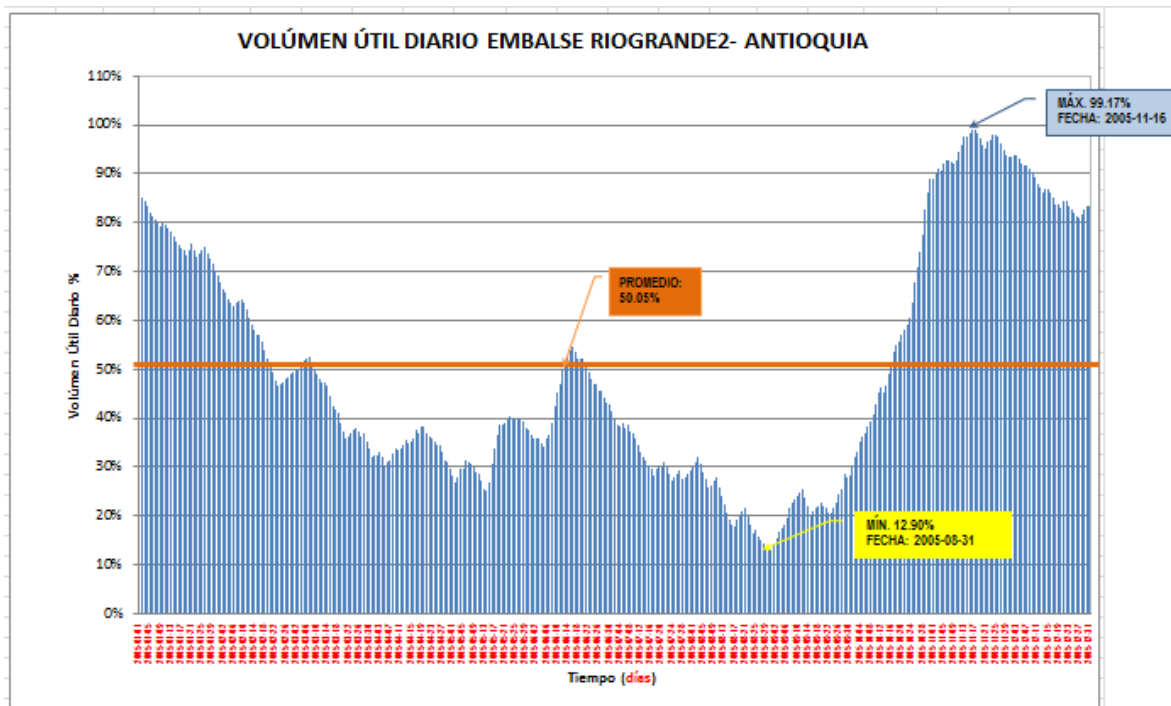
Fuente: Autor

Tabla 110. Porcentaje Umbrales, Riogrande2, 2004.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
79.73%	49.06%	23.23%	13.97%	29.11%	60.34%	65.41%	77.65%	86.30%	91.10%	95.80%	85.67%	13.97%	95.80%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
97.77%	79.11%	50.71%	28.06%	60.48%	71.80%	81.20%	89.49%	100.00%	99.75%	99.91%	98.26%	28.06%	100.00%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
91.71%	61.63%	39.42%	20.04%	45.93%	66.20%	72.28%	81.99%	93.31%	96.22%	97.90%	94.40%	71.75%	

Fuente: Autor

Ilustración 84. VUD Riogrande2, 2005.



Fuente: Autor

Tabla 111. Rangos Umbrales, Riogrande2, 2005.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	99.17%	
Mínimo	12.90%	
Promedio	50.05%	

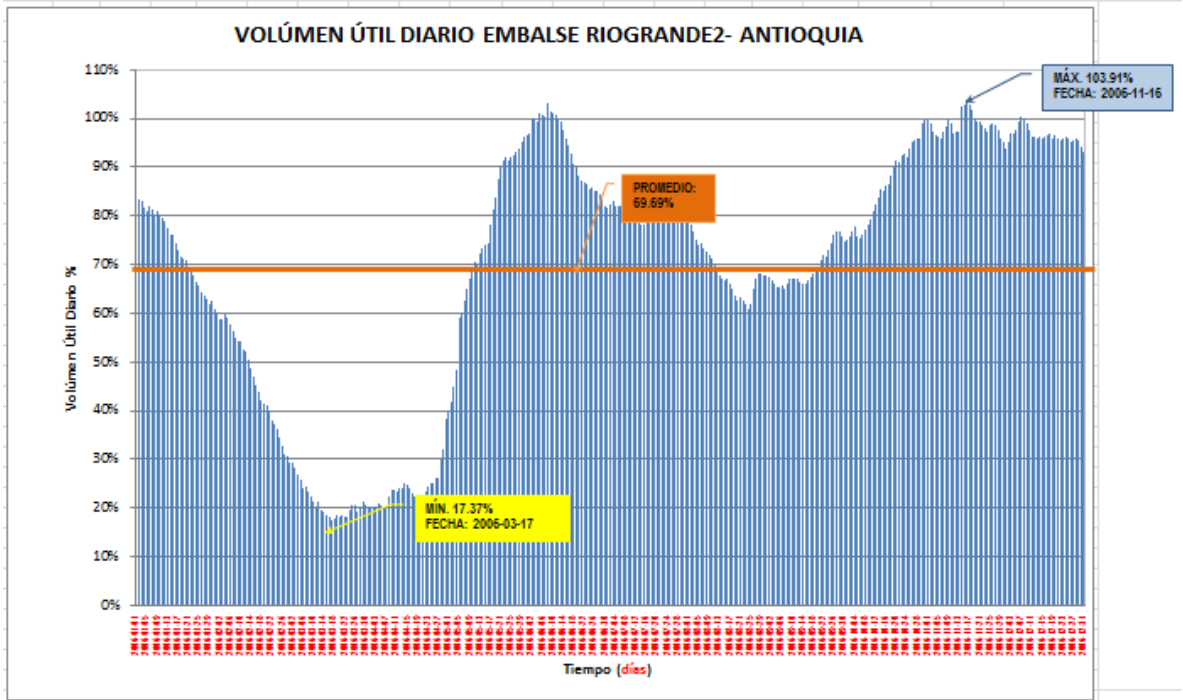
Fuente: Autor

Tabla 112. Porcentaje Umbrales, Riogrande2, 2005.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
69.11%	46.55%	31.90%	29.48%	25.02%	33.98%	27.02%	12.90%	14.30%	30.35%	88.93%	80.89%	12.90%	88.93%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
85.28%	67.70%	52.43%	38.15%	40.30%	54.66%	41.48%	31.97%	28.49%	88.77%	99.17%	93.92%	28.49%	99.17%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
77.00%	56.99%	43.17%	34.01%	33.38%	45.26%	32.52%	21.71%	22.01%	53.51%	94.94%	86.67%	50.10%	

Fuente: Autor

Ilustración 85. VUD Riogrande2, 2006.



Fuente: Autor

Tabla 113. Rangos Umbrales, Riogrande2, 2006.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	103.91%	
Mínimo	17.37%	
Promedio	69.69%	

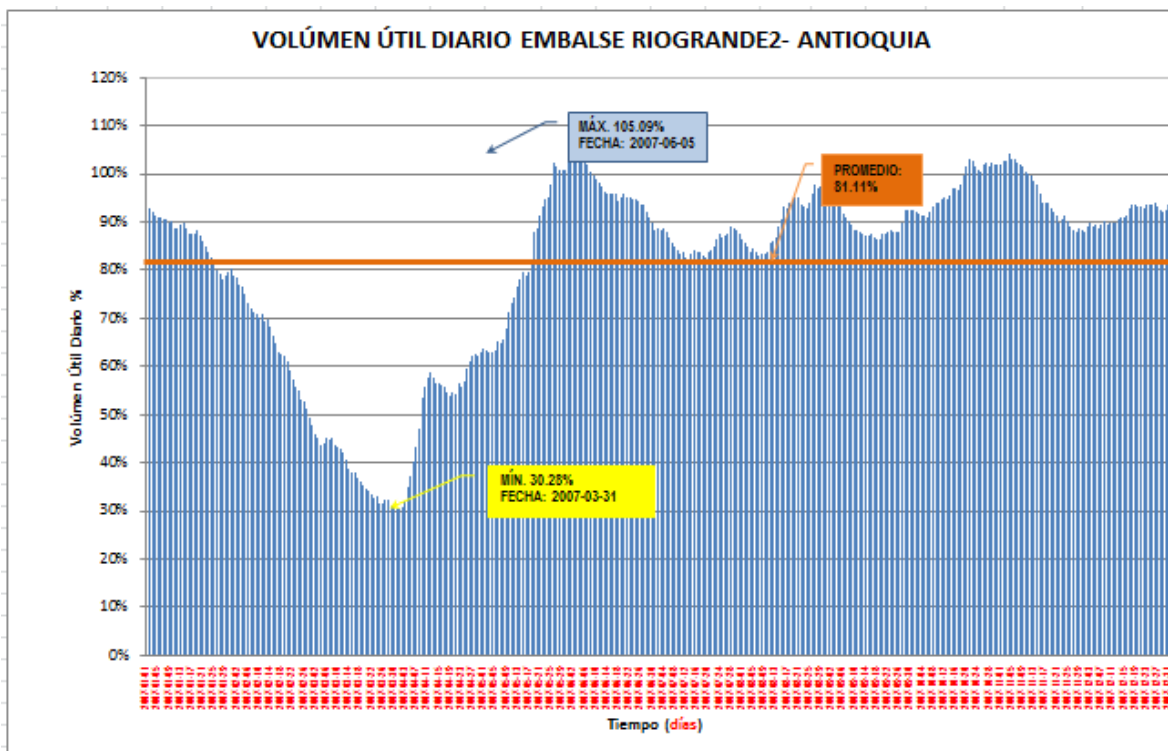
Fuente: Autor

Tabla 114. Porcentaje Umbrales, Riogrande2, 2006.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
60.77%	30.78%	17.37%	20.04%	39.84%	82.06%	78.03%	60.70%	64.98%	74.90%	95.07%	93.03%	17.37%	95.07%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
83.23%	60.12%	29.23%	38.28%	96.54%	103.08%	82.92%	79.65%	76.65%	99.83%	103.91%	100.41%	29.23%	103.91%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
73.54%	47.07%	21.30%	23.94%	75.70%	93.51%	80.21%	68.56%	69.20%	86.13%	98.71%	96.42%	69.52%	

Fuente: Autor

Ilustración 86. VUD Riogrande2, 2007.



Fuente: Autor

Tabla 115. Rangos Umbrales, Riogrande2, 2007.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	105.09%	
Mínimo	30.28%	
Promedio	81.11%	

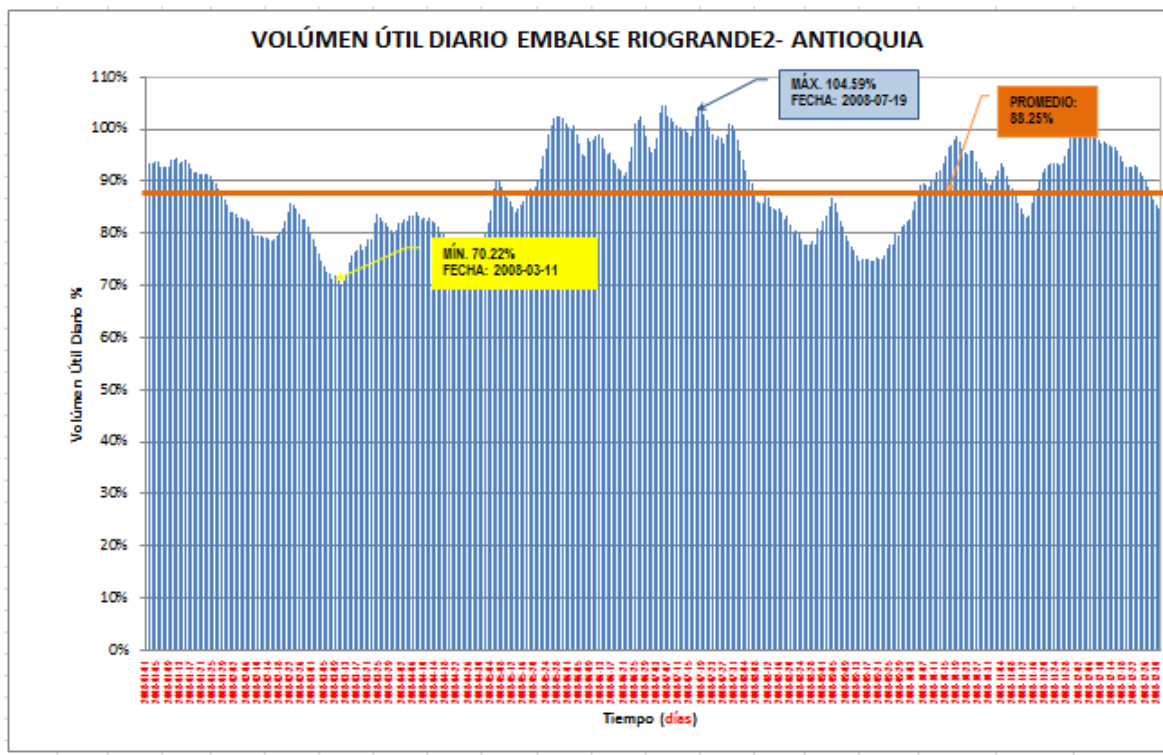
Fuente: Autor

Tabla 116. Porcentaje Umbrales, Riogrande2, 2007.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
78.03%	49.47%	30.28%	30.47%	62.86%	89.65%	82.14%	83.00%	86.30%	91.09%	88.05%	87.81%	30.28%	91.09%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
93.03%	78.72%	47.63%	63.08%	103.33%	105.09%	89.01%	97.77%	96.70%	102.91%	104.08%	94.01%	47.63%	105.09%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
86.80%	65.56%	38.23%	52.08%	81.67%	97.32%	85.73%	90.31%	89.85%	97.21%	95.94%	91.42%	81.01%	

Fuente: Autor

Ilustración 87. VUD Riogrande2, 2008.



Fuente: Autor

Tabla 117. Rangos Umbrales, Riogrande2, 2008.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	104.59%	
Mínimo	70.22%	
Promedio	88.25%	

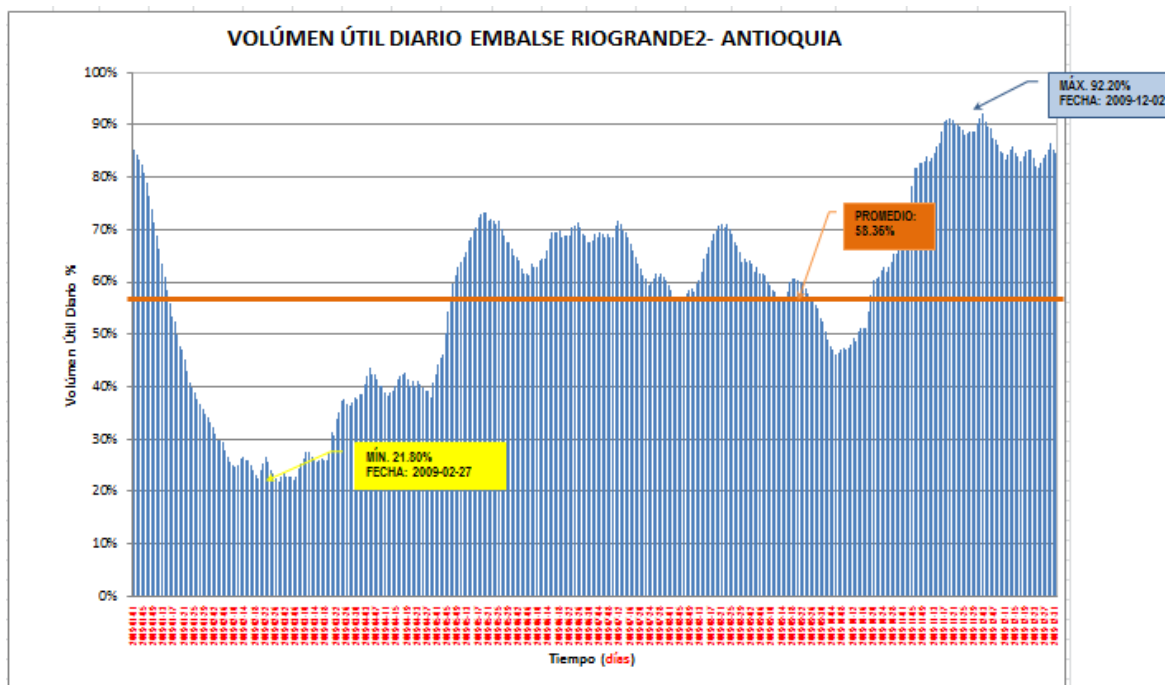
Fuente: Autor

Tabla 118. Porcentaje Umbrales, Riogrande2, 2008.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
84.17%	78.49%	70.22%	74.06%	78.18%	90.85%	95.64%	77.80%	74.59%	82.37%	83.15%	84.73%	70.22%	95.64%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
94.66%	85.67%	83.78%	83.94%	102.49%	102.32%	104.59%	97.93%	87.02%	98.59%	99.91%	101.82%	83.78%	104.59%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
91.70%	81.72%	76.84%	79.39%	90.52%	97.00%	100.47%	84.61%	78.81%	91.83%	90.71%	94.74%	88.19%	

Fuente: Autor

Ilustración 88. VUD Riogrande2, 2009.



Fuente: Autor

Tabla 119. Rangos Umbrales, Riogrande2, 2009.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	92.20%	
Mínimo	21.80%	
Promedio	58.36%	

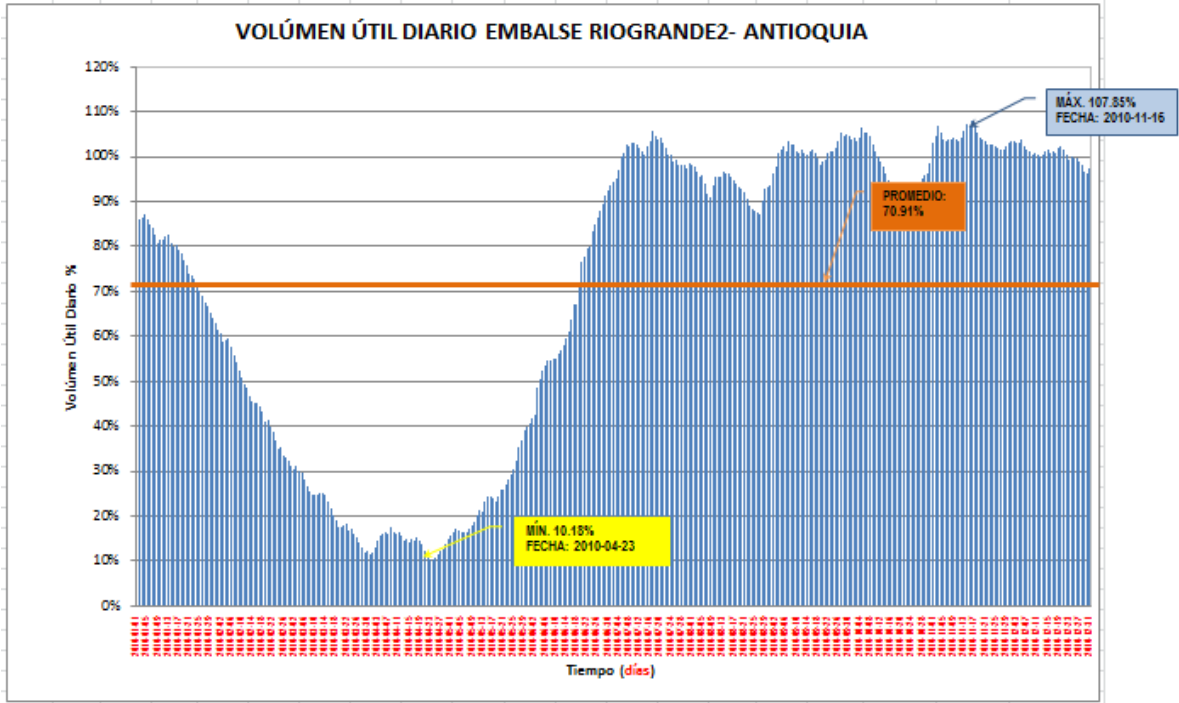
Fuente: Autor

Tabla 120. Porcentaje Umbrales, Riogrande2, 2009.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
21.80%	21.80%	22.21%	37.83%	44.13%	61.27%	59.41%	56.28%	52.50%	46.14%	68.21%	81.69%	21.80%	81.69%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
85.20%	32.41%	38.54%	43.60%	73.38%	71.50%	71.80%	70.97%	64.02%	66.59%	91.27%	92.20%	32.41%	92.20%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
41.69%	25.83%	29.30%	40.62%	64.80%	66.75%	65.55%	63.59%	58.86%	54.75%	85.24%	85.59%	56.88%	

Fuente: Autor

Ilustración 89. VUD Riogrande2, 2010.



Fuente: Autor

Tabla 121. Rangos Umbrales, Riogrande2, 2010.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	107.85%	
Mínimo	10.18%	
Promedio	70.91%	

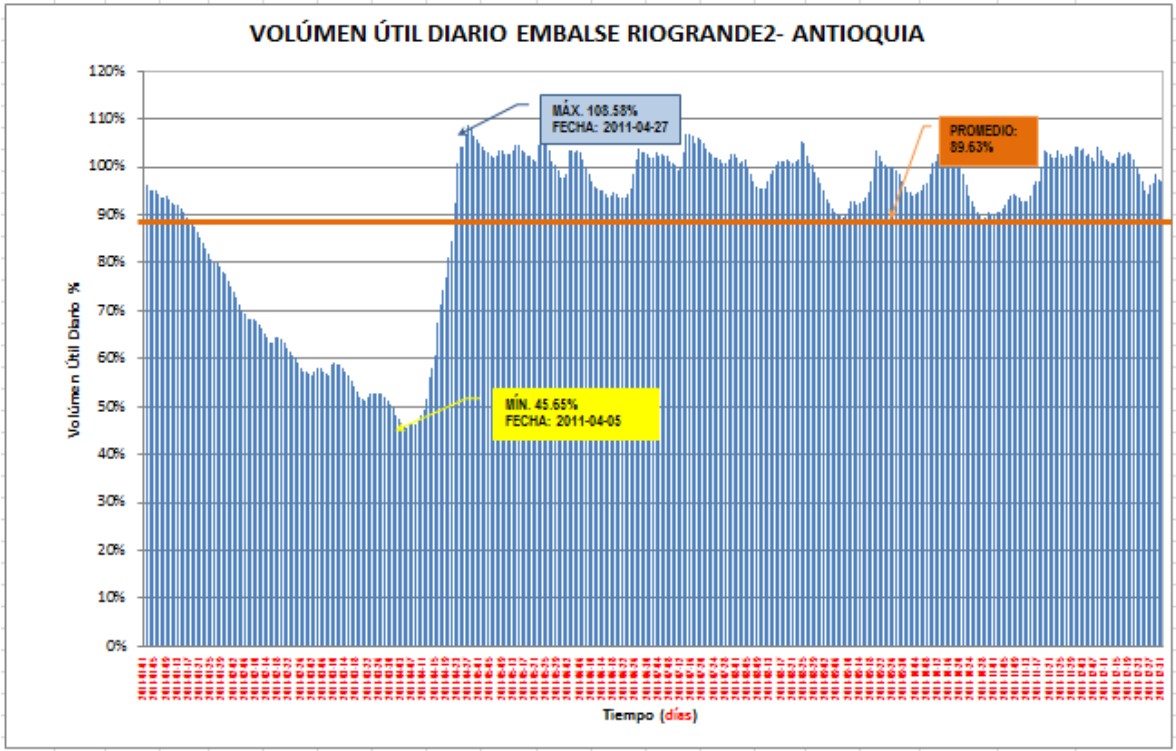
Fuente: Autor

Tabla 122. Porcentaje Umbrales, Riogrande2, 2010.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
62.94%	32.14%	11.34%	10.18%	15.49%	41.64%	93.80%	87.04%	96.36%	91.44%	101.41%	96.36%	10.18%	101.41%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
87.07%	61.35%	31.03%	17.37%	40.69%	92.61%	105.68%	98.26%	105.32%	106.40%	107.85%	103.80%	17.37%	107.85%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
77.43%	46.60%	21.44%	14.02%	24.69%	66.67%	100.56%	93.32%	101.36%	97.77%	104.09%	100.70%	70.72%	

Fuente: Autor

Ilustración 90. VUD Riogrande2, 2011.



Fuente: Autor

Tabla 123. Rangos Umbrales, Riogrande2, 2011.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	108.58%	
Mínimo	45.65%	
Promedio	89.63%	

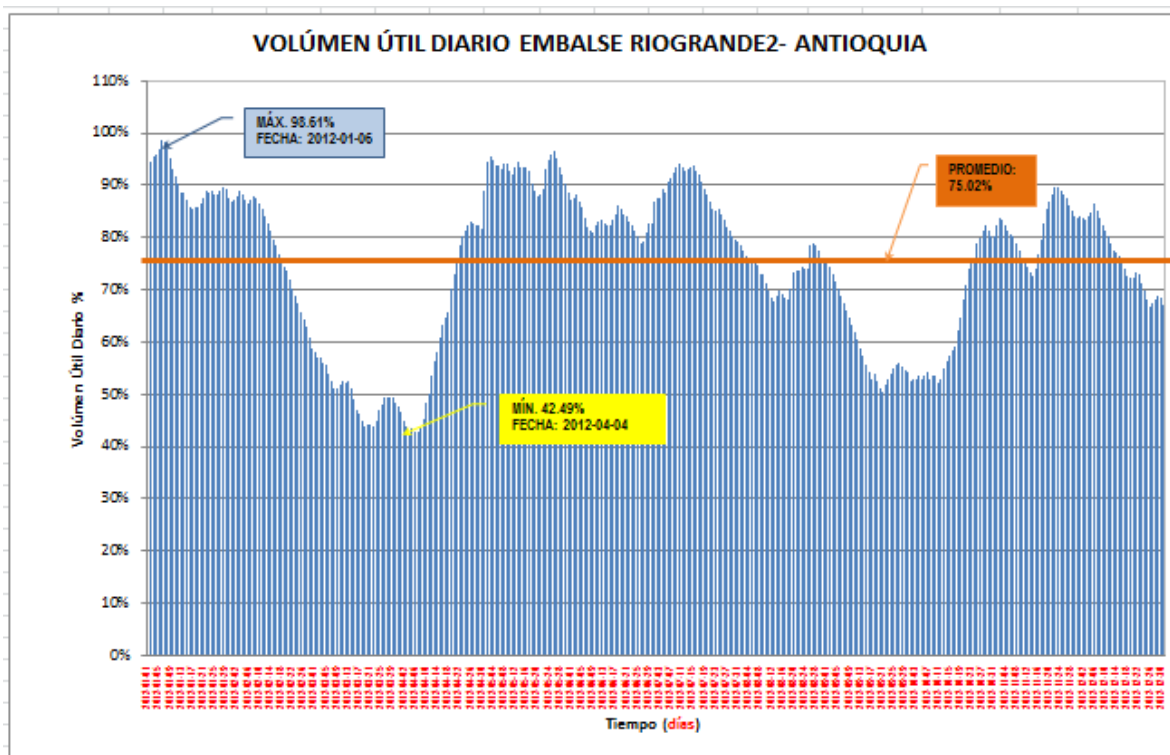
Fuente: Autor

Tabla 124. Porcentaje Umbrales, Riogrande2, 2011.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
76.33%	57.14%	49.54%	45.65%	97.65%	93.54%	99.39%	95.42%	89.35%	88.85%	90.35%	94.31%	45.65%	99.39%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
96.96%	75.16%	59.34%	108.58%	104.96%	103.80%	106.76%	105.41%	103.44%	105.95%	104.07%	104.07%	59.34%	108.58%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
88.13%	65.27%	54.87%	71.21%	102.63%	98.26%	102.78%	99.90%	95.32%	96.93%	97.35%	100.69%	89.45%	

Fuente: Autor

Ilustración 91. VUD Riogrande2, 2012.



Fuente: Autor

Tabla 125. Rangos Umbrales, Riogrande2, 2012.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	98.61%	
Mínimo	42.49%	
Promedio	75.02%	

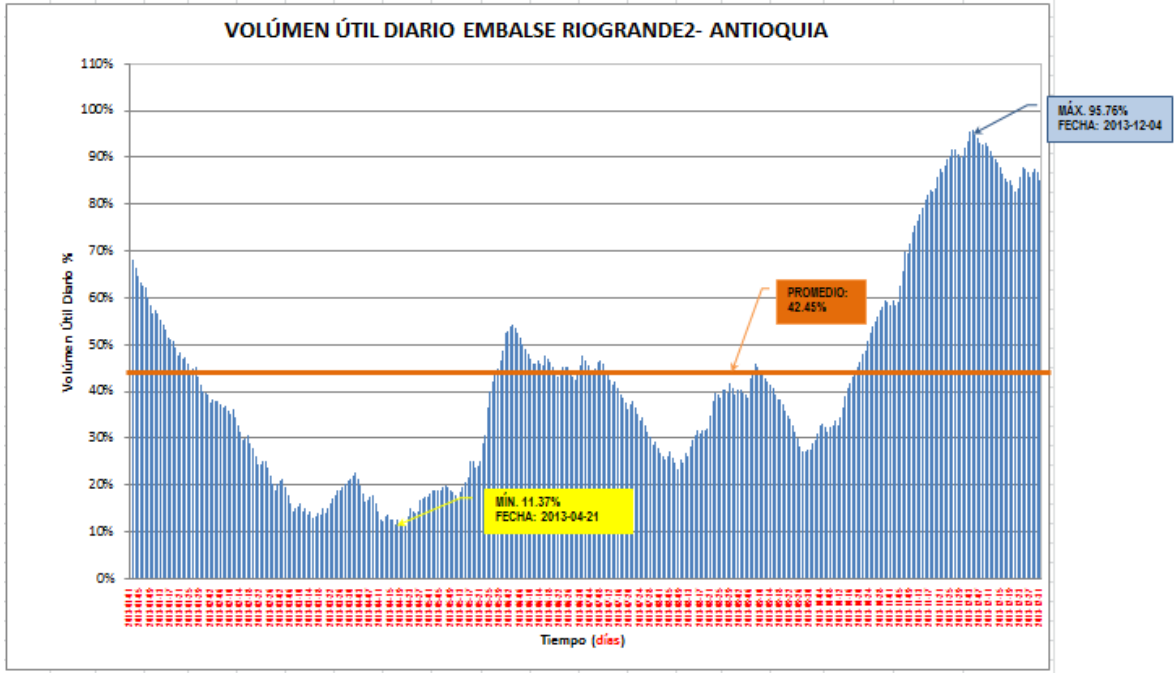
Fuente: Autor

Tabla 126. Porcentaje Umbrales, Riogrande2, 2012.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
85.40%	58.92%	43.93%	42.49%	87.94%	78.99%	79.23%	67.73%	50.28%	52.20%	72.70%	66.61%	42.49%	87.94%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
98.61%	88.85%	58.20%	83.14%	96.53%	88.27%	94.05%	78.99%	75.40%	82.41%	89.60%	86.38%	58.20%	98.61%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
90.65%	77.87%	49.98%	62.33%	92.71%	83.28%	88.18%	73.50%	59.74%	63.79%	81.97%	76.05%	75.00%	

Fuente: Autor

Ilustración 92. VUD Riogrande2, 2013.



Fuente: Autor

Tabla 127. Rangos Umbrales, Riogrande2, 2013.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	95.76%	
Mínimo	11.37%	
Promedio	42.45%	

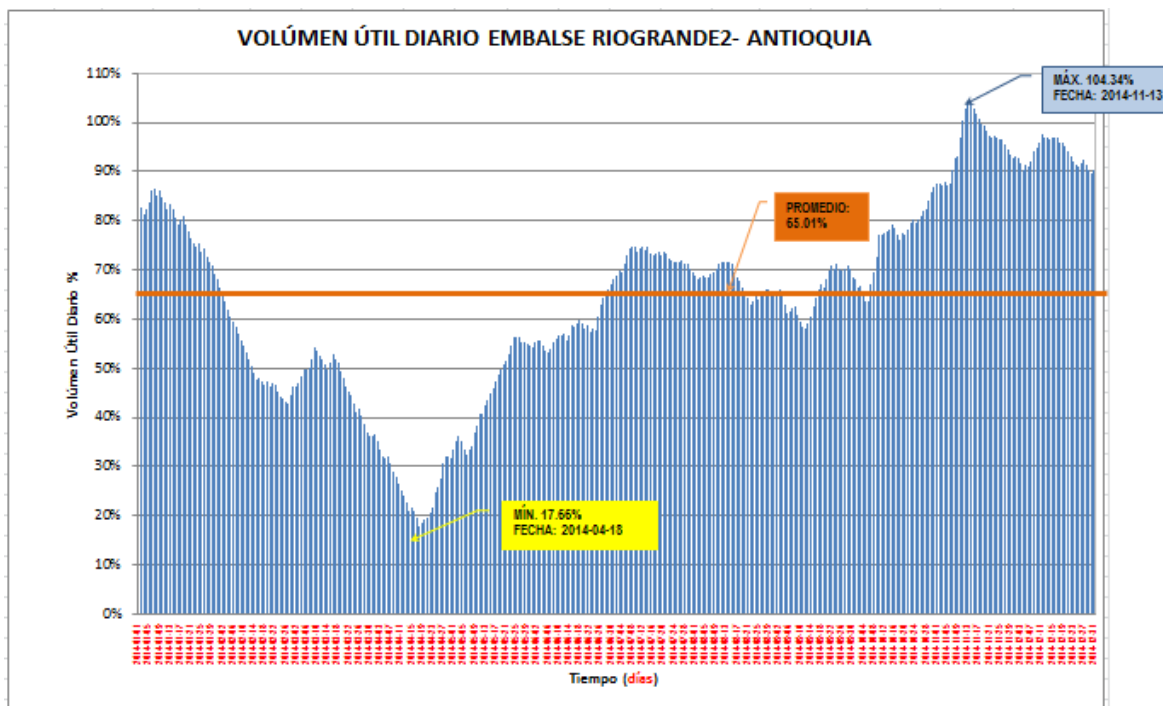
Fuente: Autor

Tabla 128. Porcentaje Umbrales, Riogrande2, 2013.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
39.83%	18.91%	12.91%	11.37%	17.20%	42.49%	27.94%	23.42%	27.10%	28.78%	58.35%	82.81%	11.37%	82.81%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
67.95%	39.25%	22.08%	22.60%	52.54%	54.07%	47.51%	41.57%	45.78%	59.56%	91.77%	95.76%	22.08%	95.76%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
53.02%	30.85%	16.93%	15.19%	27.16%	47.16%	39.11%	31.83%	37.34%	42.59%	78.42%	88.95%	42.38%	

Fuente: Autor

Ilustración 93. VUD Riogrande2, 2014.



Fuente: Autor

Tabla 129. Rangos Umbrales, Riogrande2, 2014.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	104.34%	
Mínimo	17.66%	
Promedio	65.01%	

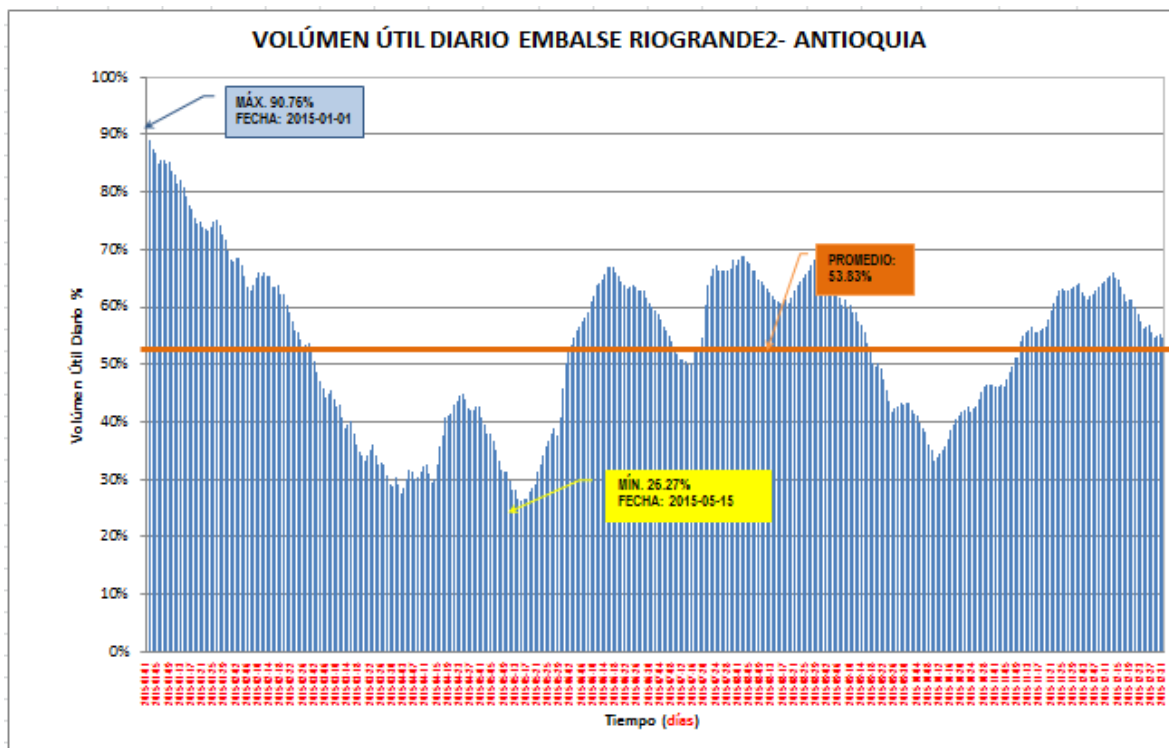
Fuente: Autor

Tabla 130. Porcentaje Umbrales, Riogrande2, 2014.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
68.10%	42.94%	36.07%	17.66%	32.39%	53.02%	68.02%	62.80%	57.92%	63.45%	87.36%	89.68%	17.66%	89.68%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
86.46%	66.46%	54.07%	36.58%	56.44%	67.20%	74.85%	71.71%	71.18%	86.95%	104.34%	97.57%	36.58%	104.34%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
79.22%	51.68%	46.98%	26.36%	45.34%	58.24%	72.33%	67.67%	65.29%	75.98%	95.67%	93.57%	64.86%	

Fuente: Autor

Ilustración 94. VUD Riogrande2, 2015.



