

**AJUSTE DEL PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO LEÓN  
SZH (1201) LOCALIZADA EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA EN  
JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL  
URABÁ (CORPOURABA)**

**FASE DE DIAGNOSTICO  
CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO  
HIDROLOGÍA**

MARZO DE 2019

## CONTENIDO

1.	CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO .....	9
1.7	HIDROLOGÍA .....	9
1.7.1	Introducción .....	9
1.7.2	Red de estaciones hidrológicas .....	10
1.7.3	Tratamiento de la información .....	14
1.7.4	Estudios hidrológicos en estaciones existentes .....	18
1.7.5	Modelo hidrológico Lluvia - Escorrentía para la cuenca Río León y subcuencas .....	75
1.7.6	Inventario de la infraestructura que afecta la oferta hídrica superficial .....	87
1.7.7	Demandas potenciales de agua.....	94
1.7.8	Índices y caudal ambiental.....	104
1.7.9	Sedimentos .....	112
1.7.10	Caracterización de ecosistemas lenticos .....	128
1.7.11	Necesidades de información.....	130
2	BIBLIOGRAFÍA.....	137

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones hidrométricas seleccionadas .....	10
Tabla 2. Estaciones hidrométricas y períodos de registro de caudales .....	11
Tabla 3. Estaciones hidrométricas y períodos de registro de concentración sedimentos .....	12
Tabla 4. Estaciones hidrométricas y períodos de registro de transporte de sedimentos .....	13
Tabla 5. Pruebas estadísticas y criterios estadísticos .....	14
Tabla 6. Pruebas de homogeneidad .....	15
Tabla 7. Correlación entre datos diarios de estaciones hidrométricas .....	16
Tabla 8. Caudales medios mensuales (m <sup>3</sup> /s) – Estación Villarteaga.....	18
Tabla 9. Caudales característicos – Estación Villarteaga.....	21
Tabla 10. Caudales máximos – Estación Villarteaga.....	22
Tabla 11. Resultados análisis de frecuencias.....	23
Tabla 12. Caudales mínimos – Estación Villarteaga.....	24
Tabla 13. Resultados análisis de frecuencias.....	25
Tabla 14. Caudales medios mensuales (m <sup>3</sup> /s) – Estación Barranquillita.....	26
Tabla 15. Caudales característicos – Estación Barranquillita.....	28
Tabla 16. Caudales máximos – Estación Barranquillita.....	29
Tabla 17. Resultados análisis de frecuencias. Caudales mínimos anuales .....	30
Tabla 18. Caudales mínimos – Estación Barranquillita .....	31
Tabla 19. Resultados análisis de frecuencias.....	32
Tabla 20. Caudales medios mensuales (m <sup>3</sup> /s) – Estación La Cerrazón.....	33
Tabla 21. Caudales característicos – Estación La Cerrazón .....	35
Tabla 22. Caudales máximos – Estación Le Cerrazón.....	36
Tabla 23. Resultados análisis de frecuencias.....	37
Tabla 24. Caudales mínimos.....	38
Tabla 25. Resultados análisis de frecuencias.....	39
Tabla 26. Caudales medios mensuales (m <sup>3</sup> /s) – Estación Chigorodó.....	40
Tabla 27. Caudales característicos – Estación Chigorodó .....	42
Tabla 28. Caudales máximos – Estación Chigorodó .....	43
Tabla 29. Resultados análisis de frecuencias.....	44
Tabla 30. Caudales mínimos – Estación Chigorodó.....	45
Tabla 31. Resultados análisis de frecuencias.....	46
Tabla 32. Caudales medios mensuales (m <sup>3</sup> /s) – Estación Apartadó.....	47
Tabla 33. Caudales característicos.....	49
Tabla 34. Caudales máximos – Estación Apartadó .....	50
Tabla 35. Resultados análisis de frecuencias.....	51
Tabla 36. Caudales mínimos – Estación Apartadó.....	52
Tabla 37. Resultados análisis de frecuencias.....	53
Tabla 38. Caudales medios mensuales (m <sup>3</sup> /s) – Estación Carepa.....	54
Tabla 39. Caudales característicos.....	56
Tabla 40. Caudales máximos – Estación Carepa.....	57
Tabla 41. Resultados análisis de frecuencias.....	58
Tabla 42. Caudales mínimos – Estación Carepa.....	59
Tabla 43. Resultados análisis de frecuencias.....	60
Tabla 44. Caudales medios mensuales (m <sup>3</sup> /s) .....	61
Tabla 45. Caudales característicos.....	63
Tabla 46. Caudales máximos.....	64
Tabla 47. Resultados análisis de frecuencias Caudales mínimos anuales .....	65
Tabla 48. Caudales mínimos.....	66
Tabla 49. Resultados análisis de frecuencias.....	67

Tabla 50. Caudales medios mensuales (m <sup>3</sup> /s) .....	68
Tabla 51. Caudales característicos .....	71
Tabla 52. Caudales máximos .....	71
Tabla 53. Resultados análisis de frecuencias .....	72
Tabla 54. Caudales mínimos.....	73
Tabla 55. Resultados análisis de frecuencias .....	74
Tabla 1-56. Parámetros escogidos para el modelo de tanques en la cuenca del río Leon.....	82
Tabla 1-57. Criterios de desempeño del Modelo de Tanques. ....	83
<b>Tabla 58. Caudales medios de año húmedo, normal y seco por subcuencas y microcuencas .....</b>	<b>85</b>
Tabla 59. Fuentes hídricas que abastecen los municipios .....	88
Tabla 60. Usuarios del recurso hídrico registrados en la Territorial Centro .....	88
Tabla 61. Concesiones otorgadas CORPOURABA.....	89
Tabla 62. Bocatomas dentro de la Cuenca del Río León .....	90
Tabla 63. Infraestructura identificada en Campo .....	90
Tabla 64. Cultivos en la zona .....	95
Tabla 65. Precipitación decadal estación Unibán .....	96
Tabla 66. Demandas de agua anuales .....	98
Tabla 67. Caudal máximo demandado .....	98
Tabla 68. Módulos de riego.....	99
Tabla 69. Demandas de agua decadales (l/s) .....	99
Tabla 70. Demanda potencial por subcuenca.....	103
Tabla 71. Demanda Pecuaría por Subcuenca .....	103
Tabla 72. Necesidades de agua para abastecimiento humano municipios Cabera Municipal .....	104
Tabla 73. Necesidades de agua para abastecimiento humano municipios Zona rural .....	104
Tabla 74. Calificación del indicador.....	105
<b>Tabla 75. Índice de retención y regulación hídrica – IRH .....</b>	<b>106</b>
<b>Tabla 76. Caudales ambientales y disponibles .....</b>	<b>108</b>
Tabla 77. Índice de uso del agua .....	109
Tabla 78. Estimación del IUA para año normal y seco .....	109
Tabla 79. Índice de vulnerabilidad hídrica.....	111
Tabla 80. Índice de vulnerabilidad hídrica por cuenca y cuencas abastecedoras.....	111
Tabla 81. Valores totales de transporte de sedimentos en suspensión (Kton) Río Chigorodó – La Cerrazón.....	113
Tabla 82. Valores totales de transporte de sedimentos en suspensión (KTon) .....	115
Tabla 83. Valores totales de transporte de sedimentos en suspensión (KTon/día) Río Apartadó – Apartadó.....	118
Tabla 84. Valores totales de transporte de sedimentos en suspensión (KTon/día) Río León – Barranquillita.....	120
Tabla 85. Valores totales de transporte de sedimentos en suspensión (KTon/día) Río Carepa – Carepa.....	122
Tabla 86. Valores totales de transporte de sedimentos en suspensión (KTon/día) Río Zungo – Puente Carretera .....	125
Tabla 87. Valores totales de transporte de sedimentos en suspensión (KTon/día) Río León – Villarteaga.....	127

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización de las estaciones hidrométricas.....	11
Figura 2. Limnómetro .....	12
Figura 3. Limnógrafo .....	12

Figura 4. Correlaciones de caudales (m3/s) entre estaciones hidrométricas Río Grande vs Apartadó .....	16
Figura 5. Correlaciones de caudales (m3/s) entre estaciones hidrométricas Apartadó vs Pte. Carretera .....	17
Figura 6. Correlaciones de caudales (m3/s) entre estaciones hidrométricas Pte. Carretera vs Carepa .....	17
Figura 7. Correlaciones de caudales (m3/s) entre estaciones hidrométricas Carepa vs Chigorodó 18	

## LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 1. Distribución temporal caudales medios – Estación Villarteaga.....	19
Gráfica 2. Curva de duración de caudales medios diarios – Estación Villarteaga .....	20
Gráfica 3. Detalle curva de duración de caudales medios diarios – Estación Villarteaga .....	21
Gráfica 4. Análisis de frecuencias caudales máximos – Estación Villarteaga .....	23
Gráfica 5. Análisis de frecuencias caudales mínimos –Estación Villarteaga.....	25
Gráfica 6. Distribución temporal caudales medios – Estación Barranquillita.....	27
Gráfica 7. Curva de duración de caudales medios diarios – Estación Barranquillita .....	28
Gráfica 8. Detalle curva de duración de caudales medios diarios – Estación Barranquillita .....	28
Gráfica 9. Análisis de frecuencias caudales máximos – Estación Barranquillita .....	30
Gráfica 10. Análisis de frecuencias caudales mínimos – Estación Barranquillita.....	32
Gráfica 11. Distribución temporal caudales medios – Estación La Cerrazón .....	34
Gráfica 12. Curva de duración de caudales medios diarios – Estación La Cerrazón.....	35
Gráfica 13. Detalle curva de duración de caudales medios diarios – Estación La Cerrazón .....	35
Gráfica 14. Análisis de frecuencias caudales máximos – Estación La Cerrazón .....	37
Gráfica 15. Análisis de frecuencias caudales mínimos – Estación La Cerrazón .....	39
Gráfica 16. Distribución temporal caudales medios – Estación Chigorodó .....	41
Gráfica 17. Curva de duración de caudales medios diarios – Estación Chigorodó.....	42
Gráfica 18. Detalle curva de duración de caudales medios diarios – Estación Chigorodó .....	42
Gráfica 19. Análisis de frecuencias caudales máximos – Estación Chigorodó .....	44
Gráfica 20. Análisis de frecuencias caudales mínimos – Estación Chigorodó .....	46
Gráfica 21. Distribución temporal caudales medios – Estación Apartadó .....	48
Gráfica 22. Curva de duración de caudales medios diarios – Estación Apartadó.....	49
Gráfica 23. Detalle curva de duración de caudales medios diarios – Estación Apartadó .....	49
Gráfica 24. Análisis de frecuencias caudales máximos .....	51
Gráfica 25. Análisis de frecuencias caudales mínimos – Estación Apartadó .....	53
Gráfica 26. Distribución temporal caudales medios – Estación Carepa .....	55
Gráfica 27. Curva de duración de caudales medios diarios – Estación Carepa.....	56
Gráfica 28. Detalle curva de duración de caudales medios diarios – Estación Carepa .....	56
Gráfica 29. Análisis de frecuencias caudales máximos – Estación Carepa .....	58
Gráfica 30. Análisis de frecuencias caudales mínimos.....	60
Gráfica 31. Distribución temporal caudales medios.....	62
Gráfica 32. Curva de duración de caudales medios diarios .....	63
Gráfica 33. Detalle curva de duración de caudales medios diarios .....	63
Gráfica 34. Análisis de frecuencias caudales máximos .....	65
Gráfica 35. Análisis de frecuencias caudales mínimos.....	67
Gráfica 36. Distribución temporal caudales medios.....	69
Gráfica 37. Curva de duración de caudales medios diarios .....	70
Gráfica 38. Detalle curva de duración de caudales medios diarios .....	70
Gráfica 39. Análisis de frecuencias caudales máximos .....	72
Gráfica 40. Análisis de frecuencias caudales mínimos.....	74
Gráfica 41. Proceso de simulación de caudales .....	76

Gráfica 42. Esquema del modelo de tanques .....	79
Gráfica 43. Polígonos de Thiessen para las estaciones de precipitación .....	82
Gráfica 44. Comparación serie de caudales simulada (naranja) y observada (azul), para la estación 12072010 – Villaarteaga. ....	84
Gráfica 45. Ciclo anual de caudales para año normal, seco y húmedo.....	86
Gráfica 46. Curva de duración de caudales diarios para el río Leon.....	86
Gráfica 47. Mapa de caudales medios. Año normal y año húmedo .....	87
Gráfica 48. Mapa de caudales medios. Año seco.....	87
Gráfica 49. Porcentaje de usos del agua en la cuenca del Río León .....	89
Gráfica 50. Distribución temporal precipitación.....	98
Gráfica 51. Definición del índice de regulación hídrica IRH.....	105
Gráfica 52. IRH para la cuenca del río León.....	107
Gráfica 53. IUA año normal y año seco .....	110
Gráfica 54. IVH para año normal y año seco.....	112
Gráfica 55. Distribución temporal del transporte de sedimentos en suspensión Río Chigorodó – La Cerrazón.....	114
Gráfica 56. Transporte de sedimentos en suspensión anual Río Chigorodó – La Cerrazón .....	114
Gráfica 57. Distribución temporal del transporte de sedimentos en suspensión Río Chigorodó - Chigorodó.....	116
Gráfica 58. Transporte de sedimentos en suspensión anual Río Chigorodó - Chigorodó .....	117
Gráfica 59. Distribución temporal del transporte de sedimentos en suspensión Río Apartadó – Apartadó.....	119
Gráfica 60. Transporte de sedimentos en suspensión anual Río Apartadó - Apartadó .....	119
Gráfica 61. Distribución temporal del transporte de sedimentos en suspensión Río León – Barranquillita.....	121
Gráfica 62. Transporte de sedimentos en suspensión anual Río León – Barranquillita.....	121
Gráfica 63. Distribución temporal del transporte de sedimentos en suspensión Río Carepa – Carepa .....	123
Gráfica 64. Transporte de sedimentos en suspensión anual Río Carepa – Carepa .....	124
Gráfica 65. Distribución temporal del transporte de sedimentos en suspensión Río Zungo – Puente Carretera .....	126
Gráfica 66. Transporte de sedimentos en suspensión anual Río Zungo – Puente Carretera.....	126
Gráfica 67. Distribución temporal del transporte de sedimentos en suspensión Río León – Villarteaga .....	128
Gráfica 68. Transporte de sedimentos en suspensión anual Río León – Villarteaga.....	128

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Bocatoma Campamento .....	90
Fotografía 2. Bocatoma Mutatá.....	91
Fotografía 3. Bocatoma Cangrejo .....	91
Fotografía 4. Bocatoma El Cerro.....	92
Fotografía 5. Bocatoma El Petróleo .....	92
Fotografía 6. Bocatoma Salsipuedes .....	93
Fotografía 7. Bocatoma La Cristalina.....	93
Fotografía 8. Bocatoma El Salto .....	94
Fotografía 9. Río Zungo – Puente Carretera .....	131
Fotografía 10. Estación Río León - Barranquillita .....	132
Fotografía 11. Estación Río Grande - Grande .....	132
Fotografía 12. Estación Río Carepa - Carepa.....	133

Fotografía 13. Estación Río Chigorodó - Chigorodó ..... 134  
Fotografía 14. Estación Río León - Villarteaga ..... 134

EN ETAPA DE PUBLICACIÓN

## LISTA DE ANEXOS

### Anexos Medio Físico

#### Anexo 5. Hidrología

Anexo 5.1. Índices

Anexo 5.2. IRH\_Subcuenca

Anexo 5.3. IRH\_Microcuencas

EN ETAPA DE PUBLICACIÓN

## 1. CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO

### 1.7 HIDROLOGÍA

#### 1.7.1 Introducción

El recurso hídrico, ya sea superficial o subsuperficial, es uno de los componentes del ciclo hidrológico y se puede considerar como el aspecto más importante para el desarrollo de las actividades en una determinada cuenca, que incluye los usos domésticos para el abastecimiento de los acueductos localizados en la misma, los usos agropecuarios, para el desarrollo de los posibles cultivos que se introduzcan, de acuerdo con los pisos térmicos que se encuentren en la cuenca, donde se encuentra también la acuicultura, los usos industriales, que como su nombre lo dice permiten el desarrollo industrial, que incluye la generación hidroeléctrica, que como es sabido es de las más limpias desde el punto de vista ambiental y la menos costosa. Finalmente, pero no por eso menos importante, se deben suplir las necesidades del ecosistema, para lo cual se han establecido algunas pautas.

Para la determinación de la oferta hídrica superficial, se deben definir primero que todo los caudales medios mensuales de la fuente a lo largo del año, que muestran la dinámica de la fuente, posiblemente en diferentes puntos, de acuerdo con la localización de los centros poblados que se encuentren dentro de la misma, de las zonas destinadas a los desarrollos agropecuarios, no solo los localizados en las riberas de los cauces, sino todos aquellos que cuenten con las características para su desarrollo, de acuerdo con lo establecido en el POMCA y los desarrollos hidroeléctricos. Luego se deben determinar los caudales característicos y los caudales máximos y mínimos, para establecer los porcentajes de tiempo que, en las épocas de estiaje, puedan presentar déficit de agua para suplir las necesidades económicas de los diferentes usuarios, incluido el ecosistema.

Como complemento de los aspectos de la hidrología superficial y como variables para establecer el ciclo hidrológico, se deben considerar los diferentes parámetros climatológicos que se presentan en la misma, tales como la precipitación, que el más importante, pues de este parámetro dependen directamente los caudales, la evaporación que es un estimativo del agua que pierde la cuenca, las temperaturas, que determinan los diferentes pisos térmicos existentes en la cuenca, la humedad relativa que permite establecer el grado de humedad de la atmósfera, el brillo solar, para establecer en forma indirecta la radiación solar en la cuenca, la velocidad y dirección del viento, etc.

Como se puede ver sin el recurso hídrico no se puede pensar en el desarrollo de las comunidades. Para la determinación de los parámetros que se han nombrado, deben existir estaciones de medición de caudales y niveles y de los parámetros climáticos localizadas en diferentes puntos clave en la cuenca y adicionalmente contar con series de larga duración, más de 50 y 100 años, que permitan establecer ciclos de larga duración y variaciones como la que en la actualidad se plantea para el desarrollo de cualquier actividad, para lo cual, sin información, poco se puede predecir.

Durante la etapa de aprestamiento, se recopiló la información hidrométrica y climatológica de todas las estaciones existentes en la cuenca del Río León y algunas pluviométricas y climáticas en sus alrededores, que pueden servir como complemento para el análisis

espacial de los diferentes parámetros climáticos. Todas las estaciones seleccionadas, son operadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales – IDEAM.

La cuenca del Río León, está conformada por las subcuencas de los ríos Chigorodó, Carepa, Apartadó, Río Grande, Zungo, Juradó, Porroso, Guapá, La Fortuna y la cuenca Alta del Río León, conformada por el Río Villarteaga.

## 1.7.2 Red de estaciones hidrológicas

### 1.7.2.1 Información Hidrométrica

Comprende los registros de parámetros asociados al recurso hídrico, como son los niveles de agua, los caudales, las concentraciones de sedimentos en suspensión, el transporte de sedimentos y la calidad del agua, en sus parámetros físicos, biológicos y bacteriológicos. A continuación, se describen en detalle cada uno de ellos, exceptuando los concernientes a la calidad del agua que se presentan en otro documento.

#### 1.1.1.1. Niveles y caudales

Dentro de la cuenca se encuentran localizadas ocho (8) estaciones hidrométricas tipo LG (Limnigráficas), que cuentan con registros continuos y tipo LM (Limnimétricas), que cuentan solo con dos o en algunos casos con tres mediciones puntuales.

En la Tabla 1 se presentan las estaciones seleccionadas dentro de la cuenca y algunas que no pertenecen a esta, pero que podrían ser útiles para el estudio de los caudales. En la Figura 1, se presenta el mapa con la localización de las estaciones seleccionadas y en la Figura 2 y la Figura 3, las imágenes de un limnómetro y de un limnógrafo.

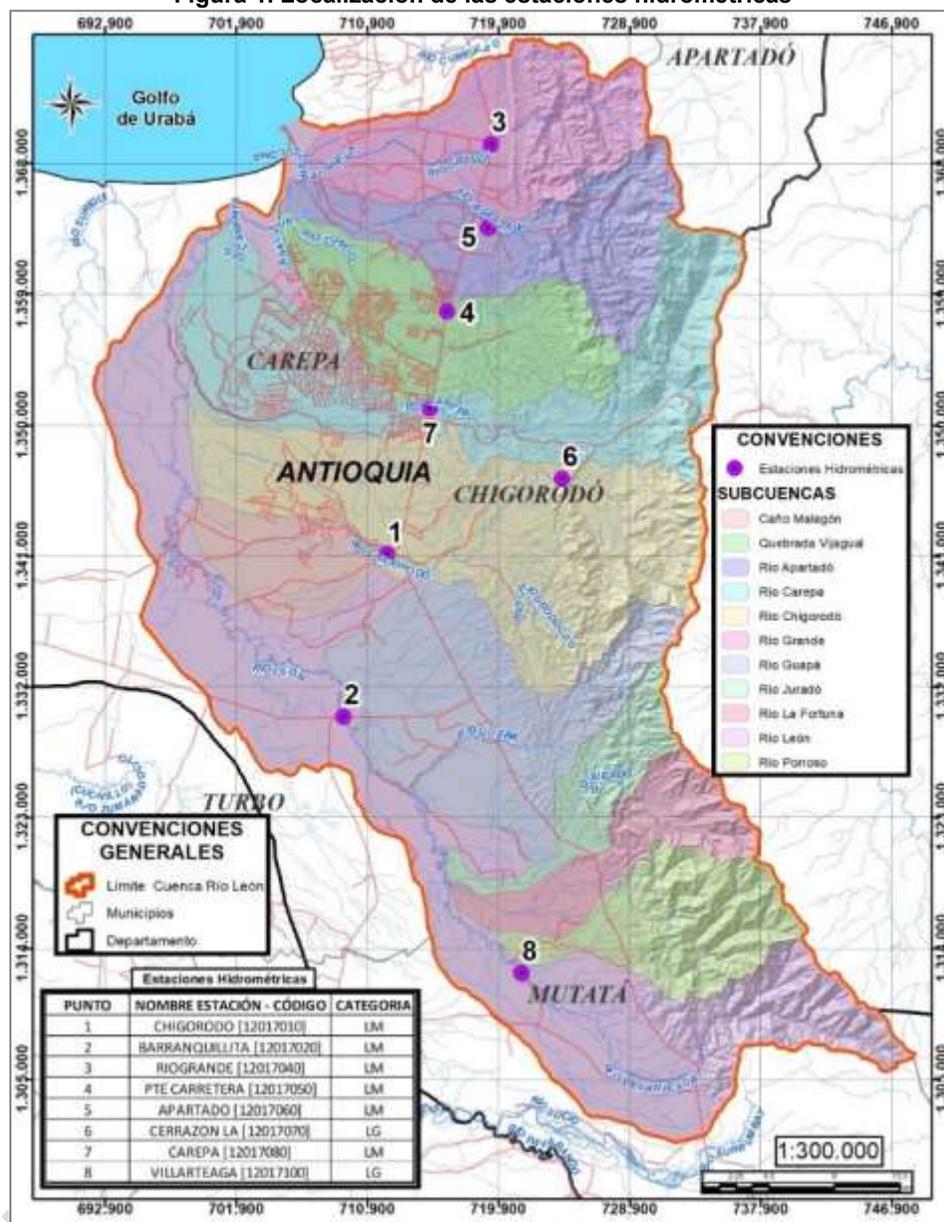
Dentro de la hidrometría, se toman los niveles diarios, para transformarlos en caudales diarios y se realizan aforos líquidos, para establecer las curvas de gastos en el sitio de la estación y calcular luego los caudales.

**Tabla 1. Estaciones hidrométricas seleccionadas**

<b>CODIGO</b>	<b>CAT</b>	<b>NOMBRE ESTACIÓN</b>	<b>CORRIENTE</b>	<b>DEPTO</b>	<b>MUNICIPIO</b>
1201705	LG	Pte. Carretera	Zungo	Antioquia	Apartadó
1201706	LG	Apartadó	Apartadó	Antioquia	Apartadó
1201701	LG	Chigorodó	Chigorodó	Antioquia	Chigorodó
1201702	LG	Barranquillita	León	Antioquia	Chigorodó
1201707	LG	Cerrazon La	Chigorodó	Antioquia	Chigorodó
1201708	LM	Carepa	Carepa	Antioquia	Chigorodó
1201710	LM	Villarteaga	León	Antioquia	Mutatá
1201704	LM	Riogrande	Grande	Antioquia	Turbo

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Figura 1. Localización de las estaciones hidrométricas



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Se solicitaron los caudales medios diarios, los caudales máximos mensuales y los caudales mínimos mensuales.

En la Tabla 2, se presentan para los registros de caudales medios diarios, máximos y mínimos, los períodos de registro de las estaciones hidrométricas seleccionadas y el número de años.

Tabla 2. Estaciones hidrométricas y períodos de registro de caudales

CORRIENTE	ESTACIÓN	CODIGO	AÑO	INICIO	FINAL
Zungo	Pte. Carretera	1201705	35	1977	2011

Apartadó	Apartadó	1201706	29	1984	2012
Chigorodó	Chigorodó	1201701	40	1976	2015
León	Barranquillita	1201702	39	1977	2015
Chigorodó	La Cerrazón	1201707	23	1987	2014
Carepa	Carepa	1201708	35	1977	2011
León	Villarteaga	1201710	25	1990	2014
Grande	Río Grande	1201704	37	1978	2014

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Figura 2. Limnómetro



Figura 3. Limnógrafo



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

#### 1.1.1.1.2. Sedimentos

En la cuenca se encuentran siete (7) estaciones hidrométricas, que cuentan con el programa de sedimentos, que implica la realización de aforos sólidos, adicional a los aforos líquidos, para determinar las concentraciones de sólidos en suspensión y carga de sedimentos. Adicionalmente, se toman muestras del material del lecho del río para establecer su granulometría, para determinar el porcentaje de material que se sedimenta.

En la Tabla 3, se presentan para los registros de concentración de sedimentos en suspensión y en la Tabla 4, los registros de transporte de sedimentos en suspensión.

Tabla 3. Estaciones hidrométricas y períodos de registro de concentración sedimentos

CORRIENTE	ESTACION	CODIGO	AÑO	INICIO	FINAL
Apartadó	Apartadó	1201706	32	1978	2013
León	Barranquillita	1201702	35	1978	2014
Carepa	Carepa	1201708	33	1978	2011

Chigorodó	La Cerrazón	1201707	7	1986	1996
Chigorodó	Chigorodó	1201701	30	1978	2014
Zungo	Pte. Carretera	1201705	18	1978	1996
León	Villarteaga	1201710	2	1995	1996

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

**Tabla 4. Estaciones hidrométricas y períodos de registro de transporte de sedimentos**

CORRIENTE	ESTACION	CODIGO	AÑO	INICIO	FINAL
Apartadó	Apartadó	1201706	33	1978	2013
León	Barranquillita	1201702	36	1978	2014
Carepa	Carepa	1201708	34	1978	2011
Chigorodó	Chigorodó	1201701	30	1978	2014
Chigorodó	La Cerrazón	1201707	8	1986	1996
Zungo	Pte. Carretera	1201705	19	1978	1996
León	Villarteaga	1201710	3	1994	1996

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

### 1.1.1.1.3. Análisis de la información

Para el desarrollo de los estudios hidrológicos, se seleccionaron ocho (8) estaciones hidrométricas, localizadas en las cuencas tributarias más importantes del Río León y en el Río León directamente, con la cual se puede estudiar el régimen de caudales. Casi todas cuentan con más de 25 años de registros. La estación que cuenta con más registros, es la de Barranquillita, localizada directamente sobre el Río León con un período de 39 años. La estación que cuenta con menos registros, es la de La Cerrazón, localizada sobre el Río Chigorodó, con 23 años. De las ocho (8) estaciones seleccionadas, cinco (5) son limnigráficas con registros continuos y tres (3) son limnimétricas con registros puntuales. Las primeras están en las cuencas de los ríos Zungo, Apartadó, Chigorodó y León y las segundas en las de los ríos Grande, Carepa y Villarteaga.

Se recopiló la siguiente información:

- Niveles diarios y mensuales.
- Caudales diarios y mensuales.
- Caudales máximos mensuales.
- Caudales mínimos mensuales.
- Transporte total de sedimentos diario y mensual.
- Concentración de sedimentos.
- Granulometría.

Algunas estaciones salieron de operación hace algunos años. Se debe verificar la conveniencia de continuar o no con su operación.

La red de estaciones hidrométricas cubre con la medición de las cuencas más importantes, como son las de los ríos Grande, Zungo, Apartadó, Chigorodó, Carepa y León.

Algunas de las estaciones hidrométricas, no presentan registros desde el año 2011. Se debe investigar con el IDEAM, la razón.

Sobre la cuenca del Río León existen dos (2) estaciones hidrométricas, localizadas una en la cuenca alta y la otra en la cuenca media.

### 1.7.3 Tratamiento de la información

Para verificar la información obtenida se realizaron las pruebas de independencia, homogeneidad, tendencia y estacionariedad. El criterio de estacionariedad implica que los datos deben ser homogéneos y estar libres de tendencia durante el periodo de observación. Una serie de tiempo de datos hidrológicos, se dice estrictamente estacionaria, solo si sus propiedades estadísticas (media, varianza y momentos de orden superior) no son afectadas por la elección del momento de origen de la serie de datos (Dahmen y Hall, 1990).

En la Tabla 5, se muestran las pruebas sugeridas por la OMM, para el análisis de las series hidrológicas.