Fuente: Autor

Tabla 131. Rangos Umbrales, Riogrande2, 2015.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	90.76%	
Mínimo	26.27%	
Promedio	53.83%	

Fuente: Autor

Tabla 132. Porcentaje Umbrales, Riogrande2, 2015.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
68.18%	53.10%	28.66%	27.49%	26.27%	52.20%	50.07%	60.56%	41.82%	33.18%	46.15%	54.59%	26.27%	68.18%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
90.76%	68.62%	52.41%	45.03%	50.20%	67.06%	68.08%	70.07%	69.16%	46.55%	63.88%	66.00%	45.03%	90.76%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
79.08%	62.13%	38.72%	36.19%	34.03%	61.80%	58.64%	64.97%	53.99%	40.40%	55.76%	60.84%	53.88%	

Fuente: Autor

15.3.2. EVALUACIÓN DE EVENTOS EXTREMOS O DE MÁXIMOS Y MÍNIMOS.

Para la evaluación de eventos extremos o de máximos y mínimos, los cuales fueron calculados a través de la información suministrada de las estaciones por el IDEAM a cerca del caudal (m³/s), de igual forma los años que no contaban con información, no se tenían en cuenta para el cálculo de los máximos y mínimos; estos valores fueron evaluados en el software HYFA que están en función de un periodo de retorno. Documento que puede ser verificado según anexo "GGM y GGMV". Todo esto con el fin de adelantar estudios, teniendo en cuenta periodos de diseño de una obra civil que involucre estructuras hidráulicas.

Tabla 133. IDEAM, DATOS MEDIO MENSUAL MULTIANUAL (m³/s) ESTACIÓN RIONEGRO2.

ESTACIÓN RIOGRANDE2-DATOS MEDIO MENSUAL MULTIANUAL, (m3/s)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NO	DIC	TOTAL
1965	2.3026	1.6556	0.6066	2.0316	4.8906	3.2006	1.6816	2.0626	3.9186	6.7796	8.8676	6.1126	3.676
1966	2.7106	1.5346	0.7106	0.8506	0.9926	3.3346	1.2746	1.5206	3.2246	5.5956	9.4096	8.0266	3.265
1967	4.0036	4.8776	5.2916	9.5356	11.506	12.296	5.0256	3.1686	5.5206	4.4416	5.2176	4.0426	6.244
1968	1.7666	2.0736	1.5766	4.7056	5.3836	8.2916	5.9916	3.3006	8.2106	9.3806	9.9656	6.1496	5.566
1969	5.2446	2.3336	0.6856	7.4346	8.2026	6.1456	1.7786	3.6086	5.5436	11.116	8.0956	5.2416	5.453
1970	3.0126	1.9756	0.6696	2.8696	10.946	6.4286	4.2116	3.1596	4.9766	13.366	22.546	10.286	7.037
1971	7.8266	6.0076	10.066	9.9276	19.396	12.286	9.2166	11.196	9.5946	10.576	8.3856	5.4116	9.991
1972	4.0886	2.6716	2.3106	7.5326	14.986	8.8306	5.4326	4.0226	3.4566	6.4086	6.8386	4.0846	5.889
1973	4.2006	1.9006	1.5006	4.2006	6.6006	7.7006	7.5006	6.7006	14.406	9.7006	9.4006	9.1006	6.909
1974	9.2181	9.755	7.749	11.061	11.018	8.3621	8.4131	9.1948	16.788	19.688	14.718	6.6628	11.052
1975	2.4881	3.5401	4.9201	3.3431	7.5231	8.5861	12.941	9.6591	12.701	12.581	15.507	15.251	9.087
1976	6.6161	4.6021	4.4691	10.738	12.128	9.6598	3.4741	1.6251	1.8351	6.8221	6.95	2.1312	5.921
1977	1.1752	1.2592	0.831	1.341	2.016	5.3142	2.2092	7.8962	5.3792	10.712	9.7222	3.0732	4.244
1978	1.9942	2.667	7.5922	20.71	12.882	9.9462	7.1172	1.172	1.8941	5.8741	8.0261	4.2941	7.014
1979	1.696	1.983	2.7122	4.9322	6.1582	6.5782	2.2232	5.653	14.371	14.388	17.948	7.2891	7.161
1980	3.7631	2.8741	2.0421	5.6261	6.4861	10.17	4.5652	5.9682	6.8892	22.088	13.342	7.6732	7.624
1981	4.8212	2.4482	3.125	12.68	17.062	22.072	15.162	12.142	13.662	11.73	15.021	7.1161	11.420
1982	9.1241	7.3401	5.7911	14.821	24.466	8.7062	2.3852	1.4342	3.0272	6.219	8.3962	2.4082	7.843
1983	0.8122	0.7702	0.8922	6.5222	8.5042	6.8252	3.486	1.8181	2.5131	6.0002	5.2927	7.884	4.277
1984	8.4922	3.9332	1.914	0.9451	7.845	16.042	12.192	10.832	7.918	13.111	12.751	2.3381	8.193
1985	0.5721	2.123	1.7042	3.65	14.281	4.8251	2.1371	10.29	10.58	8.3151	6.5101	2.7641	5.646

1986	0.8571	1.4711	2.1841	3.3841	3.3571	4.3751	2.7141	1.8901	2.0981	8.8261	5.6781	2.607	3.287
1987	0.9862	0.498	0.6501	1.2251	4.5671	1.0461	1.5021	5.08	4.1081	12.681	10.481	5.99	4.068
1988	2.5531	2.3661	2.317	6.865	7.7272	11.142	11.678	16.912	18.262	15.522	22.212	14.362	10.993
1989	8.6132	3.3512	7.8012	7.9412	11.772	9.3662	3.5482	5.7592	14.842	14.423	9.5712	6.2692	8.605
1990	1.4028	5.3062	2.5793	4.6973	8.2552	5.5022	4.19	1.9121	4.966	10.791	7.5742	3.5402	5.060
1991	2.6572	2.6552	4.0042	9.1962	7.442	4.0191	3.679	5.0212	4.2182	9.7512	7.6772	5.4476	5.481
1992	2.7982	1.8972	2.121	3.9881	6.0861	6.3201	4.0351	4.6261	7.4261	5.8921	6.5851	8.4771	5.021
1993	6.2921	3.5041	3.176	4.8611	11.271	4.913	5.8182	3.977	10.871	5.7081	10.421	6.1811	6.416
1994	3.543	2.6522	2.2262	5.96	6.7511	4.9711	3.4671	2.7681	3.935	13.04	8.683	2.4201	5.035
1995	2.1508	1.9408	5.1308	5.68	9.0308	10.538	7.6308	14.608	7.35	8.4902	8.1702	8.8008	7.460
1996	5.6501	4.0401	6.4408	5.9101	12.858	18.708	16.978	8.0102	9.1102	13.098	9.96	4.1001	9.572
1997	4.3001	4.2001	3.4001	4.3001	2.9001	6.1001	2.7001	2.0001	2.3001	3.5	4.2001	2.5	3.533
1998	1.6001	1.6001	1.6001	2.2001	4.6001	3.9001	4.4001	4.5001	9.3001	7.4001	7.6001	8.9001	4.800
1999	4.9871	7.797	12.66	9.3831	10.98	9.12	5.0591	3.5851	10.271	12.091	16.141	17.092	9.931
2000	6.3338	6.6698	7.1378	6.3668	11.898	14.648	9.0478	7.9298	13.328	11.218	9.4508	4.3738	9.034
2001	4.0608	2.5288	3.4608	2.4578	3.3328	4.6398	3.5378	3.1028	3.0358	3.5878	7.1218	6.7208	3.966
2002	4.0358	3.8938	5.0748	8.6018	7.5298	6.7838	2.9298	2.1028	2.2148	4.2098	5.8658	5.4398	4.890
2003	2.1268	1.4968	4.0358	8.3878	7.3158	17.058	2.5688	2.0533	2.8328	6.3618	9.7058	6.5738	5.876
2004	8.1778	2.5258	2.6948	6.4948	11.428	6.0898	8.6248	4.0168	9.0168	12.528	18.438	6.3268	8.030
2005	6.1858	3.0872	2.3188	5.6278	15.328	9.7358	5.5848	4.265	5.601	17.912	16.59	5.42	8.138
2006	5.202	3.2412	5.4552	14.882	26.318	12.112	2.9482	3.2262	7.3512	9.4722	16.292	7.4492	9.496
2007	1.7513	1.0403	2.6423	8.1703	14.563	11.558	5.2068	6.9388	12.571	18.893	14.408	11.243	9.082
2008	4.4681	8.0171	11.581	10.59	26.988	17.061	11.371	19.498	12.321	14.251	26.228	9.7151	14.341
2009	6.6771	6.9541	6.6221	10.701	12.521	9.8741	7.5341	4.5481	4.0161	7.8231	10.691	4.2211	7.682
2010	2.0481	1.7643	1.9281	4.1193	5.9091	11.383	16.021	9.5301	19.453	23.348	32.453	16.273	12.019
2011	15.022	8.9482	16.04	40.513	16.841	14.791	13.021	10.85	11.32	16.831	22.231	22.361	17.397
2012	9.8071	4.8091	4.7161	14.351	20.301	5.4641	4.8011	4.6671	3.9761	10.101	11.561	7.6421	8.516
2013	1.7811	2.412	3.9453	4.4901	14.42	11.003	8.4301	9.8311	11.121	15.298	14.511	13.311	9.213

2014	5.7221	4.52	5.3182	1.9	7.4561	2.8481	1.3363	2.1323	6.5221	9.4541	10.961	7.5001	5.473
2015	3.1202	5.6322	5.3118	4.3462	1.6218	1.8158							

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Tabla 134 ESTACIÓN RIONEGRO2, RESULTADOS MÁXIMOS, MEDIOS Y MÍNIMO (ANUALES), SEGÚN Q (m³/s)

MEDIO	4.354	3.470	4.128	7.374	10.460	8.813	5.976	5.835	7.803	10.748	11.687	7.172	7.319
MAXIM	15.022	9.755	16.04	40.513	26.988	22.072	16.978	19.498	19.453	23.348	32.453	22.361	40.513
MINIM	0.572	0.498	0.607	0.851	0.993	1.046	1.275	1.172	1.835	3.500	4.200	2.131	0.498

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

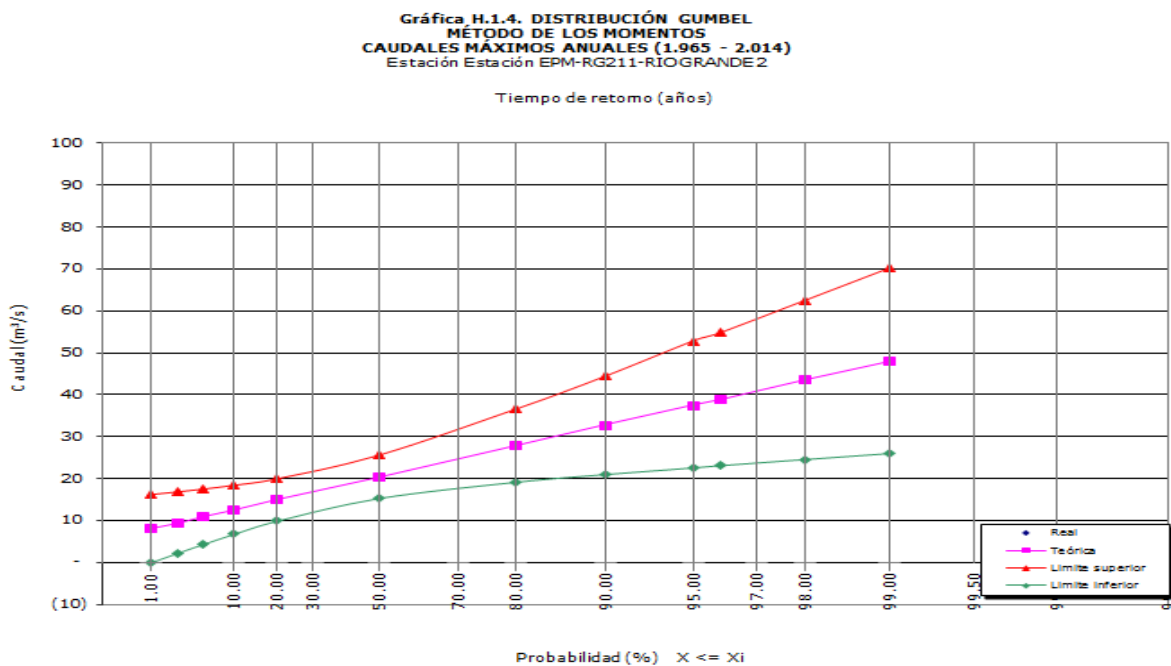
Con la información de los máximos caudales anuales (m^3/s), (1965-2014), por medio del Software HYFA, se generan las Distribuciones Gumbel: Métodos de los Momentos y Método de Máxima Verosimilitud, con su respectiva gráfica de Distribución Gumbel.

Tabla 135. Distribución Gumbel, Método de los Momentos, Riogrande2..

Tabla H.1.5. DISTRIBUCIÓN GUMBEL. MÉTODO DE LOS MOMENTOS							
Período de retorno $T = 1/p$ (años)	Probabilidad $X \geq X_i$ p (%)	Probabilidad $X \leq X_i$ 1 - p (%)	Variable reducida Y	Valor estimado X_i (m^3/s)	Error estándar S (m^3/s)	Límites de confianza	
						Inferior $X_i - tS$	Superior $X_i + tS$
1.01	99.0	1.0	-1.527	8.02	3.50	-0.13	16.18
1.03	97.5	2.5	-1.305	9.47	3.16	2.13	16.82
1.05	95.0	5.0	-1.097	10.84	2.85	4.19	17.48
1.11	90.0	10.0	-0.834	12.56	2.52	6.70	18.41
1.25	80.0	20.0	-0.476	14.90	2.17	9.84	19.96
2	50.0	50.0	0.367	20.41	2.22	15.24	25.59
5	20.0	80.0	1.500	27.83	3.74	19.11	36.54
10	10.0	90.0	2.250	32.74	5.06	20.96	44.51
20	5.0	95.0	2.970	37.45	6.39	22.54	52.82
25	4.0	96.0	3.199	38.94	6.19	23.07	54.82
50	2.0	98.0	3.902	43.54	8.16	24.55	62.54
100	1.0	99.0	4.600	48.11	9.51	25.98	70.24

Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

Ilustración 95. Método de los Momentos, Caudales Máximos, Riogrande2..



Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

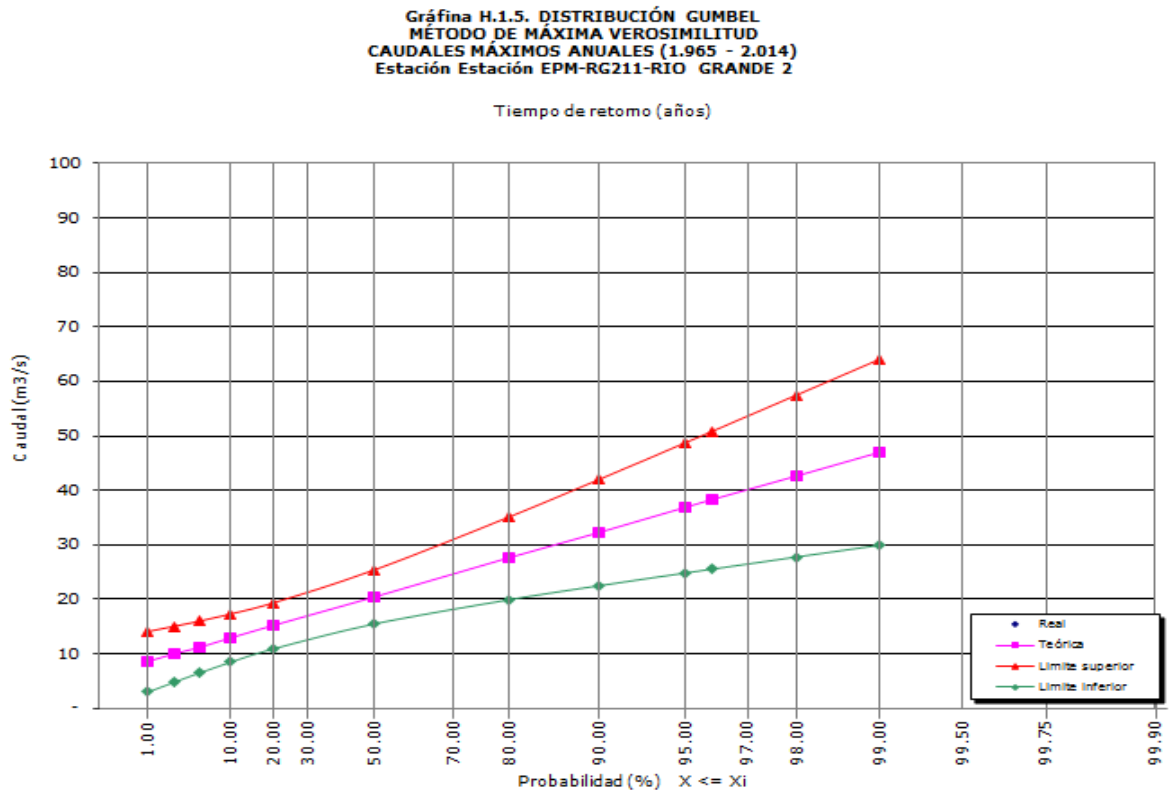
Tabla 136. Gumbel, Método Máxima Verosimilitud, Riogrande2..

Tabla H.1.6. DISTRIBUCION GUMBEL. METODO DE MAXIMA VEROSIMILITUD

Período de retorno T = 1/p (años)	Probabilidad X >= Xi	Probabilidad X <= Xi	Variable reducida Y	Valor estimado Xi (m³/s)	Error estándar S (m³/s)	Límites de confidencia	
	p (%)	1 - p (%)				Inferior Xi - tS	Superior Xi + tS
1.01	99.0	1.0	-1.527	8.54	2.40	2.96	14.12
1.03	97.5	2.5	-1.305	9.94	2.20	4.81	15.06
1.05	95.0	5.0	-1.097	11.24	2.05	6.47	16.02
1.11	90.0	10.0	-0.834	12.90	1.91	8.46	17.33
1.25	80.0	20.0	-0.476	15.14	1.82	10.92	19.37
2	50.0	50.0	0.367	20.44	2.13	15.48	25.39
5	20.0	80.0	1.500	27.55	3.27	19.94	35.17
10	10.0	90.0	2.250	32.27	4.20	22.50	42.03
20	5.0	95.0	2.970	36.79	5.13	24.84	48.74
25	4.0	96.0	3.199	38.22	5.38	25.57	50.88
50	2.0	98.0	3.902	42.64	6.38	27.78	57.50
100	1.0	99.0	4.600	47.03	7.34	29.94	64.11

Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

Ilustración 96. Método Máxima Verosimilitud, Caudales Máximos, Riogrande2..



Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

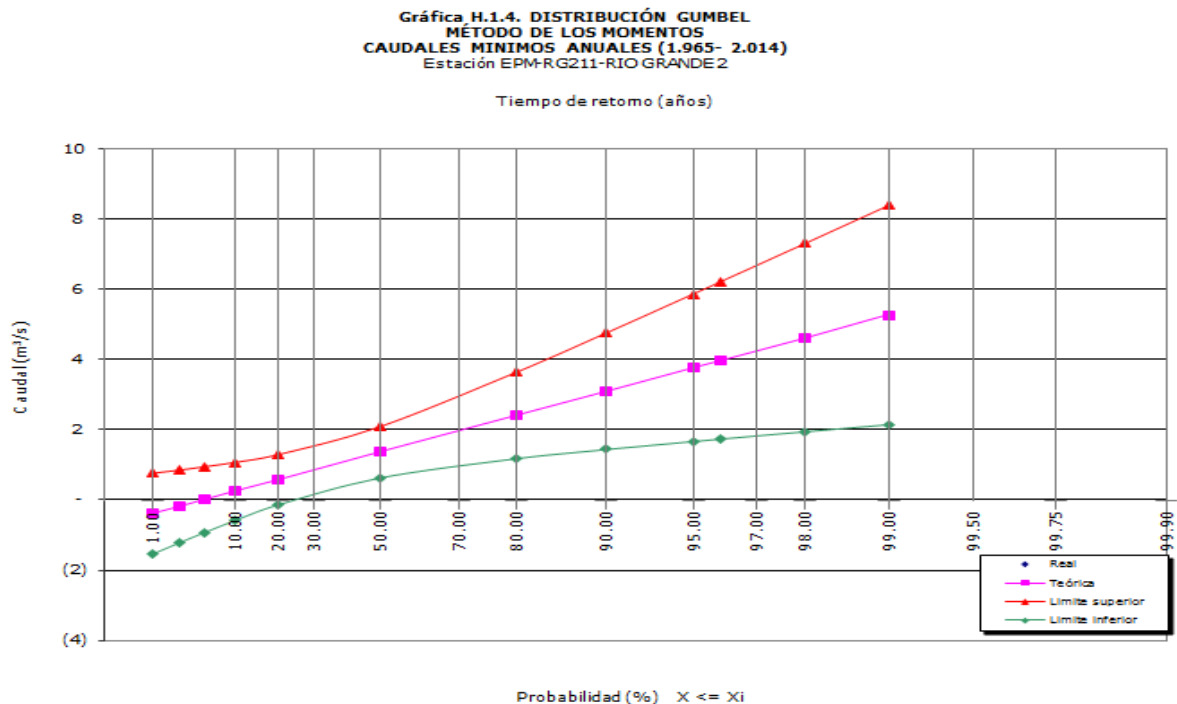
Con la información de los mínimos caudales anuales (m^3/s), (1965-2014), por medio del Software HYFA, se generan las Distribuciones Gumbel: Métodos de los Momentos y Método de Máxima Verosimilitud, con su respectiva gráfica de Distribución Gumbel.

Tabla 137. Distribución Gumbel, Método de los Momentos, Riogrande2..

Tabla H.1.5. DISTRIBUCIÓN GUMBEL. MÉTODO DE LOS MOMENTOS							
Período de retorno $T = 1/p$ (años)	Probabilidad $X \geq X_i$ p (%)	Probabilidad $X \leq X_i$ 1 - p (%)	Variable reducida Y	Valor estimado X_i (m^3/s)	Error estándar S (m^3/s)	Límites de confianza	
						Inferior $X_i - tS$	Superior $X_i + tS$
1.01	99.0	1.0	-1.527	-0.39	0.50	-1.54	0.76
1.03	97.5	2.5	-1.305	-0.18	0.45	-1.22	0.85
1.05	95.0	5.0	-1.097	0.01	0.40	-0.93	0.95
1.11	90.0	10.0	-0.834	0.25	0.36	-0.58	1.08
1.25	80.0	20.0	-0.476	0.58	0.31	-0.13	1.30
2	50.0	50.0	0.367	1.36	0.31	0.63	2.09
5	20.0	80.0	1.500	2.41	0.53	1.18	3.64
10	10.0	90.0	2.250	3.10	0.72	1.44	4.77
20	5.0	95.0	2.970	3.77	0.90	1.67	5.87
25	4.0	96.0	3.199	3.98	0.96	1.74	6.22
50	2.0	98.0	3.902	4.63	1.15	1.95	7.32
100	1.0	99.0	4.600	5.28	1.34	2.15	8.40

Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

Ilustración 97. Método de los Momentos, Caudales Mínimos, Riogrande2..



Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

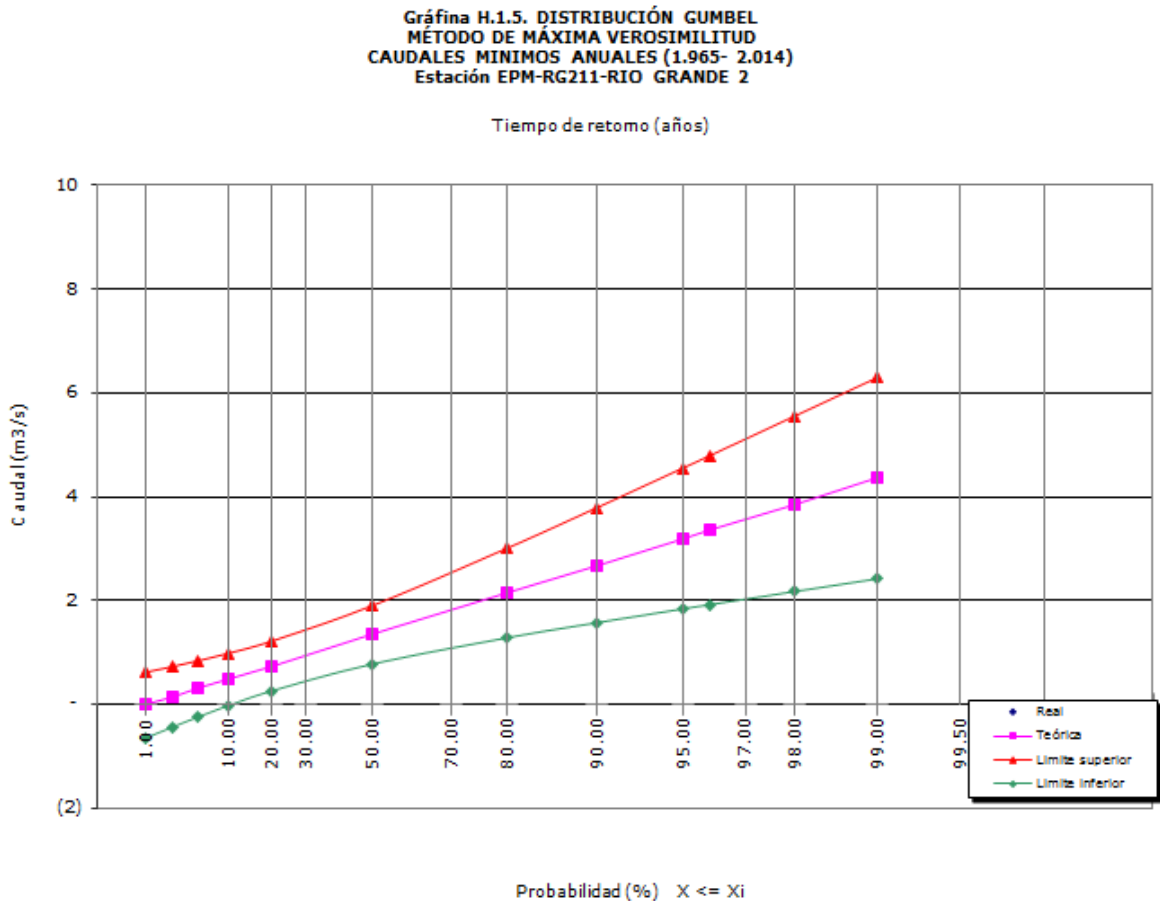
Tabla 138. Distribución Gumbel, Método Máxima Verosimilitud, Riogrande2..

Tabla H.1.6. DISTRIBUCIÓN GUMBEL. MÉTODO DE MÁXIMA VEROSIMILITUD

Período de retorno T = 1/p (años)	Probabilidad X >= Xi p (%)	Probabilidad X <= Xi 1 - p (%)	Variable reducida Y	Valor estimado Xi (m³/s)	Error estándar S (m³/s)	Límites de confidencia	
						Inferior Xi - tS	Superior Xi + tS
1.01	99.0	1.0	-1.527	-0.01	0.27	-0.65	0.62
1.03	97.5	2.5	-1.305	0.15	0.25	-0.44	0.73
1.05	95.0	5.0	-1.097	0.29	0.23	-0.25	0.84
1.11	90.0	10.0	-0.834	0.48	0.22	-0.02	0.99
1.25	80.0	20.0	-0.476	0.74	0.21	0.26	1.22
2	50.0	50.0	0.367	1.34	0.24	0.78	1.90
5	20.0	80.0	1.500	2.15	0.37	1.28	3.01
10	10.0	90.0	2.250	2.68	0.48	1.57	3.79
20	5.0	95.0	2.970	3.20	0.58	1.84	4.56
25	4.0	96.0	3.199	3.36	0.62	1.92	4.80
50	2.0	98.0	3.902	3.86	0.73	2.17	5.55
100	1.0	99.0	4.600	4.36	0.83	2.42	6.30

Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

Ilustración 98. Método Máxima Verosimilitud, Caudales Mínimos, Riogrande2..



Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

Como se puede observar en las gráficas de GMM y GMMV, se determinó la variación de los caudales para extremos (altos y bajos), se define el caudal mínimo, que se puede asegurar con una probabilidad alta del 85% al 90%, éstos conceptos son regidos por el IDEAM, con el fin de determinar las probabilidades (altas y bajas) de ocurrencia de fenómenos de variabilidad climática (Fenómeno del Niño y de la Niña).

15.3.3. CÁLCULO DE PERFILES DE SECCIONES TRANSVERSALES

Se procede a realizar los perfiles, con información suministrada por el IDEAM, para aguas arriba y aguas abajo del embalse:

Tabla 139. Cotas de Inundación, Riogrande2.

UBICACIÓN	RIOGRANDE 2	
	ABSCISADO (m)	COTA (msnm)
AGUAS ARRIBA	1.00	103.024
	2.00	102.880
	9.00	95.130
	13.00	90.540
	14.00	88.790
	15.00	87.830
	18.00	84.460
	21.00	83.810
	24.00	83.680
	26.00	82.540
	28.00	82.460
	30.00	82.420
	32.00	82.510
	34.00	82.660
	36.00	82.750
	38.00	82.760
	40.00	82.800
	42.00	82.810
	44.00	82.770
	46.00	82.850
	48.00	82.920
	50.00	82.920
	52.00	82.910
	54.00	83.150
	56.00	83.060
	58.00	83.110
	60.00	83.090
	62.00	83.170
64.00	83.320	
66.00	83.310	
68.00	83.410	
71.00	83.530	
74.00	83.760	
77.00	84.070	

	80.00	84.710
	84.00	86.310
	85.70	86.520
	85.70	87.830
	86.00	88.080
	87.00	91.260
	92.50	96.740
	96.50	99.850
	98.00	100.290

AGUAS ABAJO	0.00	103.024
	0.23	102.930
	0.56	100.860
	0.98	96.860
	1.36	93.320
	11.32	88.760
	17.70	87.150
	19.00	84.450
	23.00	83.400
	29.00	82.730
	32.00	82.830
	34.00	82.750
	36.00	82.880
	38.00	82.830
	40.00	82.880
	42.00	82.900
	44.00	82.920
	46.00	82.950
	48.00	82.890
	50.00	82.950
	52.00	82.940
	54.00	82.940
	56.00	82.850
	58.00	83.050
	60.00	83.100
	62.00	83.070
	64.00	83.090
	67.00	83.080
	70.00	83.200
	74.00	83.500
74.80	84.110	
74.98	85.780	
81.00	85.940	
83.00	87.150	
85.50	89.270	
88.00	93.770	
88.54	96.140	
89.09	99.720	

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Posteriormente, con los protocolos de HYFA y SMADA, para un tiempo de retorno T_R y caudales mínimos (m^3/s), se calcula el error relativo de evaluación, el cual permite observar la variación de caudales de un programa a otro en un T_R determinado.

Tabla 140. Protocolo HYFA y SMADA, Riogrande2., AA.

ESTACIÓN 2 (aguas arriba max)							
estación de monitoreo		corriente		variable analizada		serie histórica analizada	
EPM-RG211 -Riogrande 2.		Río Grande.		CAUDAL (m³/S)			
T _R	DATOS ANALITICOS			COMPARACIÓN		COTAS DE REFERENCIA PARA GENERACIÓN DE ALERTAS (m)	
	PROTOCOLO			ERROR RELATIVO DE EVALUACIÓN			
	HYFA		SMADA	HYFA			
	MM	MV	ÚNICO	MM	MV		
(años)	Q (m³/S)	Q (m³/S)	Q (m³/S)	(%)	(%)	MÍNIMOS	MÁXIMOS
2	50.629	50.910	50.993	-0.718	-0.162	92.00	93.00
5	64.871	67.254	69.885	-7.728	-3.911	91.00	
10	74.300	78.076	82.323	-10.798	-5.439	90.80	95.00
20	83.344	88.456	94.391	-13.254	-6.709		96.20
50	95.051	101.893	109.921	-15.644	-7.879		
100	103.824	111.961	121.559	-17.082	-8.572		

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

Tabla 141. Protocolo HYFA y SMADA, Riogrande2., aa.

ESTACIÓN 2 (aguas abajo min)							
estación de monitoreo		corriente		variable analizada		serie histórica analizada	
EPM-RG211 -Riogrande 2.		Río Grande.		CAUDAL (m³/S)			
T _R	DATOS ANALITICOS			COMPARACIÓN		COTAS DE REFERENCIA PARA GENERACIÓN DE ALERTAS (m)	
	PROTOCOLO			ERROR RELATIVO DE EVALUACIÓN			
	HYFA		SMADA	HYFA			
	MM	MV	ÚNICO	MM	MV		
(años)	Q (m³/S)	Q (m³/S)	Q (m³/S)	(%)	(%)	MÍNIMOS	MÁXIMOS
2	10.271	10.237	10.328	-0.553	-0.887	91.40	92.00
5	12.514	12.091	13.304	-6.314	-10.033	91.00	
10	14.000	13.318	15.275	-9.104	-14.691	88.80	93.00
20	15.425	14.495	17.165	-11.279	-18.419		95.00
50	17.269	16.019	19.612	-13.565	-22.426		
100	18.651	17.161	21.445	-14.980	-24.963		

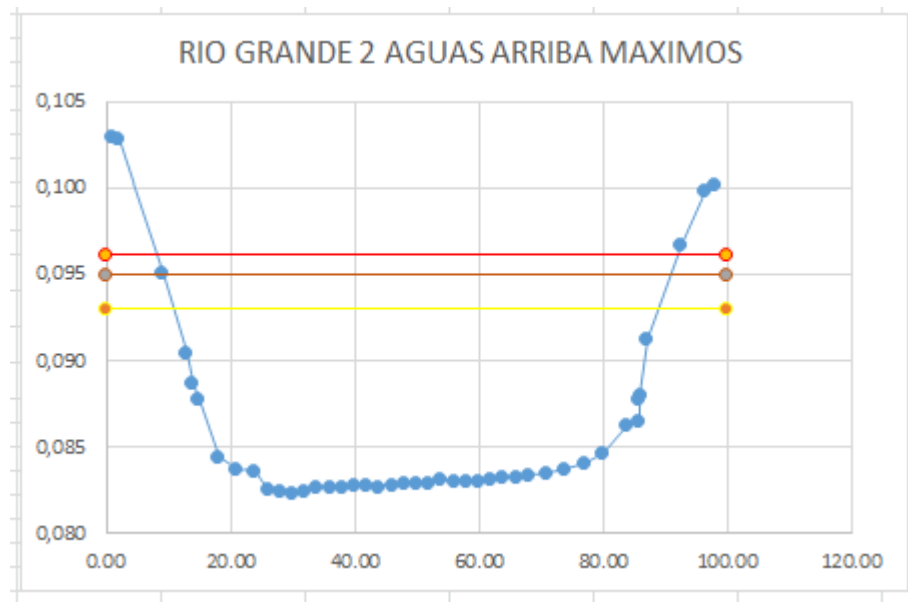
Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

Todos los perfiles se referencian indicando cotas máximas para los T_R de 2, 10 y 20 años y las cotas mínimas para T_R de 2, 5 y 10 años.

Las cotas máximas se refieren a niveles de potencialidad de inundaciones.

Las cotas mínimas se refieren a niveles que causarían desabastecimiento de agua para toma y en la restricción de navegación.

Ilustración 99. Perfil, AA, Máximos, Riogrande2..



Fuente: Autor

Tabla 142. Cotas Inundación, Riogrande2..

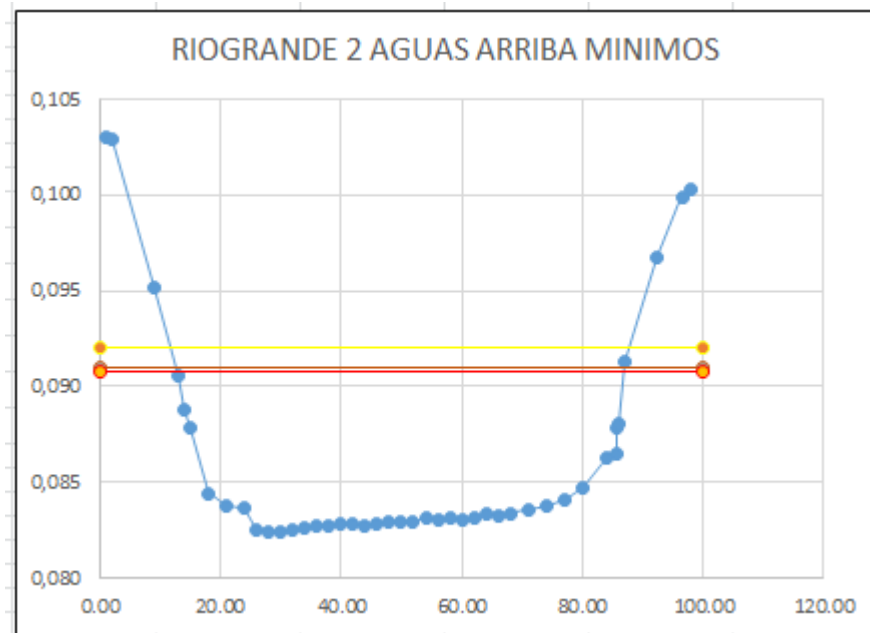
ABCISADO	MAXIMOS		
	T2	T10	T20
0.00	93.00	95.00	96.20
100.00	93.00	95.00	96.20

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Según las cotas de referencia para generación de alertas (m), indican exceso de agua, aguas arriba del embalse, en lo cual se están generando las alertas con el cambio de las corrientes de agua al paso de los tiempos, la alerta amarilla nos indica que todavía se puede hacer aviso para controlar lo que está pasando en el embalse, estas alertas se generan por creciente máxima o mínima de un caudal proyectado, y tienen como premisa fundamental, la de observar la potencial

demanda por exceso de agua, cuando ya está en alerta roja, se deben tomar medidas urgentes para controlar la llegada del agua al embalse, evitando así inundaciones.

Ilustración 100. Perfil, AA, Mínimos Riogrande2..



Fuente: Autor

Tabla 143. Cotas Inundación, Riogrande2..

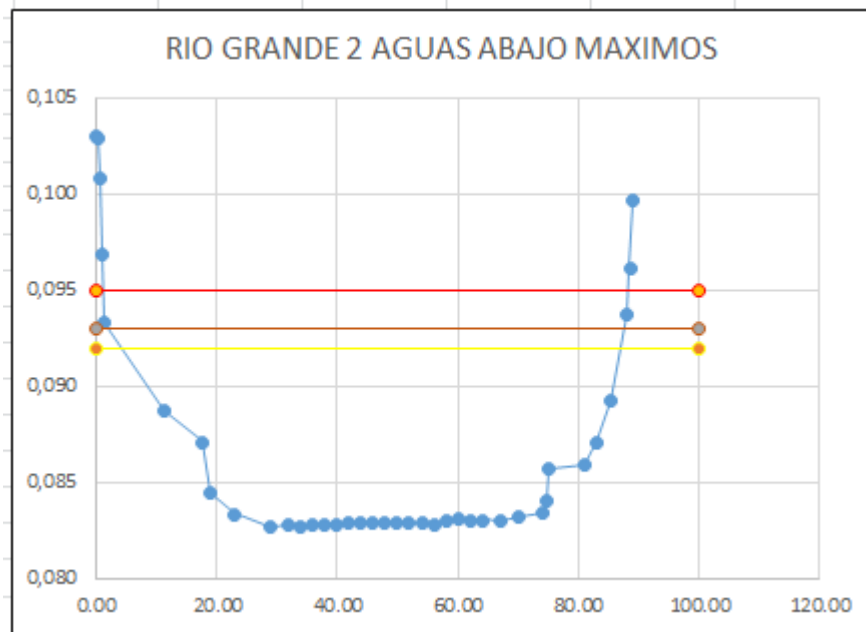
ABCISADO	MÍNIMOS		
	T2	T5	T10
0.00	92.00	91.00	90.80
100.00	92.00	91.00	90.80

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Según las cotas de referencia para generación de alertas (m), indican déficit de agua, aguas arriba del embalse, en lo cual se están generando las alertas con el cambio de las corrientes de agua al paso de los tiempos, la alerta amarilla nos indica que con la demanda de agua que llega, se está generando un problema de déficit y que se puede hacer aviso para controlar lo que está pasando en el embalse, estas alertas tienen como premisa fundamental, la de observar la potencial demanda por déficit de agua; cuando ya está en alerta roja, se deben tomar medidas urgentes para controlar el déficit del agua al embalse, toda vez que

puede traer problemas a las poblaciones que se suministran de éste, como desabastecimiento de agua y en la restricción de la navegación.

Ilustración 101. Perfil, aa, Máximos Riogrande2..



Fuente: Autor

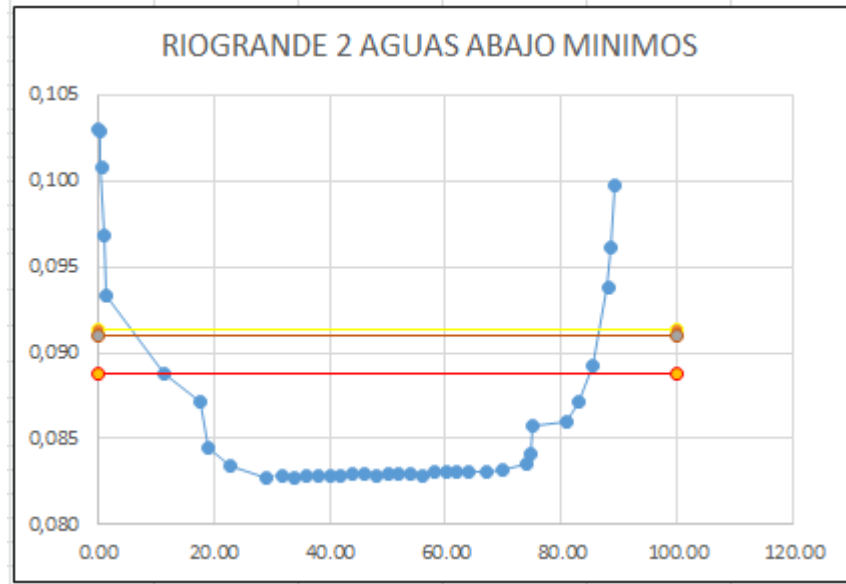
Tabla 144. Cotas Inundación, Riogrande2..

ABCISADO	MAXIMOS		
	T2	T10	T20
0.00	92.00	93.00	95.00
100.00	92.00	93.00	95.00

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Según las cotas de referencia para generación de alertas (m), indican exceso de agua, aguas abajo del embalse, en lo cual se están generando las alertas con el cambio de las corrientes de agua al paso de los tiempos, la alerta amarilla nos indica que todavía se puede hacer aviso para controlar lo que está pasando en el embalse, estos niveles que generan alertas respecto a los umbrales, teniendo en cuenta que estamos revisando aguas abajo, pueden ser eventualmente superados, por efectos de descargas provenientes del embalse, y los afluentes que descargan allí, para este caso el afluentes es el río Río Grande; cuando ya está en alerta roja, se deben tomar medidas urgentes para controlar la llegada del agua a los municipios que se encuentran aguas abajo del embalse.

Ilustración 102. Perfil, aa, Mínimos Riogrande2..



Fuente: Autor

Tabla 145. Cotas Inundación, Riogrande2.

ABCISADO	MÍNIMOS		
	T2	T5	T10
0.00	91.40	91.00	88.80
100.00	91.40	91.00	88.80

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Según las cotas de referencia para generación de alertas (m), indican déficit de agua, aguas abajo del embalse, en lo cual se están generando las alertas con el cambio de las corrientes de agua al paso de los tiempos, la alerta amarilla nos indica que con la demanda de agua que llega, se está generando un problema de déficit y que se puede hacer aviso para controlar lo que está pasando en el embalse, estas alertas tienen como premisa fundamental, determinar los niveles de umbrales, suministrando información oportuna, debido al posible desabastecimiento en los puntos de toma y de afluencia a los embalses; cuando ya está en alerta roja, se deben tomar medidas urgentes para controlar el déficit del agua al embalse, toda vez que puede traer problemas a las poblaciones que se suministran de éste, afectando sus labores cotidianas.

En caso tal, que el caudal baje de forma repentina, se debe generar la alerta para mínimos, toda vez que pudo haber un represamiento aguas arriba del embalse, siendo así la generación del tiempo de Respuesta de la Alerta.

15.3.4. TIEMPO DE RESPUESTA SAT

Con la información suministrada por el IDEAM, respecto a la corriente que descarga a este embalse, para la generación del tiempo de respuesta a la Alerta (tiempo de viaje de la onda de crecida), se tienen en cuenta las variables de velocidad de propagación de olas de inundación y distancia en metros desde el embalse hasta el sitio del posible evento, lo cual genera un tiempo posible en el que va a pasar el desbordamiento o inundación. Documento que puede ser verificado según anexo “Tiempo de Respuesta G Alerta”. El cual fue calculado como $T = \text{ESPACIO} / \text{VELOCIDAD}$.

Tabla 146. AFLUENTES A EMBALSES EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA (Aguas Arriba)

Nº	CÓDIGO	ESTACIÓN	CORRIENTE	H (m)	L (m)	W (m/S)
3	EPM-RG211	Riogrande 2.	Río Grande.	102.978	6,109.069	1.73

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Tabla 147. AFLUENTES A EMBALSES EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA (Aguas Abajo)

Nº	CÓDIGO	ESTACIÓN	CORRIENTE	H (m)	L (m)	W (m/S)
3	EPM-RG211	Riogrande 2.	Río Grande.	121.160	5,746.025	1.97

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Ecuación 1. Fórmula empírica para calcular W: velocidad de propagación de olas de inundación, de acuerdo con la metodología de Rzhiha:

$$W = 20 \left(\frac{H}{L} \right)^{0.6} \text{ (m/s)}$$

Fuente: Metodología de Rzhiha

Para la generación del tiempo de respuesta a la Alerta, se analiza lo que ocurre aguas abajo del embalse, porque la Alerta se genera para poder estimar un tiempo en el cual las poblaciones que se encuentran, puedan evacuar en caso de un desbordamiento.

En función de los resultados de caudal obtenidos y con la consulta en el IDEAM, éstos se referenciaron con respecto a las alturas que potencialmente alcanzarían en una sección típica de monitoreo. Documento que puede ser verificado según anexo “Umbrales Generación de Alertas”.

Tabla 148. Longitud Cauce, Riogrande2.

Nº	EMBALSES		S (m)
	ESTACIÓN	CORRIENTE	
8	Riogrande 2	Río Grande	30,975.12

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

Tabla 149. Tiempo Posible de Inundación.

EMBALSES			
ESTACIÓN	W (m/S)	S (m)	T (horas)
	aa		
8	1.57	30,975.12	5.48

Fuente: Autor

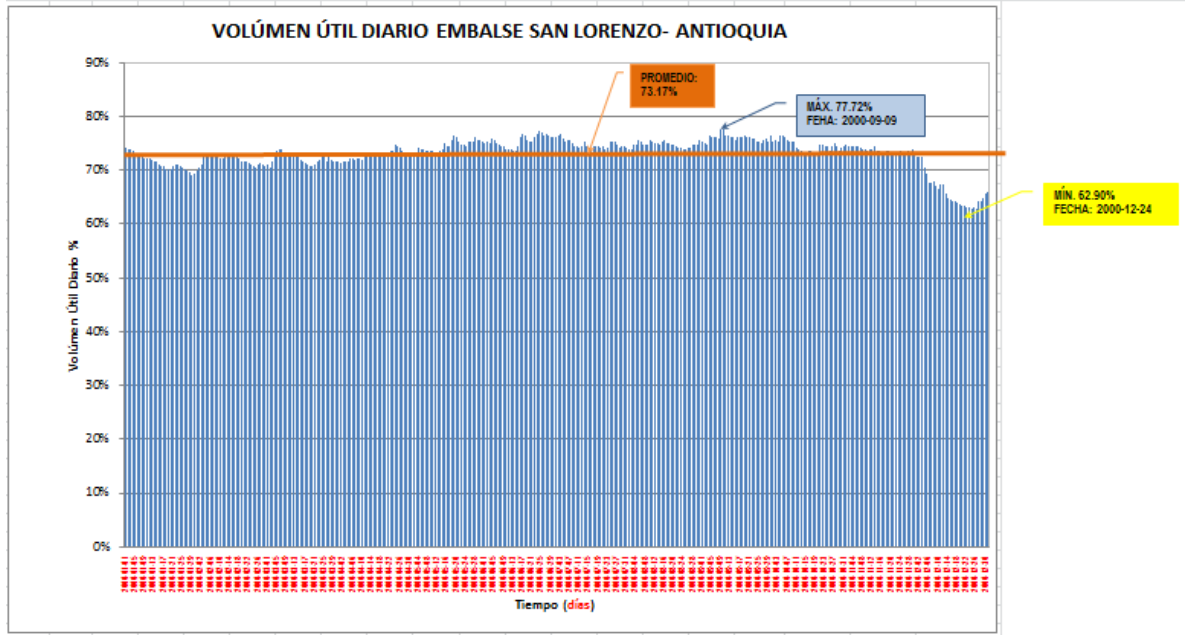
15.4. EMBALSE SAN LORENZO

15.4.1. CÁLCULO DE VOLÚMEN ÚTIL DIARIO

Se realiza el análisis de resultados con la información suministrada, con el fin de dar un manejo hidrológico a eventuales descargas.

Según los comportamientos históricos a nivel diario del volumen útil del embalse, se realiza el cálculo de los valores máximos y mínimos (mensuales), y a su vez se calcula el promedio (mensual), lo cual arroja, según gráfica adjunta, que para los valores que se encuentren por encima de éste promedio (línea en color naranja), hay exceso de agua, es decir, se presenta Fenómeno de la Niña, y para los valores que se encuentren por debajo de éste promedio, hay déficit de agua, es decir, se presenta Fenómeno del Niño.

Ilustración 103. VUD San Lorenzo 2000.



Fuente: Autor

Tabla 150. Rangos Umbrales, San Lorenzo 2000.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	77.72%	
Mínimo	62.90%	
Promedio	73.17%	

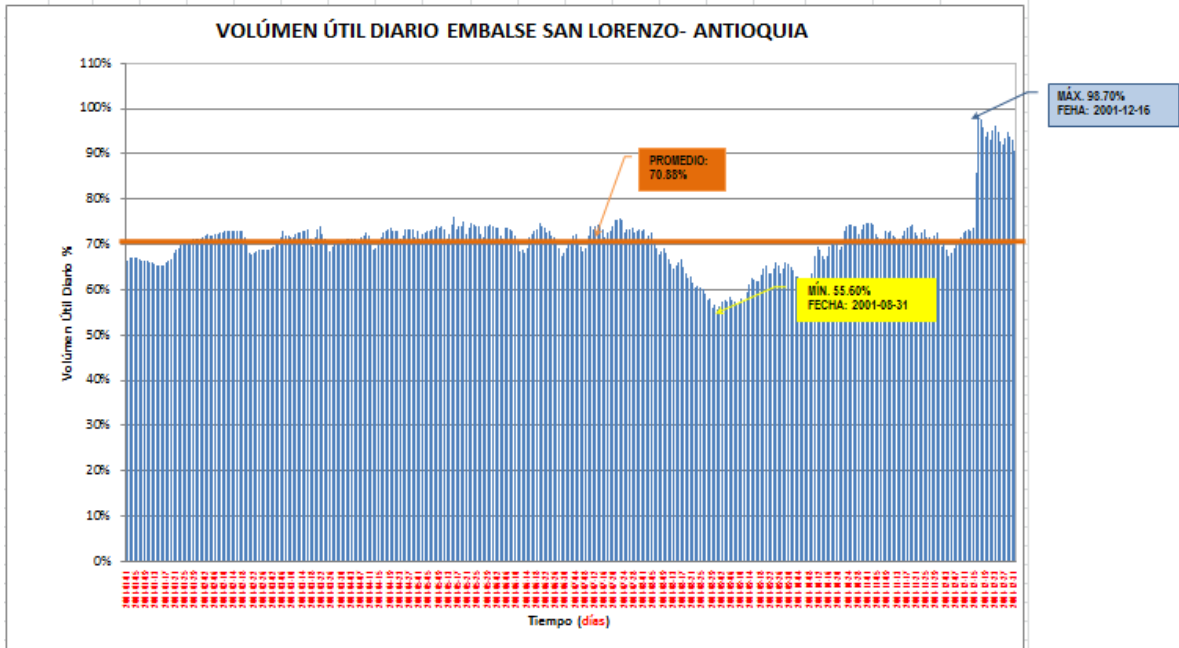
Fuente: Autor

Tabla 151. Porcentaje Umbrales, Peñol 2000.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
69.02%	70.41%	70.38%	71.32%	72.51%	73.62%	73.99%	73.78%	74.85%	73.08%	73.08%	62.90%	62.90%	74.85%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
74.15%	72.84%	73.99%	74.85%	76.49%	77.31%	76.86%	75.67%	77.72%	76%	74.81%	72.38%	72.38%	77.72%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
71.40%	71.88%	72.10%	72.80%	74.48%	75.46%	74.86%	74.78%	75.98%	74.52%	73.78%	66.06%	73.17%	

Fuente: Autor

Ilustración 104. VUD San Lorenzo 2000.



Fuente: Autor

Tabla 152. Rangos Umbrales, San Lorenzo 2000.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	98.70%	
Mínimo	55.60%	
Promedio	70.88%	

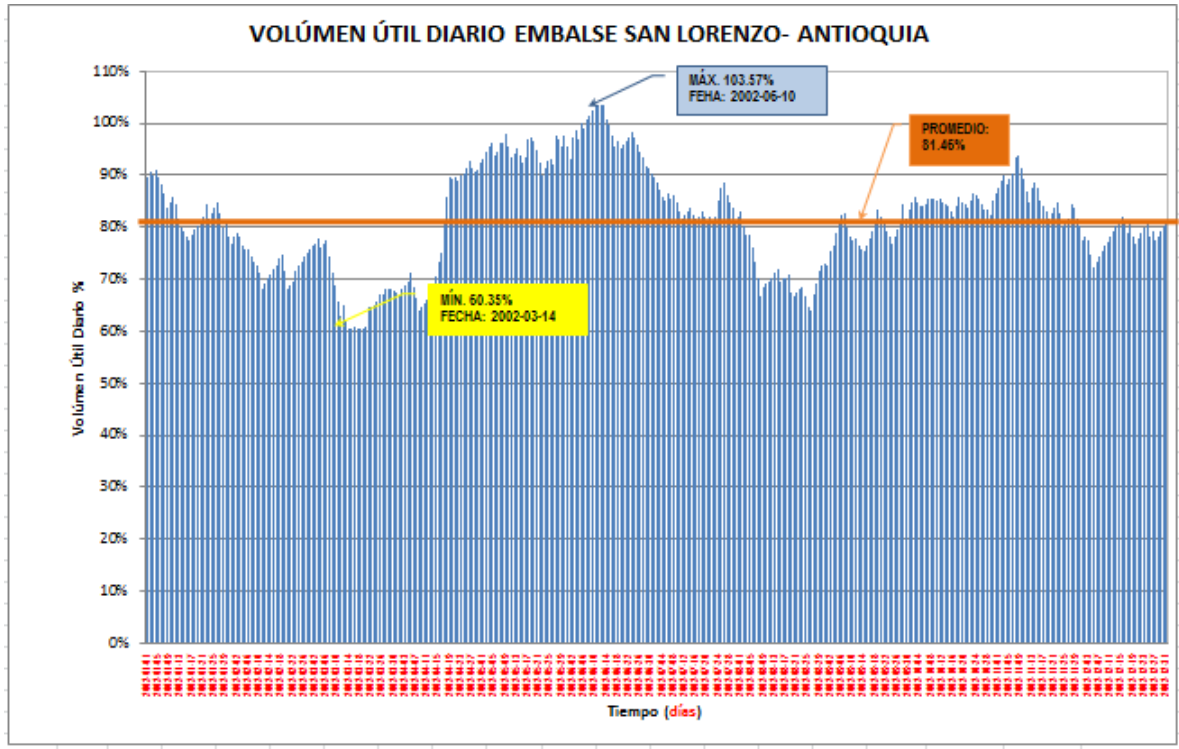
Fuente: Autor

Tabla 153. Porcentaje Umbrales, Peñol 2000.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS	
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES														
65.20%	67.63%	68.49%	68.81%	71.36%	67.30%	68.45%	55.60%	56.42%	61.63%	70.29%	67.46%	55.60%	71.36%	
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES														
71.24%	73.13%	73.90%	73.53%	76.00%	74.73%	75.71%	73.21%	65.86%	75%	74.81%	98.70%	65.86%	98.70%	
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO		
67.81%	71.13%	71.34%	73.53%	73.46%	71.57%	72.79%	64.48%	61.40%	68.70%	72.41%	83.47%	71.01%		

Fuente: Autor

Ilustración 105. VUD San Lorenzo 2000.



Fuente: Autor

Tabla 154. Rangos Umbrales, San Lorenzo 2000.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	103.57%	
Mínimo	60.35%	
Promedio	81.46%	

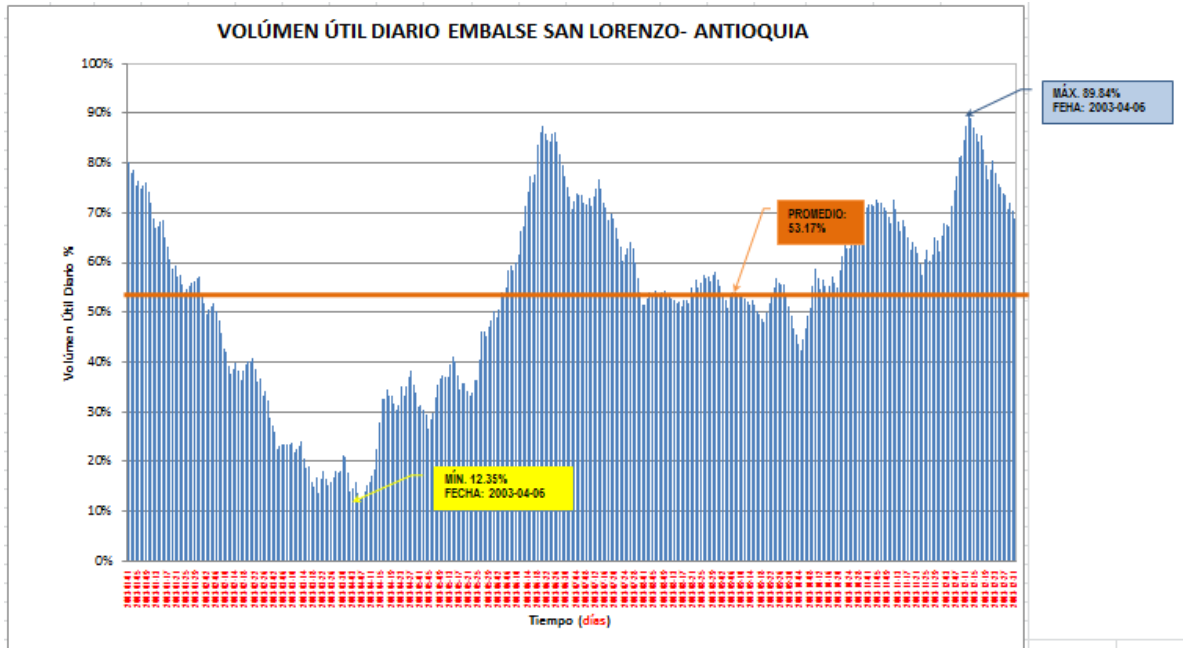
Fuente: Autor

Tabla 155. Porcentaje Umbrales, San Lorenzo 2000.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
76.77%	68.05%	60.35%	64.04%	90.15%	90.47%	80.83%	64.04%	75.47%	82.13%	80.40%	72.17%	60.35%	90.47%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
90.96%	78.94%	77.69%	92.63%	98.10%	103.57%	89.49%	82.89%	84.30%	87%	93.77%	82.13%	77.69%	103.57%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
83.15%	73.13%	67.38%	78.27%	94.75%	97.71%	84.12%	70.81%	79.12%	84.65%	85.96%	78.22%	81.44%	

Fuente: Autor

Ilustración 106. VUD San Lorenzo 2000.



Fuente: Autor

Tabla 156. Rangos Umbrales, San Lorenzo 2000.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	89.84%	
Mínimo	12.35%	
Promedio	53.17%	

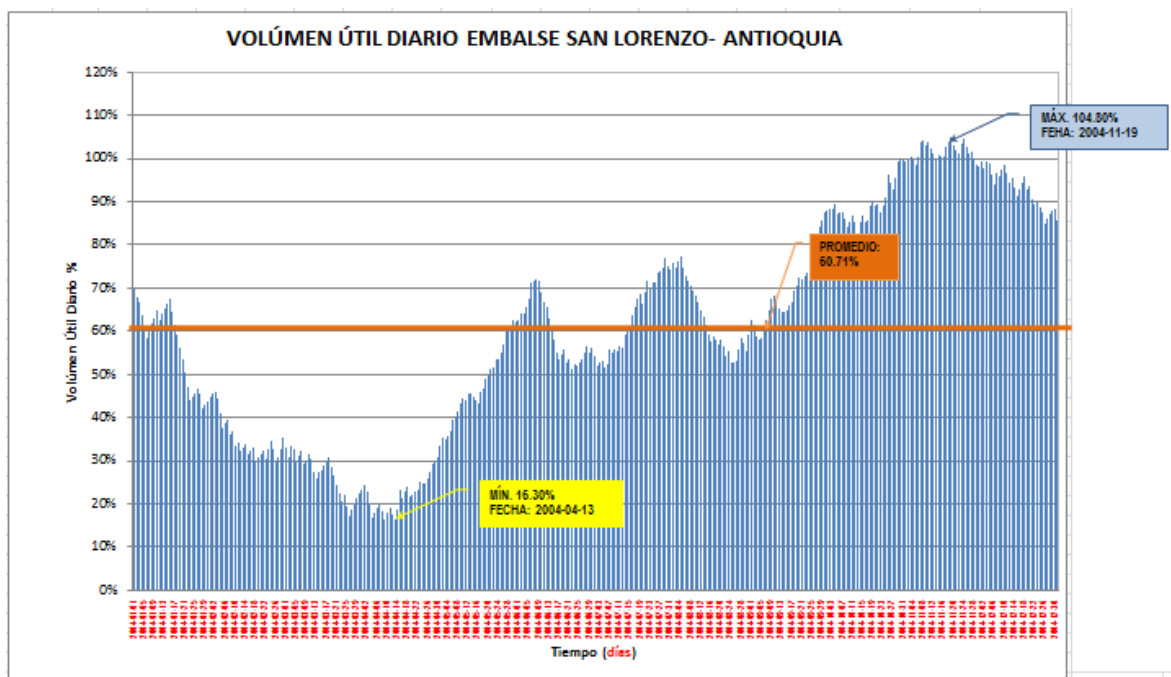
Fuente: Autor

Tabla 157. Porcentaje Umbrales, San Lorenzo 2000.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
53.54%	28.71%	13.58%	12.35%	26.61%	48.98%	51.51%	51.14%	48.00%	42.25%	57.66%	65.27%	12.35%	65.27%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
80.09%	51.79%	27.29%	38.31%	50.10%	87.41%	76.87%	58.06%	56.91%	71.07%	72.76%	89.84%	27.29%	89.84%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
65.21%	41.16%	20.09%	25.67%	37.24%	71.76%	67.90%	54.23%	52.59%	57.03%	66.50%	77.59%	53.08%	

Fuente: Autor

Ilustración 107. VUD San Lorenzo 2000.



Fuente: Autor

Tabla 158. Rangos Umbrales, San Lorenzo 2000.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	104.80%	
Mínimo	16.30%	
Promedio	60.71%	

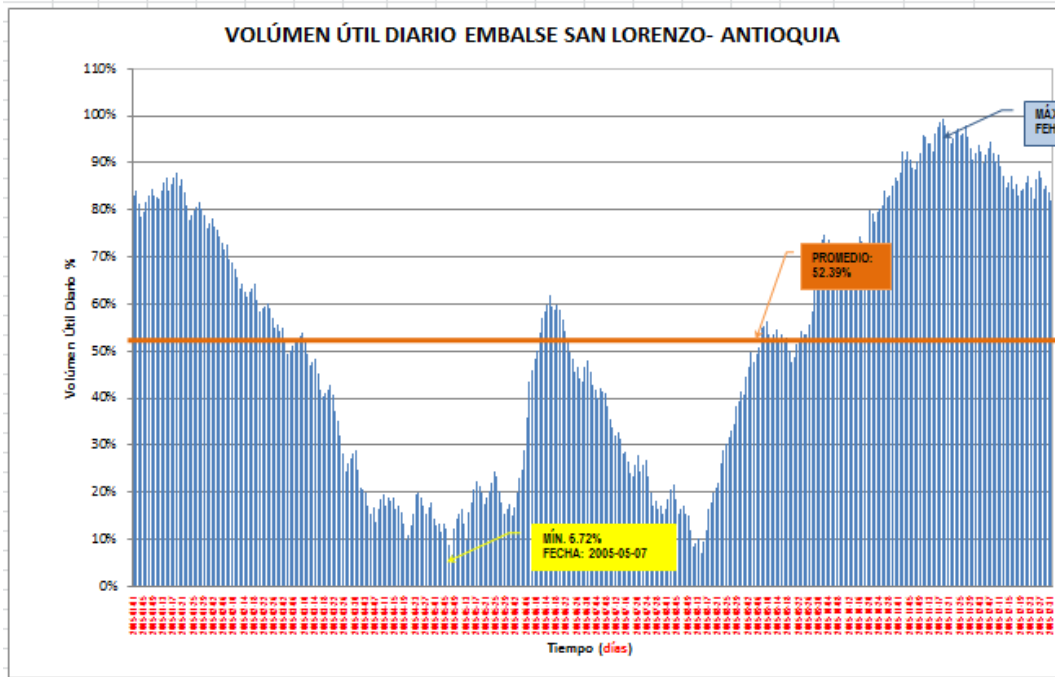
Fuente: Autor

Tabla 159. Porcentaje Umbrales, San Lorenzo 2000.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
42.05%	29.73%	16.96%	16.30%	33.29%	51.04%	51.53%	52.55%	57.87%	82.78%	97.98%	84.92%	16.30%	97.98%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
69.85%	46.09%	33.43%	30.89%	62.42%	72.12%	77.12%	77.17%	87.62%	99.98%	104.80%	99.40%	30.89%	104.80%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
56.59%	34.88%	26.37%	22.09%	47.44%	60.07%	63.38%	62.77%	69.34%	89.45%	101.53%	92.93%	60.57%	

Fuente: Autor

Ilustración 108. VUD San Lorenzo 2000.



Fuente: Autor

Tabla 160. Rangos Umbrales, San Lorenzo 2000.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	99.21%	
Mínimo	6.72%	
Promedio	52.39%	

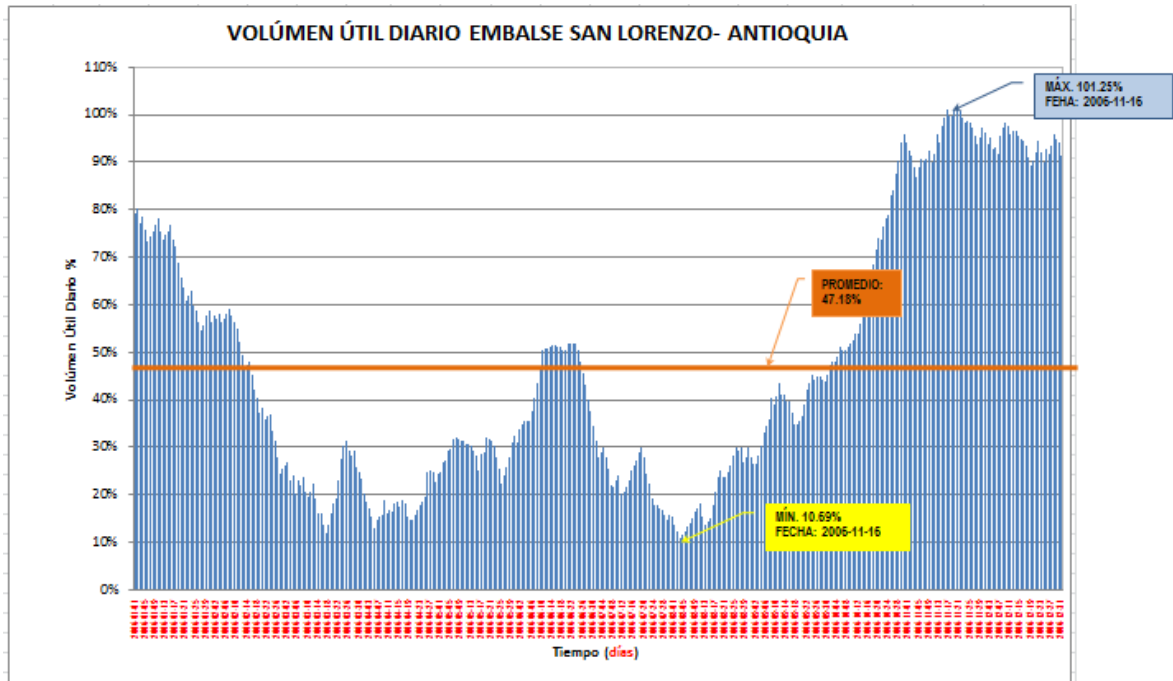
Fuente: Autor

Tabla 161. Porcentaje Umbrales, San Lorenzo 2000.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
76.18%	54.12%	24.40%	9.81%	6.72%	16.93%	15.44%	7.19%	44.41%	65.62%	87.73%	82.12%	6.72%	87.73%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
87.89%	78.05%	54.90%	20.81%	24.24%	61.94%	45.62%	41.47%	72.44%	86.85%	99.21%	94.57%	20.81%	99.21%
PROMEDIOS MENSUALES													
82.31%	64.77%	41.89%	16.75%	16.31%	46.64%	29.12%	21.57%	53.66%	75.25%	94.10%	87.55%	PROMEDIO	
												52.50%	

Fuente: Autor

Ilustración 109. . VUD San Lorenzo 2000.