**Tabla 5. Pruebas estadísticas y criterios estadísticos**

Criterio	Explicación	Pruebas estadísticas aplicables
Aleatoriedad	En un contexto hidrológico, aleatoriedad significa esencialmente que las fluctuaciones de la variable se deben a causas naturales. Por ejemplo, los flujos de crecida apreciablemente alterados por las operaciones de un embalse no son naturales y, en consecuencia, no se pueden considerar como aleatorios, a menos que se eliminen antes los efectos de la regulación	No se dispone de pruebas adecuadas para series hidrológicas.
Independencia	La independencia implica que ninguna observación de la serie de datos influye en las observaciones posteriores. Incluso si los sucesos de una serie son aleatorios, podrían no ser independientes. Los grandes almacenamientos naturales en la cuenca de un río, por ejemplo, pueden hacer que los flujos altos estén seguidos de flujos altos, y los flujos bajos, de flujos bajos. La dependencia varía con el intervalo entre elementos sucesivos de la serie: la dependencia entre valores sucesivos del flujo diario tiende a ser grande, mientras que la dependencia entre los valores máximos anuales es generalmente pequeña. Del mismo modo, cabe suponer que los elementos de una serie anual de lluvias de corta duración son, en la práctica, independientes. En algunos casos, sin embargo, puede haber una dependencia significativa entre los valores máximos anuales, por ejemplo, en el caso de ríos que fluyen a través de grandes almacenamientos, como los Grandes Lagos de América del Norte	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Anderson, como describe Chow (1964).</li> <li>– Coeficiente de Spearman de correlación serial por órdenes de rango, como describe el Consejo Nacional de Investigación de Canadá (1975)</li> </ul>
Homogeneidad	Homogeneidad significa que todos los elementos de la serie de datos provienen de una misma población. Elderton (1953) indicó que rara vez se obtienen estadísticas de un material estrictamente homogéneo. Por ejemplo, una serie de valores de flujo que contenga tanto crecidas de nieve fundida como de lluvia podría no ser homogénea; sin embargo, dependiendo de los resultados de las pruebas, podría ser aceptable tratarla como tal. Cuando la variabilidad del fenómeno hidrológico	Terry (1952)

Critero	Explicación	Pruebas estadísticas aplicables
	es demasiado grande, como en el caso de las precipitaciones extremas, la no homogeneidad suele ser difícil de descifrar (Miller, 1972), siendo más fácil detectarla en las sumas de precipitación anual	
Estacionalidad	Estacionalidad significa que, excluyendo las fluctuaciones aleatorias, la serie de datos es invariante con respecto al tiempo. La no-estacionalidad puede consistir en tendencias, saltos o ciclos. En el análisis de crecidas, los saltos se deben generalmente a un cambio abrupto en una cuenca fluvial o un sistema fluvial, como la construcción de una presa. Las tendencias pueden estar causadas por cambios graduales de las condiciones climáticas o del uso de la tierra, como en el caso de la urbanización. Los ciclos pueden estar asociados a oscilaciones del clima en largos períodos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prueba de tendencias del coeficiente de Spearman de correlación de rangos (Consejo Nacional de Investigación de Canadá, 1975).</li> <li>- Prueba de tendencias de Wald y Wolfowitz (1943). No se dispone de ningún método de prueba satisfactorio para ciclos de largo período.</li> <li>- Prueba de tendencias de Mann-Kendall (Yue y otros, 2002b).</li> </ul>

Fuente: Tomada de la Guía de prácticas hidrológicas (OMM, 2011, pág. 175)

De acuerdo con lo anterior, se analizaron las series de caudales mediante las pruebas de Mann – Kendall y la correlación de rango de Spearman, que permiten determinar la independencia, la homogeneidad, la estacionalidad y la tendencia.

En la Tabla 6, se presentan los resultados obtenidos, donde se puede observar que solo los registros de las estaciones Río León – Barranquillita, Río Zungo - Puente Carretera y Río Grande – Grande, no pasaron la prueba para un nivel de significancia del 5%.

**Tabla 6. Pruebas de homogeneidad**

CUENCA	ESTACION	CODIGO	MK		SP	
			Z	a = 0.05	rs*sqrt(n-1)	a = 0.05
Apartadó	Apartadó	1201706	1.238	1.96	1.803	1.96
León	Barranquillita	1201702	2.383	1.96	2.813	1.96
Carepa	Carepa	1201708	0.838	1.96	0.808	1.96
Chigorodó	Chigorodó	1201701	1.270	1.96	1.382	1.96
Chigorodó	Cerrazón La	1201707	0.713	1.96	1.024	1.96
Zungo	Pte Carretera	1201705	2.826	1.96	3.408	1.96
Grande	Riogrande	1201704	2.668	1.96	2.987	1.96
León	Villarteaga	1201710	0.187	1.96	0.641	1.96

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

### 1.7.3.1 Complementación de datos faltantes

Para la complementación de los datos faltantes, se empleó el método de las correlaciones entre los caudales diarios registrados en una estación hidrométrica y los caudales diarios registrados en la estación hidrométrica de la cuenca vecina. Para el presente caso se correlacionaron de la entre las cuencas de los ríos Grande, Apartadó, Zungo, Carepa y Chigorodó, que son las únicas que cuentan con información hidrométrica.

En la Tabla 7 se presentan las ecuaciones generadas para la complementación y el coeficiente respectivo y en la Figura 4 a la Figura 7, se presentan las correlaciones desarrolladas.

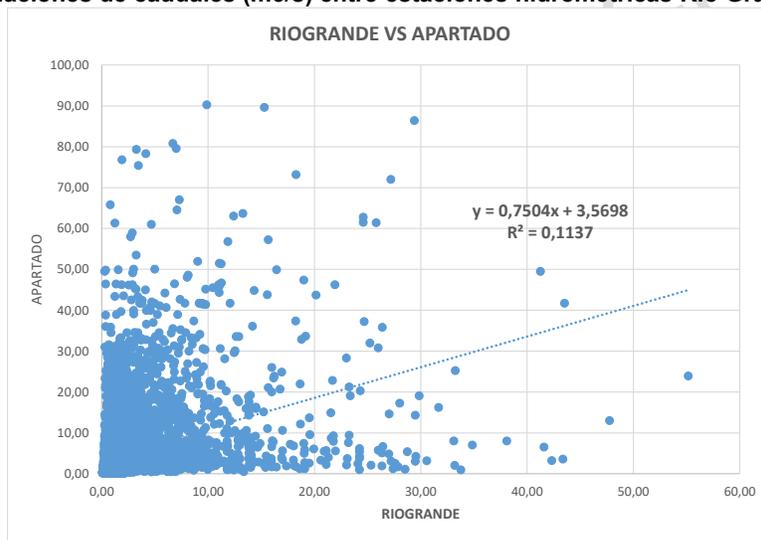
**Tabla 7. Correlación entre datos diarios de estaciones hidrométricas**

Cuenca generadora	Estación	Cuenca a complementar	Estación	Ecuación	R <sup>2</sup>
Grande	Río Grande	Apartadó	Apartadó	A=0,7504G + 3,5698	R <sup>2</sup> = 0,1137
Apartadó	Apartadó	Zungo	Puente Carretera	PC=0,1617A + 1,4443	R <sup>2</sup> = 0,1032
Zungo	Pte Carretera	Carepa	Carepa	C=0,9214PC + 3,6421	R <sup>2</sup> = 0,1012
Carepa	Carepa	Chigorodó	Chigorodó	CH=0,3431C + 12,069	R <sup>2</sup> = 0,0723

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

- G = Grande
- A = Apartadó
- PC = Pte Carretera
- C = Carepa
- CH = Chigorodó
- R<sup>2</sup> = Coeficiente de correlación

**Figura 4. Correlaciones de caudales (m3/s) entre estaciones hidrométricas Río Grande vs Apartadó**



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Figura 5. Correlaciones de caudales (m3/s) entre estaciones hidrométricas Apartadó vs Pte. Carretera

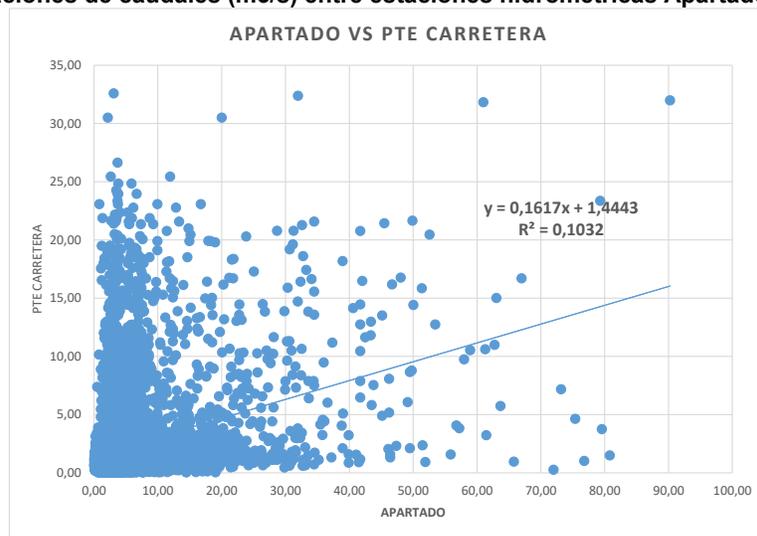


Figura 6. Correlaciones de caudales (m3/s) entre estaciones hidrométricas Pte. Carretera vs Carepa

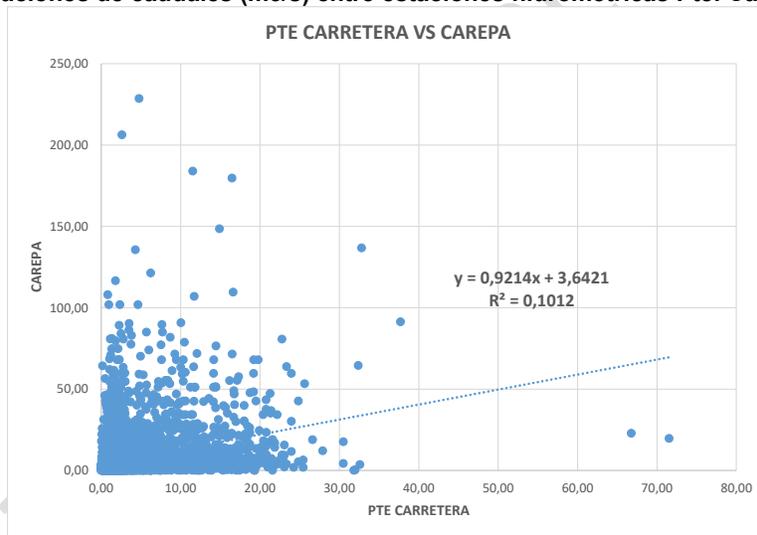
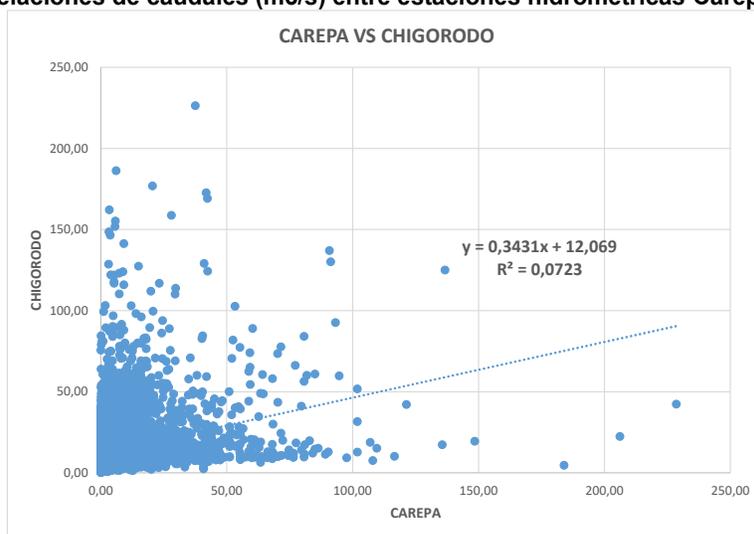


Figura 7. Correlaciones de caudales (m3/s) entre estaciones hidrométricas Carepa vs Chigorodó



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Se puede observar en la tabla, que los coeficientes de correlación, son bastante bajos y en las figuras se puede ver que realmente no existe una correlación sino una mancha de puntos dispersos en el cuadrante, por lo cual no es recomendable complementar la información y especialmente si se tiene en cuenta que las series de datos son bastante largas, más de 40 años y los datos faltantes son muy pocos y no se está sesgando la información.

#### 1.7.4 Estudios hidrológicos en estaciones existentes

##### 1.7.4.1 Río León – Villarteaga

##### 1.1.1.1.4. Caudales medios

La distribución temporal de los caudales medios mensuales, es de tipo monomodal, teniendo en cuenta que durante el período Abril – Diciembre, los caudales mensuales superan la media anual, pero si se toma en forma estricta, el régimen presenta dos modos. Se observan los caudales más altos en los meses de Octubre y Noviembre con registros de 25.53 y 28.95 m<sup>3</sup>/s respectivamente. Los valores más bajos se observan en los meses de Febrero y Marzo, con registros de 5.51 y 7.55 m<sup>3</sup>/s. El valor promedio anual es de 18.80 m<sup>3</sup>/s.

En la Tabla 8, se presentan los valores medios mensuales y en la Gráfica 1 la distribución temporal.

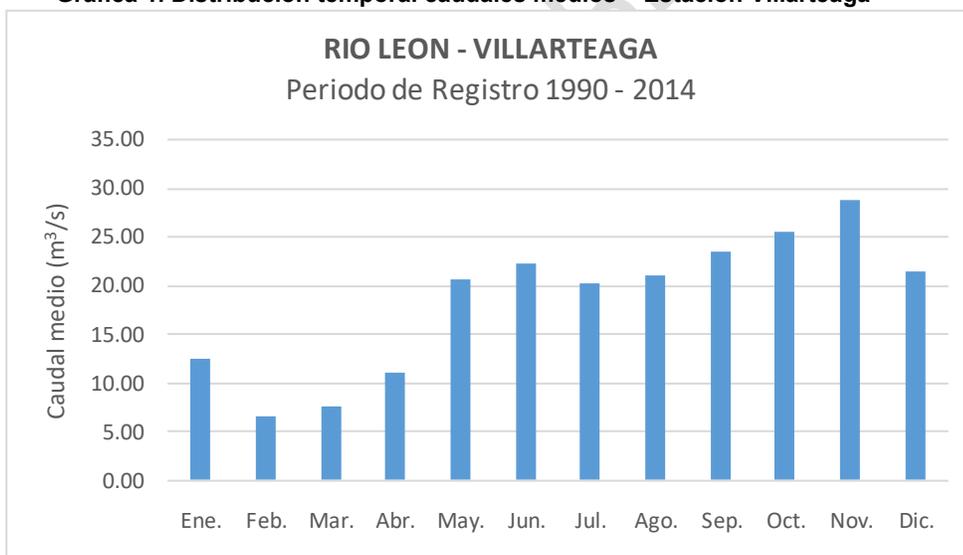
Tabla 8. Caudales medios mensuales (m3/s) – Estación Villarteaga

ANO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1990	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	24.72	21.24	XXX	22.98
1991	XXX	XXX	4.75	5.11	25.00	17.22	15.03	14.33	19.62	24.76	18.22	6.95	15.10
1992	3.41	2.24	2.01	3.47	11.70	9.83	10.77	12.69	20.24	28.14	34.09	21.99	13.38
1993	12.49	5.46	3.86	7.28	31.72	28.86	27.15	14.53	24.07	25.16	31.98	25.64	19.85
1994	5.68	3.63	XXX	9.10	21.74	31.47	25.44	29.77	28.40	26.28	31.89	9.81	20.29
1995	4.07	2.85	2.57	14.09	26.13	26.13	24.72	30.95	34.94	26.37	35.82	36.85	22.12

ANO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1996	14.86	6.93	8.72	11.13	26.48	21.90	22.35	22.96	19.73	29.10	17.35	11.96	17.79
1997	10.09	11.00	4.56	3.70	5.92	22.48	11.97	7.73	9.51	16.28	XXX	5.93	9.92
1998	3.05	2.43	1.88	2.25	8.15	18.76	23.99	26.66	33.51	18.22	25.81	20.85	15.46
1999	11.72	6.64	5.09	7.18	14.21	10.53	14.17	16.63	20.24	19.61	18.55	16.79	13.45
2000	5.09	3.30	2.66	4.63	13.80	13.10	11.42	14.13	21.19	8.06	19.67	9.57	10.55
2001	4.73	4.95	3.93	2.73	9.95	9.40	8.58	10.51	10.06	8.44	16.21	11.90	8.45
2002	6.60	2.86	3.35	11.49	14.40	22.79	38.11	19.42	14.67	27.58	30.82	14.29	17.20
2003	3.11	2.22	1.97	3.37	7.06	7.42	12.20	16.40	11.46	19.62	13.07	13.14	9.25
2004	XXX	XXX	XXX	12.59	16.46	21.41	XXX	36.12	XXX	34.12	30.78	7.87	22.76
2005	10.62	4.34	10.45	11.67	42.94	45.56	43.83	44.03	57.65	55.35	67.90	82.65	39.75
2006	75.32	24.94	47.62	30.28	38.61	23.57	16.27	17.23	20.77	24.02	39.97	34.75	32.78
2007	20.02	6.58	8.37	31.55	44.53	51.85	31.91	32.36	33.65	37.31	41.29	20.97	30.03
2008	9.35	10.01	8.95	20.32	28.99	31.92	26.51	25.27	28.36	38.87	39.38	41.94	25.82
2009	18.83	10.34	7.63	8.49	18.94	17.09	24.53	19.99	18.56	18.76	30.42	14.20	17.32
2010	4.86	4.74	8.55	16.56	20.08	23.11	19.06	23.63	29.00	31.81	30.15	26.18	19.81
2011	21.64	11.22	XXX	21.20	21.93	31.01	22.26	23.69	28.17	29.84	30.48	32.54	24.91
2012	6.43	3.30	2.74	6.99	10.53	12.69	10.91	10.38	9.56	15.41	14.47	9.75	9.43
2013	XXX	XXX	14.62	14.35	16.26	17.05	16.04	22.83	25.90	24.87	26.38	18.34	19.66
2014	11.80	6.61	6.41	6.70	20.85	19.48	10.40	13.24	XXX	XXX	XXX	XXX	11.94
<b>Media</b>	12.56	6.51	7.65	11.09	20.68	22.28	20.33	21.06	23.60	25.53	28.95	21.52	18.80
<b>Max</b>	75.32	24.94	47.62	31.55	44.53	51.85	43.83	44.03	57.65	55.35	67.90	82.65	82.65
<b>Min</b>	3.05	2.22	1.88	2.25	5.92	7.42	8.58	7.73	9.51	8.06	13.07	5.93	1.88

Fuente: IDEAM

Gráfica 1. Distribución temporal caudales medios – Estación Villarteaga



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

#### 1.1.1.1.5. Curva de duración de caudales medios diarios

A partir de la serie de caudales medios diarios registrados, para el período 1965 – 2012, se desarrolló la curva de duración, que permite establecer el porcentaje de tiempo que un determinado caudal, es igualado o excedido.

La curva se desarrolla, para los caudales medios diarios y para los medios decadales, primero ordenando la serie de mayor a menor, luego se asigna un número de orden a cada dato y a continuación, se define una posición de ploteo, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$P_p = M/N$$

Donde:

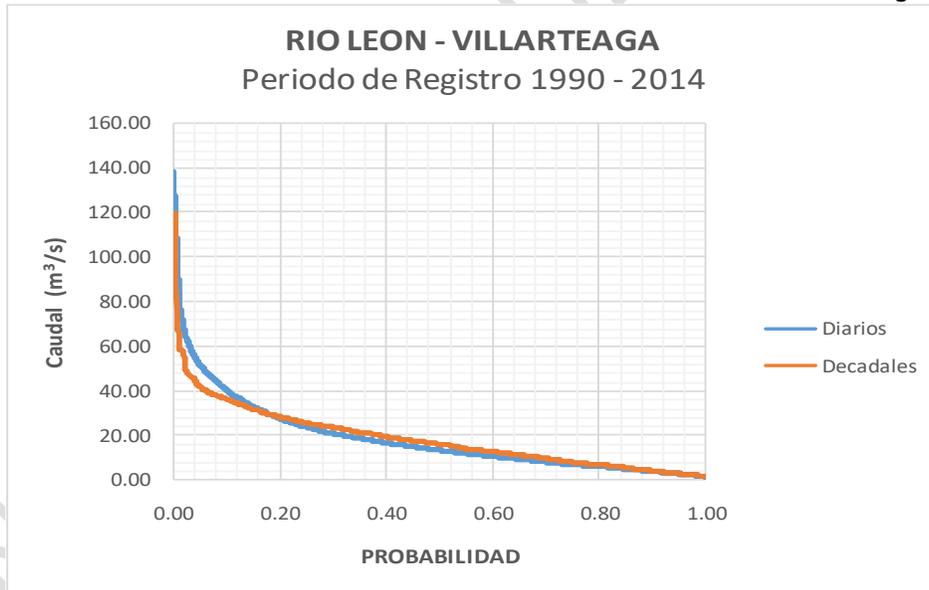
$P_p$  = Posición de ploteo.  
 $M$  = Número de orden.  
 $N$  = Número total de datos.

La posición de ploteo indica la probabilidad de ocurrencia de cada dato. Luego se acumula la probabilidad de ocurrencia de cada dato y se grafica el caudal correspondiente a cada posición de ploteo acumulada, versus la posición de ploteo acumulada, que muestra el porcentaje de tiempo que un determinado caudal es igualado o excedido.

Como ejemplo, se puede decir que el caudal registrado más pequeño, es igualado o excedido el 100% del tiempo y el máximo registrado un % igual a la posición de ploteo.

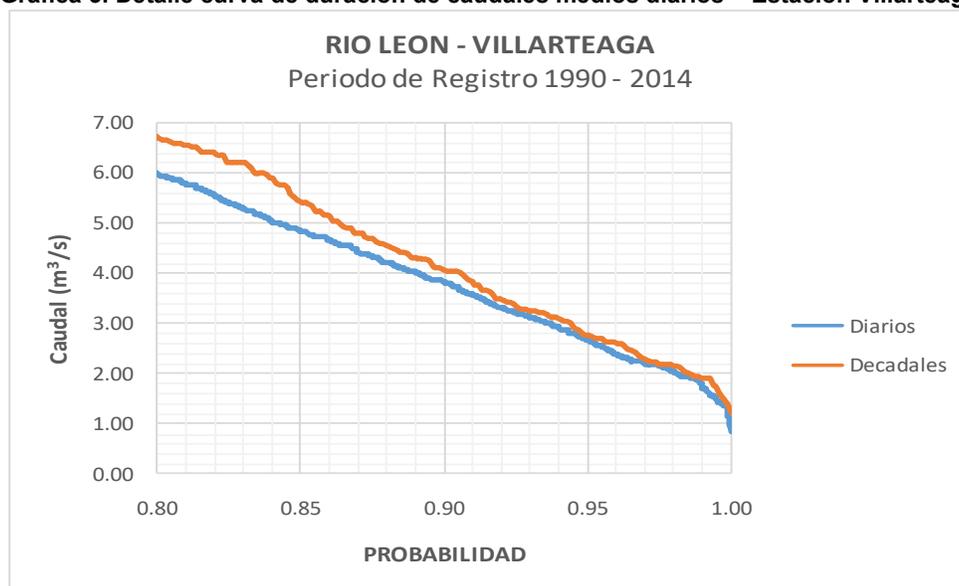
Se desarrollaron las curvas, para el período de registro de 1990 a 2014. En la Gráfica 2, se presenta la curva de duración de los caudales medios diarios y decadales de la estación y en la Gráfica 3, el detalle de la misma, para excedencias superiores al 80%. En la Tabla 9, se presentan los respectivos caudales característicos.

**Gráfica 2. Curva de duración de caudales medios diarios – Estación Villarteaga**



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

**Gráfica 3. Detalle curva de duración de caudales medios diarios – Estación Villarteaga**



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

**Tabla 9. Caudales característicos – Estación Villarteaga**

DIARIOS		DECADELES	
CAUDALES	VALOR m <sup>3</sup> /s	CAUDALES	VALOR m <sup>3</sup> /s
Máximo	138.40	Máximo	119.92
Q <sub>50</sub>	13.40	Q <sub>50</sub>	16.08
Q <sub>75</sub>	6.90	Q <sub>75</sub>	8.02
Q <sub>90</sub>	3.87	Q <sub>90</sub>	4.15
Q <sub>95</sub>	2.81	Q <sub>95</sub>	2.91
Q <sub>97</sub>	2.28	Q <sub>97</sub>	2.47
Q <sub>99</sub>	1.94	Q <sub>99</sub>	2.00
Mínimo	0.99	Mínimo	1.23

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

En la tabla se puede observar que el caudal máximo registrado es de 138.4 m<sup>3</sup>/s, el caudal correspondiente al 50%, es de 13.40 m<sup>3</sup>/s, el caudal correspondiente al 95 % es de 2.81 m<sup>3</sup>/s el caudal mínimo registrado es de 0.99 m<sup>3</sup>/s.

#### 1.1.1.1.6. Caudales máximos anuales

A partir de las series de valores máximos anuales, se desarrollaron los análisis de frecuencias, por medio de las distribuciones Normal, Gumbel, Pearson Tipo III, Log–Pearson Tipo III, Log–Normal y de Extremos (EV3) y se ajustaron a la distribución Chi<sup>2</sup>, para determinar el mejor ajuste y de acuerdo con este valor, se seleccionó la que presentó el menor valor.

Estos análisis muestran la probabilidad de que un determinado evento, pueda ocurrir en un lapso establecido, que puede variar de 2 a miles de años. Para el estudio, se tomaron períodos de retorno de 2 a 500 años, que permiten la toma de decisiones para la

construcción de la mayoría de obras de infraestructura en la cuenca, tales como estructuras de captación, puentes, pontones, diques de protección contra inundaciones etc.

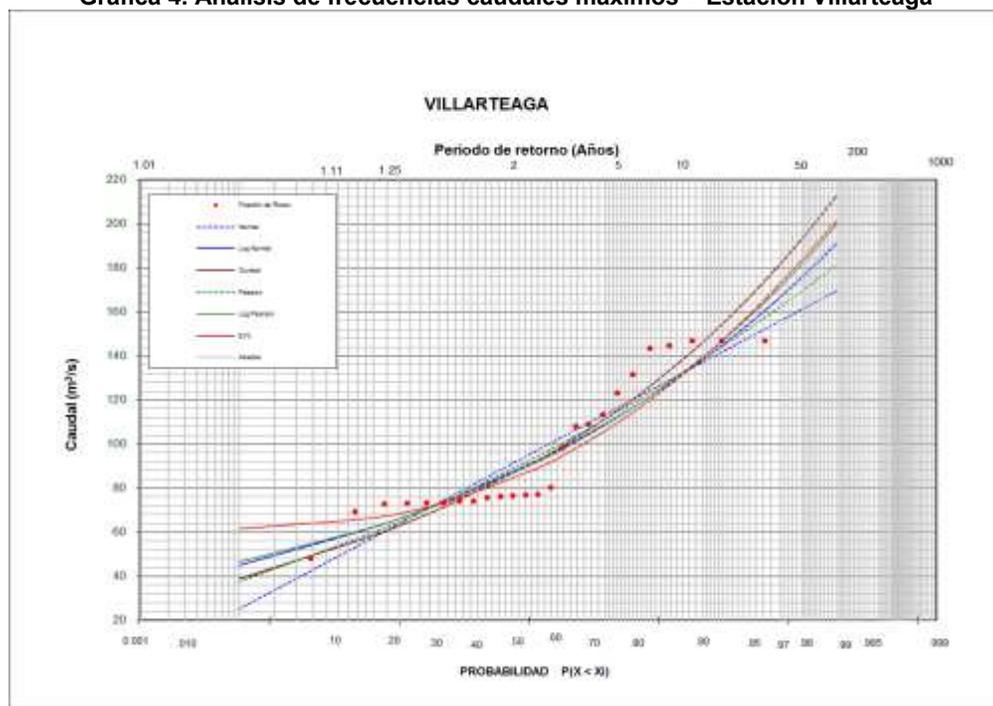
Se desarrollaron los análisis, para el período de registro de 1990 a 2014. En la Tabla 10, se presentan los valores máximos mensuales y anuales y en la Gráfica 4, el análisis gráfico. En la Tabla 11, se presentan los resultados para períodos de retorno de 2 a 500 años.