Fuente: Autor

Tabla 162. Rangos Umbrales, San Lorenzo 2000.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	101.25%	
Mínimo	10.69%	
Promedio	47.18%	

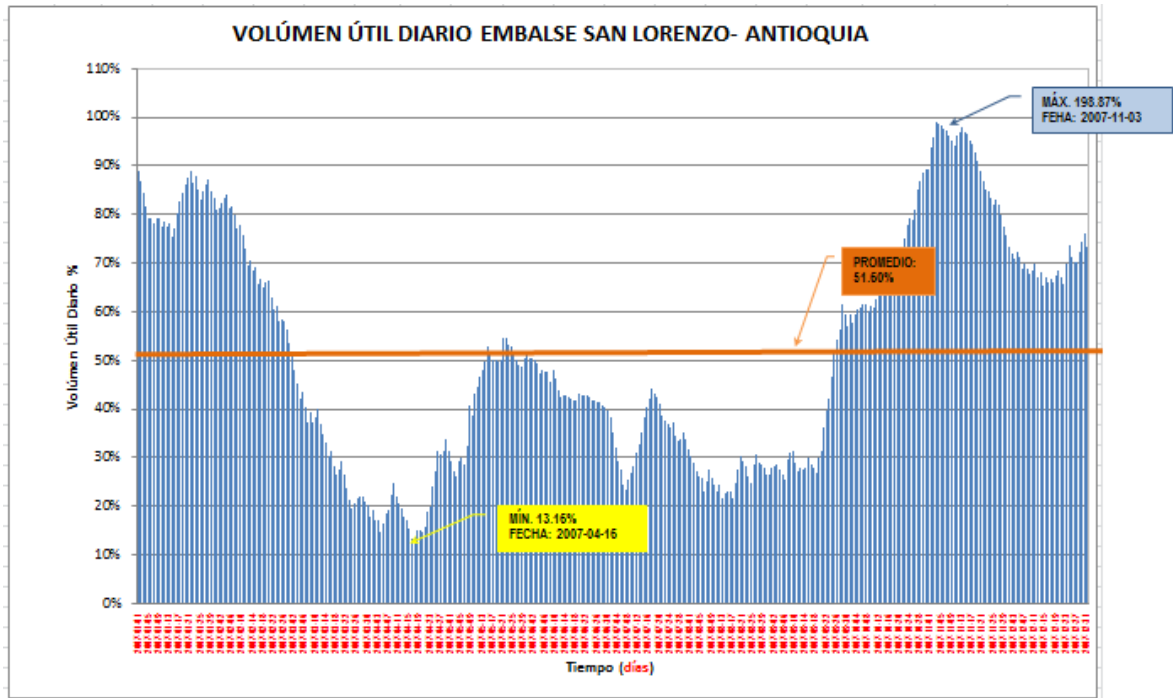
Fuente: Autor

Tabla 163. Porcentaje Umbrales, San Lorenzo 2000.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
54.58%	24.52%	11.97%	13.04%	22.37%	33.88%	14.52%	10.69%	26.44%	47.27%	87.02%	89.33%	10.69%	89.33%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
80.14%	58.97%	31.17%	25.22%	32.31%	51.88%	31.21%	30.08%	45.19%	95.73%	101.25%	98.24%	25.22%	101.25%
PROMEDIOS MENSUALES													
68.79%	45.38%	22.21%	18.16%	29.02%	45.26%	22.90%	20.25%	38.50%	66.52%	95.28%	93.94%	PROMEDIO	
												47.18%	

Fuente: Autor

Ilustración 110. VUD San Lorenzo 2000.



Fuente: Autor

Tabla 164. Rangos Umrales, San Lorenzo 2000.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	98.87%	
Mínimo	13.16%	
Promedio	51.60%	

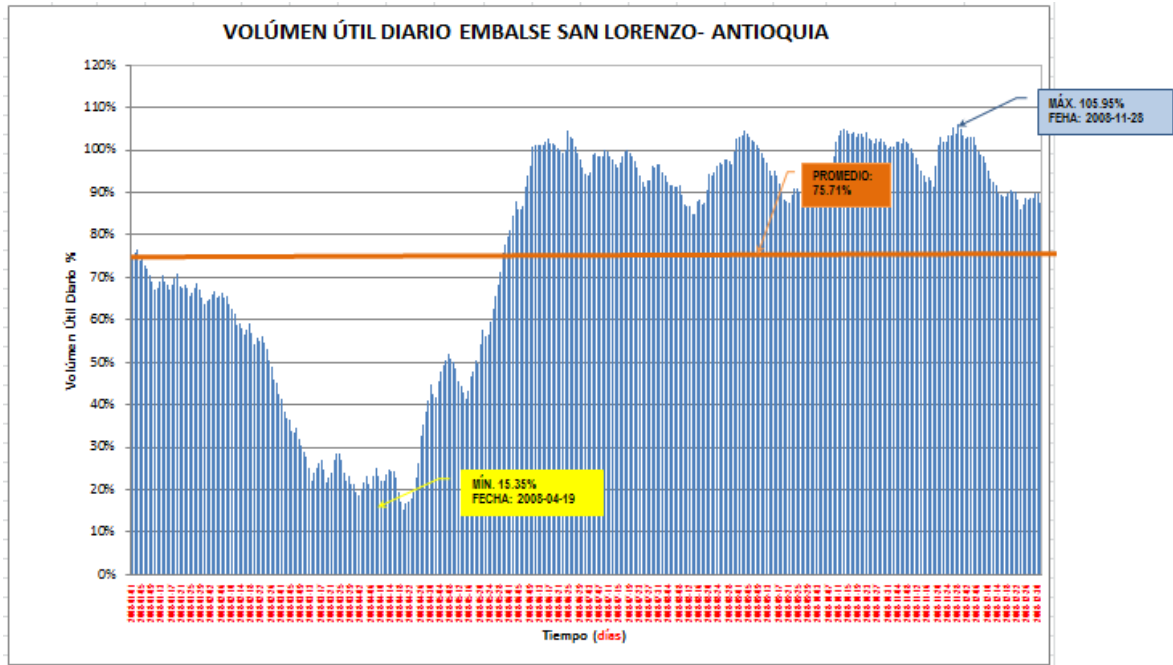
Fuente: Autor

Tabla 165. Porcentaje Umrales, San Lorenzo 2000.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
75.57%	53.65%	17.96%	13.16%	26.20%	39.79%	23.45%	21.56%	25.37%	57.61%	75.87%	65.49%	13.16%	75.87%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
89.05%	84.16%	50.94%	33.84%	54.71%	50.31%	44.06%	30.58%	61.40%	89.24%	98.87%	76.04%	30.58%	98.87%
PROMEDIOS MENSUALES													PROMEDIO
82.63%	69.79%	31.48%	20.57%	44.67%	44.04%	34.52%	26.15%	35.81%	70.05%	91.11%	69.67%	51.71%	

Fuente: Autor

Ilustración 111. VUD San Lorenzo 2000.



Fuente: Autor

Tabla 166. Rangos Umbrales, San Lorenzo 2000.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	105.95%	
Mínimo	15.35%	
Promedio	75.71%	

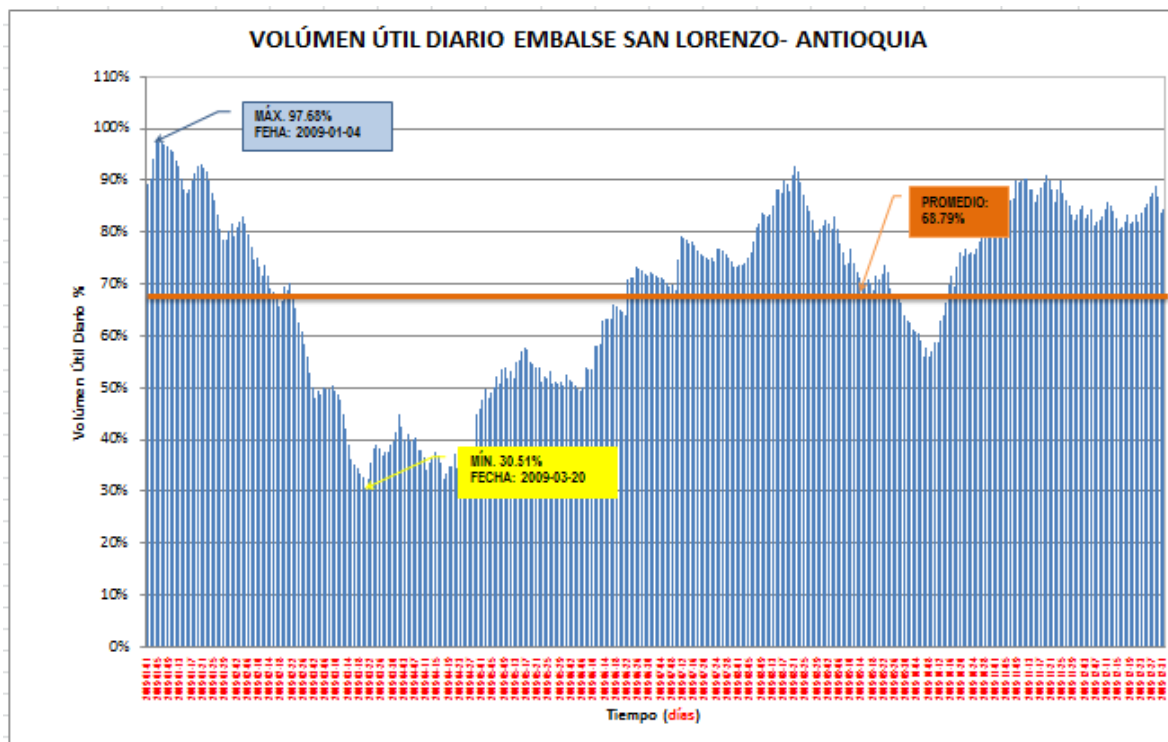
Fuente: Autor

Tabla 167. Porcentaje Umbrales, San Lorenzo 2000.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
63.55%	42.69%	19.59%	15.35%	41.25%	81.26%	91.45%	84.76%	87.43%	89.41%	91.22%	85.96%	15.35%	91.45%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
76.77%	66.84%	41.37%	44.69%	79.57%	104.42%	100.12%	102.72%	104.48%	104.93%	105.95%	103.17%	41.37%	105.95%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
69.23%	57.98%	27.71%	24.14%	54.06%	97.07%	96.75%	92.44%	95.20%	100.17%	100.07%	92.98%	75.65%	

Fuente: Autor

Ilustración 112. VUD San Lorenzo 2000.



Fuente: Autor

Tabla 168. Rangos Umbrales, San Lorenzo 2000.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	97.68%	
Mínimo	30.51%	
Promedio	68.79%	

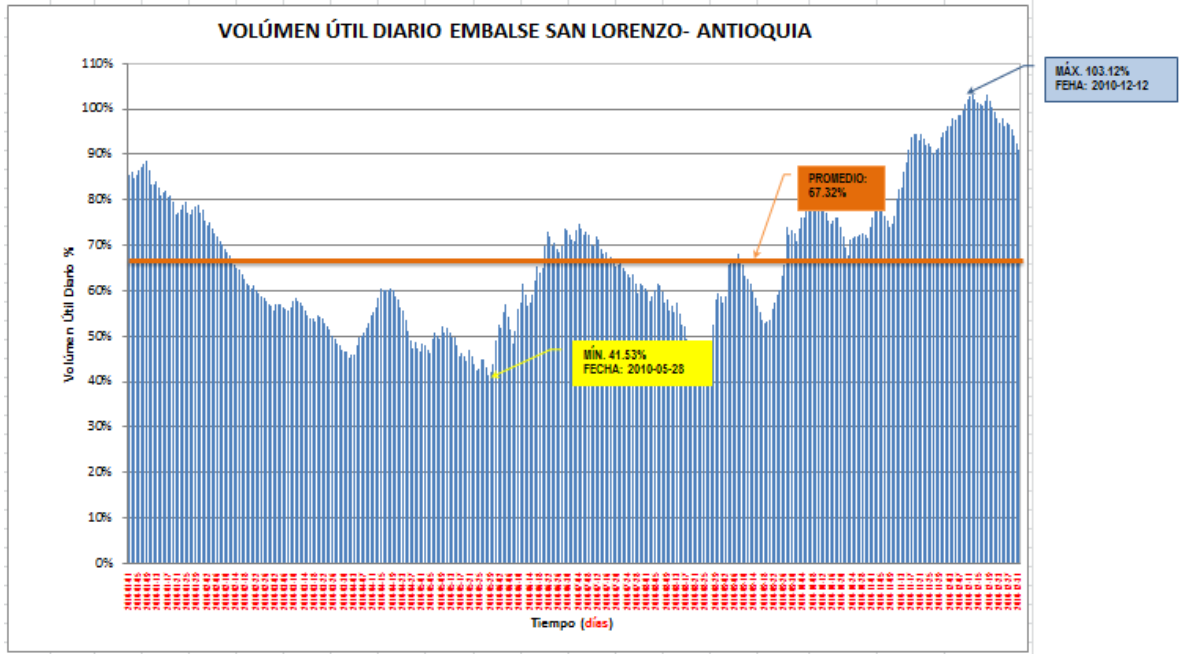
Fuente: Autor

Tabla 169. Porcentaje Umbrales, San Lorenzo 2000.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
78.51%	53.01%	30.51%	32.51%	47.81%	49.38%	68.95%	73.55%	62.84%	55.96%	82.39%	80.53%	30.51%	82.39%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
97.68%	83.18%	50.36%	45.79%	57.76%	73.44%	79.12%	92.87%	82.90%	85.67%	90.99%	88.90%	45.79%	97.68%
PROMEDIOS MENSUALES													
90.03%	70.48%	41.48%	37.75%	52.45%	62.16%	74.48%	83.46%	72.61%	69.25%	87.12%	83.83%	PROMEDIO	
													68.76%

Fuente: Autor

Ilustración 113. VUD San Lorenzo 2000.



Fuente: Autor

Tabla 170. Rangos Umbrales, San Lorenzo 2000.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	103.12%	
Mínimo	41.53%	
Promedio	67.32%	

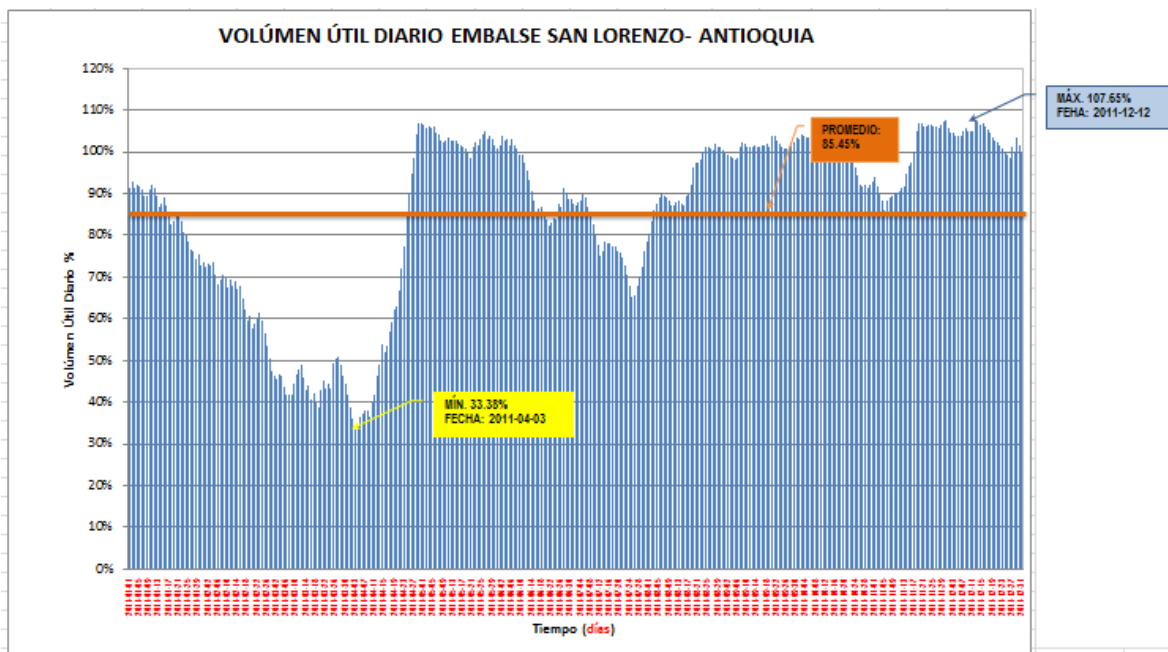
Fuente: Autor

Tabla 171. Porcentaje Umbrales, San Lorenzo 2000.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
76.82%	56.67%	46.56%	45.32%	41.53%	48.46%	59.54%	45.58%	52.96%	67.89%	74.05%	90.88%	41.53%	90.88%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
88.56%	75.27%	58.47%	60.56%	52.01%	73.55%	74.66%	61.50%	73.88%	86.97%	94.73%	103.12%	52.01%	103.12%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
81.68%	65.36%	53.75%	53.31%	46.91%	62.24%	67.45%	53.98%	62.18%	75.79%	86.22%	98.59%	67.29%	

Fuente: Autor

Ilustración 114. VUD San Lorenzo 2000.



Fuente: Autor

Tabla 172. Rangos Umbrales, San Lorenzo 2000.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	107.65%	
Mínimo	33.38%	
Promedio	85.45%	

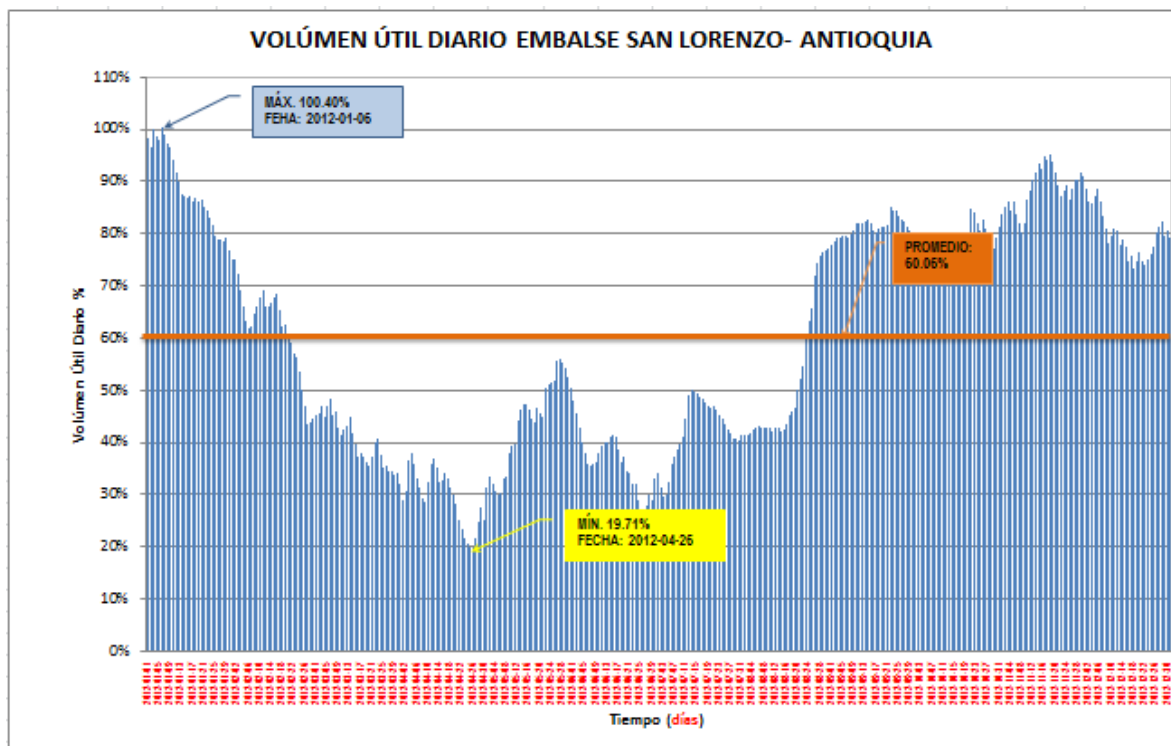
Fuente: Autor

Tabla 173. Porcentaje Umbrales, San Lorenzo 2000.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MINIMOS MENSUALES													
72.62%	47.51%	38.70%	33.38%	98.64%	82.39%	65.29%	80.30%	98.08%	91.33%	86.18%	98.53%	33.38%	98.64%
PORCENTAJES MAXIMOS MENSUALES													
92.86%	73.66%	50.84%	106.91%	106.63%	103.80%	89.69%	102.10%	103.80%	105.50%	107.59%	107.65%	50.84%	107.65%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
85.04%	64.38%	44.76%	60.30%	102.97%	92.53%	77.95%	92.84%	101.20%	100.01%	98.11%	103.63%	85.31%	

Fuente: Autor

Ilustración 115. VUD San Lorenzo 2000.



Fuente: Autor

Tabla 174. Rangos Umbrales, San Lorenzo 2000.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	100.40%	
Mínimo	19.71%	
Promedio	60.06%	

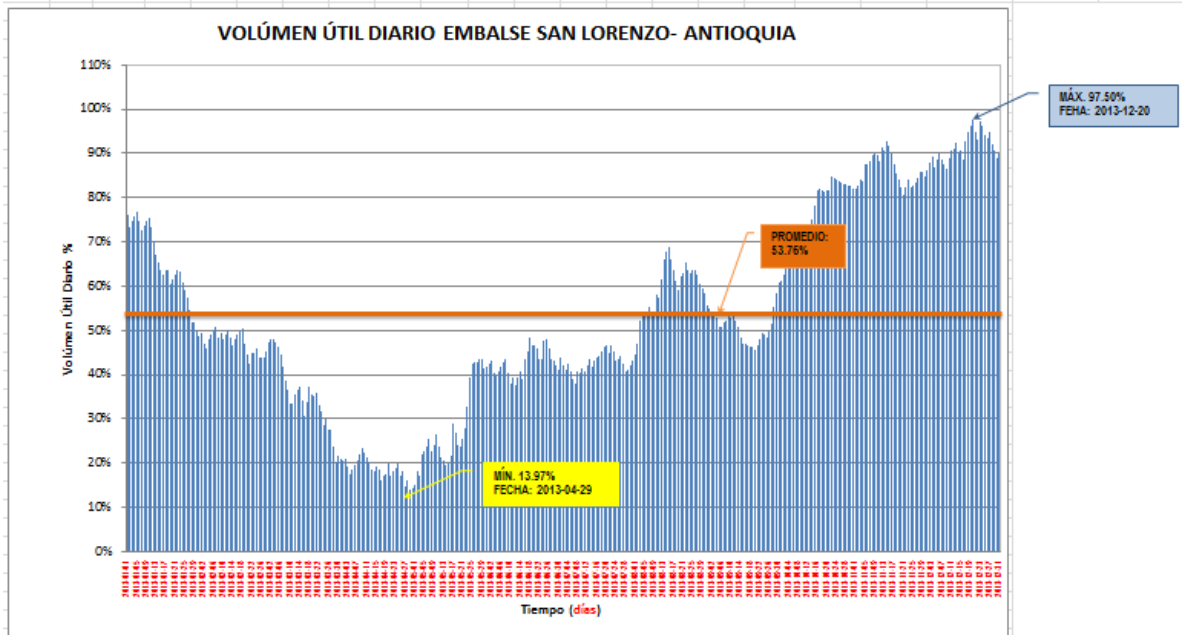
Fuente: Autor

Tabla 175. Porcentaje Umbrales, San Lorenzo 2000.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
75.04%	43.35%	32.06%	19.71%	29.88%	25.85%	29.48%	41.25%	77.72%	73.50%	80.19%	73.38%	19.71%	80.19%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
100.40%	75.15%	48.24%	38.03%	55.87%	48.16%	50.18%	77.21%	85.05%	84.71%	95.07%	88.67%	38.03%	100.40%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
88.25%	61.31%	40.09%	29.46%	43.79%	36.16%	42.05%	52.09%	81.23%	77.65%	88.63%	79.88%	60.05%	

Fuente: Autor

Ilustración 116. VUD San Lorenzo 2000.



Fuente: Autor

Tabla 176. Rangos Umbrales, San Lorenzo 2000.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	97.50%	
Mínimo	13.97%	
Promedio	53.76%	

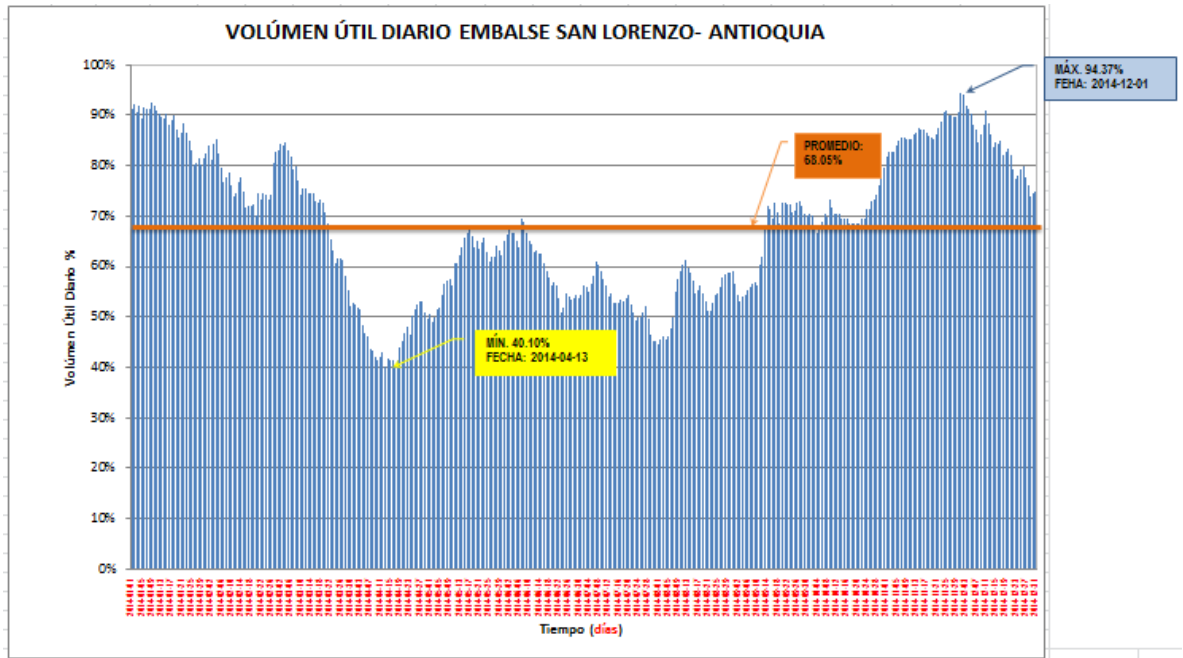
Fuente: Autor

Tabla 177. Porcentaje Umbrales, San Lorenzo 2000.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
48.61%	42.55%	20.38%	13.97%	15.19%	37.60%	37.83%	44.36%	45.45%	61.25%	80.53%	86.12%	13.97%	86.12%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
76.66%	50.80%	48.09%	23.26%	43.53%	48.26%	46.71%	68.69%	60.76%	84.81%	92.61%	97.50%	23.26%	97.50%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
65.24%	47.26%	34.88%	18.65%	28.07%	42.76%	42.68%	59.25%	50.91%	76.76%	86.18%	91.32%	53.66%	

Fuente: Autor

Ilustración 117. VUD San Lorenzo 2000.



Fuente: Autor

Tabla 178. Rangos Umbrales, San Lorenzo 2000.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	94.37%	
Mínimo	40.10%	
Promedio	68.05%	

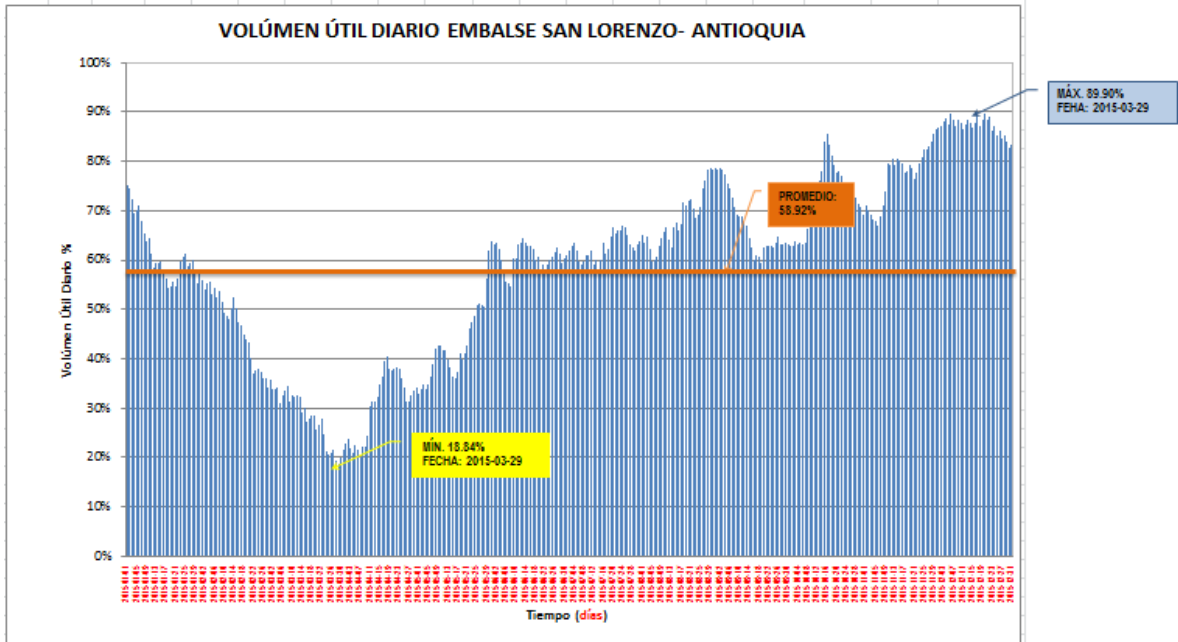
Fuente: Autor

Tabla 179. Porcentaje Umbrales, San Lorenzo 2000.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
80.31%	70.04%	52.23%	40.10%	48.87%	50.76%	45.11%	44.65%	52.99%	66.78%	81.68%	73.87%	40.10%	81.68%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
92.49%	85.17%	84.58%	53.22%	67.60%	69.51%	60.96%	61.25%	72.85%	79.63%	90.82%	94.37%	53.22%	94.37%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
87.77%	76.76%	71.25%	46.33%	60.43%	60.32%	53.35%	54.24%	65.29%	70.82%	86.58%	83.89%	68.09%	

Fuente: Autor

Ilustración 118. VUD San Lorenzo 2000.



Fuente: Autor

Tabla 180. Rangos Umbrales, San Lorenzo 2000.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	89.90%	
Mínimo	18.84%	
Promedio	58.92%	

Fuente: Autor

Tabla 181. Porcentaje Umbrales, San Lorenzo 2000.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
54.36%	34.12%	18.84%	20.01%	32.99%	54.82%	57.51%	59.70%	59.27%	62.86%	66.98%	82.66%	18.84%	82.66%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
75.23%	55.97%	35.81%	40.34%	63.96%	64.56%	67.04%	78.72%	78.78%	85.58%	86.47%	89.90%	35.81%	89.90%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
61.70%	46.65%	28.11%	30.72%	43.12%	60.56%	62.51%	68.43%	67.02%	72.54%	77.29%	87.16%	58.82%	

Fuente: Autor

15.4.2. EVALUACIÓN DE EVENTOS EXTREMOS O DE MÁXIMOS Y MÍNIMOS.

Para la evaluación de eventos extremos o de máximos y mínimos, los cuales fueron calculados a través de la información suministrada de las estaciones por el IDEAM a cerca del caudal (m³/s), de igual forma los años que no contaban con información, no se tenían en cuenta para el cálculo de los máximos y mínimos; estos valores fueron evaluados en el software HYFA que están en función de un periodo de retorno. Documento que puede ser verificado según anexo “GGM y GGMV”. Todo esto con el fin de adelantar estudios, teniendo en cuenta periodos de diseño de una obra civil que involucre estructuras hidráulicas.

Tabla 182 IDEAM, DATOS MEDIO MENSUAL MULTIANUAL (m³/s) SAN LORENZO.

ESTACIÓN SAN LORENZO-DATOS MEDIO MENSUAL MULTIANIAL (m3/s)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NO	DIC	TOTAL
1965	310.86	294.16	256.16	259.56	448.66	305.16	177.46	282.26	486.36	585.66	684.16	411.46	375.160
1966	405.66	281.16	313.86	332.76	404.56	435.86	291.96	343.66	221.26	493.56	570.66	499.06	382.835
1967	401.96	284.86	281.16	527.36	439.46	446.86	357.36	359.86	289.06	473.66	443.36	311.96	384.743
1968	277.46	236.56	248.46	407.56	410.06	382.46	447.06	435.76	742.16	629.06	554.76	337.86	425.768
1969	329.46	264.46	259.96	431.06	446.86	343.76	170.36	367.16	572.66	681.46	594.56	375.66	403.118
1970	327.66	245.86	233.06	305.86	542.56	376.96	482.76	426.76	600.36	764.46	602.56	407.56	443.035
1971	427.96	338.76	511.86	467.66	10856	476.26	408.86	489.96	597.26	616.36	542.86	377.66	1342.622
1972	439.06	250.46	304.16	404.06	456.06	472.66	284.86	385.16	187.36	439.36	459.26	389.56	372.668
1973	318.36	230.96	221.56	392.56	349.26	433.96	303.96	464.66	658.96	540.56	706.06	532.86	429.477
1974	377.16	422.46	344.97	509.02	637.12	529.32	401.42	659.58	692.42	673.32	767.38	428.42	536.883
1975	319.92	312.02	375.22	480.42	568.02	512.12	545.42	586.52	643.42	637.22	697.42	533.52	517.603
1976	445.72	368.22	458	552.12	541.6	388.7	191.4	251.4	266.9	513.2	489.4	287.3	396.163
1977	167.71	188.01	197.5	213.5	355.01	335.61	311.61	372.41	356.01	535.8	592.32	351.21	331.392
1978	237.41	195.4	229.12	454.46	387.56	333.71	423.31	345.08	318.26	357.3	384.86	365.56	336.003
1979	262.76	259.66	288.96	380.01	348.61	314.41	228.71	279	422.02	415.2	440.91	287.51	327.313
1980	287.61	246.71	231.71	257.01	376.31	312.01	284.61	294.51	348.71	528.68	531.18	448.77	345.652
1981	286.92	380.52	314.06	385.36	520.71	493.98	366.11	331.81	410.08	475.51	484.8	434.72	407.048
1982	334.62	400.42	380.7	435.61	505.11	306.91	233.11	228.71	311.86	399.46	338.46	310.41	348.782
1983	247.91	213.51	204.71	364.3	330.91	267.81	250.61	217.01	413.31	443.21	387.5	328.81	305.800
1984	356.71	434.31	336.31	345.91	465.71	500.28	393.18	371.9	494.78	643.78	554.6	472.38	447.488
1985	268.08	236.88	339.28	366.71	402.18	247.38	144.58	337.88	356.68	347.9	276.88	224.48	295.743
1986	285.22	281.6	278.7	422.18	396.18	325.68	232.41	269.01	330.68	394.48	399.08	341.98	329.767
1987	309.31	281.51	269.51	332.41	426.81	361.01	396.71	427.5	523.9	555.51	544.1	415.5	403.648
1988	296.78	293.01	253.81	465.88	462.62	99999	327.33	479.88	585.38	515.98	595.28	514.38	8732.444

1989	578.41	373.91	359.11	440.21	451.21	504.43	233.43	396.3	663.92	671.62	590.82	438.93	475.192
1990		363.28	352.88	466.18	385.88	338.18	344.78	333.08	480.38	671.58	553.98	449.48	430.880
1991	371.98	310.58	315.98	335.68	447.08	408.88	287.98	270.38	331.68	446.78	472.88	422.68	368.547
1992	292.91	268.61	288.81	262.61	438.68	310.51	189.21	278.08	419.58	450.1	352.58	370.78	326.872
1993	317.28	265.61	256.11	310.08	409.48	209.71	242.58	278.01	478.18	461.88	483.08	450.11	346.843
1994	283.4	267.72	326.68	436.28	397.08	293.61	256.18	246.81	330.78	465.38	490.38	414.18	350.707
1995	248.51	219.4	309.28	390.68	406.08	389.08	370.88	429.68	418.48	581.78	548.08	467.48	398.284
1996	340.88	352.98	420.08	503.88	519.88	437.38	417.28	396.68	375.18	505.78	454.78	386.08	425.905
1997	314.48	380.38	335.28	416.48	298.58	336.88	165.1	181.68	362.28	472.98	489.48	288.11	336.809
1998	226.51	258.38	239.6	318.48	399.28	291.08	346.48	357.48	517.58	558.18	585.38	535.28	386.143
1999	476.78	552.18	488.68	507.08	502.68	474.88	337.78	339.78	522.08	569.58	551.68	606.08	494.105
2000	299	329.78	457.98	470.38	454.18	474.53	424.53	548.28				437.63	432.921
2001	336.18	269.1	354.38	352.28	439.38	326.58	360.78	234.22	344.48	454.48	511.58	406.38	365.818
2002	316.22	357.82	393.58	483.68	353.38	377.38							380.343
2003													
2004			328.93	445.78	483.73					527.18	688.18	509.08	497.147
2005	413.18	346.08	343.58	377.58	546.73	486.88	576.88	420.78	356.48	315.68	283.98	359.48	402.276
2006	378.78	385.88	478.48	403.28	406.28	442.63		299.08	400.58	497.08	542.28	532.78	433.375
2007	411.38	228.58	415.58	540.08	630.28	308.38	402.38	493.18	586.18	695.28	599.18	405.82	476.358
2008	405.88	416.58	469.48	470.18	495.98	505.98	505.98	576.48	465.18	636.68	689.18	509.58	512.263
2009	509.78	483.78	523.08	499.58	475.18	447.38	328.18	390.58	374.98	408.68	449.28	360.48	437.580
2010	241.48	264.58	320.88	314.98	433.78	435.88	520.58	468.68	628.88	581.93	660.08	531.78	450.293
2011	440.08	397.98	545.58	704.33	562.98	464.98	464.38	494.18	424.68	608.18	634.28	731.18	539.401
2012	517.48	427.88	410.38	589.38	612.63	355.98	341.58	317.68	316.08	470.88	572.08	407.68	444.976
2013	327.28	349.88	400.28	366.78	507.48	403.98	313.68	416.28	434.08	493.98	488.18	442.98	412.072
2014	363.58	398.18	371.28	318.68	380.68	268.08	207.88	232.48	411.48	557.38	424.18	344.48	356.530
2015	357.88	360.28	352.28	469.08	381.88	316.88	285.88	305.38	345.28	364.48	389.08	266.68	349.588

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Tabla 183. ESTACIÓN SAN LORENZO, RESULTADOS MÁXIMOS, MEDIOS Y MÍNIMO (ANUALES), SEGÚN Q
(m³/s)

MEDIO	344.391	314.092	332.871	409.283	684.7767	2597.318	329.116	367.383	443.053	520.72	519.17	411.885	606.171
MAXIM	578.410	552.180	545.580	704.330	10856.000	99999.000	576.880	659.580	742.160	764.460	767.380	731.180	99999.000
MINIM	167.710	188.010	197.500	213.500	298.580	209.710	144.580	181.680	187.360	315.680	276.880	224.480	144.580

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

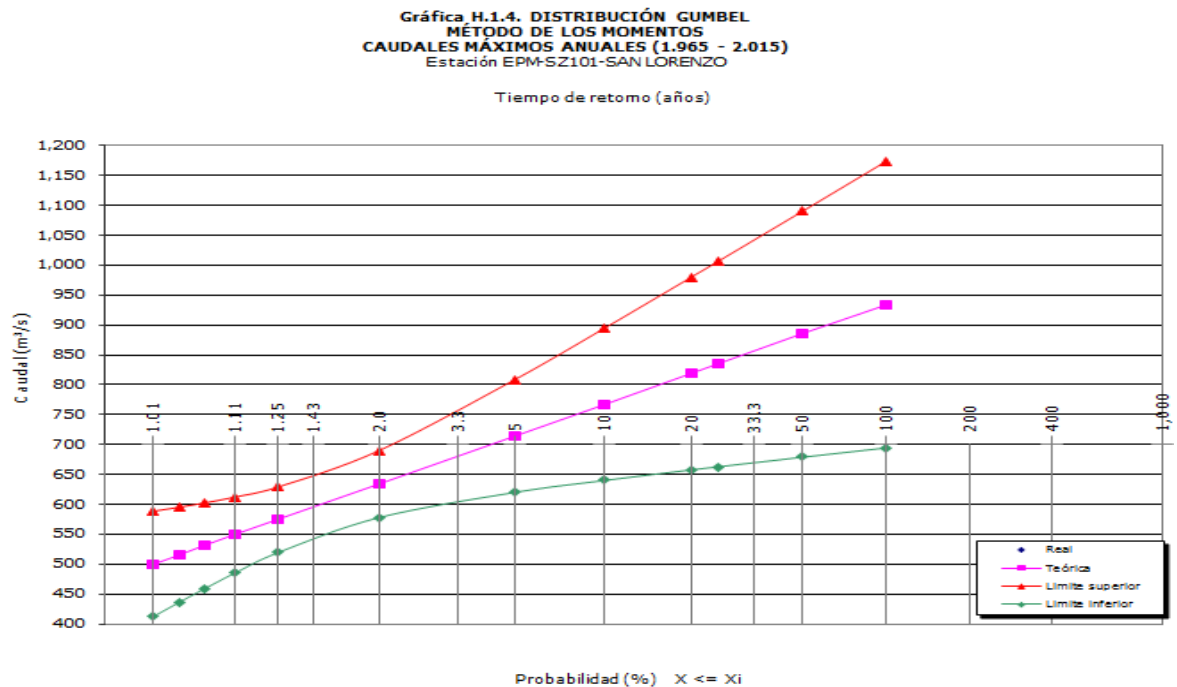
Con la información de los máximos caudales anuales (m^3/s), (1965-2015), por medio del Software HYFA, se generan las Distribuciones Gumbel: Métodos de los Momentos y Método de Máxima Verosimilitud, con su respectiva gráfica de Distribución Gumbel.