**Tabla 10. Caudales máximos – Estación Villarteaga**

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1990	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	45,78	48,00	XXX	48,00
1991	XXX	XXX	15,87	12,28	77,32	63,61	60,66	72,52	70,28	63,02	71,56	27,54	77,32
1992	4,52	2,53	2,60	22,25	46,10	60,07	25,40	34,05	64,20	74,12	61,25	64,84	74,12
1993	52,05	9,10	6,81	30,02	75,72	66,76	66,44	34,05	58,30	68,04	68,68	70,28	75,72
1994	8,44	4,04	26,07	34,98	65,16	76,68	59,78	68,04	69,00	70,60	70,92	21,20	76,68
1995	4,92	3,26	4,60	52,40	58,59	52,40	58,30	69,64	70,28	73,48	55,94	71,56	73,48
1996	27,23	10,60	16,05	24,27	69,00	61,84	60,07	73,48	55,06	72,20	63,02	32,50	73,48
1997	68,04	41,72	16,05	6,90	14,30	76,36	37,46	10,35	17,80	73,80	XXX	10,73	76,36
1998	3,88	3,26	5,28	7,78	48,90	70,60	40,38	61,25	66,44	64,84	70,92	73,16	73,16
1999	58,30	16,05	24,05	24,05	64,84	66,44	72,84	59,18	69,00	69,32	70,28	69,64	72,84
2000	12,14	18,40	5,95	14,03	47,15	65,80	45,40	63,90	69,32	35,60	69,00	45,07	69,32
2001	6,90	10,35	5,95	54,47	65,48	55,94	61,25	48,55	49,95	37,15	62,72	74,12	74,12
2002	XXX	XXX	XXX	132,10	31,25	57,11	119,00	34,53	21,37	113,60	146,80	41,60	146,80
2003	4,85	2,40	2,24	10,63	49,60	13,75	52,40	64,20	77,00	77,00	77,00	45,40	77,00
2004	XXX	XXX	XXX	XXX	95,72	74,36	XXX	XXX	XXX	128,20	144,60	34,20	144,60
2005	60,89	7,97	83,59	45,36	139,40	125,40	108,40	138,30	143,40	116,80	142,30	141,70	143,40
2006	XXX	XXX	XXX	146,80	126,50	50,73	21,92	126,50	78,97	67,73	93,22	104,80	146,80
2007	49,13	27,97	50,33	107,90	124,30	146,80	140,00	50,33	124,30	93,22	135,40	86,00	146,80
2008	33,87	53,52	13,51	74,36	103,20	103,20	89,37	103,20	113,60	98,22	108,40	61,31	113,60
2009	51,52	14,98	65,52	35,24	83,59	70,82	123,30	73,48	99,22	93,22	122,20	81,74	123,30
2010	29,28	19,18	79,90	131,50	105,30	70,38	75,28	94,72	78,97	128,80	107,40	XXX	131,50
2011	73,90	25,38	XXX	106,40	76,00	95,60	76,00	102,80	105,50	102,80	108,20	XXX	108,20
2012	55,51	10,72	XXX	29,61	50,73	72,59	73,48	42,73	65,96	80,36	52,32	38,77	80,36
2013	XXX	XXX	42,40	84,00	81,60	109,10	84,00	93,80	105,50	101,90	107,30	70,40	109,10
2014	96,50	23,92	25,38	18,59	79,20	98,30	40,20	49,00	XXX	XXX	XXX	XXX	98,30

Fuente: IDEAM, 2017

Gráfica 4. Análisis de frecuencias caudales máximos – Estación Villarteaga



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Tabla 11. Resultados análisis de frecuencias

TR años	NORMAL	GUMBEL	PEARSON	LOG- PEAR	LOG-NOR	EV3
2	97,37	92,70	94,61	92,06	92,78	89,21
2,33	105,22	101,38	102,51	99,70	100,37	96,78
5	123,49	124,93	122,31	120,56	120,53	118,72
10	137,15	146,27	138,47	139,52	138,22	139,20
20	148,43	166,73	152,70	157,80	154,77	158,74
25	151,72	173,23	157,01	163,64	159,95	164,87
50	161,12	193,23	169,73	181,77	175,76	183,52
100	169,58	213,08	181,68	200,07	191,31	201,67
200	177,33	232,86	193,06	218,68	206,75	219,40
500	186,71	258,96	207,41	243,94	227,13	242,29
Chi 2	<b>34,63</b>	<b>26,96</b>	<b>27,68</b>	<b>25,94</b>	<b>26,31</b>	<b>27,24</b>

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

En la tabla se puede observar que la distribución que presenta el mejor ajuste es la Log - Pearson, con un valor de Chi<sup>2</sup> de 25.94. Para un período de retorno de 100 años, el caudal máximo es de 200.07 m<sup>3</sup>/s y para 500 años, es de 243.94 m<sup>3</sup>/s.

#### 1.1.1.1.7. Caudales mínimos anuales

A partir de las series de valores mínimos anuales, se desarrollaron los análisis de frecuencias, por medio de las distribuciones Normal, Gumbel, Pearson Tipo III, Log-Pearson Tipo III, Log-Normal y de Extremos (EV3) y se ajustaron a la distribución Chi<sup>2</sup>, para determinar el mejor ajuste y de acuerdo con este valor, se seleccionó la que presentó el menor valor.

Estos análisis muestran la probabilidad de que un determinado evento, pueda ocurrir en un lapso establecido, que puede variar de 2 a miles de años. Para el estudio, se tomaron períodos de retorno de 2 a 500 años, que permiten la toma de decisiones para determinar la disponibilidad de agua para el proyecto, que normalmente para proyectos de adecuación de tierras es de 5 años.

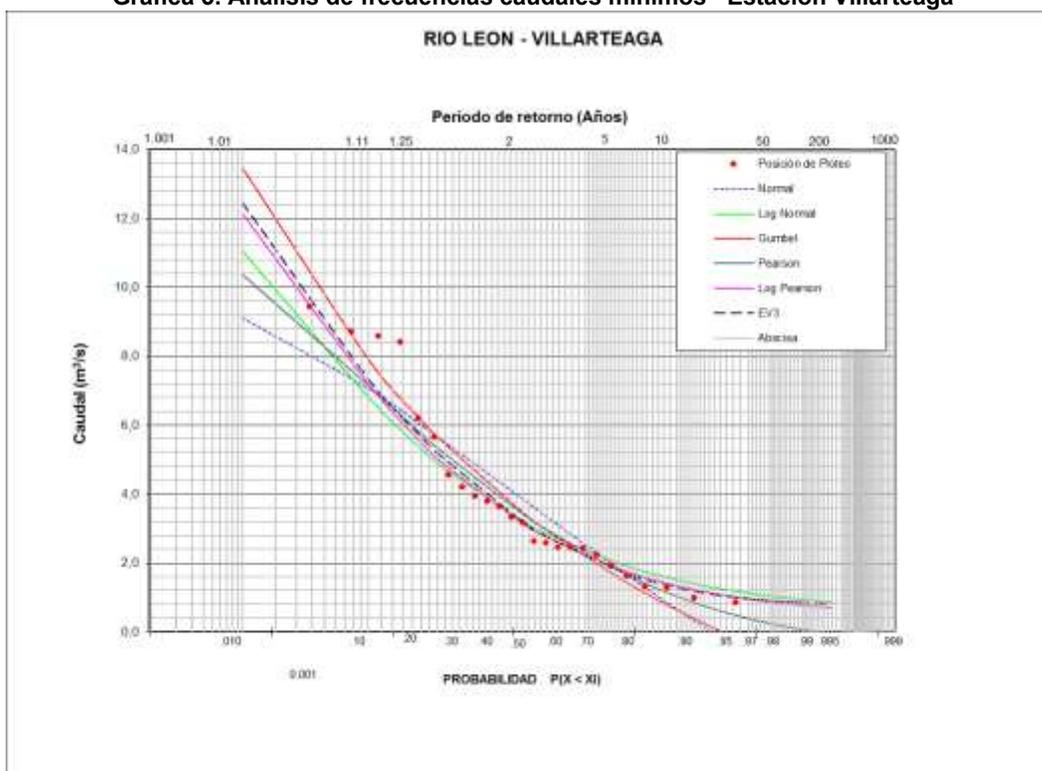
Se desarrollaron los análisis, para el período de registro de 1990 a 2014. En la Tabla 12, se presentan los valores mínimos mensuales y anuales y en la Gráfica 5, el análisis gráfico. En la Tabla 13, se presentan los resultados para períodos de retorno de 2 a 500 años.

**Tabla 12. Caudales mínimos – Estación Villarteaga**

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1990	XXX	15.99	8.60	XXX	8.60								
1991	XXX	XXX	2.89	2.64	5.00	6.91	7.77	6.92	7.40	9.22	9.11	4.20	2.64
1992	2.53	2.17	1.55	1.41	0.86	7.12	6.33	6.14	6.61	7.23	13.98	7.56	0.86
1993	6.57	3.88	3.33	3.44	4.40	12.14	10.35	8.33	4.72	9.79	10.10	8.94	3.33
1994	4.04	3.18	XXX	3.92	6.81	8.55	9.60	11.00	9.29	9.73	12.88	5.00	3.18
1995	3.40	2.57	2.24	3.11	10.54	12.41	10.73	11.24	12.02	10.04	20.50	17.04	2.24
1996	7.89	5.66	5.90	6.66	8.50	11.69	9.17	11.60	9.54	13.49	6.09	5.71	5.66
1997	5.10	3.92	2.82	2.60	4.60	6.90	8.99	6.33	7.62	5.00	XXX	3.44	2.60
1998	2.17	1.81	1.35	1.32	2.32	5.93	11.35	12.28	18.15	10.32	9.17	5.86	1.32
1999	5.10	4.72	3.64	4.48	6.65	5.81	7.34	6.85	8.84	9.00	8.00	6.66	3.64
2000	2.68	1.69	1.63	1.81	3.72	3.92	4.16	4.52	7.18	4.72	5.90	4.40	1.63
2001	3.92	2.57	1.52	0.99	1.43	4.76	4.00	3.84	5.01	4.60	4.32	4.00	0.99
2002	3.28	2.43	2.74	3.02	5.78	10.50	15.59	14.61	10.40	11.80	14.24	10.61	2.43
2003	2.34	2.02	1.91	2.08	4.10	5.56	6.35	8.11	7.99	8.65	7.56	7.05	1.91
2004	XXX	XXX	XXX	3.80	6.91	10.82	XXX	14.73	XXX	16.45	14.98	3.87	3.80
2005	3.87	2.46	2.46	4.65	17.40	16.85	17.67	17.54	21.65	20.70	20.69	28.53	2.46
2006	75.32	24.94	47.62	9.45	16.20	14.61	10.51	10.93	11.84	11.73	11.68	10.51	9.45
2007	5.87	3.96	4.56	7.35	19.18	25.43	23.13	24.04	22.83	24.94	18.07	13.81	3.96
2008	5.30	4.22	6.13	6.47	9.87	15.22	14.68	13.27	15.95	22.22	23.43	20.55	4.22
2009	10.51	6.73	4.56	4.68	8.45	10.69	12.51	12.24	9.98	9.71	14.99	7.82	4.56
2010	2.46	3.59	4.43	5.53	9.87	14.19	10.70	12.12	16.99	17.54	13.51	17.81	2.46
2011	14.10	8.41	XXX	13.35	13.40	20.92	14.28	12.03	16.44	17.09	16.52	20.06	8.41
2012	2.81	1.36	1.36	1.30	5.38	5.95	3.41	6.70	5.09	5.63	7.83	5.66	1.30
2013	XXX	XXX	8.81	9.24	8.95	10.08	10.17	12.77	15.09	15.45	15.94	8.72	8.72
2014	6.48	6.20	6.20	6.20	9.39	11.04	6.43	6.61	XXX	XXX	XXX	XXX	6.20

Fuente: IDEAM

Gráfica 5. Análisis de frecuencias caudales mínimos –Estación Villarteaga



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Tabla 13. Resultados análisis de frecuencias

TR años	NORMAL	GUMBEL	PEARSON	LOG- PEAR	LOG-NOR	EV3
2	3.86	3.48	3.43	3.15	3.21	3.20
2.33	3.41	3.01	3.02	2.79	2.89	2.81
5	1.73	1.49	1.71	1.79	1.95	1.72
10	0.67	0.64	1.04	1.35	1.52	1.28
20	-0.14	0.02	0.61	1.08	1.25	1.05
50	-0.94	-0.60	0.24	0.87	1.04	0.90
100	-1.38	-0.99	0.07	0.77	0.94	0.85
200	-1.71	-1.32	-0.06	0.70	0.86	0.81
500	-2.03	-1.70	-0.16	0.65	0.80	0.79
chi 2	0.537	-3.537	2.157	1.778	2.816	0.254

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

En la tabla se puede observar que la distribución que presenta el mejor ajuste es la de valores extremos (EV-), con un valor de Chi<sup>2</sup> de 0.254. Para un período de retorno de 5 años, el caudal mínimo es de 1.72 m<sup>3</sup>/s y para 10 años, es de 1.28 m<sup>3</sup>/s.

#### 1.7.4.2 Río León - Barranquillita

##### 1.1.1.1.8. Caudales medios

La distribución temporal de los caudales medios mensuales, es de tipo monomodal, teniendo en cuenta que durante el período Abril – Diciembre, los caudales mensuales superan la media anual, pero si se toma en forma estricta, el régimen presenta dos modos. Se observan los caudales más altos en los meses de Octubre y Noviembre con registros

de 118.3 y 115.7 m<sup>3</sup>/s respectivamente. Los valores más bajos se observan en los meses de Febrero y Marzo, con registros de 20.8 y 17.2 m<sup>3</sup>/s. El valor promedio anual es de 74.4 m<sup>3</sup>/s.

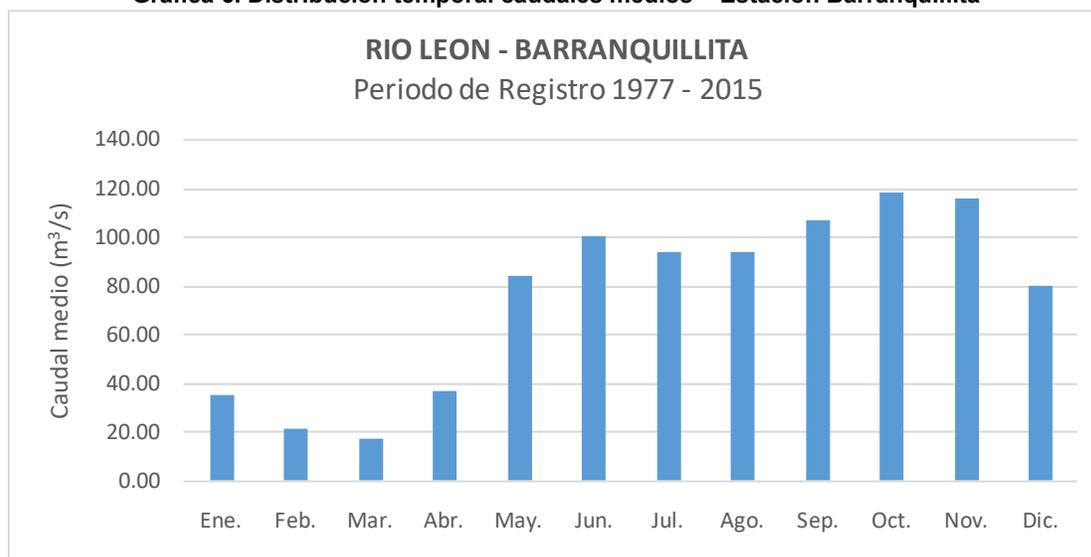
En la Tabla 14 se presentan los valores medios mensuales y en la Gráfica 6 la distribución temporal.

**Tabla 14. Caudales medios mensuales (m3/s) – Estación Barranquillita**

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1977	XXX	XXX	2.4	5.6	64.1	65.9	83.8	78.2	77.1	97.6	105.6	81.3	66.1
1978	13.0	7.7	6.8	65.8	98.1	132.6	60.9	49.2	82.6	86.0	77.3	51.6	61.0
1979	10.8	6.5	5.0	25.5	51.1	99.2	71.3	98.0	84.4	103.6	80.7	53.2	57.5
1980	29.5	9.7	5.9	5.1	24.2	45.8	84.8	62.0	84.7	128.5	92.3	59.9	52.7
1981	XXX	XXX	56.8	51.6	102.1	88.1	XXX	XXX	XXX	103.2	XXX	49.6	75.2
1982	55.0	34.5	16.2	20.3	84.7	90.4	65.4	81.7	XXX	XXX	XXX	20.8	52.1
1983	18.4	8.4	14.7	12.9	37.0	69.0	46.0	47.8	91.4	89.2	104.0	109.9	54.1
1984	43.8	64.9	XXX	18.8	52.5	90.7	92.6	83.4	92.7	136.0	144.2	65.4	80.4
1985	XXX	XXX	XXX	XXX	35.3	58.0	56.0	92.8	85.6	108.3	86.7	55.2	72.2
1986	18.2	14.6	8.8	28.1	47.5	68.3	92.5	40.4	85.4	94.2	91.1	53.1	53.5
1987	18.2	11.1	8.2	30.2	92.4	60.3	76.4	88.6	79.5	154.3	79.2	55.2	62.8
1988	17.8	16.7	8.9	36.2	85.9	90.7	95.9	143.1	112.5	147.6	128.0	96.8	81.7
1989	47.3	19.8	14.4	15.1	54.6	82.3	89.3	79.7	106.3	96.6	90.5	70.7	63.9
1990	35.7	16.4	14.4	15.6	90.7	67.6	62.1	79.0	66.4	151.8	93.8	73.6	63.9
1991	27.2	12.0	14.9	16.7	74.6	77.3	68.0	73.5	105.6	109.3	86.6	37.7	58.6
1992	14.5	12.5	7.5	12.9	70.6	63.4	71.7	81.6	99.0	106.3	107.6	84.0	61.0
1993	45.3	16.3	13.3	29.7	130.2	125.5	109.6	51.8	79.9	122.4	117.9	102.9	78.7
1994	36.4	21.6	16.7	44.7	151.7	178.2	178.9	206.1	192.5	179.0	193.6	80.9	123.4
1995	16.9	7.9	8.3	91.8	162.0	167.8	171.3	176.3	159.0	103.1	122.6	127.8	109.6
1996	90.2	69.0	57.2	69.2	99.7	111.5	132.0	89.9	XXX	XXX	XXX	XXX	89.8
1997	XXX	XXX	19.8	10.7	60.9	144.4	131.9	XXX	XXX	128.1	118.5	41.9	82.0
1998	12.2	10.4	7.2	12.3	52.3	147.5	107.0	141.6	107.2	103.7	156.2	134.6	82.7
1999	73.5	36.3	32.5	49.9	103.0	103.2	87.6	140.7	139.2	153.6	109.3	133.2	96.8
2000	42.6	27.3	14.6	34.6	128.9	126.9	95.2	105.5	138.0	79.5	130.5	91.3	84.6
2001	43.7	20.8	15.5	21.4	77.0	120.7	127.9	121.9	117.1	112.7	122.2	118.9	85.0
2002	62.5	11.8	8.2	37.4	94.1	119.0	130.2	105.9	105.8	115.9	106.7	42.4	78.3
2003	12.2	7.1	4.8	32.7	92.8	85.1	115.9	93.4	120.5	188.4	125.3	123.7	83.5
2004	15.8	9.1	5.6	29.0	74.7	126.7	79.9	86.5	117.3	115.3	88.4	52.9	66.8
2005	40.4	12.1	30.2	64.7	95.9	138.3	107.0	79.5	121.8	159.4	134.0	91.0	89.5
2006	37.5	29.3	15.5	39.7	129.2	101.1	124.9	69.2	103.8	83.0	114.6	98.5	78.9
2007	26.9	13.2	15.5	96.9	155.2	113.0	108.3	126.4	101.3	99.8	111.5	82.4	87.5
2008	25.4	37.7	35.3	26.6	113.2	106.1	99.0	100.5	142.7	198.6	149.1	79.2	92.8
2009	49.1	21.7	16.2	29.6	66.3	81.6	103.9	85.6	79.1	97.6	135.7	44.8	67.6
2010	4.4	1.7	7.9	36.5	40.6	69.8	41.8	63.7	83.4	89.6	170.7	128.4	61.5
2011	73.4	25.0	36.1	100.2	65.8	118.9	95.4	88.7	108.2	84.8	132.6	120.6	87.5
2012	53.2	19.9	20.7	68.0	74.9	88.1	51.6	67.9	70.8	105.5	105.9	68.1	66.2
2013	30.0	21.1	35.3	56.5	92.3	81.5	86.4	116.5	174.5	121.7	123.3	99.8	86.6
2014	48.8	26.8	19.7	21.9	88.8	107.1	57.0	76.4	102.8	106.5	112.5	84.0	71.0
2015	28.5	45.5	17.4	22.7	64.1	XXX	35.6						
<b>Media</b>	34.8	20.8	17.2	36.5	84.1	100.3	93.5	93.7	106.4	118.3	115.7	80.1	74.4
<b>Max</b>	90.2	69.0	57.2	100.2	162.0	178.2	178.9	206.1	192.5	198.6	193.6	134.6	206.1
<b>Min</b>	4.4	1.7	2.4	5.1	24.2	45.8	41.8	40.4	66.4	79.5	77.3	20.8	1.7

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

**Gráfica 6. Distribución temporal caudales medios – Estación Barranquillita**



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

#### 1.1.1.1.9. Curva de duración de caudales medios diarios

A partir de la serie de caudales medios diarios registrados, para el período 1977 – 2015, se desarrolló la curva de duración, que permite establecer el porcentaje de tiempo que un determinado caudal, es igualado o excedido.

La curva se desarrolla, para los caudales medios diarios y para los medios decadales, primero ordenando la serie de mayor a menor, luego se asigna un número de orden a cada dato y a continuación, se define una posición de ploteo, de acuerdo con la siguiente ecuación:

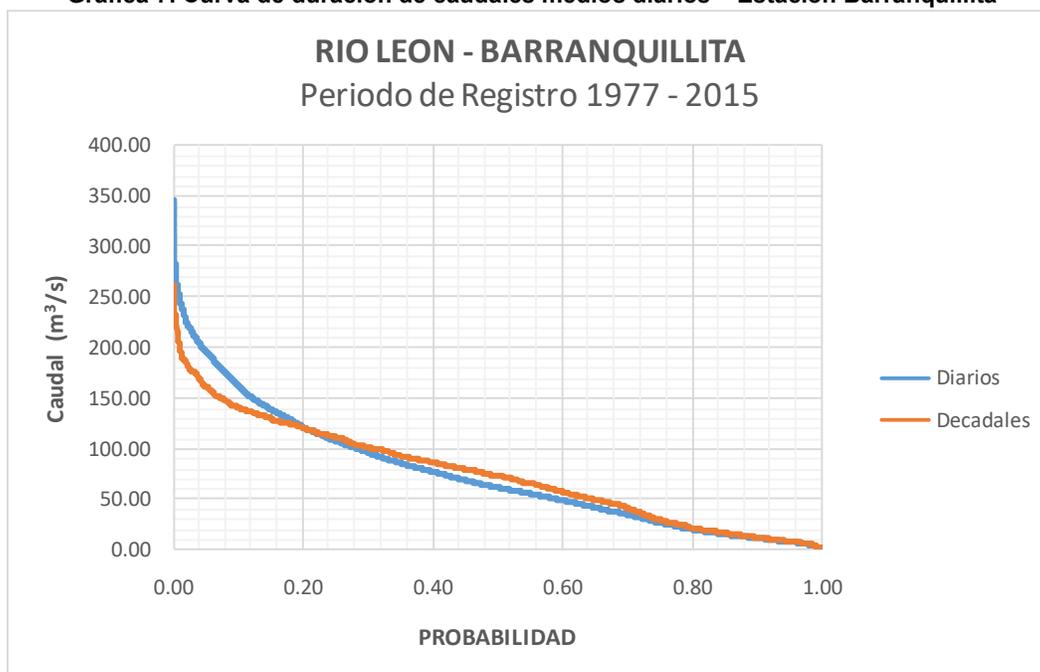
$$P_p = M/N$$

Donde:

- $P_p$  = Posición de ploteo.
- $M$  = Número de orden.
- $N$  = Número total de datos.

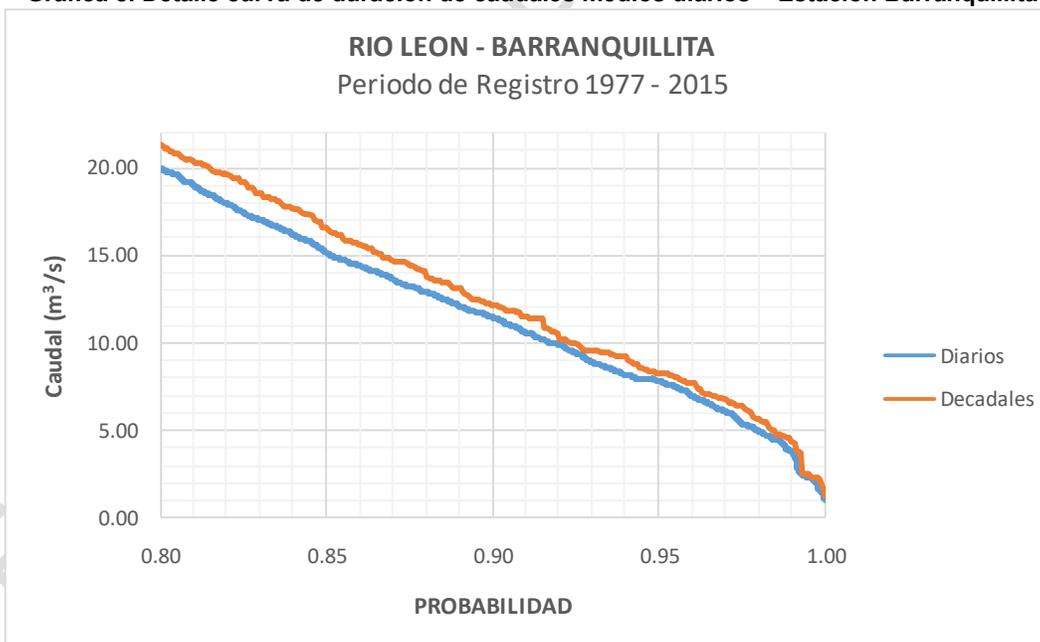
En la Gráfica 7, se presenta la curva de duración de los caudales medios diarios y decadales y en la Gráfica 8, el detalle de la misma, para excedencias superiores al 80%. En la Tabla 15, se presentan los respectivos caudales característicos.

**Gráfica 7. Curva de duración de caudales medios diarios – Estación Barranquillita**



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

**Gráfica 8. Detalle curva de duración de caudales medios diarios – Estación Barranquillita**



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

**Tabla 15. Caudales característicos – Estación Barranquillita**

DIARIOS	DECADELES
---------	-----------

CAUDALES	VALOR m <sup>3</sup> /s	CAUDALES	VALOR m <sup>3</sup> /s
Máximo	347.20	Máximo	262.02
Q <sub>50</sub>	62.40	Q <sub>50</sub>	73.49
Q <sub>75</sub>	27.20	Q <sub>75</sub>	30.58
Q <sub>90</sub>	11.70	Q <sub>90</sub>	12.48
Q <sub>95</sub>	8.00	Q <sub>95</sub>	8.46
Q <sub>97</sub>	6.50	Q <sub>97</sub>	7.04
Q <sub>99</sub>	4.50	Q <sub>99</sub>	4.78
Mínimo	1.00	Mínimo	1.27

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

En la tabla se puede observar que el caudal máximo registrado es de 347.2 m<sup>3</sup>/s, el caudal correspondiente al 50%, es de 62.40 m<sup>3</sup>/s, el caudal correspondiente al 95 % es de 8.0 m<sup>3</sup>/s el caudal mínimo registrado es de 1.0 m<sup>3</sup>/s.

#### 1.1.1.1.10. Caudales máximos anuales

A partir de las series de valores máximos anuales, se desarrollaron los análisis de frecuencias, por medio de las distribuciones Normal, Gumbel, Pearson Tipo III, Log-Pearson Tipo III, Log-Normal y de Extremos (EV3) y se ajustaron a la distribución Chi<sup>2</sup>, para determinar el mejor ajuste y de acuerdo con este valor, se seleccionó la que presentó el menor valor.

Estos análisis muestran la probabilidad de que un determinado evento, pueda ocurrir en un lapso establecido, que puede variar de 2 a miles de años. Para el estudio, se tomaron períodos de retorno de 2 a 500 años, que permiten la toma de decisiones para la construcción de la mayoría de obras de infraestructura en la cuenca, tales como estructuras de captación, puentes, pontones, diques de protección contra inundaciones etc.

Se desarrollaron los análisis, para el período de registro de 1977 a 2015. En la Tabla 16, se presentan los valores máximos mensuales y anuales y en la Gráfica 9 el análisis gráfico. En la Tabla 17, se presentan los resultados para períodos de retorno de 2 a 500 años.

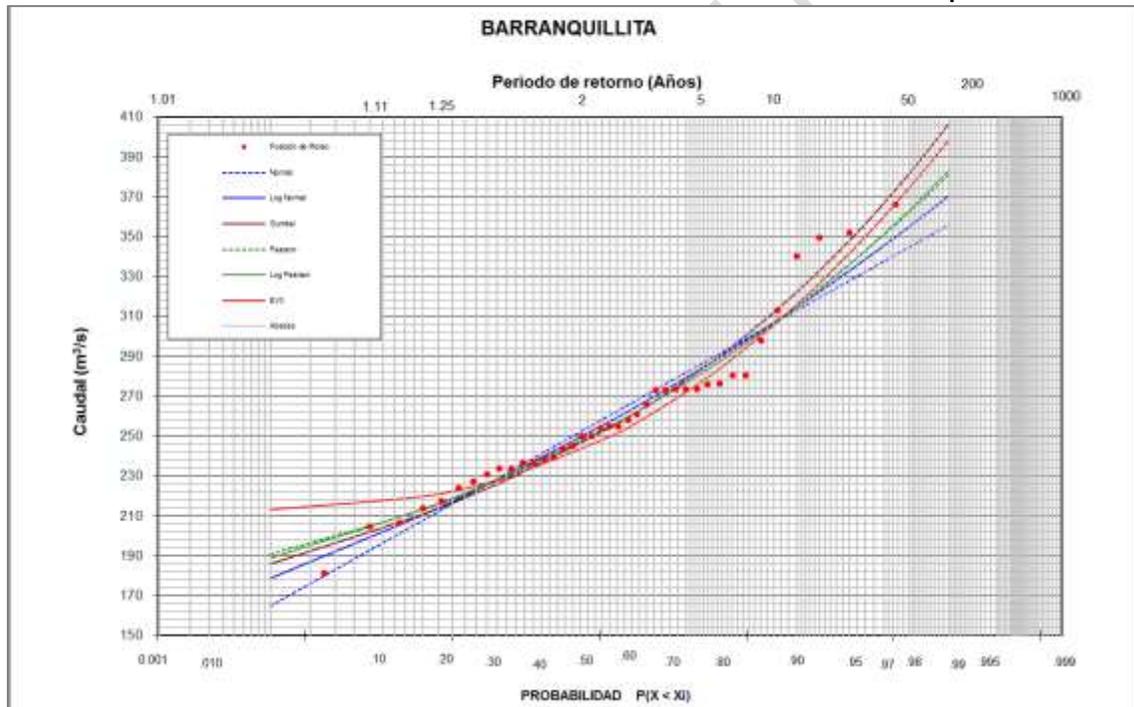
**Tabla 16. Caudales máximos – Estación Barranquillita**