Tabla 184. Distribución Gumbel, Método de los Momentos, San Lorenzo.

Tabla H.1.5. DISTRIBUCIÓN GUMBEL. MÉTODO DE LOS MOMENTOS							
Período de retorno $T = 1/p$ (años)	Probabilidad $X \geq X_i$ p (%)	Probabilidad $X \leq X_i$ $1 - p$ (%)	Variable reducida Y	Valor estimado X_i (m^3/s)	Error estándar S (m^3/s)	Límites de confianza	
						Inferior $X_i - tS$	Superior $X_i + tS$
1.01	99.0	1.0	-1.527	500.05	37.92	411.78	588.33
1.03	97.5	2.5	-1.305	515.77	34.16	436.24	595.29
1.05	95.0	5.0	-1.097	530.50	30.88	458.61	602.39
1.11	90.0	10.0	-0.834	549.14	27.22	485.77	612.51
1.25	80.0	20.0	-0.476	574.50	23.54	519.70	629.30
2	50.0	50.0	0.367	634.16	24.07	578.13	690.19
5	20.0	80.0	1.500	714.42	40.53	620.07	808.78
10	10.0	90.0	2.250	767.56	24.74	640.12	895.01
20	5.0	95.0	2.970	818.54	69.15	657.55	979.53
25	4.0	96.0	3.199	834.71	73.81	662.88	1,006.54
50	2.0	98.0	3.902	884.52	88.32	678.91	1,090.13
100	1.0	99.0	4.600	933.97	102.88	694.44	1,173.49

Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

Ilustración 119. Método de los Momentos, Caudales Máximos, San Lorenzo.



Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

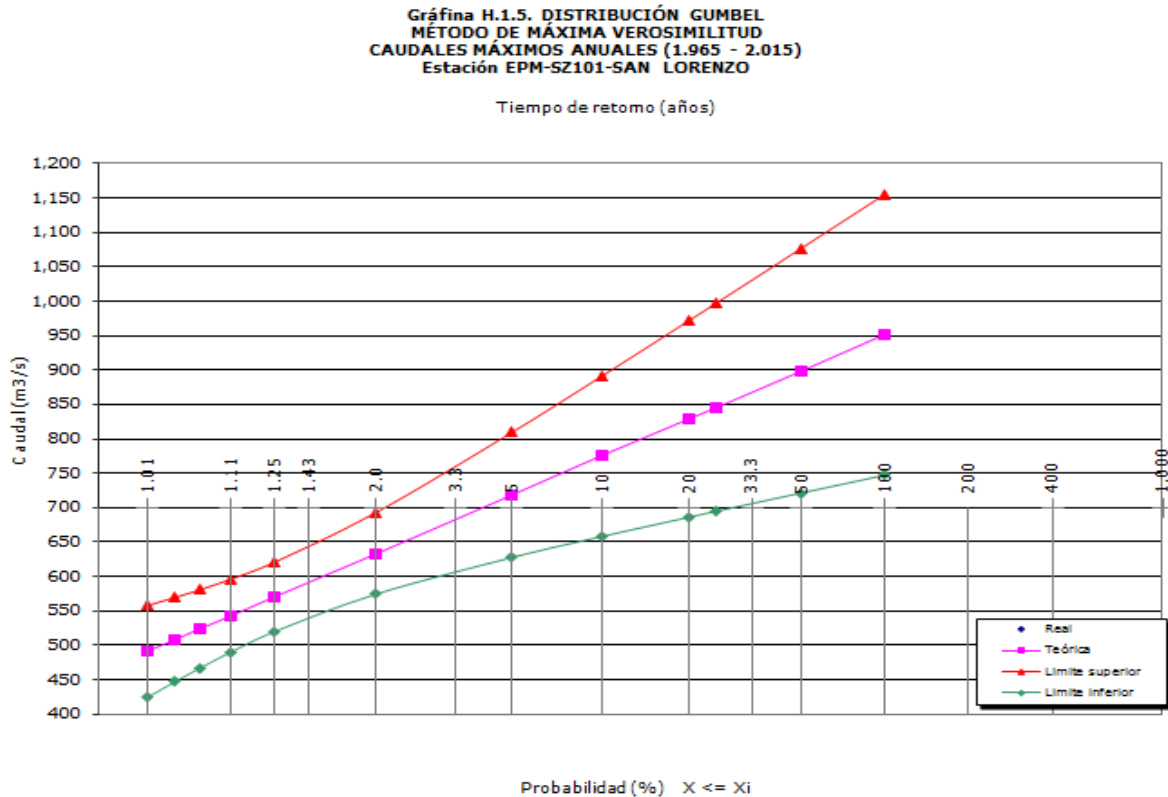
Tabla 185. Distribución Gumbel, Método Máxima Verosimilitud, San Lorenzo.

Tabla H.1.6. DISTRIBUCIÓN GUMBEL. MÉTODO DE MÁXIMA VEROSIMILITUD

Período de retorno T = 1/p (años)	Probabilidad X >= Xi p (%)	Probabilidad X <= Xi 1 - p (%)	Variable reducida Y	Valor estimado Xi (m³/s)	Error estándar S (m³/s)	Límites de confidencia	
						Inferior Xi - tS	Superior Xi + tS
1.01	99.0	1.0	-1.527	491.40	28.64	424.73	558.08
1.03	97.5	2.5	-1.305	508.06	26.34	446.74	569.38
1.05	95.0	5.0	-1.097	523.69	24.51	466.63	580.75
1.11	90.0	10.0	-0.834	543.45	22.78	490.43	596.48
1.25	80.0	20.0	-0.476	570.34	21.70	519.83	620.86
2	50.0	50.0	0.367	633.60	25.45	574.34	692.86
5	20.0	80.0	1.500	718.70	39.09	627.71	809.70
10	10.0	90.0	2.250	775.05	50.15	658.30	891.81
20	5.0	95.0	2.970	829.10	61.36	686.24	971.97
25	4.0	96.0	3.199	846.25	64.99	694.94	997.56
50	2.0	98.0	3.902	899.07	76.32	721.38	1,076.75
100	1.0	99.0	4.600	951.49	87.72	747.28	1,155.71

Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

Ilustración 120. Método Máxima Verosimilitud, Caudales Máximos, San Lorenzo.



Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

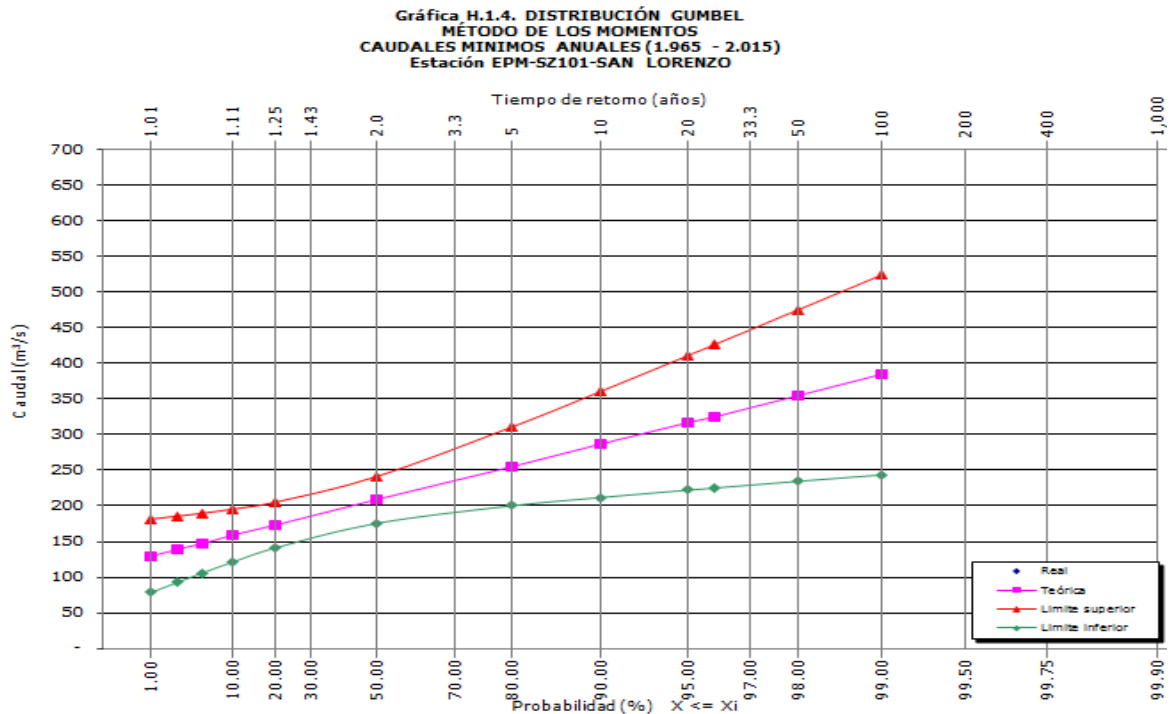
Con la información de los mínimos caudales anuales (m^3/s), (1965-2015), por medio del Software HYFA, se generan las Distribuciones Gumbel: Métodos de los Momentos y Método de Máxima Verosimilitud, con su respectiva gráfica de Distribución Gumbel.

Tabla 186. Distribución Gumbel, Método de los Momentos, San Lorenzo.

Tabla H.1.5. DISTRIBUCIÓN GUMBEL. MÉTODO DE LOS MOMENTOS							
Período de retorno $T = 1/p$ (años)	Probabilidad $X \geq X_i$ p (%)	Probabilidad $X \leq X_i$ 1 - p (%)	Variable reducida Y	Valor estimado X_i (m^3/s)	Error estándar S (m^3/s)	Límites de confianza	
						Inferior $X_i - tS$	Superior $X_i + tS$
1.01	99.0	1.0	-1.527	129.87	22.21	78.17	181.57
1.03	97.5	2.5	-1.305	139.07	20.00	92.50	185.64
1.05	95.0	5.0	-1.097	147.70	18.08	105.60	189.80
1.11	90.0	10.0	-0.834	158.62	15.94	121.50	195.73
1.25	80.0	20.0	-0.476	173.47	13.78	141.38	205.56
2	50.0	50.0	0.367	208.40	14.09	175.59	241.22
5	20.0	80.0	1.500	255.41	23.73	200.15	310.67
10	10.0	90.0	2.250	286.53	32.06	211.90	361.17
20	5.0	95.0	2.970	316.38	40.50	222.10	410.66
25	4.0	96.0	3.199	325.85	43.22	225.22	426.48
50	2.0	98.0	3.902	355.03	51.72	234.61	475.44
100	1.0	99.0	4.600	383.98	60.25	243.71	524.25

Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

Ilustración 121. Método de los Momentos, Caudales Mínimos, San Lorenzo.



Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

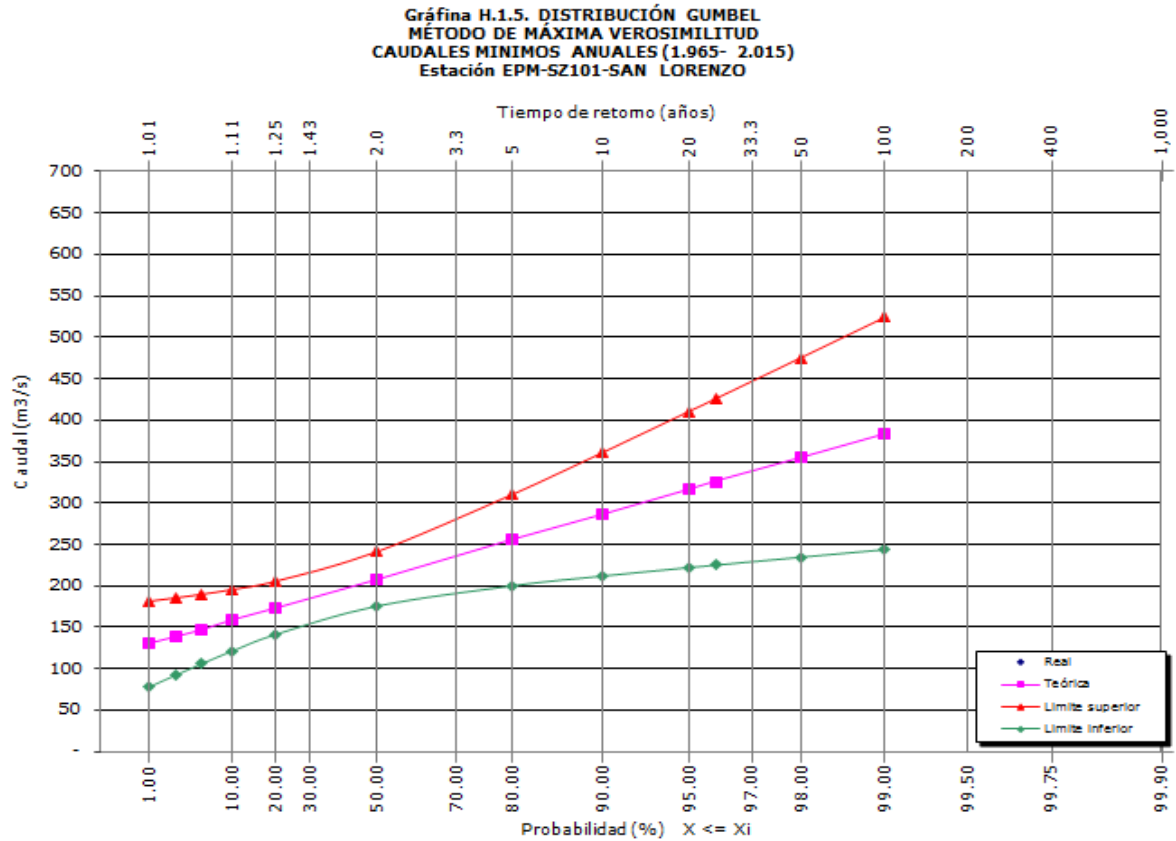
Tabla 187. Distribución Gumbel, Método Máxima Verosimilitud, San Lorenzo.

Tabla H.1.6. DISTRIBUCION GUMBEL. METODO DE MAXIMA VEROSIMILITUD

Período de retorno T = 1/p (años)	Probabilidad X >= Xi p (%)	Probabilidad X <= Xi 1 - p (%)	Variable reducida Y	Valor estimado Xi (m³/s)	Error estándar S (m³/s)	Límites de confidencia	
						Inferior Xi - tS	Superior Xi + tS
1.01	99.0	1.0	-1.527	129.87	22.21	78.17	181.57
1.03	97.5	2.5	-1.305	139.07	20.00	92.50	185.64
1.05	95.0	5.0	-1.097	147.70	18.08	105.60	189.80
1.11	90.0	10.0	-0.834	158.62	15.94	121.50	195.73
1.25	80.0	20.0	-0.476	173.47	13.78	141.38	205.56
2	50.0	50.0	0.367	208.40	14.09	175.59	241.22
5	20.0	80.0	1.500	255.41	23.73	200.15	310.67
10	10.0	90.0	2.250	286.53	32.06	211.90	361.17
20	5.0	95.0	2.970	316.38	40.50	222.10	410.66
25	4.0	96.0	3.199	325.85	43.22	225.22	426.48
50	2.0	98.0	3.902	355.03	51.72	234.61	475.44
100	1.0	99.0	4.600	383.98	60.25	243.71	524.25

Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

Ilustración 122. Método Máxima Verosimilitud, Caudales Mínimos, San Lorenzo.



Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

Como se puede observar en las gráficas de GMM y GMMV, se determinó la variación de los caudales para extremos (altos y bajos), se define el caudal mínimo, que se puede asegurar con una probabilidad alta del 85% al 90%, éstos conceptos son regidos por el IDEAM, con el fin de determinar las probabilidades (altas y bajas) de ocurrencia de fenómenos de variabilidad climática (Fenómeno del Niño y de la Niña).

15.4.3. CÁLCULO DE PERFILES DE SECCIONES TRANSVERSALES

Se procede a realizar los perfiles, con información suministrada por el IDEAM, para aguas arriba y aguas abajo del embalse:

Tabla 188. Cotas de Inundación, San Lorenzo.

UBICACIÓN	SAN LORENZO	
	ABSCISADO (m)	COTA (msnm)
AGUAS ARRIBA	0.00	130.808
	0.05	130.541
	0.45	130.543
	0.45	124.914
	0.45	124.244
	5.00	122.884
	10.00	119.264
	15.00	118.944
	20.00	119.094
	25.00	118.754
	30.00	118.024
	35.00	117.814
	40.00	117.634
	45.00	117.174
	50.00	116.954
	55.00	116.524
	60.00	115.744
	65.00	115.884
	70.00	116.124
	75.00	117.804
80.00	119.454	
85.00	121.494	
90.00	123.594	
91.70	124.914	
91.75	125.723	
91.95	130.491	
92.35	130.480	

AGUAS ABAJO	1.00	125.356
	2.50	123.516
	4.60	122.889
	10.00	119.929
	15.00	117.589
	20.00	116.369
	25.00	115.589
	30.00	115.939
	35.00	116.569
	40.00	116.989
	45.00	117.429
	50.00	117.989
	55.00	118.409
	60.00	119.279
	65.00	119.679
	70.00	120.369
	75.00	120.229
	80.00	120.489
	85.00	121.339
	87.50	122.889
	87.50	122.891
	88.00	123.333
	88.50	123.756
	90.50	124.076
	92.20	124.597
	93.35	124.597
92.47	124.597	
93.06	124.597	
94.64	124.597	
95.12	124.597	
95.69	125.120	
95.99	126.970	
98.00	127.000	
103.00	129.000	

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Posteriormente, con los protocolos de HYFA y SMADA, para un tiempo de retorno T_R y caudales mínimos (m^3/s), se calcula el error relativo de evaluación, el cual permite observar la variación de caudales de un programa a otro en un T_R determinado.

Tabla 189. Protocolo HYFA y SMADA, San Lorenzo, AA.

ESTACIÓN 3 (aguas arriba max)							
estación de monitoreo	corriente		variable analizada	serie histórica analizada			
EPM-SZ101-San Lorenzo.	Río Nusito.		CAUDAL (m³/S)				
	DATOS ANALITICOS			COMPARACIÓN		COTAS DE REFERENCIA PARA GENERACIÓN DE ALERTAS (m)	
T _R	PROTOCOLO			ERROR RELATIVO DE EVALUACIÓN			
	HYFA		SMADA	HYFA			
	MM	MV	ÚNICO	MM	MV		
(años)	Q (m³/S)	Q (m³/S)	Q (m³/S)	(%)	(%)	MÍNIMOS	MÁXIMOS
2	20.412	20.435	21.090	-3.323	-3.207	123.00	124.40
5	27.827	27.554	31.017	-11.462	-12.567	122.00	
10	32.737	32.267	37.589	-14.820	-16.493	121.20	126.00
20	37.446	36.788	43.893	-17.216	-19.313		127.00
50	43.542	42.640	52.053	-19.546	-22.075		
100	48.110	47.025	58.168	-20.905	-23.695		

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

Tabla 190. Protocolo HYFA y SMADA, San Lorenzo, aa.

ESTACIÓN 3 (aguas abajo min)							
estación de monitoreo	corriente		variable analizada	serie histórica analizada			
EPM-SZ101-San Lorenzo.	Río Nusito.		CAUDAL (m³/S)				
	DATOS ANALITICOS			COMPARACIÓN		COTAS DE REFERENCIA PARA GENERACIÓN DE ALERTAS (m)	
T _R	PROTOCOLO			ERROR RELATIVO DE EVALUACIÓN			
	HYFA		SMADA	HYFA			
	MM	MV	ÚNICO	MM	MV		
(años)	Q (m³/S)	Q (m³/S)	Q (m³/S)	(%)	(%)	MÍNIMOS	MÁXIMOS
2	1.362	1.338	1.389	-1.960	-3.789	120.50	121.00
5	2.410	2.147	2.779	-15.303	-29.427	120.00	
10	3.104	2.683	3.699	-19.175	-37.876	119.00	122.00
20	3.769	3.197	4.582	-21.573	-43.325		122.80
50	4.631	3.862	5.725	-23.621	-48.237		
100	5.276	4.360	6.581	-24.740	-50.947		

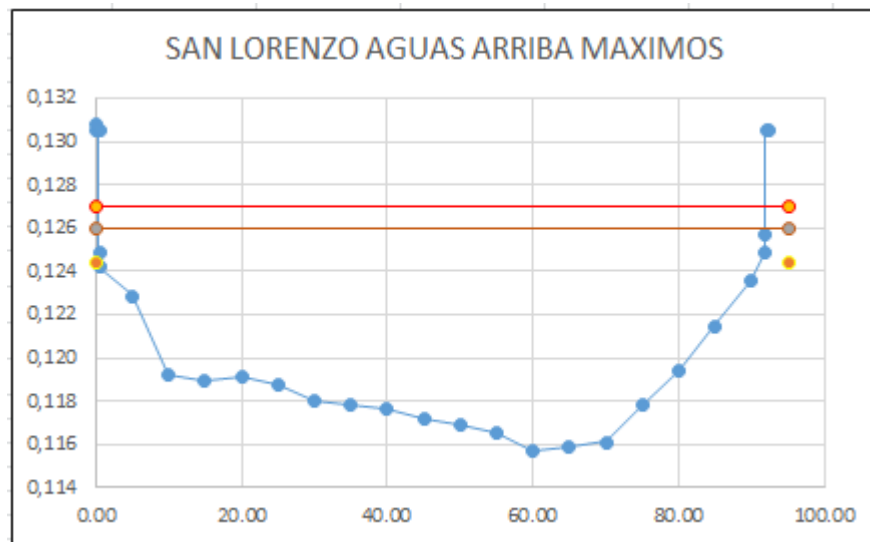
Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

Todos los perfiles se referencian indicando cotas máximas para los T_R de 2, 10 y 20 años y las cotas mínimas para T_R de 2, 5 y 10 años.

Las cotas máximas se refieren a niveles de potencialidad de inundaciones.

Las cotas mínimas se refieren a niveles que causarían desabastecimiento de agua para toma y en la restricción de navegación.

Ilustración 123. Perfil, AA, Máximos, San Lorenzo.



Fuente: Autor

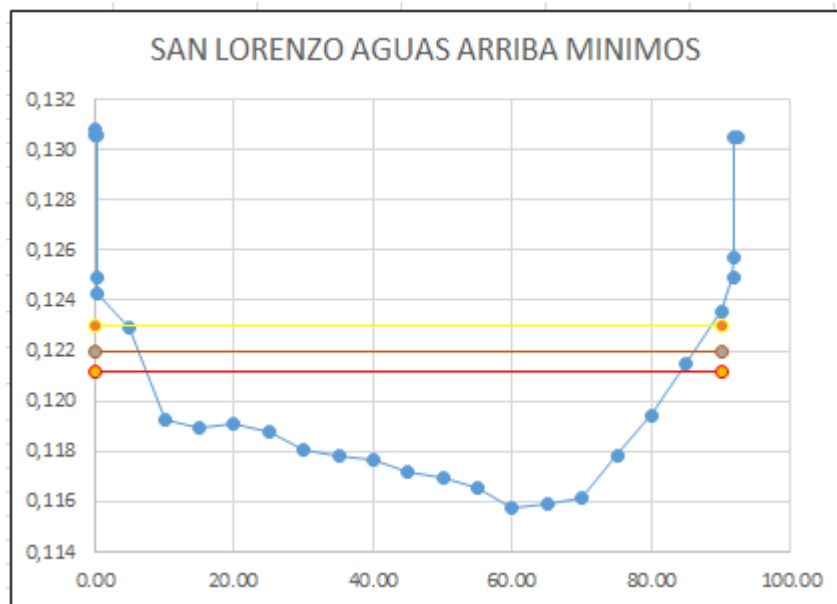
Tabla 191. Cotas Inundación, San Lorenzo.

ABCISADO	MAXIMOS		
	T2	T10	T20
0.00	124.40	126.00	127.00
95.00	124.40	126.00	127.00

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Según las cotas de referencia para generación de alertas (m), indican exceso de agua, aguas arriba del embalse, en lo cual se están generando las alertas con el cambio de las corrientes de agua al paso de los tiempos, la alerta amarilla nos indica que todavía se puede hacer aviso para controlar lo que está pasando en el embalse, estas alertas se generan por creciente máxima o mínima de un caudal proyectado, y tienen como premisa fundamental, la de observar la potencial demanda por exceso de agua, cuando ya está en alerta roja, se deben tomar medidas urgentes para controlar la llegada del agua al embalse, evitando así inundaciones.

Ilustración 124. Perfil, AA, Mínimos San Lorenzo.



Fuente: Autor

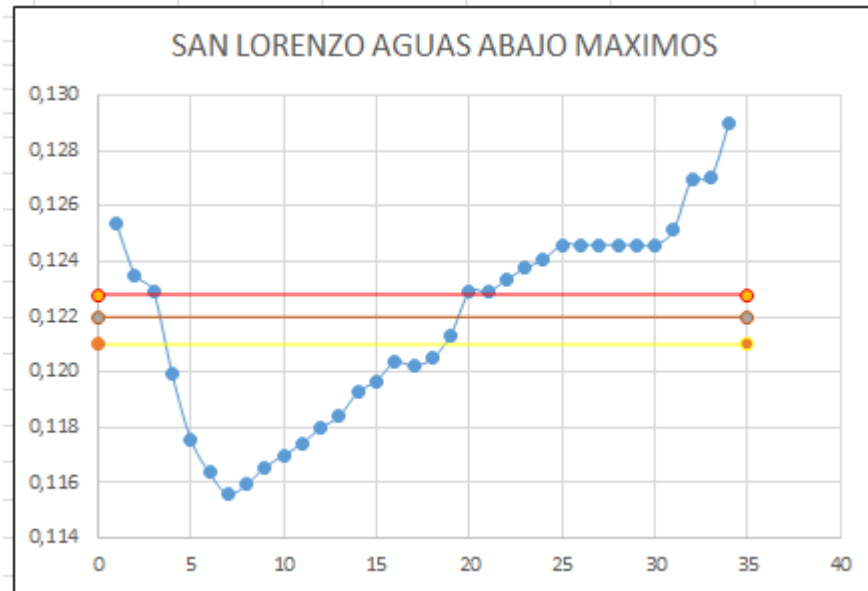
Tabla 192. Cotas Inundación, San Lorenzo.

ABCISADO	MÍNIMOS		
	T2	T5	T10
0.00	123.00	122.00	121.20
90.00	123.00	122.00	121.20

Fuente: Autor

Según las cotas de referencia para generación de alertas (m), indican déficit de agua, aguas arriba del embalse, en lo cual se están generando las alertas con el cambio de las corrientes de agua al paso de los tiempos, la alerta amarilla nos indica que con la demanda de agua que llega, se está generando un problema de déficit y que se puede hacer aviso para controlar lo que está pasando en el embalse, estas alertas tienen como premisa fundamental, la de observar la potencial demanda por déficit de agua; cuando ya está en alerta roja, se deben tomar medidas urgentes para controlar el déficit del agua al embalse, toda vez que puede traer problemas a las poblaciones que se suministran de éste, como desabastecimiento de agua y en la restricción de la navegación.

Ilustración 125. Perfil, aa, Máximos San Lorenzo.



Fuente: Autor

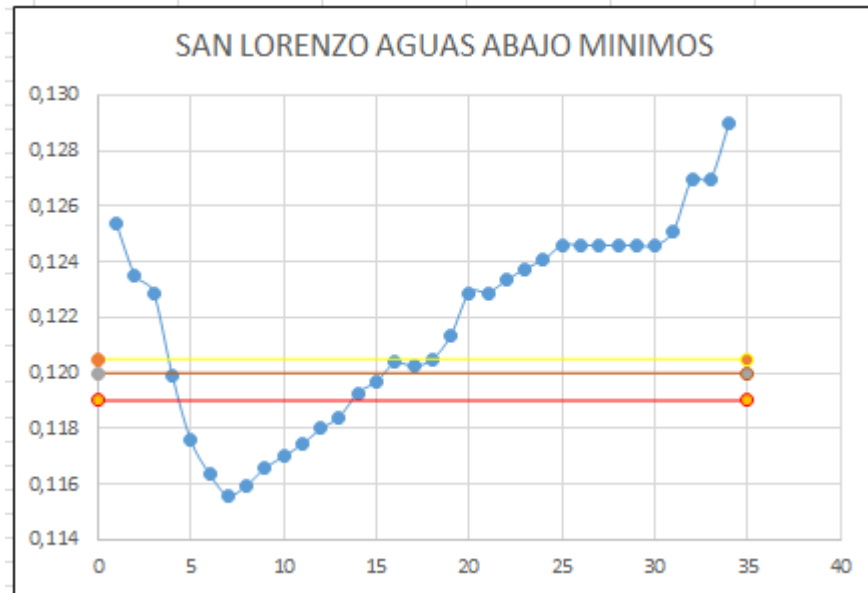
Tabla 193. Cotas Inundación, San Lorenzo.

ABCISADO	MAXIMOS		
	T2	T10	T20
0.00	121.00	122.00	122.80
35.00	121.00	122.00	122.80

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Según las cotas de referencia para generación de alertas (m), indican exceso de agua, aguas abajo del embalse, en lo cual se están generando las alertas con el cambio de las corrientes de agua al paso de los tiempos, la alerta amarilla nos indica que todavía se puede hacer aviso para controlar lo que está pasando en el embalse, estos niveles que generan alertas respecto a los umbrales, teniendo en cuenta que estamos revisando aguas abajo, pueden ser eventualmente superados, por efectos de descargas provenientes del embalse, y los afluentes que descargan allí, para este caso el afluentes es el río Nusito; cuando ya está en alerta roja, se deben tomar medidas urgentes para controlar la llegada del agua a los municipios que se encuentran aguas abajo del embalse.

Ilustración 126. Perfil, aa, Mínimos San Lorenzo.



Fuente: Autor

Tabla 194. Cotas Inundación, San Lorenzo.

ABCISADO	MÍNIMOS		
	T2	T5	T10
0.00	120.50	120.00	119.00
35.00	120.50	120.00	119.00

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Según las cotas de referencia para generación de alertas (m), indican déficit de agua, aguas abajo del embalse, en lo cual se están generando las alertas con el cambio de las corrientes de agua al paso de los tiempos, la alerta amarilla nos indica que con la demanda de agua que llega, se está generando un problema de déficit y que se puede hacer aviso para controlar lo que está pasando en el embalse, estas alertas tienen como premisa fundamental, determinar los niveles de umbrales, suministrando información oportuna, debido al posible desabastecimiento en los puntos de toma y de afluencia a los embalses; cuando ya está en alerta roja, se deben tomar medidas urgentes para controlar el déficit del agua al embalse, toda vez que puede traer problemas a las poblaciones que se suministran de éste, afectando sus labores cotidianas.

En caso tal, que el caudal baje de forma repentina, se debe generar la alerta para mínimos, toda vez que pudo haber un represamiento aguas arriba del embalse, siendo así la generación del tiempo de Respuesta de la Alerta.

15.4.4. TIEMPO DE RESPUESTA SAT

Con la información suministrada por el IDEAM, respecto a la corriente que descarga a este embalse, para la generación del tiempo de respuesta a la Alerta (tiempo de viaje de la onda de crecida), se tienen en cuenta las variables de velocidad de propagación de olas de inundación y distancia en metros desde el embalse hasta el sitio del posible evento, lo cual genera un tiempo posible en el que va a pasar el desbordamiento o inundación. Documento que puede ser verificado según anexo “Tiempo de Respuesta G Alerta”. El cual fue calculado como $T = \text{ESPACIO} / \text{VELOCIDAD}$.

Tabla 195. AFLUENTES A EMBALSES EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA (Aguas Arriba)

Nº	CÓDIGO	ESTACIÓN	CORRIENTE	H (m)	L (m)	W (m/S)
4	EPM-SZ101	San Lorenzo.	Río Nusito.	69.097	3,009.797	2.08

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Tabla 196. AFLUENTES A EMBALSES EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA (Aguas Abajo)

Nº	CÓDIGO	ESTACIÓN	CORRIENTE	H (m)	L (m)	W (m/S)
4	EPM-SZ101	San Lorenzo.	Río Nusito.	74.069	3,174.087	2.10

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Ecuación 1. Fórmula empírica para calcular W: velocidad de propagación de olas de inundación, de acuerdo con la metodología de Rzhiha:

$$W = 20 \left(\frac{H}{L} \right)^{0.6} \text{ (m/s)}$$

Fuente: Metodología de Rzhiha

Para la generación del tiempo de respuesta a la Alerta, se analiza lo que ocurre aguas abajo del embalse, porque la Alerta se genera para poder estimar un tiempo en el cual las poblaciones que se encuentran, puedan evacuar en caso de un desbordamiento.