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1977	12,70	4,50	2,70	18,50	230,80	191,70	198,00	167,20	181,00	218,40	175,00	233,60	233,60
1978	21,50	15,10	20,30	236,40	205,20	218,40	166,00	93,00	220,00	170,50	131,80	134,80	236,40
1979	18,50	8,60	6,00	164,80	100,00	194,50	185,40	185,40	174,20	239,20	220,00	120,40	239,20
1980	73,60	14,10	9,40	8,80	54,00	94,00	205,20	180,20	206,00	206,60	178,00	126,40	206,60
1981	XXX	59,00	160,90	213,60	200,40	169,00	XXX	155,00	209,00	152,40	236,60	72,40	236,60
1982	160,90	106,00	30,10	54,00	212,80	195,90	144,80	192,40	286,00	300,00	340,00	39,50	340,00
1983	62,50	13,50	49,00	42,00	85,20	157,40	114,40	124,00	206,00	188,20	213,60	186,10	213,60
1984	104,80	93,00	XXX	41,50	142,00	162,30	198,80	163,00	174,20	217,60	209,00	136,00	217,60
1985	179,40	130,00	134,40	145,20	126,40	176,50	121,60	178,80	181,70	224,00	210,20	174,20	224,00
1986	64,00	56,40	12,50	156,70	100,00	233,60	228,00	81,70	213,60	233,60	166,60	215,20	233,60
1987	40,00	15,10	10,20	181,70	191,00	150,00	153,00	161,60	204,40	202,80	160,90	132,40	204,40
1988	23,90	74,20	11,50	87,30	202,80	163,60	201,20	204,40	193,10	238,50	212,00	166,00	238,50
1989	144,80	61,60	25,20	36,80	161,60	165,40	227,20	181,70	193,10	178,00	190,30	179,50	227,20
1990	194,00	32,20	24,40	44,50	245,00	180,40	184,00	219,60	144,00	243,70	185,00	219,60	245,00
1991	64,10	18,60	56,00	56,00	197,40	176,20	150,00	216,70	239,70	223,70	243,40	117,30	243,40
1992	24,60	37,60	18,80	59,00	231,00	206,80	193,90	206,80	219,30	219,30	184,50	195,30	231,00
1993	105,00	24,60	44,80	75,30	219,30	261,10	238,50	88,30	224,50	208,00	193,30	221,00	261,10
1994	61,20	37,20	152,80	173,70	261,10	273,50	273,50	268,90	273,50	267,30	276,00	143,00	276,00
1995	28,00	11,80	11,80	221,00	221,00	258,00	222,80	222,80	235,50	191,30	198,00	193,90	258,00

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1996	151,40	177,10	64,50	143,00	273,50	214,90	265,80	218,40	XXX	XXX	XXX	XXX	273,50
1997	XXX	XXX	27,10	14,40	157,00	224,50	227,10	XXX	XXX	265,80	235,50	143,00	265,80
1998	16,60	22,40	16,00	41,00	167,60	247,80	206,70	254,90	206,70	210,00	249,90	240,70	254,90
1999	182,00	51,80	77,00	97,80	242,80	203,40	183,90	244,30	235,70	233,60	242,80	249,90	249,90
2000	167,60	136,80	45,20	92,60	235,70	233,60	177,50	206,70	250,60	140,90	208,70	254,90	254,90
2001	123,70	33,00	25,80	55,30	163,00	174,20	240,70	206,70	187,10	193,50	246,40	249,90	249,90
2002	251,00	16,72	10,00	226,20	264,70	270,50	273,50	188,80	241,80	232,60	244,60	98,32	273,50
2003	46,80	8,10	8,10	160,20	230,00	250,00	288,80	253,00	311,60	312,80	297,20	300,80	312,80
2004	26,52	20,37	8,00	193,30	245,50	260,80	226,20	273,50	233,50	232,60	141,30	123,00	273,50
2005	243,60	16,72	170,30	234,40	272,50	266,60	280,30	228,90	260,80	268,60	280,30	273,50	280,30
2006	192,40	88,25	66,64	155,10	270,50	253,90	264,70	209,60	270,50	275,40	272,50	280,30	280,30
2007	120,40	34,18	64,00	244,60	276,40	216,00	207,80	248,20	224,30	240,00	248,20	203,20	276,40
2008	55,75	106,80	225,80	125,90	297,50	240,10	305,90	291,90	357,30	366,00	304,50	215,30	366,00
2009	218,00	38,61	29,74	151,40	261,10	212,70	294,70	266,70	310,10	228,40	349,60	146,80	349,60
2010	16,10	10,21	105,30	185,90	127,10	165,40	136,10	177,40	153,90	246,90	351,80	273,20	351,80
2011	199,50	50,27	117,70	297,90	296,90	229,00	229,00	237,90	291,80	224,70	206,00	254,20	297,90
2012	156,00	35,20	30,90	119,60	225,50	205,20	99,62	146,30	206,90	273,20	253,30	215,20	273,20
2013	127,10	83,14	130,30	241,50	226,40	185,90	172,90	227,30	245,10	256,10	250,60	273,20	273,20
2014	181,30	78,17	28,30	40,79	193,80	241,50	107,60	227,30	243,30	230,80	254,20	236,10	254,20
2015	55,79	96,32	22,97	43,60	181,30	XXX	181,30						

Fuente: IDEAM

Gráfica 9. Análisis de frecuencias caudales máximos – Estación Barranquillita



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Tabla 17. Resultados análisis de frecuencias. Caudales mínimos anuales

TR años	NORMAL	GUMBEL	PEARSON	LOG-PEAR	LOG-NOR	EV3
2	260,48	254,12	254,69	254,97	257,30	249,68
2,33	270,87	265,12	265,02	265,07	267,70	259,69
5	295,03	294,98	292,09	291,59	293,56	288,72
10	313,11	322,03	315,27	314,63	314,53	315,82
20	328,04	347,99	336,41	336,06	332,96	341,67
25	332,38	356,22	342,92	342,76	338,53	349,78
50	344,83	381,58	362,47	363,18	354,99	374,47
100	356,02	406,75	381,24	383,25	370,48	398,48

TR años	NORMAL	GUMBEL	PEARSON	LOG-PEAR	LOG-NOR	EV3
200	366,27	431,83	399,42	403,18	385,25	421,93
500	378,68	464,92	422,78	429,56	403,93	452,23
Chi 2	15,90	7,86	9,43	9,19	10,83	13,87

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

En la tabla se puede observar que la distribución que presenta el mejor ajuste es la Gumbel, con un valor de Chi<sup>2</sup> de 7.86. Para un período de retorno de 100 años, el caudal máximo es de 406.75 m<sup>3</sup>/s y para 500 años, es de 464.92 m<sup>3</sup>/s.

#### 1.1.1.1.11. Caudales mínimos anuales

A partir de las series de valores mínimos anuales, se desarrollaron los análisis de frecuencias, por medio de las distribuciones Normal, Gumbel, Pearson Tipo III, Log-Pearson Tipo III, Log-Normal y de Extremos (EV3) y se ajustaron a la distribución Chi<sup>2</sup>, para determinar el mejor ajuste y de acuerdo con este valor, se seleccionó la que presentó el menor valor.

Estos análisis muestran la probabilidad de que un determinado evento, pueda ocurrir en un lapso establecido, que puede variar de 2 a miles de años. Para el estudio, se tomaron períodos de retorno de 2 a 500 años, que permiten la toma de decisiones para determinar la disponibilidad de agua para el proyecto, que normalmente para proyectos de adecuación de tierras es de 5 años.

Se desarrollaron los análisis, para el período de registro de 1990 a 2014. En la Tabla 18, se presentan los valores mínimos mensuales y anuales y en la Gráfica 10, el análisis gráfico. En la Tabla 19, se presentan los resultados para períodos de retorno de 2 a 500 años.

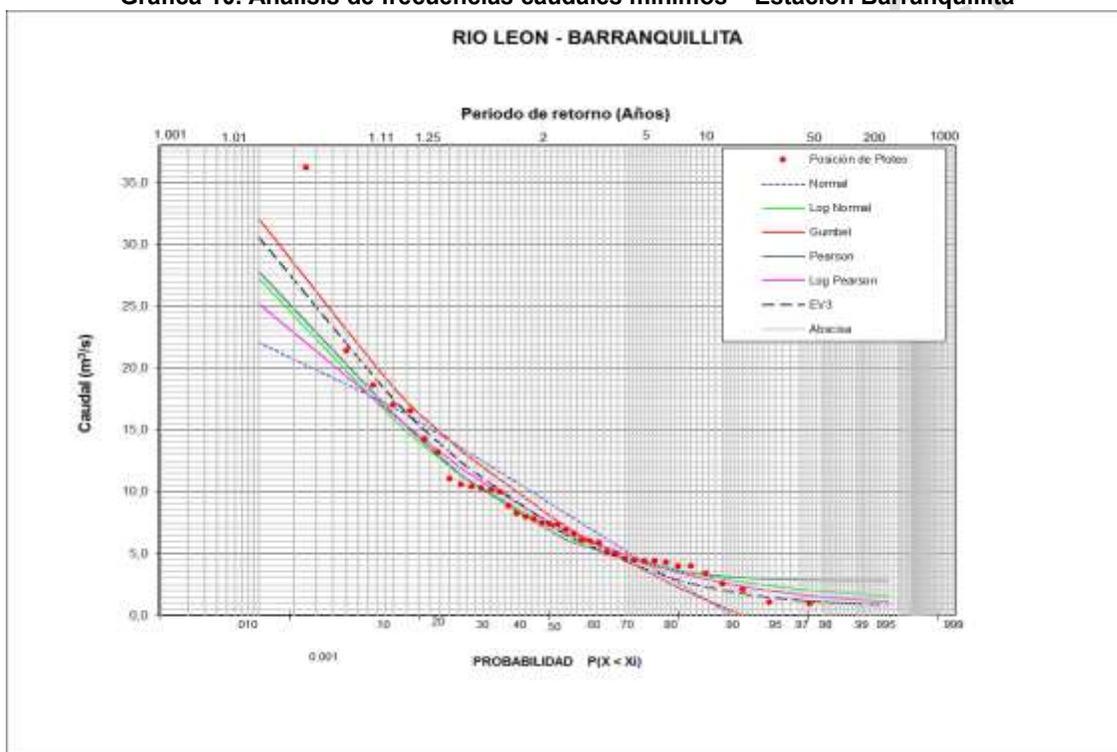
Tabla 18. Caudales mínimos – Estación Barranquillita

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1977	XXX	XXX	2.30	2.10	7.00	31.60	24.90	22.80	29.70	55.90	59.00	19.80	2.10
1978	8.70	5.60	4.60	5.90	44.90	61.50	31.40	31.60	37.00	45.90	50.90	18.80	4.60
1979	7.00	5.80	4.30	6.60	28.80	38.90	35.20	34.50	48.40	45.30	36.80	23.70	4.30
1980	14.50	6.90	4.80	4.00	7.60	18.80	35.40	29.40	41.30	62.40	49.40	27.00	4.00
1981	XXX	XXX	10.30	15.20	51.90	52.90	XXX	XXX	XXX	44.70	XXX	38.00	10.30
1982	6.30	5.90	8.20	6.30	31.90	46.90	41.50	41.30	XXX	XXX	XXX	16.70	5.90
1983	1.00	7.10	6.30	2.30	13.10	38.90	25.10	27.10	27.80	36.00	54.30	49.00	1.00
1984	28.60	49.70	XXX	11.10	17.30	46.80	37.20	47.10	38.60	62.90	63.20	37.30	11.10
1985	XXX	XXX	XXX	XXX	10.40	32.30	29.90	45.10	37.50	46.20	43.10	23.50	10.40
1986	10.60	8.20	6.60	7.70	20.90	28.60	51.30	25.40	37.30	52.20	49.50	26.60	6.60
1987	12.50	9.40	7.40	7.00	43.00	30.80	44.10	53.70	37.70	107.70	41.00	22.40	7.00
1988	13.00	10.60	7.80	8.20	28.50	43.10	56.50	78.70	57.20	68.10	77.20	49.40	7.80
1989	20.90	13.70	11.50	10.60	21.60	36.30	42.40	49.50	53.20	48.60	42.60	24.20	10.60
1990	17.50	7.50	10.30	13.10	22.20	36.90	36.30	35.10	41.90	58.00	46.00	22.40	7.50
1991	11.30	8.70	7.10	6.10	26.50	37.00	34.60	41.80	36.60	46.20	46.80	16.50	6.10
1992	6.50	6.50	4.50	4.00	25.80	31.90	36.70	36.70	22.30	48.10	43.30	28.40	4.00
1993	24.10	11.40	8.00	10.20	39.10	51.10	43.30	42.40	38.10	51.90	49.40	46.20	8.00
1994	18.80	11.00	9.50	9.90	36.70	116.30	112.10	135.80	112.80	105.60	114.80	5.00	5.00
1995	14.00	6.50	4.50	9.50	105.00	111.50	118.00	130.00	98.80	55.20	75.30	88.30	4.50
1996	46.70	36.20	49.50	43.10	40.00	54.00	74.10	59.00	XXX	XXX	XXX	XXX	36.20
1997	XXX	XXX	11.90	8.20	7.40	117.90	67.30	XXX	XXX	58.80	52.60	18.40	7.40
1998	7.80	6.80	4.40	5.40	15.00	46.30	51.80	37.00	56.90	54.00	64.80	72.20	4.40
1999	35.80	25.80	21.40	35.80	49.60	33.00	54.00	63.50	87.40	107.50	58.40	62.80	21.40
2000	22.40	4.40	4.40	12.80	41.00	62.80	45.20	77.00	77.00	42.00	62.80	42.60	4.40
2001	27.60	13.00	12.20	8.30	19.80	77.00	77.00	97.80	58.40	54.00	62.80	43.50	8.30
2002	16.11	8.80	6.00	6.80	26.52	44.90	53.78	56.90	28.75	34.60	32.77	26.52	6.00

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
2003	4.50	5.90	3.40	3.60	33.70	47.30	50.70	45.00	33.90	85.80	53.80	37.50	3.40
2004	2.60	8.00	4.20	4.20	26.52	27.26	32.21	31.36	57.93	71.45	38.55	14.37	2.60
2005	7.40	8.60	8.60	24.47	36.26	50.90	52.10	34.60	32.82	65.06	50.66	32.52	7.40
2006	17.02	12.50	10.00	15.55	28.38	45.86	44.90	30.61	38.34	28.38	53.18	32.72	10.00
2007	14.16	11.14	10.21	18.24	54.55	61.63	52.10	51.62	47.78	39.59	55.03	36.26	10.21
2008	14.99	13.22	14.32	13.80	31.68	53.65	43.84	52.33	51.36	73.24	70.30	48.47	13.22
2009	20.31	16.33	12.74	13.80	24.44	36.98	48.03	35.97	33.94	37.59	57.95	8.87	8.87
2010	2.18	1.09	1.60	3.86	10.06	24.52	12.16	20.73	32.72	22.87	57.66	38.28	1.09
2011	26.93	19.84	18.61	32.72	33.17	62.31	47.24	46.14	47.60	39.62	69.89	59.32	18.61
2012	16.64	5.10	16.21	14.10	42.19	44.67	31.36	35.36	34.56	43.77	46.89	30.61	5.10
2013	19.50	17.06	17.49	30.90	37.12	43.77	48.18	55.39	70.12	60.39	58.71	37.78	17.06
2014	26.38	19.61	17.38	16.53	42.54	57.86	41.14	40.46	66.94	58.28	52.00	32.26	16.53
2015	23.23	18.58	14.30	15.50	28.59	XXX	14.30						

Fuente: IDEAM

Gráfica 10. Análisis de frecuencias caudales mínimos – Estación Barranquillita



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Tabla 19. Resultados análisis de frecuencias

TR años	NORMAL	GUMBEL	PEARSON	LOG- PEAR	LOG-NOR	EV3
2	8.65	7.63	6.51	7.18	6.89	6.96
2.33	7.48	6.48	5.71	6.30	6.11	5.96
5	3.20	2.77	3.78	3.78	3.94	3.18
10	0.49	0.70	3.18	2.66	2.98	2.06
20	-1.58	-0.81	2.95	2.01	2.41	1.48
50	-3.61	-2.35	2.85	1.50	1.95	1.09
100	-4.74	-3.29	2.84	1.27	1.74	0.95
200	-5.59	-4.10	2.83	1.12	1.60	0.86
500	-6.39	-5.02	2.83	0.99	1.47	0.81
chi 2	-1.989	182.536	4.382	2.222	2.627	2.978

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

En la tabla se puede observar que la distribución que presenta el mejor ajuste es Log - Pearson, con un valor de  $\chi^2$  de 2.22. Para un período de retorno de 5 años, el caudal mínimo es de 3.78 m<sup>3</sup>/s y para 10 años, es de 2.66 m<sup>3</sup>/s.