En función de los resultados de caudal obtenidos y con la consulta en el IDEAM, éstos se referenciaron con respecto a las alturas que potencialmente alcanzarían en una sección típica de monitoreo. Documento que puede ser verificado según anexo “Umbral Generación de Alertas”.

Tabla 197. Longitud Cauce, San Lorenzo.

Nº	EMBALSES		S (m)
	ESTACIÓN	CORRIENTE	
9	San Lorenzo	Río Nusito	14,987.01

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

Tabla 198. Tiempo Posible de Inundación.

EMBALSES			
ESTACIÓN	W (m/S)	S (m)	T (horas)
	aa		
9	2.1	14,987.01	1.98

Fuente: Autor

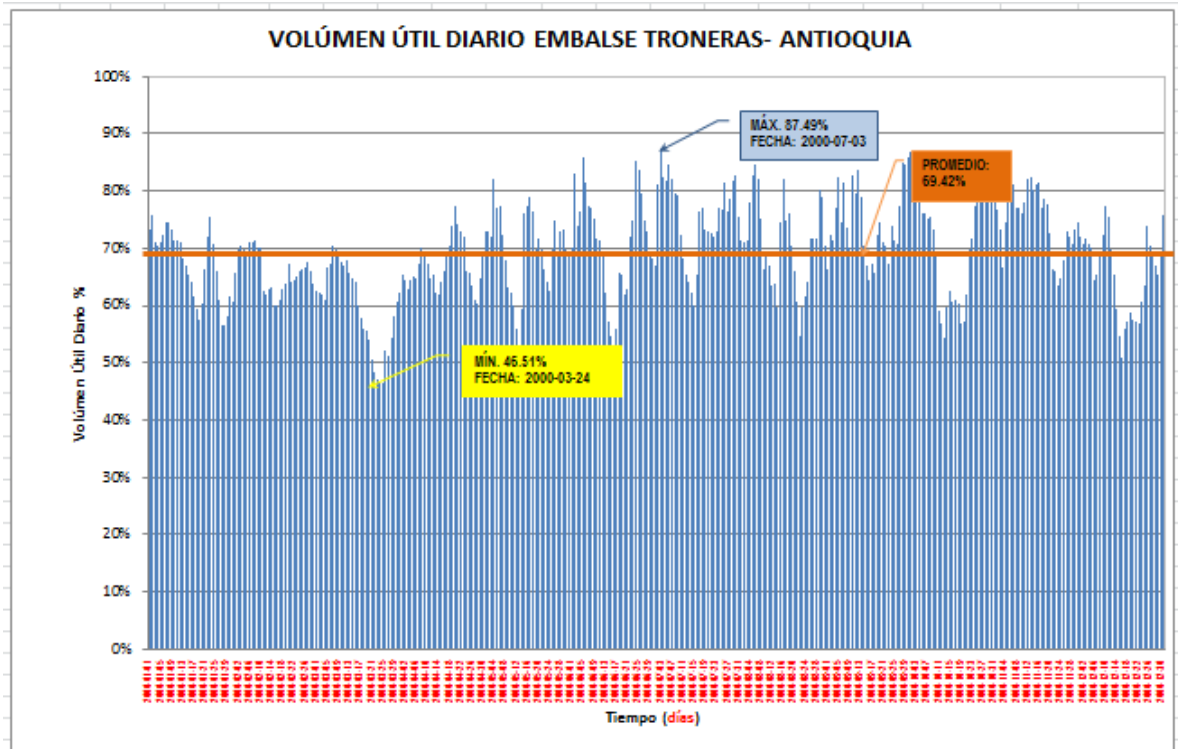
15.5. EMBALSE TRONERAS

15.5.1. CÁLCULO DE VOLÚMEN ÚTIL DIARIO

Se realiza el análisis de resultados con la información suministrada, con el fin de dar un manejo hidrológico a eventuales descargas.

Según los comportamientos históricos a nivel diario del volumen útil del embalse, se realiza el cálculo de los valores máximos y mínimos (mensuales), y a su vez se calcula el promedio (mensual), lo cual arroja, según gráfica adjunta, que para los valores que se encuentren por encima de éste promedio (línea en color naranja), hay exceso de agua, es decir, se presenta Fenómeno de la Niña, y para los valores que se encuentren por debajo de éste promedio, hay déficit de agua, es decir, se presenta Fenómeno del Niño.

Ilustración 127. VUD Troneras 2000.



Fuente: Autor

Tabla 199. Rango Umbrales, Troneras 2000.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	87.49%	
Mínimo	46.51%	
Promedio	69.42%	

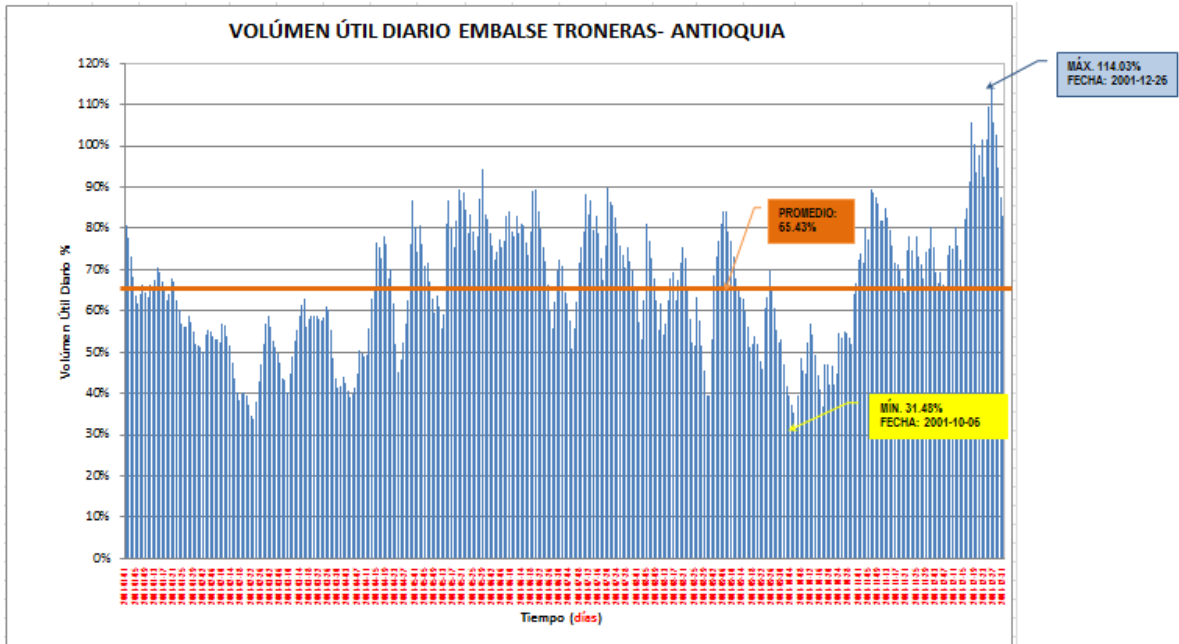
Fuente: Autor

Tabla 200. Porcentaje Umbrales, Troneras 2000.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
56.64%	59.95%	46.51%	60.29%	52.02%	52.12%	60.06%	54.62%	64.56%	54.40%	63.50%	50.81%	46.51%	64.56%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
75.72%	71.31%	70.42%	77.33%	82.15%	85.88%	87.49%	84.72%	86.02%	86.90%	82.57%	77.33%	70.42%	87.49%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
67.05%	65.97%	59.65%	66.79%	69.68%	71.06%	75.20%	70.77%	74.48%	71.91%	74.85%	65.71%	69.43%	

Fuente: Autor

Ilustración 128. VUD Troneras 2000.



Fuente: Autor

Tabla 201. Rango Umbrales, Troneras 2000.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	114.03%	
Mínimo	31.48%	
Promedio	65.43%	

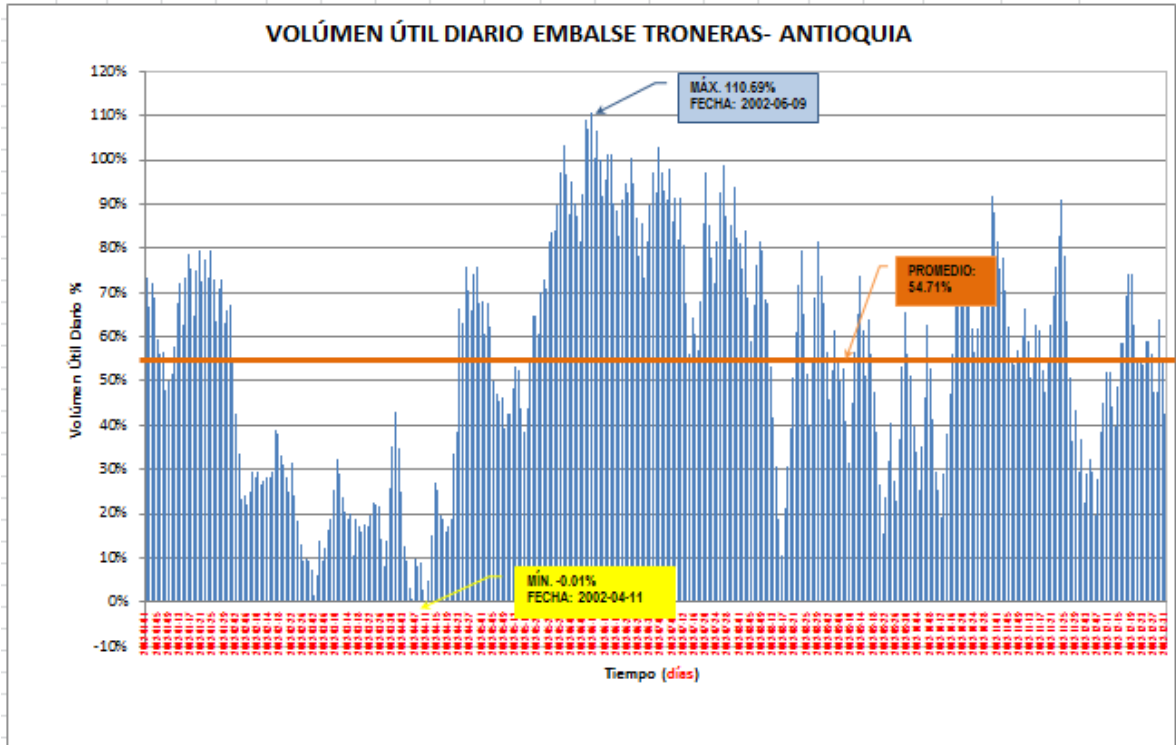
Fuente: Autor

Tabla 202. Porcentaje Umbrales, Troneras 2000.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
51.62%	33.62%	40.35%	39.06%	55.68%	55.57%	50.81%	39.40%	45.85%	31.48%	64.32%	65.27%	31.48%	65.27%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
80.75%	58.83%	62.80%	86.90%	94.33%	89.43%	89.73%	81.03%	84.14%	72.46%	89.27%	114.03%	58.83%	114.03%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
63.93%	47.86%	52.56%	58.96%	76.69%	75.93%	73.80%	60.94%	63.44%	48.21%	76.78%	86.03%	65.43%	

Fuente: Autor

Ilustración 129. VUD Troneras 2000.



Fuente: Autor

Tabla 203. Rango Umbrales, Troneras 2000.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	110.69%	
Mínimo	-0.01%	
Promedio	54.71%	

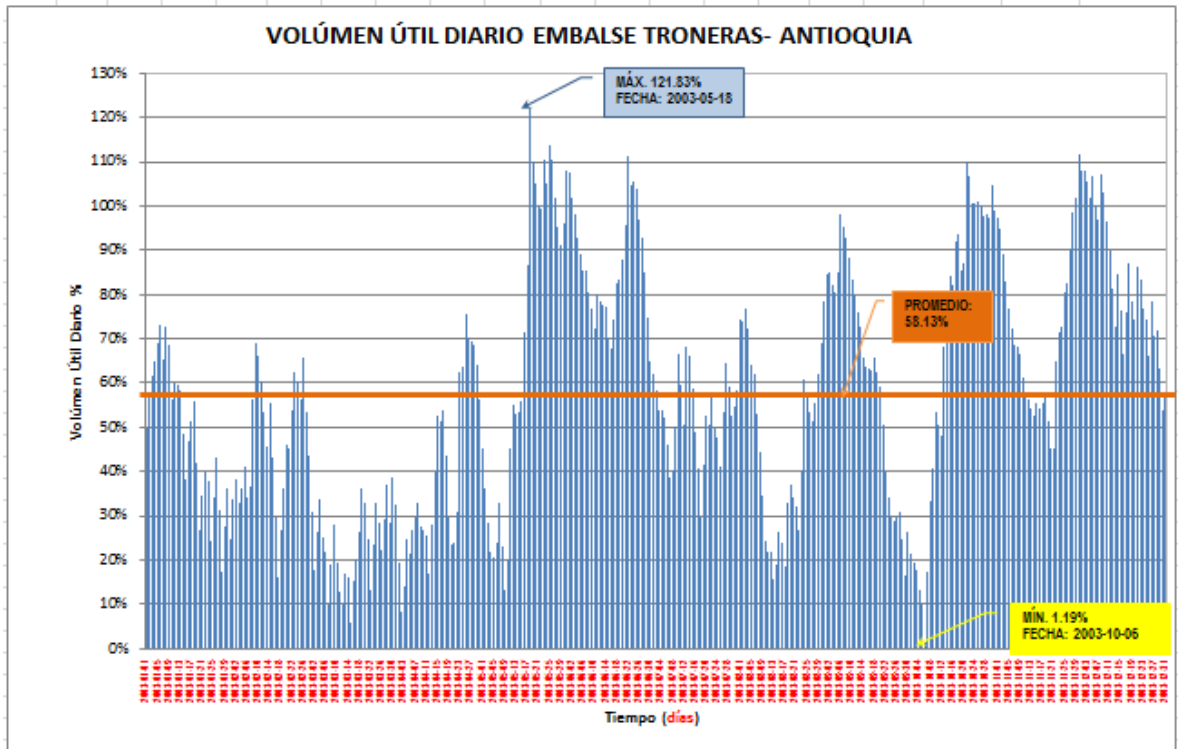
Fuente: Autor

Tabla 204. Porcentaje Umbrales, Troneras 2000.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
47.99%	7.18%	1.44%	-0.01%	38.54%	73.50%	56.09%	10.66%	15.58%	19.23%	29.60%	19.73%	-0.01%	73.50%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
79.51%	55.20%	42.96%	75.94%	103.35%	110.69%	102.72%	83.91%	73.67%	91.75%	90.96%	74.04%	42.96%	110.69%
PROMEDIOS MENSUALES													
67.41%	26.59%	19.55%	31.45%	63.47%	93.29%	83.18%	57.94%	46.74%	56.37%	59.94%	49.05%	PROMEDIO 54.58%	

Fuente: Autor

Ilustración 130. VUD Troneras 2000.



Fuente: Autor

Tabla 205. Rango Umrales, Troneras 2000.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	121.83%	
Mínimo	1.19%	
Promedio	58.13%	

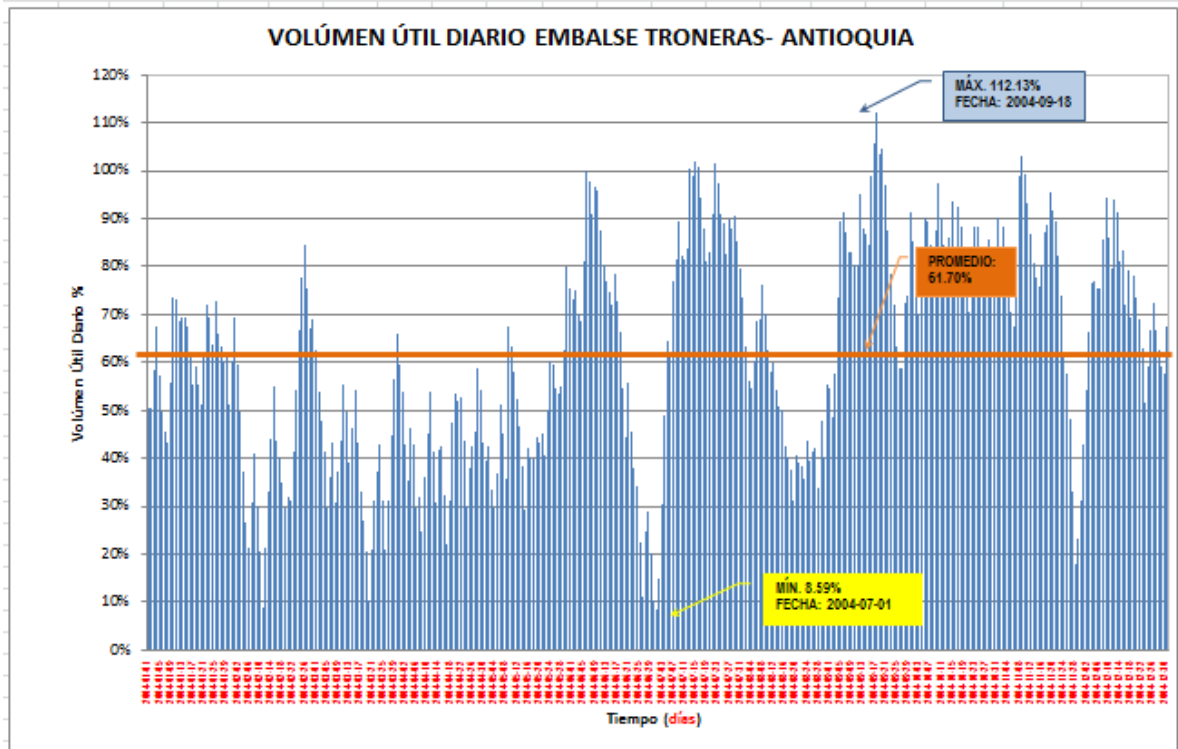
Fuente: Autor

Tabla 206. Porcentaje Umrales, Troneras 2000.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MINIMOS MENSUALES													
17.49%	16.24%	5.87%	8.13%	13.21%	64.88%	29.85%	15.73%	16.45%	1.19%	45.18%	54.00%	1.19%	64.88%
PORCENTAJES MAXIMOS MENSUALES													
72.91%	69.09%	38.69%	75.51%	121.83%	111.17%	67.99%	78.30%	98.20%	110.22%	111.75%	108.15%	38.69%	121.83%
PROMEDIOS MENSUALES													
47.68%	46.39%	23.76%	39.35%	69.52%	86.83%	52.49%	45.75%	61.94%	68.28%	71.26%	84.01%	58.10%	

Fuente: Autor

Ilustración 131. VUD Troneras 2000.



Fuente: Autor

Tabla 207. Rango Umbrales, Troneras 2000.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	112.13%	
Mínimo	8.59%	
Promedio	61.70%	

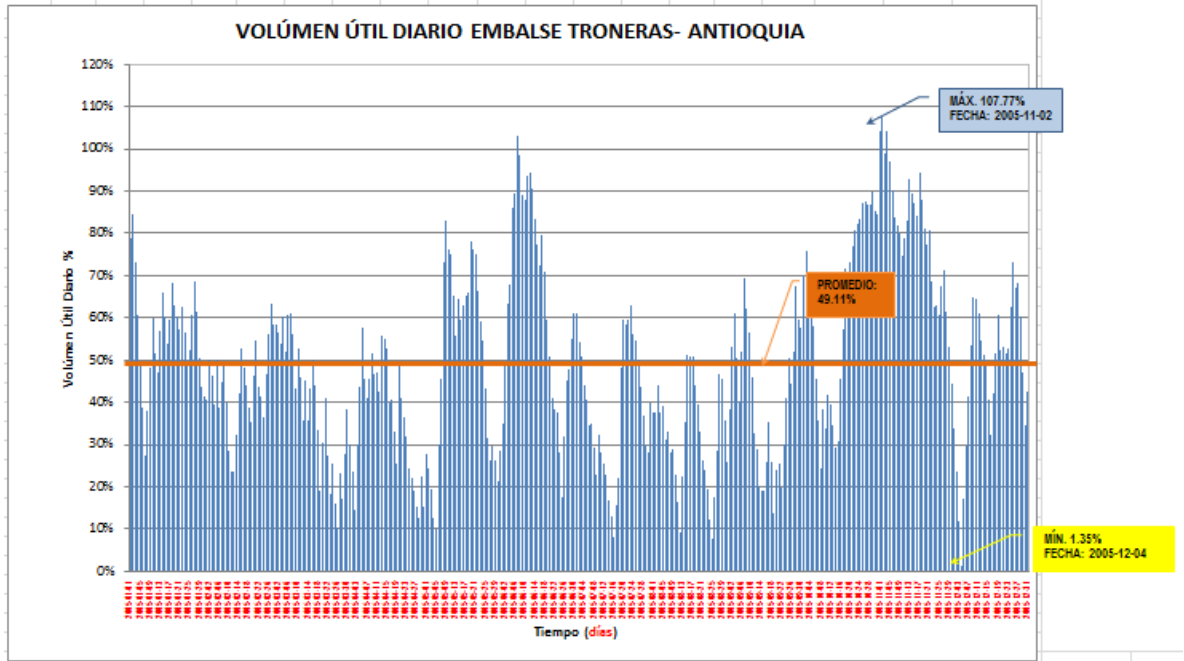
Fuente: Autor

Tabla 208. Porcentaje Umbrales, Troneras 2000.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
43.16%	8.97%	10.38%	22.24%	29.13%	10.48%	8.59%	31.05%	48.61%	70.20%	17.81%	43.02%	8.59%	70.20%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
73.56%	84.67%	65.96%	58.83%	80.12%	100.01%	102.02%	76.32%	112.13%	97.47%	103.12%	94.25%	58.83%	112.13%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
60.82%	44.70%	40.26%	41.57%	48.88%	61.67%	79.31%	50.84%	82.09%	83.38%	74.24%	71.95%	61.64%	

Fuente: Autor

Ilustración 132. VUD Troneras 2000.



Fuente: Autor

Tabla 209. Rango Umbrales, Troneras 2000.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	107.77%	
Mínimo	1.35%	
Promedio	49.11%	

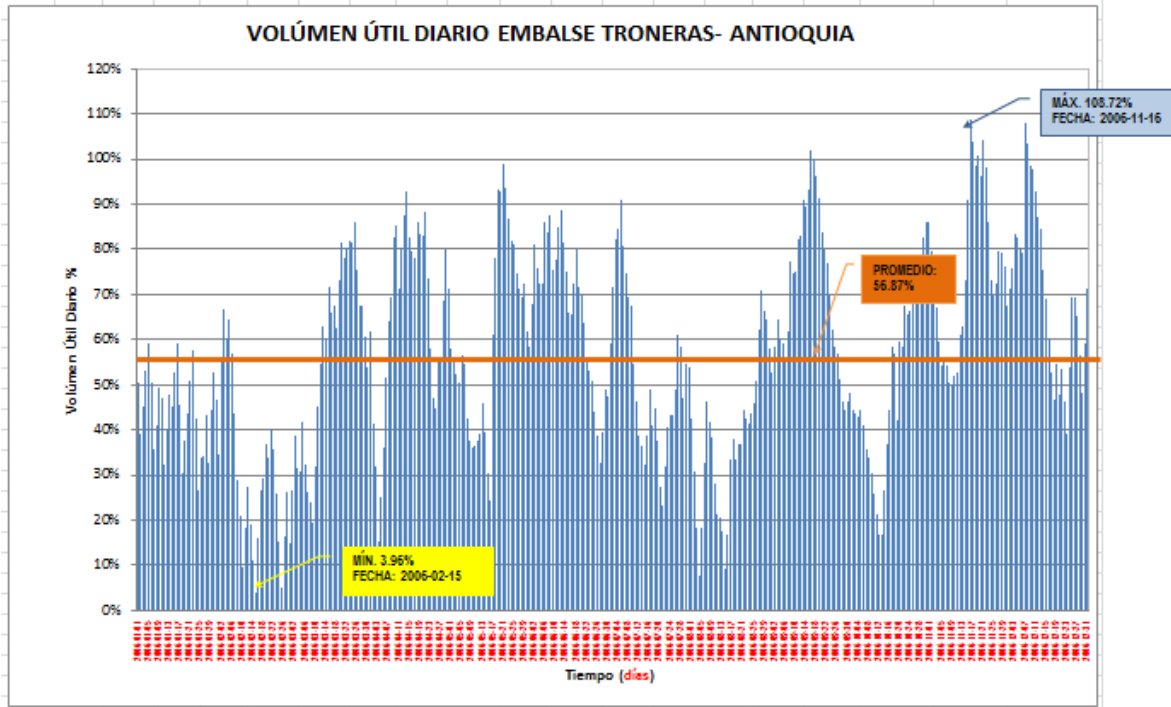
Fuente: Autor

Tabla 210. Porcentaje Umbrales, Troneras 2000.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
27.25%	23.69%	10.19%	12.71%	9.81%	17.51%	8.04%	7.67%	13.91%	24.49%	44.23%	1.35%	44.23%	
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
84.67%	63.20%	61.08%	57.65%	83.15%	102.95%	62.89%	51.15%	69.41%	89.85%	107.77%	73.23%	51.15%	107.77%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
56.45%	43.39%	39.11%	36.06%	49.41%	64.83%	38.20%	31.68%	40.72%	62.55%	80.41%	46.75%	49.13%	

Fuente: Autor

Ilustración 133. VUD Troneras 2000.



Fuente: Autor

Tabla 211. Rango Umbrales, Troneras 2000.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	108.72%	
Mínimo	3.96%	
Promedio	56.87%	

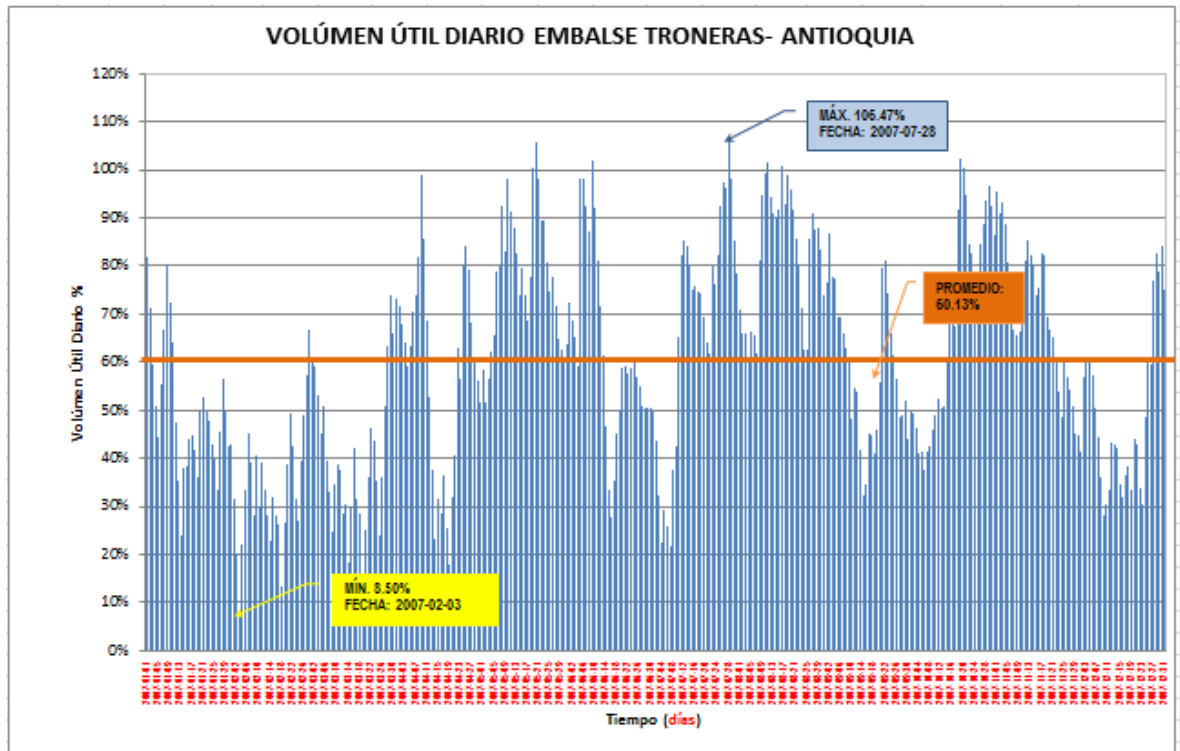
Fuente: Autor

Tabla 212. Porcentaje Umbrales, Troneras 2000.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
26.43%	3.96%	19.30%	15.23%	24.38%	32.77%	23.24%	7.50%	44.50%	16.87%	50.02%	39.21%	3.96%	50.02%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
59.29%	66.90%	86.04%	93.02%	98.92%	88.64%	90.89%	70.99%	102.03%	86.04%	108.72%	107.97%	59.29%	108.72%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
44.21%	30.13%	56.27%	65.64%	60.42%	67.00%	52.69%	37.38%	71.46%	50.87%	75.04%	70.42%	56.79%	

Fuente: Autor

Ilustración 134. VUD Troneras 2000.



Fuente: Autor

Tabla 213. Rango Umbrales, Troneras 2000.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	106.47%	
Mínimo	8.50%	
Promedio	60.13%	

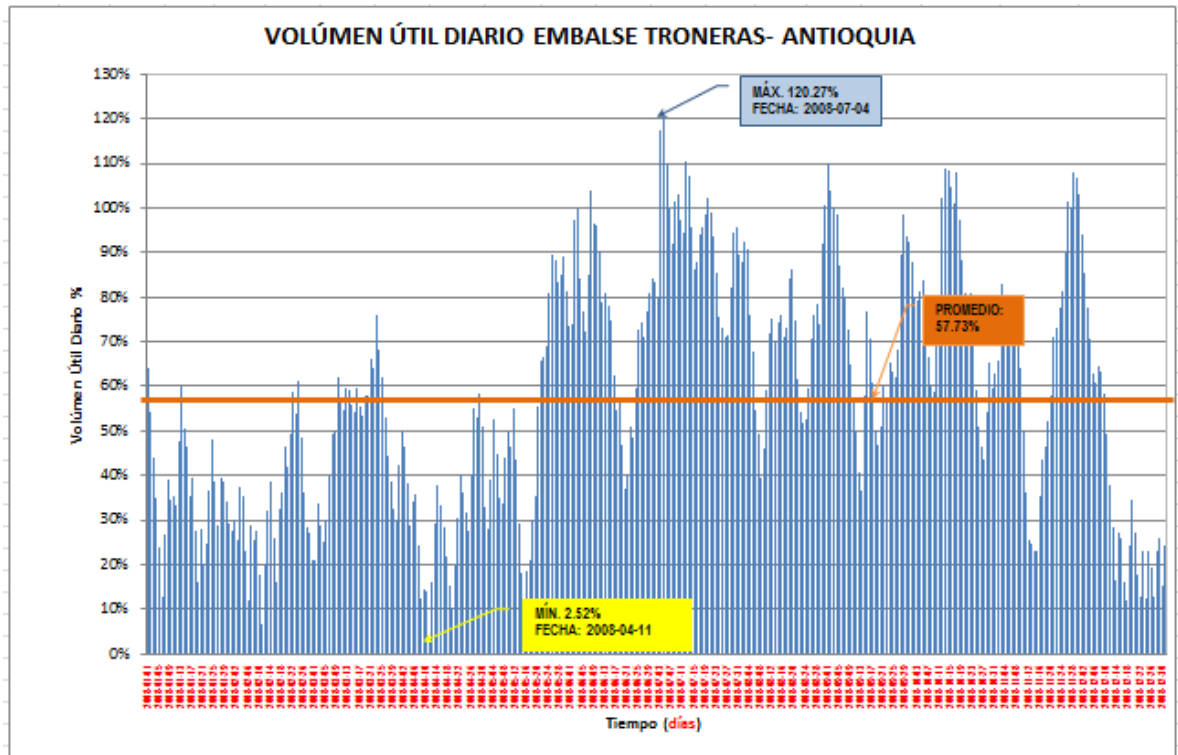
Fuente: Autor

Tabla 214. Porcentaje Umbrales, Troneras 2000.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
23.92%	8.50%	15.85%	17.92%	51.57%	27.73%	21.81%	59.87%	32.40%	37.66%	44.91%	28.08%	8.50%	59.87%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
81.80%	66.74%	73.88%	98.93%	105.91%	101.84%	106.47%	101.66%	86.90%	102.21%	95.69%	84.16%	66.74%	106.47%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
49.98%	33.92%	41.15%	57.71%	77.48%	63.21%	67.41%	82.33%	58.56%	68.22%	70.33%	48.98%	59.94%	

Fuente: Autor

Ilustración 135. VUD Troneras 2000.



Fuente: Autor

Tabla 215. Rango Umbrales, Troneras 2000.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	120.27%	
Mínimo	2.52%	
Promedio	57.73%	

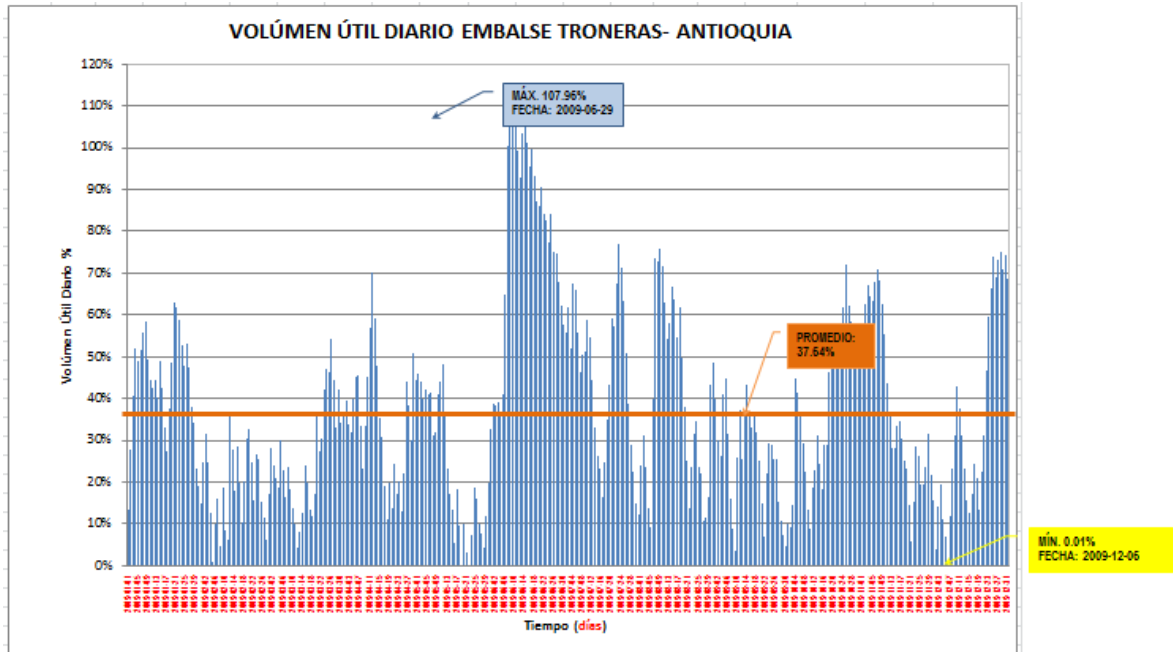
Fuente: Autor

Tabla 216. Porcentaje Umbrales, Troneras 2000.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
12.71%	6.78%	21.04%	2.52%	7.31%	37.03%	71.15%	39.47%	36.77%	43.70%	23.14%	11.83%	2.52%	71.15%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
64.28%	61.08%	76.16%	58.25%	89.34%	104.05%	120.27%	100.74%	109.86%	108.72%	107.97%	93.89%	58.25%	120.27%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
36.16%	32.53%	49.73%	31.24%	51.34%	73.53%	93.80%	70.70%	71.57%	77.30%	66.64%	36.99%	57.63%	

Fuente: Autor

Ilustración 136. VUD Troneras 2000.



Fuente: Autor

Tabla 217. Rango Umbrales, Troneras 2000.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	107.96%	
Mínimo	0.01%	
Promedio	37.64%	

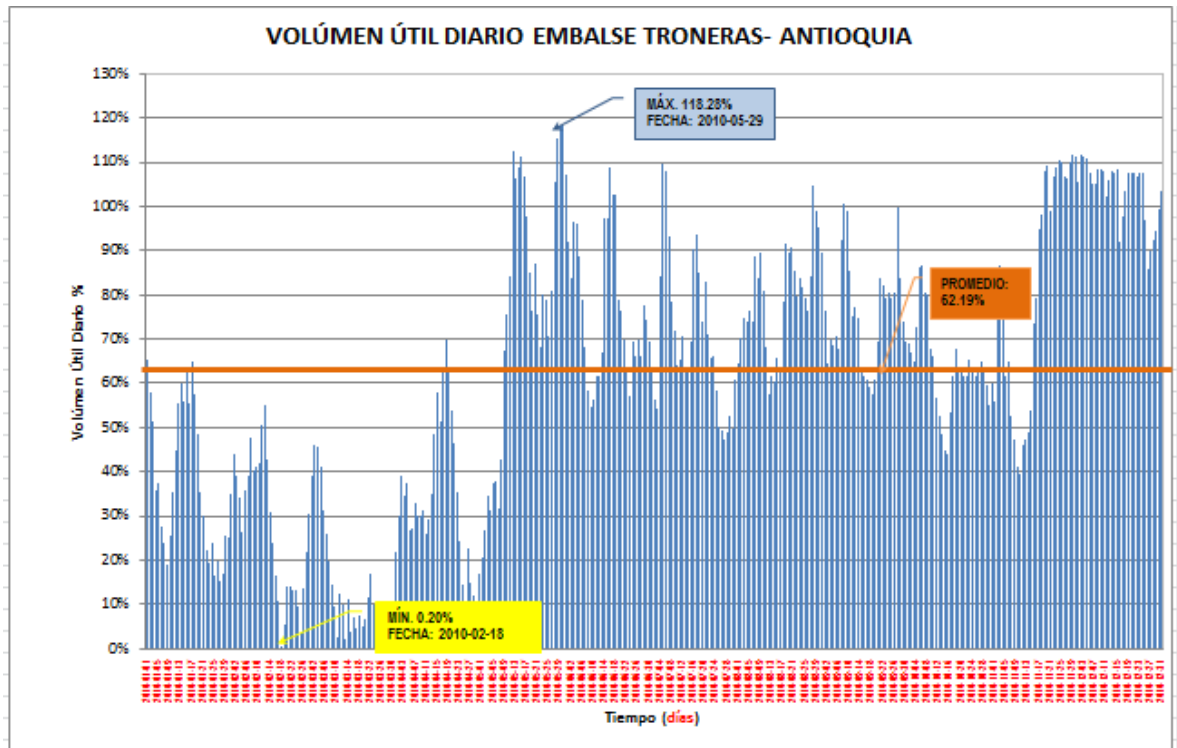
Fuente: Autor

Tabla 218. Porcentaje Umbrales, Troneras 2000.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
13.40%	0.79%	4.39%	10.97%	3.10%	36.50%	12.22%	9.16%	3.61%	8.98%	5.62%	0.01%	0.01%	36.50%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
62.90%	35.51%	54.15%	70.05%	48.35%	107.96%	77.14%	75.67%	44.63%	71.95%	70.99%	75.05%	35.51%	107.96%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
42.60%	18.72%	26.16%	34.58%	24.67%	80.01%	46.14%	40.30%	25.45%	37.88%	38.14%	35.21%	37.49%	

Fuente: Autor

Ilustración 137. VUD Troneras 2000.



Fuente: Autor

Tabla 219. Rango Umbrales, Troneras 2000.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	118.28%	
Mínimo	0.20%	
Promedio	62.19%	

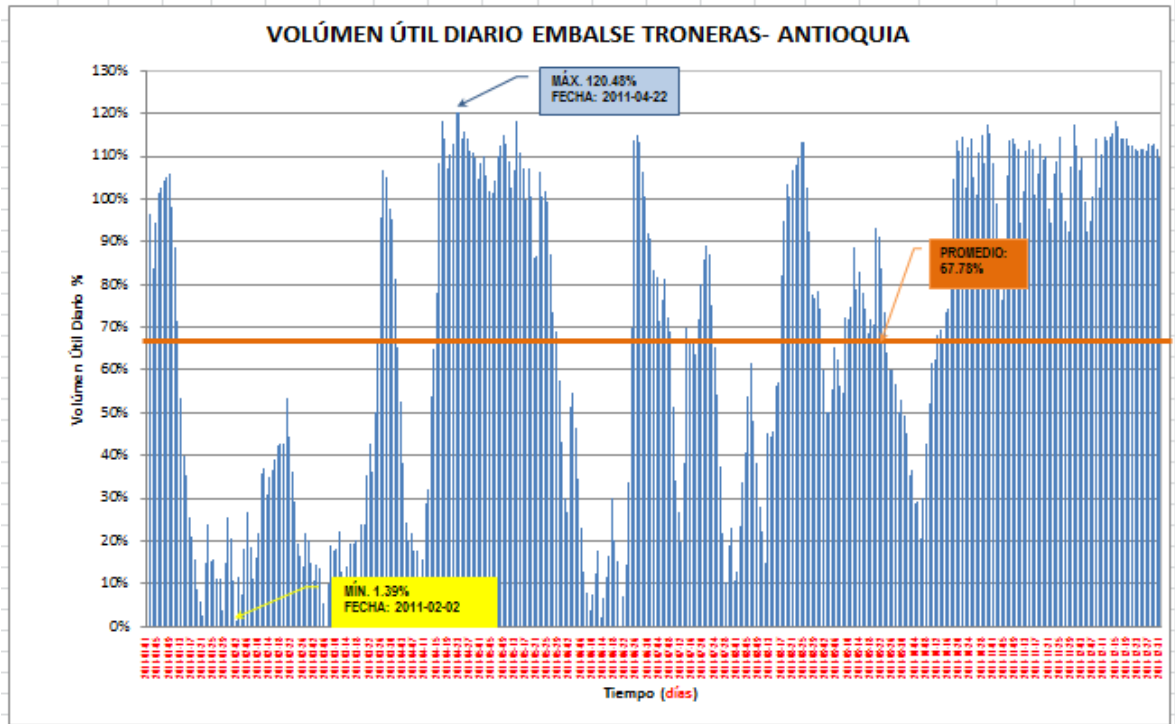
Fuente: Autor

Tabla 220. Porcentaje Umbrales, Troneras 2000.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
15.32%	0.20%	0.51%	7.72%	20.71%	54.81%	47.25%	57.52%	57.36%	44.16%	39.45%	85.73%	0.20%	85.73%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
65.40%	55.25%	46.03%	69.93%	118.28%	109.00%	109.82%	104.65%	100.50%	86.51%	111.58%	111.58%	46.03%	118.28%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
37.80%	27.12%	14.94%	34.01%	77.45%	77.00%	69.75%	79.38%	75.55%	63.69%	81.67%	103.68%	61.84%	

Fuente: Autor

Ilustración 138. VUD Troneras 2000.



Fuente: Autor

Tabla 221. Rango Umbrales, Troneras 2000.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	120.48%	
Mínimo	1.39%	
Promedio	67.78%	

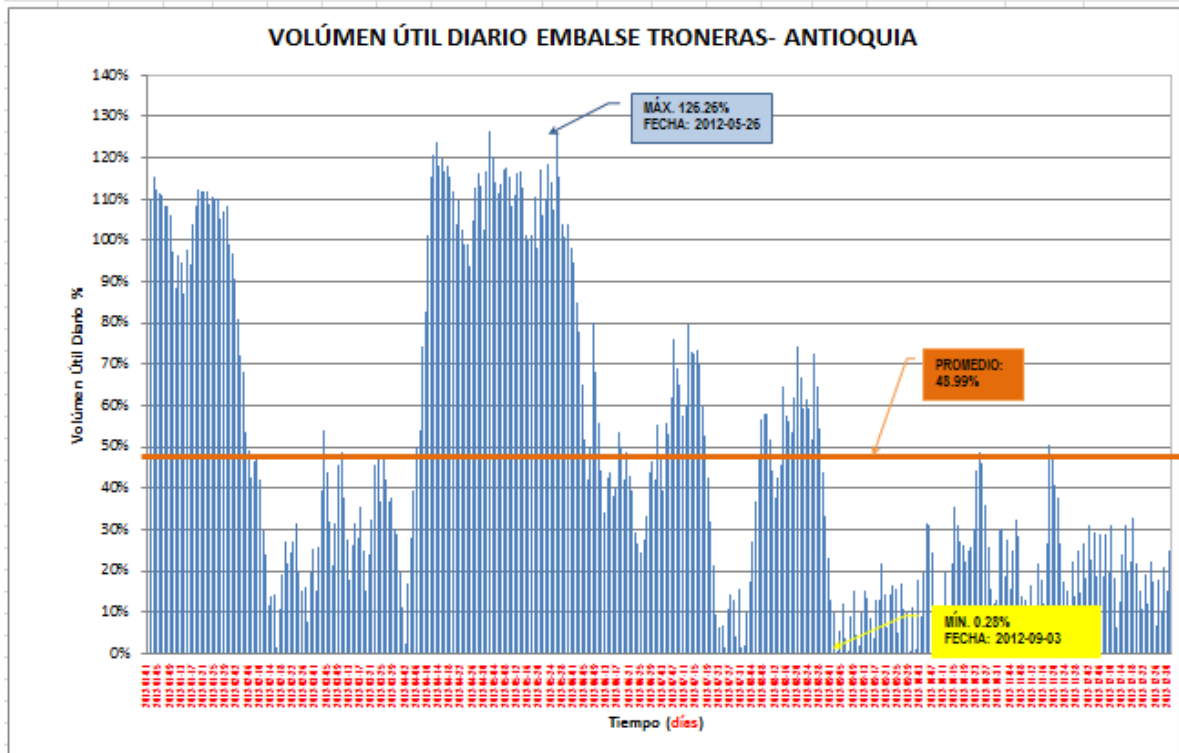
Fuente: Autor

Tabla 222. Porcentaje Umbrales, Troneras 2000.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MINIMOS MENSUALES													
2.74%	1.39%	5.17%	5.04%	29.87%	2.21%	10.38%	12.83%	49.44%	20.47%	76.56%	92.50%	1.39%	92.50%
PORCENTAJES MAXIMOS MENSUALES													
106.10%	53.24%	106.57%	120.48%	118.28%	114.83%	89.27%	113.33%	93.09%	117.42%	117.42%	118.28%	53.24%	120.48%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
48.71%	26.48%	36.85%	74.32%	96.30%	40.27%	53.50%	66.47%	67.38%	78.52%	104.34%	110.38%	66.96%	

Fuente: Autor

Ilustración 139. VUD Troneras 2000.



Fuente: Autor

Tabla 223. Rango Umbrales, Troneras 2000.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	126.26%	
Mínimo	0.28%	
Promedio	48.99%	

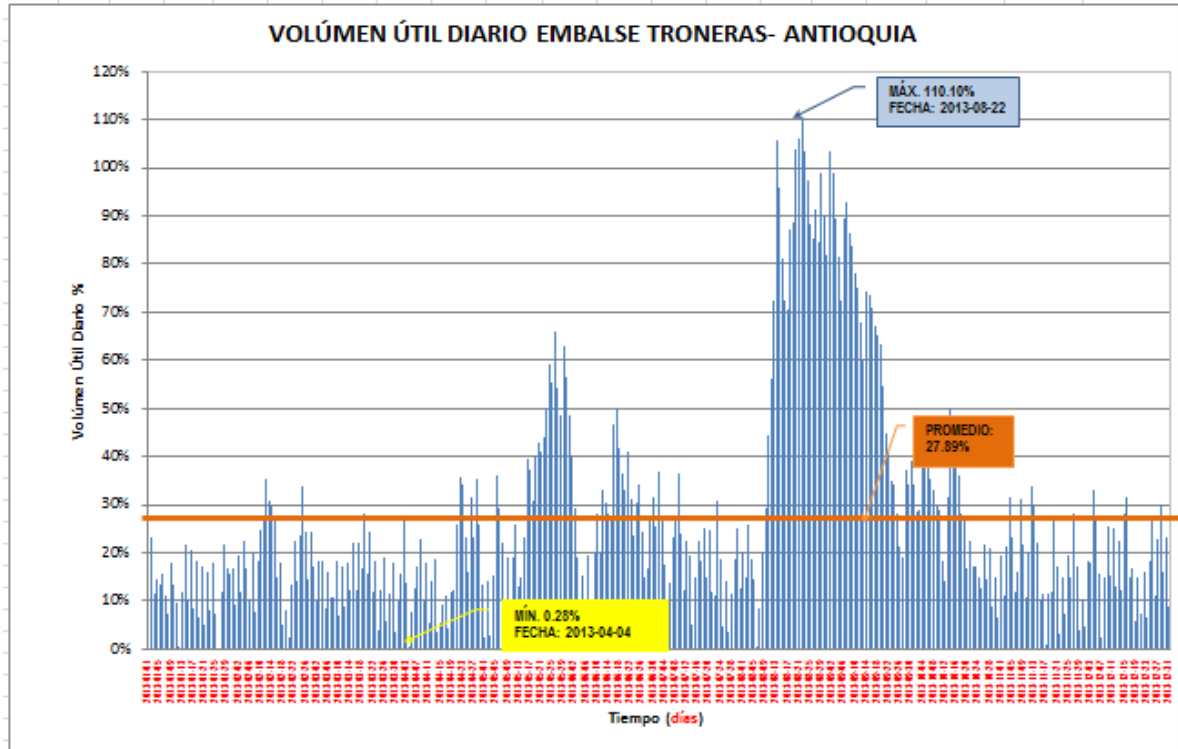
Fuente: Autor

Tabla 224. Porcentaje Umbrales, Troneras 2000.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
86.94%	1.33%	14.94%	2.55%	98.30%	24.29%	1.33%	1.92%	0.28%	1.10%	0.51%	6.37%	0.28%	98.30%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
115.27%	90.62%	53.95%	123.73%	126.26%	94.58%	79.53%	74.32%	21.81%	48.60%	50.54%	32.87%	21.81%	126.26%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
105.30%	32.88%	33.26%	89.24%	111.37%	48.79%	41.95%	48.17%	9.81%	22.74%	22.28%	20.27%	48.84%	

Fuente: Autor

Ilustración 140. VUD Troneras 2000.



Fuente: Autor

Tabla 225. Rango Umbrales, Troneras 2000.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	110.10%	
Mínimo	0.28%	
Promedio	27.89%	

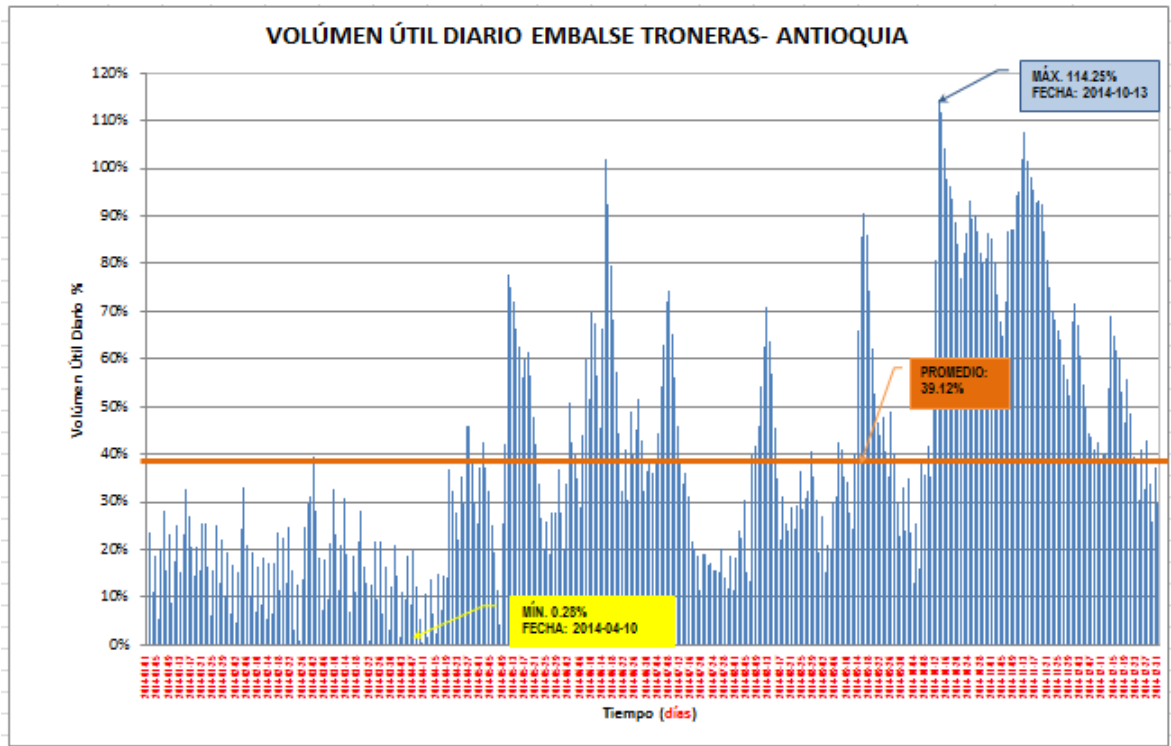
Fuente: Autor

Tabla 226. Porcentaje Umbrales, Troneras 2000.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
0.57%	2.53%	3.37%	0.28%	2.23%	7.02%	3.41%	0.51%	18.96%	6.52%	0.90%	2.51%	0.28%	18.96%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
23.39%	35.42%	27.97%	35.77%	65.82%	50.10%	36.73%	110.10%	103.28%	49.93%	33.77%	32.99%	23.39%	110.10%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
13.44%	18.93%	14.35%	16.80%	33.37%	27.28%	18.59%	66.74%	62.74%	26.76%	17.13%	17.64%	27.81%	

Fuente: Autor

Ilustración 141. VUD Troneras 2000.



Fuente: Autor

Tabla 227. Rango Umbrales, Troneras 2000.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	114.25%	
Mínimo	0.28%	
Promedio	39.12%	

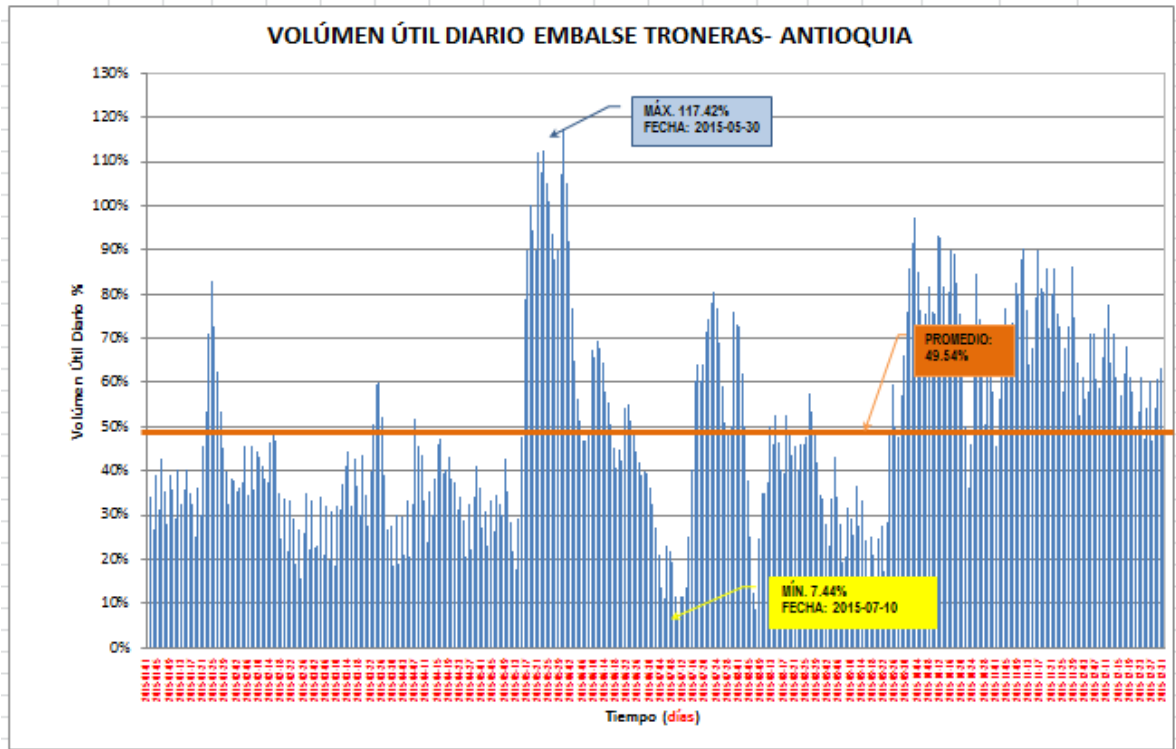
Fuente: Autor

Tabla 228. Porcentaje Umbrales, Troneras 2000.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
5.57%	0.90%	0.82%	0.28%	4.11%	28.76%	11.61%	13.28%	15.32%	12.89%	52.38%	25.66%	0.28%	52.38%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
32.56%	33.20%	39.61%	46.04%	77.85%	101.99%	74.32%	71.07%	90.62%	114.25%	107.59%	71.50%	32.56%	114.25%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
18.38%	15.59%	17.83%	18.53%	39.34%	51.24%	32.10%	34.81%	43.25%	69.36%	80.77%	47.11%	39.03%	

Fuente: Autor

Ilustración 142. VUD Troneras 2000.



Fuente: Autor

Tabla 229. Rango Umbrales, Troneras 2000.

RANGOS	VALOR	CONVENCIÓN
Máximo	117.42%	
Mínimo	7.44%	
Promedio	49.54%	

Fuente: Autor

Tabla 230. Porcentaje Umbrales, Troneras 2000.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MIN ABS	MAX ABS
PORCENTAJES MÍNIMOS MENSUALES													
25.19%	15.71%	18.50%	18.96%	17.63%	36.28%	7.44%	8.58%	10.97%	36.28%	45.61%	52.54%	7.44%	52.54%
PORCENTAJES MÁXIMOS MENSUALES													
82.96%	49.01%	60.10%	51.84%	117.42%	91.88%	80.63%	72.52%	76.05%	97.13%	90.39%	90.39%	49.01%	117.42%
PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	
41.58%	34.94%	34.62%	34.41%	66.25%	53.55%	43.47%	42.47%	33.77%	73.93%	74.05%	76.08%	50.76%	

Fuente: Autor

15.5.2. EVALUACIÓN DE EVENTOS EXTREMOS O DE MÁXIMOS Y MÍNIMOS.

Para la evaluación de eventos extremos o de máximos y mínimos, los cuales fueron calculados a través de la información suministrada de las estaciones por el IDEAM a cerca del caudal (m³/s), de igual forma los años que no contaban con información, no se tenían en cuenta para el cálculo de los máximos y mínimos; estos valores fueron evaluados en el software HYFA que están en función de un periodo de retorno. Documento que puede ser verificado según anexo "GGM y GGMV". Todo esto con el fin de adelantar estudios, teniendo en cuenta periodos de diseño de una obra civil que involucre estructuras hidráulicas.

Tabla 231. IDEAM, DATOS MEDIO MENSUAL MULTIANUAL (m³/s) TRONERAS.

ESTACIÓN-TRONERAS- DATOS MEDIO MENSUAL MULTIANUAL, (m ³ /s)													
AÑO	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
1996	82.404	70.416	62.505	62.154	67.743	62.883	57.672	60.345	61.452	63.288	98.631	72.414	68.492
1997	58.401	51.921	49.815	62.559	110.565	114.129	107.892	93.879	84.132	78.543	73.818	58.617	78.689
1998	41.870	79.326	45.120	65.637	62.424	97.632	151.605	95.391	81.702	91.557	104.949	67.149	82.030
1999	55.377	42.228		48.411	64.881	69.417	75.222	68.715	63.585	62.154	61.371	62.829	
2000	48.141	46.440	40.095	35.289	72.640	38.394	68.121	68.715	48.141	65.637	95.877	104.949	61.037
2001	58.482	45.657	160.272	124.146	112.455	101.088	107.595	98.307	59.427	66.069	109.215	111.024	96.145
2002	80.919	79.731	67.284		74.007	87.453	97.092	96.336	79.299	69.687	78.138	110.484	
2003	71.955	35.019	40.689	42.309	40.716	49.761	75.843	91.584	54.648	33.777		28.863	
2004		34.884	37.557	45.414	43.416	51.732	89.316	78.921	42.201	36.369	39.987	56.754	
2005	29.403	39.096	35.559	40.338	43.767	61.857	70.227	61.776	49.491	39.744	52.704	42.039	47.167
2006		32.832	35.775	32.805	47.925	43.605	105.435	68.958	52.596	48.060	44.496	43.173	
2007	31.698	30.375	35.883	53.001	46.683	38.907	49.734	38.178	38.502	42.471	33.669	42.336	40.120
2008	69.984	46.143	84.105	48.978	51.192	55.755	90.531	68.067	43.902	57.051	42.255	47.385	58.779
2009									33.777		46.764	38.799	
2010	60.669	48.141	54.648					57.267	48.195	44.064	91.584	93.177	
2011	39.123	62.262	49.690	74.871	77.976	90.693	74.817	79.947	77.301	94.284	83.916	90.342	74.602
2012	87.561	75.411	157.167	98.118	83.862	65.529	64.314			45.306	82.296	74.088	
2013		56.511	67.797	57.051	37.827	42.930	47.277	49.977	41.823	41.661	79.029	32.022	

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Tabla 232 ESTACIÓN TRONERAS, RESULTADOS MÁXIMOS, MEDIOS Y MÍNIMO (ANUALES), SEGÚN Q (m³/s)

MEDIO	51.056	52.404	62.560	62.997	71.716	73.482	86.466	73.845	60.450	66.516	77.226	70.695	67.451
MAXIMO	82.404	79.326	160.272	124.146	112.455	114.129	151.605	98.307	84.132	94.284	109.215	111.024	160.272
MINIMO	29.403	30.375	35.559	35.289	43.767	38.394	49.734	38.178	38.502	39.744	33.669	42.039	29.403

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

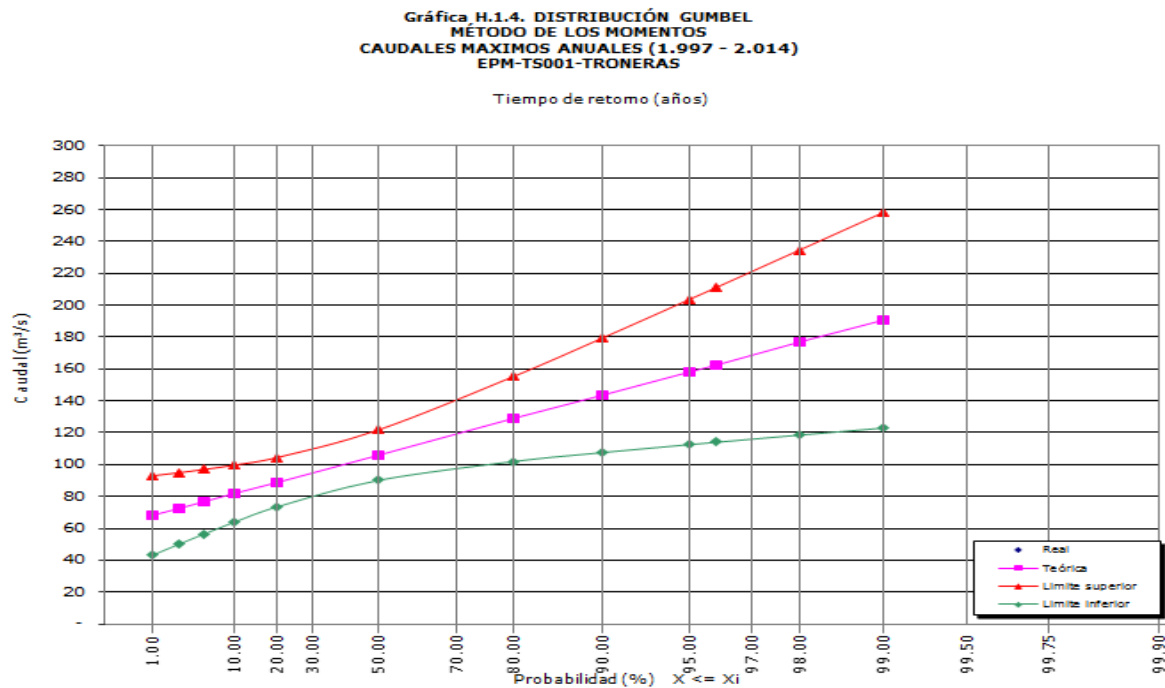
Con la información de los máximos caudales anuales (m³/s), (1997-2014), por medio del Software HYFA, se generan las Distribuciones Gumbel: Métodos de los Momentos y Método de Máxima Verosimilitud, con su respectiva gráfica de Distribución Gumbel.

Tabla 233. Distribución Gumbel, Método de los Momentos, Troneras.

Tabla H.1.5. DISTRIBUCIÓN GUMBEL. MÉTODO DE LOS MOMENTOS							
Período de retorno T = 1/p (años)	Probabilidad X ≥ Xi	Probabilidad X ≤ Xi	Variable reducida Y	Valor estimado Xi (m ³ /s)	Error estándar S (m ³ /s)	Límites de confidencia	
	p (%)	1 - p (%)				Inferior Xi - tS	Superior Xi + tS
1.01	99.0	1.0	-1.527	68.02	10.71	43.09	92.95
1.03	97.5	2.5	-1.305	72.46	9.65	50.00	94.92
1.05	95.0	5.0	-1.097	76.62	8.72	56.32	96.93
1.11	90.0	10.0	-0.834	81.88	7.69	63.98	99.78
1.25	80.0	20.0	-0.476	89.05	6.65	73.57	104.52
2	50.0	50.0	0.367	105.90	6.80	90.07	121.72
5	20.0	80.0	1.500	128.57	11.45	101.92	155.22
10	10.0	90.0	2.250	143.58	15.46	107.58	179.57
20	5.0	95.0	2.970	157.97	19.53	112.50	203.44
25	4.0	96.0	3.199	162.54	20.85	114.01	211.07
50	2.0	98.0	3.902	176.61	24.94	118.54	234.68
100	1.0	99.0	4.600	190.58	29.06	122.92	258.23

Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

Ilustración 143. Distribución Gumbel, Método de los Momentos, Caudales Máximos, Troneras.



Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

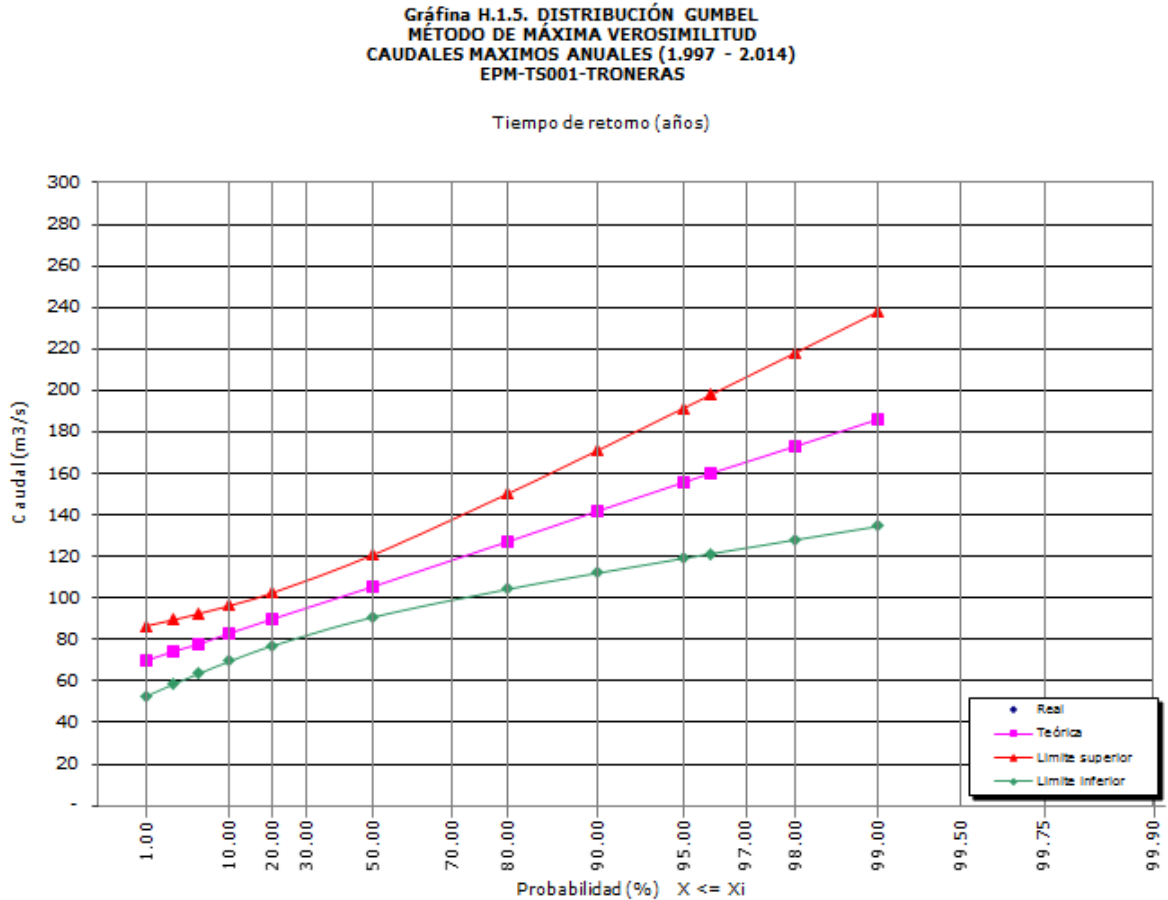
Tabla 234. Distribución Gumbel, Método Máxima Verosimilitud, Troneras.

Tabla H.1.6. DISTRIBUCION GUMBEL. METODO DE MAXIMA VEROSIMILITUD

Período de retorno T = 1/p (años)	Probabilidad X >= Xi	Probabilidad X <= Xi	Variable reducida Y	Valor estimado Xi (m³/s)	Error estándar S (m³/s)	Límites de confidencia	
	p (%)	1 - p (%)				Inferior Xi - tS	Superior Xi + tS
1.01	99.0	1.0	-1.527	69.73	7.25	52.84	86.62
1.03	97.5	2.5	-1.305	73.95	6.67	58.42	89.49
1.05	95.0	5.0	-1.097	77.91	6.21	63.46	92.37
1.11	90.0	10.0	-0.834	82.92	5.77	69.49	96.35
1.25	80.0	20.0	-0.476	89.73	5.50	76.93	102.53
2	50.0	50.0	0.367	105.75	6.45	90.74	120.76
5	20.0	80.0	1.500	127.31	9.90	104.26	150.36
10	10.0	90.0	2.250	141.58	12.70	112.01	171.16
20	5.0	95.0	2.970	155.27	15.54	119.09	191.46
25	4.0	96.0	3.199	159.62	16.46	121.29	197.95
50	2.0	98.0	3.902	173.00	19.33	127.99	218.01
100	1.0	99.0	4.600	186.28	22.22	134.55	238.01

Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

Ilustración 144. Método Máxima Verosimilitud, Caudales Máximos, Troneras.



Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

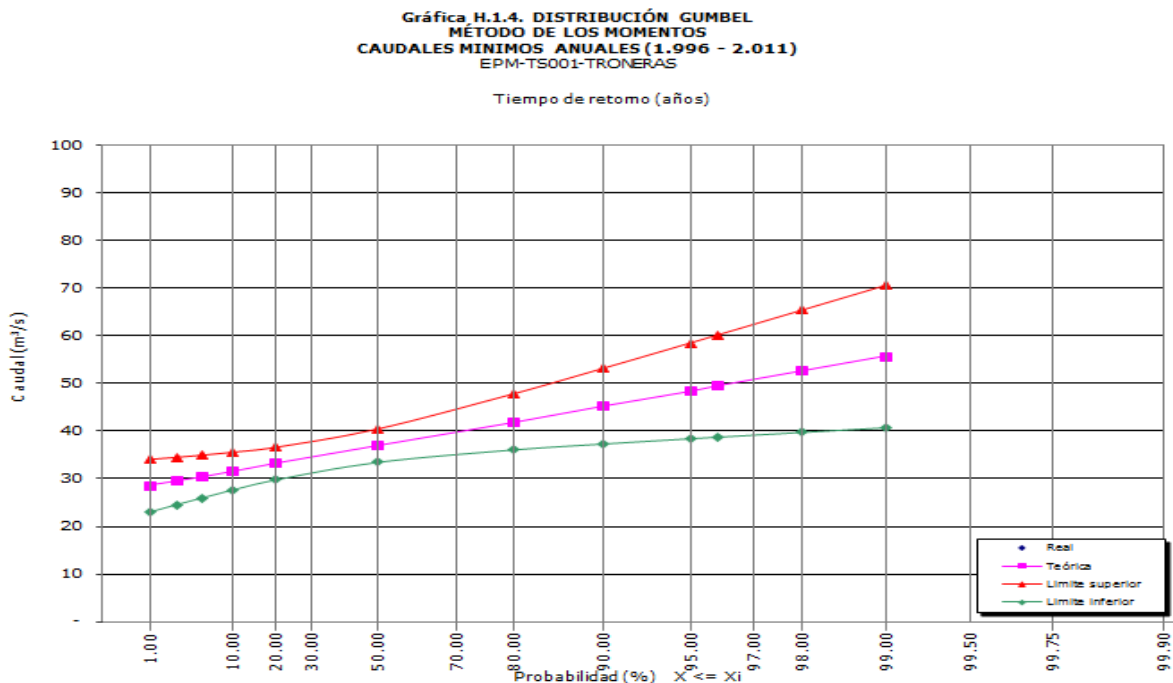
Con la información de los mínimos caudales anuales (m^3/s), (1997-2014), por medio del Software HYFA, se generan las Distribuciones Gumbel: Métodos de los Momentos y Método de Máxima Verosimilitud, con su respectiva gráfica de Distribución Gumbel.

Tabla 235. Distribución Gumbel, Método de los Momentos, Troneras.

Tabla H.1.5. DISTRIBUCIÓN GUMBEL. MÉTODO DE LOS MOMENTOS							
Período de retorno $T = 1/p$ (años)	Probabilidad $X \geq X_i$ p (%)	Probabilidad $X \leq X_i$ $1 - p$ (%)	Variable reducida Y	Valor estimado X_i (m^3/s)	Error estándar S (m^3/s)	Límites de confianza	
						Inferior $X_i - tS$	Superior $X_i + tS$
1.01	99.0	1.0	-1.527	28.57	2.37	23.05	34.09
1.03	97.5	2.5	-1.305	29.55	2.14	24.58	34.53
1.05	95.0	5.0	-1.097	30.48	1.93	25.98	34.97
1.11	90.0	10.0	-0.834	31.64	1.70	27.68	35.60
1.25	80.0	20.0	-0.476	33.23	1.47	29.80	36.65
2	50.0	50.0	0.367	36.96	1.50	33.45	40.46
5	20.0	80.0	1.500	41.97	2.53	36.07	47.87
10	10.0	90.0	2.250	45.30	3.42	37.33	53.26
20	5.0	95.0	2.970	48.48	4.32	38.42	58.55
25	4.0	96.0	3.199	49.49	4.61	38.75	60.23
50	2.0	98.0	3.902	52.61	5.52	39.75	65.46
100	1.0	99.0	4.600	55.70	6.43	40.72	70.67

Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

Ilustración 145. Método de los Momentos, Caudales Mínimos, Troneras.



Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

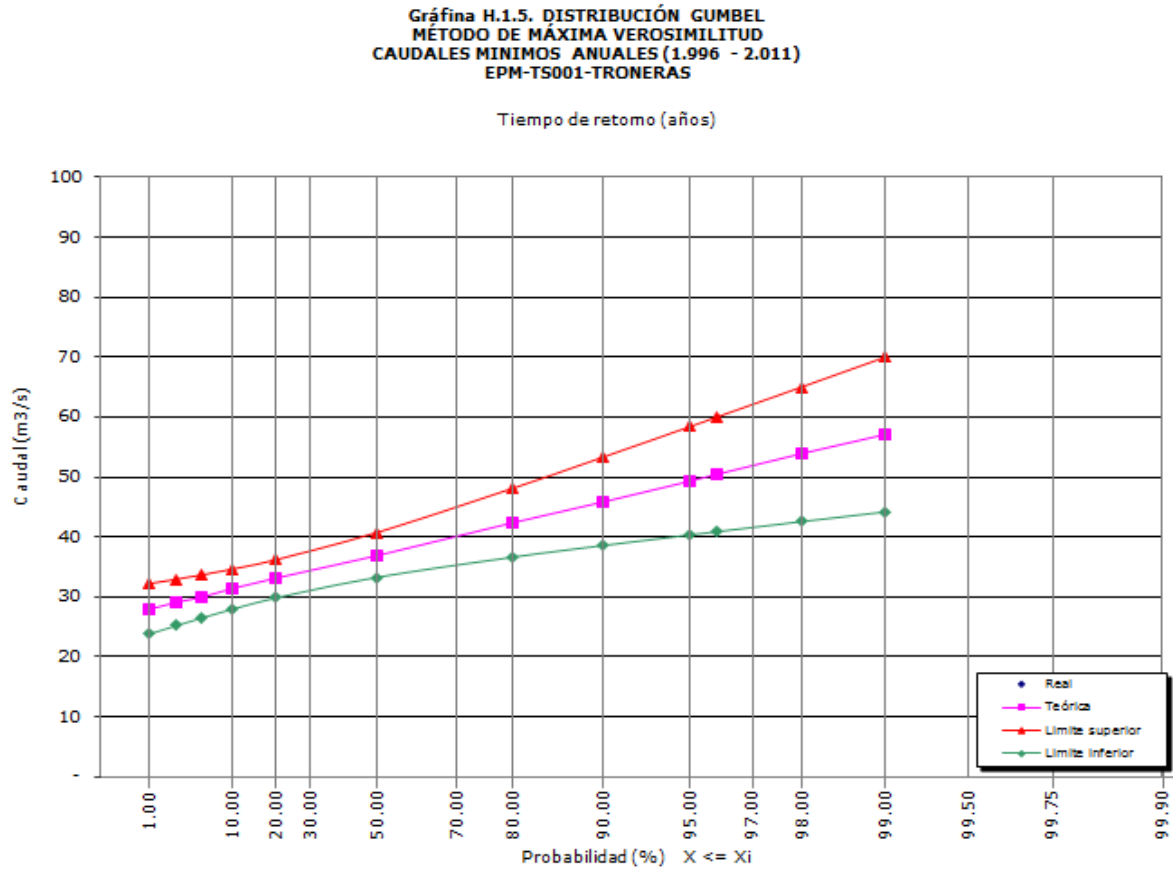
Tabla 236. Distribución Gumbel, Método Máxima Verosimilitud, Troneras.

Tabla H.1.6. DISTRIBUCIÓN GUMBEL. MÉTODO DE MÁXIMA VEROSIMILITUD

Período de retorno T = 1/p (años)	Probabilidad X >= Xi p (%)	Probabilidad X <= Xi 1 - p (%)	Variable reducida Y	Valor estimado Xi (m³/s)	Error estándar S (m³/s)	Límites de confianza	
						Inferior Xi - tS	Superior Xi + tS
1.01	99.0	1.0	-1.527	28.02	1.81	23.81	32.24
1.03	97.5	2.5	-1.305	29.08	1.67	25.20	32.95
1.05	95.0	5.0	-1.097	30.06	1.55	26.46	33.67
1.11	90.0	10.0	-0.834	31.31	1.44	27.96	34.67
1.25	80.0	20.0	-0.476	33.01	1.37	29.82	36.21
2	50.0	50.0	0.367	37.01	1.61	33.27	40.76
5	20.0	80.0	1.500	42.39	2.47	36.64	48.15
10	10.0	90.0	2.250	45.96	3.17	38.58	53.34
20	5.0	95.0	2.970	49.38	3.88	40.34	58.41
25	4.0	96.0	3.199	50.46	4.11	40.89	60.03
50	2.0	98.0	3.902	53.80	4.83	42.56	65.03
100	1.0	99.0	4.600	57.11	5.55	44.20	70.03

Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

Ilustración 146. Método Máxima Verosimilitud, Caudales Mínimos, Troneras.



Fuente: Hydrological Frequency Analysis, HYFA.

Como se puede observar en las gráficas de GMM y GMMV, se determinó la variación de los caudales para extremos (altos y bajos), se define el caudal mínimo, que se puede asegurar con una probabilidad alta del 85% al 90%, éstos conceptos son regidos por el IDEAM, con el fin de determinar las probabilidades (altas y bajas) de ocurrencia de fenómenos de variabilidad climática (Fenómeno del Niño y de la Niña).

15.5.3. CÁLCULO DE PERFILES DE SECCIONES TRANSVERSALES

Se procede a realizar los perfiles, con información suministrada por el IDEAM, para aguas arriba y aguas abajo del embalse:

Tabla 237. Cotas de Inundación, Troneras.

UBICACIÓN	TRONERAS	
	ABSCISADO (m)	COTA (msnm)
AGUAS ARRIBA	0.00	123.683
	2.00	123.908
	6.00	122.361
	15.00	118.011
	20.00	116.061
	25.00	115.461
	30.00	115.521
	35.00	116.181
	40.00	116.661
	45.00	117.441
	50.00	117.741
	55.00	118.521
	60.00	118.761
	65.00	119.001
	70.00	118.881
	75.00	119.361
	80.00	119.871
	87.00	120.541
	87.00	122.361
	90.00	123.586
92.00	124.281	
92.00	130.535	
92.69	130.690	
93.00	131.150	
94.00	131.870	
94.12	133.000	
95.97	136.000	

AGUAS ABAJO	2.00	132.690
	3.00	123.398
	4.00	123.297
	5.00	122.529
	6.00	121.898
	6.60	121.747
	6.60	121.747
	10.00	118.797
	15.00	116.377
	20.00	116.797
	25.00	116.497
	30.00	116.047
	35.00	116.707
	40.00	117.097
	45.00	117.547
	50.00	117.897
	55.00	118.247
	60.00	118.747
	65.00	118.987
	70.00	118.867
	75.00	119.047
	80.00	119.797
	86.60	120.977
	86.60	121.747
	87.00	122.452
	87.50	122.949
	88.00	123.535
	88.20	123.845
	89.00	123.719
	90.00	124.011
91.00	124.432	
92.20	125.000	
93.00	126.000	
97.00	127.000	
97.00	128.120	
98.12	128.000	
99.00	128.690	
100.13	131.640	
102.97	133.000	
112.69	136.690	

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Posteriormente, con los protocolos de HYFA y SMADA, para un tiempo de retorno T_R y caudales mínimos (m^3/s), se calcula el error relativo de evaluación, el cual permite observar la variación de caudales de un programa a otro en un T_R determinado.

Tabla 238. Protocolo HYFA y SMADA, Troneras, AA.

ESTACIÓN 9 (aguas arriba max)							
	corriente		variable analizada		serie histórica analizada		
EPM-TS001-Troneras.	Río Concepción.		CAUDAL (m³/S)				
	DATOS ANALITICOS			COMPARACIÓN		COTAS DE REFERENCIA PARA GENERACIÓN DE ALERTAS (m)	
T _R	PROTOCOLO			ERROR RELATIVO DE EVALUACIÓN			
	HYFA		SMADA	HYFA			
	MM	MV	ÚNICO	MM	MV		
(años)	Q (m³/S)	Q (m³/S)	Q (m³/S)	(%)	(%)	MÍNIMOS	MÁXIMOS
2	634.157	633.597	636.185	-0.320	-0.408	124.00	125.00
5	714.422	718.704	742.619	-3.947	-3.328	123.00	
10	767.564	775.053	813.088	-5.931	-4.907	121.00	126.00
20	818.539	829.104	880.683	-7.592	-6.221		128.00
50	884.522	899.067	968.179	-9.458	-7.687		
100	933.966	951.494	1,033.744	-10.683	-8.644		

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

Tabla 239. Protocolo HYFA y SMADA, Troneras, aa.

ESTACIÓN 10 (aguas abajo min)							
	corriente		variable analizada		serie histórica analizada		
EPM-TS001-Troneras.	Río Concepción.		CAUDAL (m³/S)				
	DATOS ANALITICOS			COMPARACIÓN		COTAS DE REFERENCIA PARA GENERACIÓN DE ALERTAS (m)	
T _R	PROTOCOLO			ERROR RELATIVO DE EVALUACIÓN			
	HYFA		SMADA	HYFA			
	MM	MV	ÚNICO	MM	MV		
(años)	Q (m³/S)	Q (m³/S)	Q (m³/S)	(%)	(%)	MÍNIMOS	MÁXIMOS
2	208.404	208.117	204.620	1.816	1.681	124.30	125.40
5	255.409	252.608	269.065	-5.347	-6.515	121.00	
10	286.531	282.064	311.733	-8.796	-10.519	120.00	127.00
20	316.384	310.320	352.662	-11.466	-13.645		128.30
50	355.025	346.894	405.640	-14.257	-16.935		
100	383.981	374.301	445.339	-15.979	-18.979		

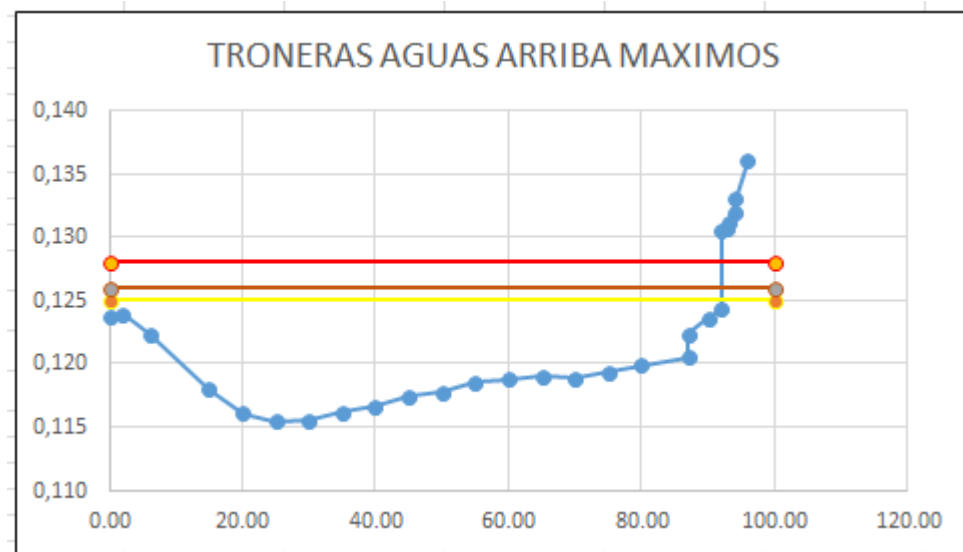
Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

Todos los perfiles se referencian indicando cotas máximas para los T_R de 2, 10 y 20 años y las cotas mínimas para T_R de 2, 5 y 10 años.

Las cotas máximas se refieren a niveles de potencialidad de inundaciones.

Las cotas mínimas se refieren a niveles que causarían desabastecimiento de agua para toma y en la restricción de navegación.

Ilustración 147. Perfil, AA, Máximos, Troneras.



Fuente: Autor

Tabla 240. Cotas Inundación, Troneras.

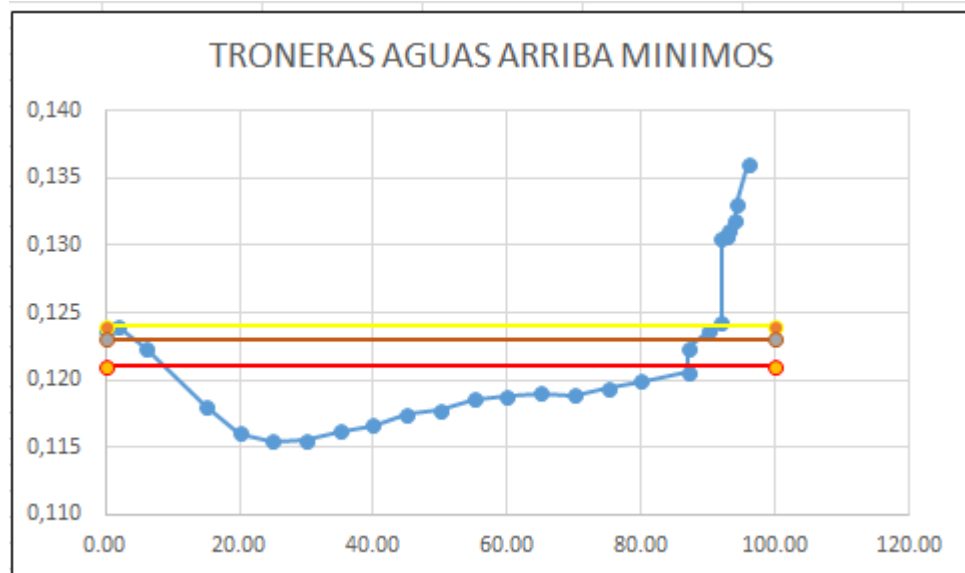
ABCISADO	MAXIMOS		
	T2	T10	T20
0.00	125.00	126.00	128.00
100.00	125.00	126.00	128.00

Fuente: Autor

Según las cotas de referencia para generación de alertas (m), indican exceso de agua, aguas arriba del embalse, en lo cual se están generando las alertas con el cambio de las corrientes de agua al paso de los tiempos, la alerta amarilla nos indica que todavía se puede hacer aviso para controlar lo que está pasando en el embalse, estas alertas se generan por creciente máxima o mínima de un caudal proyectado, y tienen como premisa fundamental, la de observar la potencial demanda por exceso de agua, cuando ya está en alerta roja, se deben tomar

medidas urgentes para controlar la llegada del agua al embalse, evitando así inundaciones.

Ilustración 148. Perfil, AA, Mínimos Troneras.



Fuente: Autor

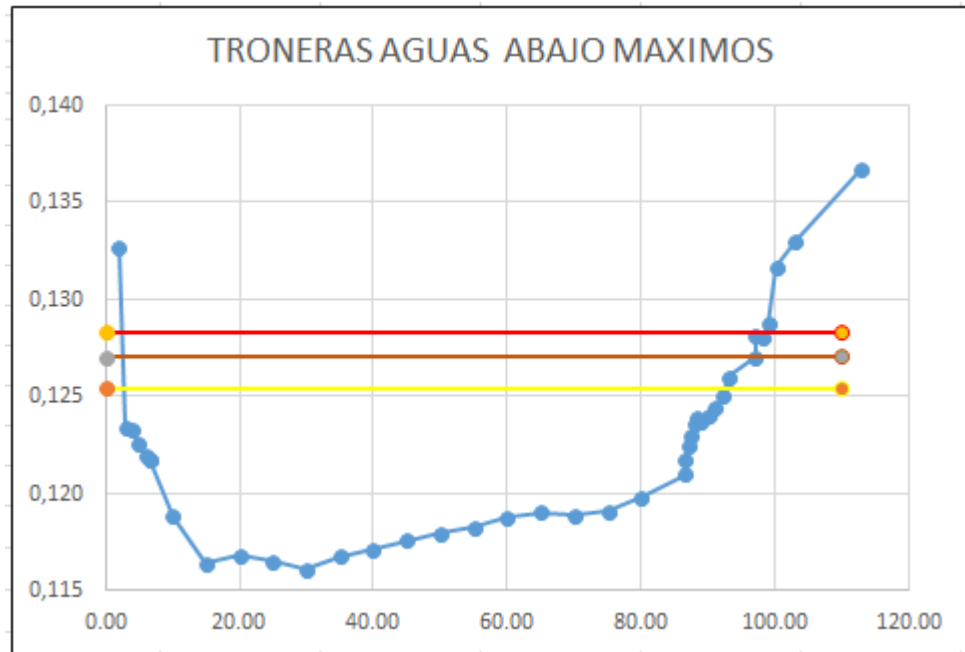
Tabla 241. Cotas Inundación, Troneras.

ABCISADO	MÍNIMOS		
	T2	T5	T10
0.00	124.00	123.00	121.00
100.00	124.00	123.00	121.00

Fuente: Autor

Según las cotas de referencia para generación de alertas (m), indican déficit de agua, aguas arriba del embalse, en lo cual se están generando las alertas con el cambio de las corrientes de agua al paso de los tiempos, la alerta amarilla nos indica que con la demanda de agua que llega, se está generando un problema de déficit y que se puede hacer aviso para controlar lo que está pasando en el embalse, estas alertas tienen como premisa fundamental, la de observar la potencial demanda por déficit de agua; cuando ya está en alerta roja, se deben tomar medidas urgentes para controlar el déficit del agua al embalse, toda vez que puede traer problemas a las poblaciones que se suministran de éste, como desabastecimiento de agua y en la restricción de la navegación.

Ilustración 149. Perfil, aa, Máximos Troneras.



Fuente: Autor

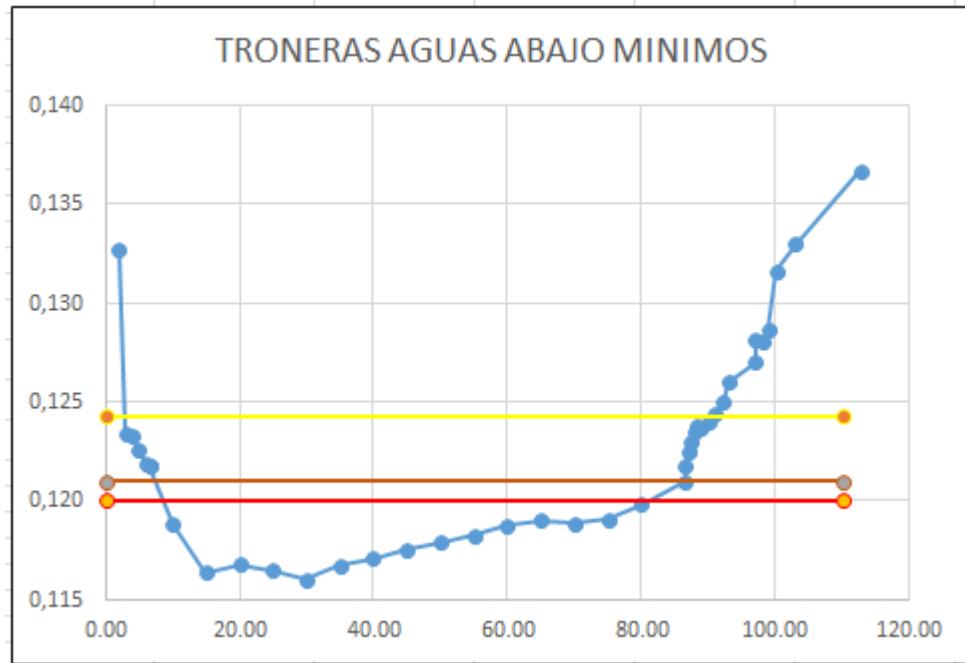
Tabla 242. Cotas Inundación, Troneras.

ABCISADO	MAXIMOS		
	T2	T10	T20
0.00	125.40	127.00	128.30
110.00	125.40	127.00	128.30

Fuente: Autor

Según las cotas de referencia para generación de alertas (m), indican exceso de agua, aguas abajo del embalse, en lo cual se están generando las alertas con el cambio de las corrientes de agua al paso de los tiempos, la alerta amarilla nos indica que todavía se puede hacer aviso para controlar lo que está pasando en el embalse, estos niveles que generan alertas respecto a los umbrales, teniendo en cuenta que estamos revisando aguas abajo, pueden ser eventualmente superados, por efectos de descargas provenientes del embalse, y los afluentes que descargan allí, para este caso el afluentes es el río Concepción; cuando ya está en alerta roja, se deben tomar medidas urgentes para controlar la llegada del agua a los municipios que se encuentran aguas abajo del embalse.

Ilustración 150. Perfil, aa, Mínimos Troneras.



Fuente: Autor

Tabla 243. Cotas Inundación, Troneras.

ABCISADO	MÍNIMOS		
	T2	T5	T10
0.00	124.30	121.00	120.00
110.00	124.30	121.00	120.00

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Según las cotas de referencia para generación de alertas (m), indican déficit de agua, aguas abajo del embalse, en lo cual se están generando las alertas con el cambio de las corrientes de agua al paso de los tiempos, la alerta amarilla nos indica que con la demanda de agua que llega, se está generando un problema de déficit y que se puede hacer aviso para controlar lo que está pasando en el embalse, estas alertas tienen como premisa fundamental, determinar los niveles de umbrales, suministrando información oportuna, debido al posible desabastecimiento en los puntos de toma y de afluencia a los embalses; cuando ya está en alerta roja, se deben tomar medidas urgentes para controlar el déficit del agua al embalse, toda vez que puede traer problemas a las poblaciones que se suministran de éste, afectando sus labores cotidianas.

En caso tal, que el caudal baje de forma repentina, se debe generar la alerta para mínimos, toda vez que pudo haber un represamiento aguas arriba del embalse, siendo así la generación del tiempo de Respuesta de la Alerta

15.5.4. TIEMPO DE RESPUESTA SAT

Con la información suministrada por el IDEAM, respecto a la corriente que descarga a este embalse, para la generación del tiempo de respuesta a la Alerta (tiempo de viaje de la onda de crecida), se tienen en cuenta las variables de velocidad de propagación de olas de inundación y distancia en metros desde el embalse hasta el sitio del posible evento, lo cual genera un tiempo posible en el que va a pasar el desbordamiento o inundación. Documento que puede ser verificado según anexo “Tiempo de Respuesta G Alerta”. El cual fue calculado como $T = \text{ESPACIO} / \text{VELOCIDAD}$.

Tabla 244. AFLUENTES A EMBALSES EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA (Aguas Arriba)

Nº	CÓDIGO	ESTACIÓN	CORRIENTE	H (m)	L (m)	W (m/S)
5	EPM-TS001	Troneras.	Río Concepción.	112.079	3,121.079	2.72

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Tabla 245. AFLUENTES A EMBALSES EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA (Aguas Abajo)

Nº	CÓDIGO	ESTACIÓN	CORRIENTE	H (m)	L (m)	W (m/S)
5	EPM-TS001	Troneras.	Río Concepción.	100.310	3,996.569	2.19

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Ecuación 1. Fórmula empírica para calcular W: velocidad de propagación de olas de inundación, de acuerdo con la metodología de Rzhiha:

$$W = 20 \left(\frac{H}{L} \right)^{0.6} \text{ (m/s)}$$

Fuente: Metodología de Rzhiha

Para la generación del tiempo de respuesta a la Alerta, se analiza lo que ocurre aguas abajo del embalse, porque la Alerta se genera para poder estimar un tiempo en el cual las poblaciones que se encuentran, puedan evacuar en caso de un desbordamiento.

En función de los resultados de caudal obtenidos y con la consulta en el IDEAM, éstos se referenciaron con respecto a las alturas que potencialmente alcanzarían en una sección típica de monitoreo. Documento que puede ser verificado según anexo “Umbral Generación de Alertas”.

Tabla 246. Longitud Cauce, Troneras.

Nº	EMBALSES		S (m)
	ESTACIÓN	CORRIENTE	
10	Troneras	Río Concepción	15,979.67

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

Tabla 247. Tiempo Posible de Inundación.

EMBALSES			
ESTACIÓN	W (m/S)	S (m)	T (horas)
	aa		
10	2.19	15,979.67	2.03

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

16. CONCLUSIONES

Se lograron analizar las condiciones hidrometeorológicas de las zonas de trabajo a través de los registros históricos del VUD, suministrado por el IDEAM, sin embargo en algunos embalses, que para el desarrollo de éste trabajo, se analizaron cinco (5) hay días que no cuentan con información del VUD, dichos espacios no se pueden considerar como cero, por este motivo no son tenidos en cuenta a la hora de realizar el análisis. Concluyendo así que todo lo que se encuentre por encima del promedio, según gráficas de VUD, para cada embalse, será considerado como Periodos Húmedos, es decir presencia del Fenómeno de la Niña, y todo lo que se encuentre por debajo del promedio, será considerado como Periodos Secos, es decir presencia del Fenómeno del Niño. Documento que puede ser verificado según anexo denominado “Máximos, Mínimos y Modalidad”.

Se determinaron completamente los criterios técnicos que se derivan de factores de recurrencia (expresados en años), los cuales permiten adelantar estudios posteriores, teniendo en cuenta los periodos de diseño de una obra civil que involucre obras hidráulicas. Sin embargo el Software utilizado (HYFA), no permitió correr algunos datos de máximos y mínimos aguas abajo del embalse, exactamente en el Embalse el Peñol, arrojando como resultado “La probabilidad no es convergente en alfa”.

Se determinaron los niveles de umbrales que sirven para generar alertas aguas arriba y aguas abajo de los embalses, que se emiten por los efectos de descargas provenientes de la operación de los embalses.

Para el tiempo de Generación de Alertas, se debe tener en cuenta los centros de poblados que se encuentren aguas debajo de los embalses, para poder prever o evacuar durante este tiempo de alerta.

El software utilizado, debe determinar completamente los parámetros hidrológicos que permitan efectuar diseños óptimos de estructuras hidráulicas, teniendo en cuenta los estándares de calidad de los datos.

El método que mejor se ajustó para la variación de los caudales fue el Método de los Momentos y el Método de la Máxima Verosimilitud, por medio de una probabilidad alta del 85% al 90%, éstos conceptos son regidos por el IDEAM, con

el fin de determinar las probabilidades (altas y bajas) de ocurrencia de fenómenos de variabilidad climática (Fenómeno del Niño y de la Niña).

Las alertas se generan por una proyección estadística lineal, con la finalidad de tener datos ciertos y concretos a través de Periodos de Retorno (T_R).

Es importante que los municipios y los operadores de los embalses (en forma conjunta) implementen los sistemas de alertas tempranas (SAT), con el fin de dar aviso veraz y oportuno a las poblaciones ubicadas aguas abajo, una vez se estén produciendo las descargas, las cuales a pesar de ser controladas podrían causar afectación por incremento de los niveles de los ríos receptores de éstas descargas, lo cual podría ocasionar inundaciones lentas o crecientes súbitas, dependiendo de la pendiente de éstas corrientes.

En el documento denominado “Tiempos de Respuesta G Alertas” Se presentan los resultados de los tiempos de onda estimados, desde el momento en el cual comienza a transitar la descarga hasta cuándo se encuentra el principal punto de afectación. Éste tiempo de tránsito de onda de crecida (expresado en horas) debe ser previsto con anticipación, esto es, el operador del embalse no debe avisar cuando se esté haciendo la descarga, sino antes (según norma por lo menos 6 horas antes) y al tiempo antes mencionado y sumado el tiempo de tránsito sobre el cauce, es el que debe ser apropiado para los tomadores de decisiones quienes deben dar aviso de evacuación o por lo menos, de estar atentos a incrementos de los niveles.

Los estudios hidrológicos desarrollados en éste trabajo, se ciñen a los protocolos estandarizados para el país; cabe anotar que éstos estudios están a cargo del IDEAM, sin embargo, ésta entidad no es tomadora de decisiones; con los informes relacionados, el IDEAM da aviso oportuno a la UNGRD, organismos de socorro, autoridades gubernamentales (locales, municipales, departamentales y de gobierno central), quienes son los encargados de tomar las decisiones y activar los protocolos establecidos a nivel nacional, para la prevención de desastres.

La disminución del potencial hídrico a la entrada de los embalses como resultado de sequía prolongadas (El Niño), son de impacto muy grande en la comunidad, especialmente en sectores productivos, los cuales se pueden ver afectados, no solamente por la escasez de las lluvias sino por potenciales amenazas de racionamientos de energía; por lo anterior se hace aún más relevante la atención

que merecen éstos fenómeno, con el fin de planificar en forma anticipada las decisiones más acertadas que se requieran.

Por su alto impacto en las sociedades y economía a nivel nacional y regional, el fenómeno de El Niño es un acontecimiento climático que merece una gran atención en los distintos niveles que de una u otra manera se relacionen al manejo de los recursos hídricos, desde los usuarios y planificadores hasta tomadores de decisiones

17. RECOMENDACIONES

Utilización de software que permitan analizar series de datos, para poder prever catástrofes y a su vez la creación de obras hidráulicas.

Monitoreo de embalses de generación de energía.

Se considera que aunque se logró con el alcance propuesto para el trabajo, lamentablemente solamente se presentan evaluaciones de carácter estadístico desde 2000 hasta 2015, lo anterior debido a que por parte de los operadores no se cuenta con toda la información debidamente consolidada para años anteriores.

Por lo anterior se recomienda que para ésta clases de estudios, se cuente con mayor información por parte de las entidades encargadas ya que así se lograría obtener un mejor perfil comparativo, para efectos sequía-humedad, el cual es un proceso cíclico regido por comportamientos globales de variabilidad climática.

Se considera que es muy importante, bien sea por parte del IDEAM o por parte de los operadores de los embalses, que mejoren complemente y reactiven las estaciones de monitoreo, tanto aguas arriba (afluencias a los embalses) como aguas abajo (potencialidad de generación de inundaciones por descargas), con el fin de monitorear de manera más puntual las condiciones que inciden en la disminución o el incremento de las lluvias, especialmente en los fenómenos cíclicos de El Niño y La Niña; es importante ésta recomendación ya que los recursos hídricos se verían afectados para las siguientes condiciones hidrológicas: disminución de niveles (baja en la capacidad de generación de energía, disminución de los caudales de toma en fuentes abastecedoras y restricciones en la navegación) y aumento de niveles (inundaciones, anegamientos y afectaciones regionales)

BIBLIOGRAFÍA

Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales, ideam.

Ven Te Chow, David R. Maidment y Larry W. Mays "Hidrología Aplicada", pag. 5.

Extreme hydrological events and the influence of reservoirs in a highly regulated river basin of northeastern Spain. Zaragoza, Spain, 2017, vol. 12, ISSN 2214-5818

Revista Actualidades Biologicas. Medellin, 2015, vol 37, no 103, ISSN 034-3584

Revista Ingeniería del Agua. Catalunya, 2004, Vol. 11 N°4, ISSN 1886-4996

Liebscher, H. (1972) A method for runoff-mapping from precipitation and air temperature data. In: Proc. Symp. World Water Balance (Reading, 1970), vol. 1, 115–121. IAHS Publ. 92. IAHS Press, Wallingford, UK

Bustamante, Carlos A. Efectos Ambientales Generados por la Construcción y Operación de un Embalse. Universidad de Sucre. Facultad de Ingeniería. Ingeniería Civil. 2008. Pág. 18.

Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2008, Protocolo para la emisión de los pronósticos hidrológicos, ISBN 978-958-8067-19-3

Copnes 3146, estrategia para consolidar la ejecución del plan nacional para la prevención y atención de desastres – pnpad - en el corto y mediano plazo.

Wei, W., Chen, L., Fu, B., Huang, Z., Wu, D., & GuiL. (2007). The effect of land uses and rainfall regimes on runoff and soil erosion in the semi-arid loess hilly area, China. Journal of Hydrology, 335, 247-258.

Revista Biota Colombiana, Especial embalses y ríos regulados Julio - diciembre de 2014, Volumen 15 Número 2, ISSN 0124-5376.

JHON, Junior Córdova Carmen, Diseño de embalse teniendo en consideración los impactos ambientales, Ingeniero Civil. Lima Peru. Universidad de Piura. Facultad de ingeniería. 2015. 55p.

Gestión integrada de crecidas, Ginebra 2, Suiza. 2009, OMM-N° 1047, ISBN 978-92-63-31047-7.

Revista Trilogía, La perspectiva del cambio climático en el departamento de Antioquia, Antioquia, Diciembre. 2013, vol, 9, ISSN 2145-4426.

Revista logos ciencia & tecnología, Santander, julio - diciembre 2017, vol. 9, no. 1, ISSN 2422-4200.

Daniela María Acosta Díaz. Evaluación del impacto ambiental sobre la morfología del cauce del río porce, por retención de sedimentos en los embalses porce ii y porce iii, en el tramo comprendido entre el sitio de presa y el río nechi, Bogota D.C.: Universidad de la Salle Facultad de Ingeniería Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, 2016. 37 p.

Ricardo Andrés Palacios Sierra, inventario documentado de represas en Colombia, Trabajo de grado Ingeniero Civil, Bogota D.C.: Universidad Militar Nueva Granada. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil, 2013. 13 p.

John Jairo Ramírez R. Mónica Cristina Arcila L., Sandra Catalina Sepúlveda A. Cuantificación de los componentes que afectan el coeficiente de atenuación vertical para irradiancia descendente en el embalse Riogrande II (Colombia). En: Revista Académica. Colombiana. Ciencias. Junio de 2015. Vol. 39, no 151, p 228.

Camilo Andres Hernandez Torres, análisis ambiental de las grandes centrales hidroeléctricas de Colombia aplicando metodología multiobjetivo, Proyecto de grado para optar el título de Ingeniero Ambiental y Sanitario. Bogota, D.C.: Universidad De La Salle Facultad de Ingeniería Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, 2011, 115 p.

Cardona N, F., H, David H. S. Gómez H. & F. Roldán P. 2011. Flora de Embalses, Centrales Hidroeléctricas de ISAGEN en el Oriente Antioqueño San Carlos, Jaguas y Calderas. Guía Ilustrada. ISAGEN - Universidad de Antioquia, Herbario Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. 230 pp.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM. Disponible en Internet : <
<http://informacioninteligente10.xm.com.co/hidrologia/Paginas/HistoricoHidrologia.aspx?RootFolder=%2Fhidrologia%2FHidrologia%2FReservas&FolderCTID=0x0120005447CB19B02C274BB11AE8243E0B8B23&View={41F81D50-FAF7-4E2A-A669-3DB4DD1F7869}>>

ANEXOS

Todos los anexos, se presentan en CD que está junto a éste trabajo.

1. Carpeta denominada: "1.Máximos, Mínimos y Modalidad"
2. Carpeta denominada: "GGM (Graficas Gumbel Momentos) Y GGMV (Gráficas Gumbel Máxima Verosimilitud)".
3. Carpeta denominada: "Umbrales Generación de Alertas".
4. Carpeta denominada: "Tiempos de Respuesta Generación Alertas".