### 1.7.4.3 Río Chigorodó – La Cerrazón

#### 1.1.1.1.12. Caudales medios

La distribución temporal de los caudales medios mensuales, es de tipo bimodal, observándose los caudales más altos en los meses de Mayo y Junio en el primer semestre del año con registros de 7.97 y 6.45 m<sup>3</sup>/s respectivamente y Octubre y Noviembre en el segundo, con registros de 6.97 y 6.61 m<sup>3</sup>/s. Los valores más bajos se observan en los meses de febrero y marzo, con registros de 3.45 y 3.25 m<sup>3</sup>/s. El valor promedio anual es de 5.71 m<sup>3</sup>/s.

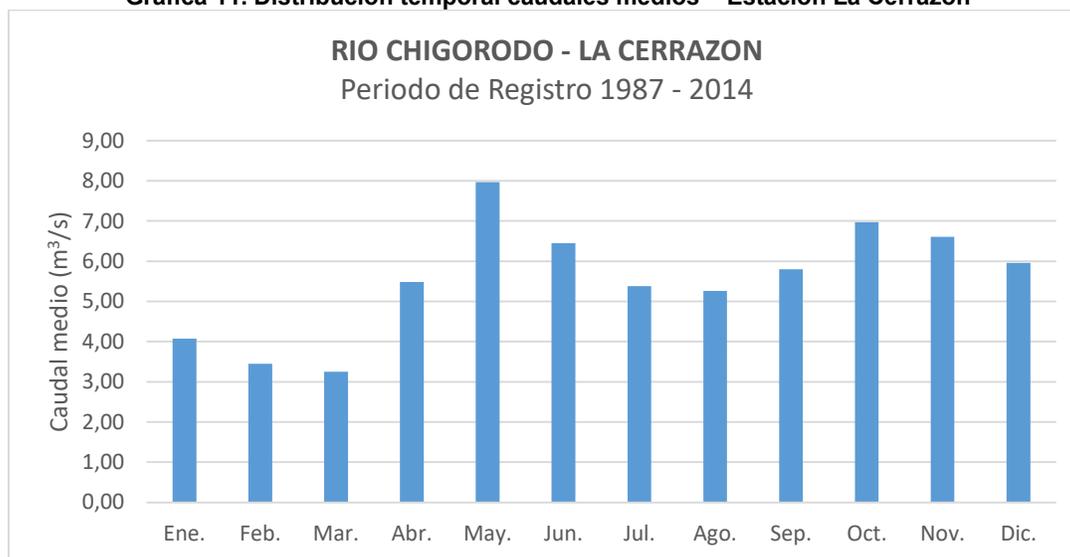
En la Tabla 20 se presentan los valores medios mensuales y en la Gráfica 11 la distribución temporal.

Tabla 20. Caudales medios mensuales (m<sup>3</sup>/s) – Estación La Cerrazón

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1987	3.39	4.36	2.57	7.37	9.08	5.88	5.52	5.34	3.62	10.06	7.04	7.53	5.98
1988	3.48	7.52	0.52	6.73	8.52	4.94	6.41	12.67	5.76	8.34	9.40	7.46	6.81
1989	4.11	0.95	1.44	2.20	10.84	13.35	9.13	6.14	7.36	6.71	6.52	6.43	6.26
1990	3.26	2.33	1.69	2.46	6.68	4.02	2.98	4.93	6.17	9.76	9.98	3.91	4.85
1991	2.80	2.25	2.59	2.84	6.32	7.67	3.36	2.92	3.94	4.31	5.77	4.83	4.13
1992	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	6.15	5.48	XXX	XXX	XXX	5.82
1993	7.39	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	11.56	8.32	9.09
1994	3.96	XXX	XXX	5.04	8.04	6.67	4.68	5.66	7.39	XXX	XXX	6.11	5.94
1995	2.35	2.14	2.55	5.44	7.49	7.35	4.89	7.02	6.19	9.27	4.54	8.88	5.68
1996	7.66	6.12	5.48	9.72	10.40	XXX	14.26	5.57	6.91	5.49	5.59	3.66	7.35
2000	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	4.44	3.74	2.54	XXX	XXX	XXX	XXX	3.57
2003	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	4.30	10.96	7.63
2004	3.81	2.40	2.07	4.12	6.38	6.24	4.49	4.93	3.50	XXX	XXX	XXX	4.22
2005	XXX	XXX	XXX	4.82	6.51	6.45	5.64	XXX	6.62	6.77	6.84	4.26	5.99
2006	4.00	2.47	1.65	4.18	7.91	7.44	XXX	XXX	6.00	4.43	3.39	5.75	4.72
2007	XXX	XXX	2.30	3.93	5.25	5.14	5.52	5.25	6.24	5.11	5.52	2.93	4.72
2008	2.08	5.37	2.67	5.90	11.39	7.94	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	2.75	5.44
2009	4.36	3.28	4.36	5.82	9.29	4.59	5.50	3.57	5.16	7.05	5.84	3.12	5.16
2010	1.77	1.45	2.81	4.73	4.25	4.77	3.06	3.38	5.40	6.00	6.19	8.37	4.35
2011	5.43	3.75	4.66	10.25	8.59	4.81	4.54	3.66	7.98	XXX	XXX	XXX	5.96
2012	XXX	XXX	XXX	XXX	4.87	XXX	2.29	3.06	2.31	XXX	XXX	XXX	3.14
2013	XXX	XXX	10.45	7.60	XXX	XXX	XXX	6.61	8.41	7.29	XXX	XXX	8.07
2014	5.38	3.94	4.22	5.57	11.62	7.90	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	6.44
Media	4.08	3.45	3.25	5.48	7.97	6.45	5.38	5.26	5.80	6.97	6.61	5.95	5.71
Max	7.66	7.52	10.45	10.25	11.62	13.35	14.26	12.67	8.41	10.06	11.56	10.96	14.26
Min	1.77	0.95	0.52	2.20	4.25	4.02	2.29	2.54	2.31	4.31	3.39	2.75	0.52

Fuente: IDEAM

**Gráfica 11. Distribución temporal caudales medios – Estación La Cerrazón**



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

#### **1.1.1.1.13. Curva de duración de caudales medios diarios**

A partir de la serie de caudales medios diarios registrados, para el período 1987 – 2014, se desarrolló la curva de duración, que permite establecer el porcentaje de tiempo que un determinado caudal, es igualado o excedido.

La curva se desarrolla, para los caudales medios diarios y para los medios decadales, primero ordenando la serie de mayor a menor, luego se asigna un número de orden a cada dato y a continuación, se define una posición de ploteo, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$P_p = M/N$$

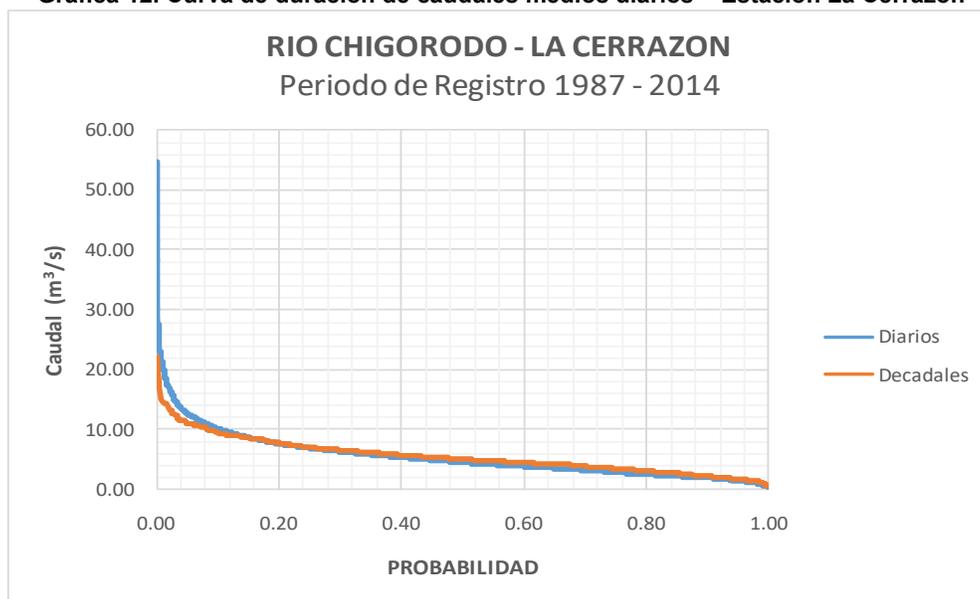
Donde:

- $P_p$  = Posición de ploteo.
- $M$  = Número de orden.
- $N$  = Número total de datos.

En la Gráfica 12, se presenta la curva de duración de los caudales medios diarios y decadales y en la Gráfica 13, el detalle de la misma, para excedencias superiores al 80%.

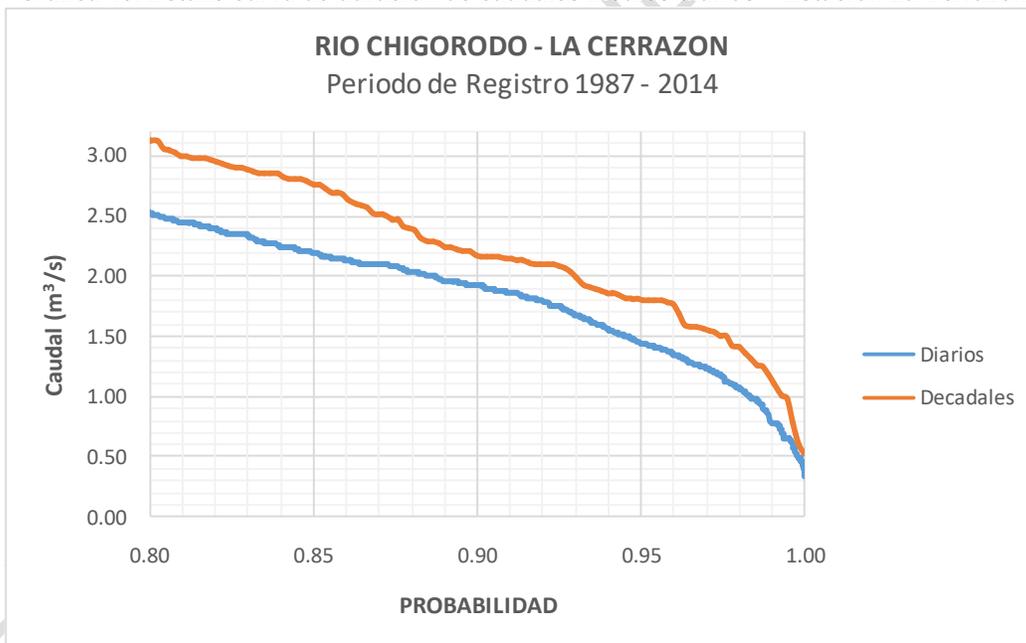
En la Tabla 21, se presentan los respectivos caudales característicos.

**Gráfica 12. Curva de duración de caudales medios diarios – Estación La Cerrazón**



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

**Gráfica 13. Detalle curva de duración de caudales medios diarios – Estación La Cerrazón**



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

**Tabla 21. Caudales característicos – Estación La Cerrazón**

DIARIOS		DECADELES	
CAUDALES	VALOR m³/s	CAUDALES	VALOR m³/s
Máximo	54.65	Máximo	22.18
Q <sub>50</sub>	4.55	Q <sub>50</sub>	5.16
Q <sub>75</sub>	2.89	Q <sub>75</sub>	3.54
Q <sub>90</sub>	1.95	Q <sub>90</sub>	2.22

Q <sub>95</sub>	1.51	Q <sub>95</sub>	1.82
Q <sub>97</sub>	1.29	Q <sub>97</sub>	1.58
Q <sub>99</sub>	0.98	Q <sub>99</sub>	1.26
Mínimo	0.34	Mínimo	0.52

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

En la tabla se puede observar que el caudal máximo registrado es de 54.65 m<sup>3</sup>/s, el caudal correspondiente al 50%, es de 4.45 m<sup>3</sup>/s, el caudal correspondiente al 95 % es de 1.51 m<sup>3</sup>/s el caudal mínimo registrado es de 0.34 m<sup>3</sup>/s.

#### 1.1.1.1.14. Caudales máximos anuales

A partir de las series de valores máximos anuales, se desarrollaron los análisis de frecuencias, por medio de las distribuciones Normal, Gumbel, Pearson Tipo III, Log-Pearson Tipo III, Log-Normal y de Extremos (EV3) y se ajustaron a la distribución Chi<sup>2</sup>, para determinar el mejor ajuste y de acuerdo con este valor, se seleccionó la que presentó el menor valor.

Estos análisis muestran la probabilidad de que un determinado evento, pueda ocurrir en un lapso establecido, que puede variar de 2 a miles de años. Para el estudio, se tomaron períodos de retorno de 2 a 500 años, que permiten la toma de decisiones para la construcción de la mayoría de obras de infraestructura en la cuenca, tales como estructuras de captación, puentes, pontones, diques de protección contra inundaciones etc.

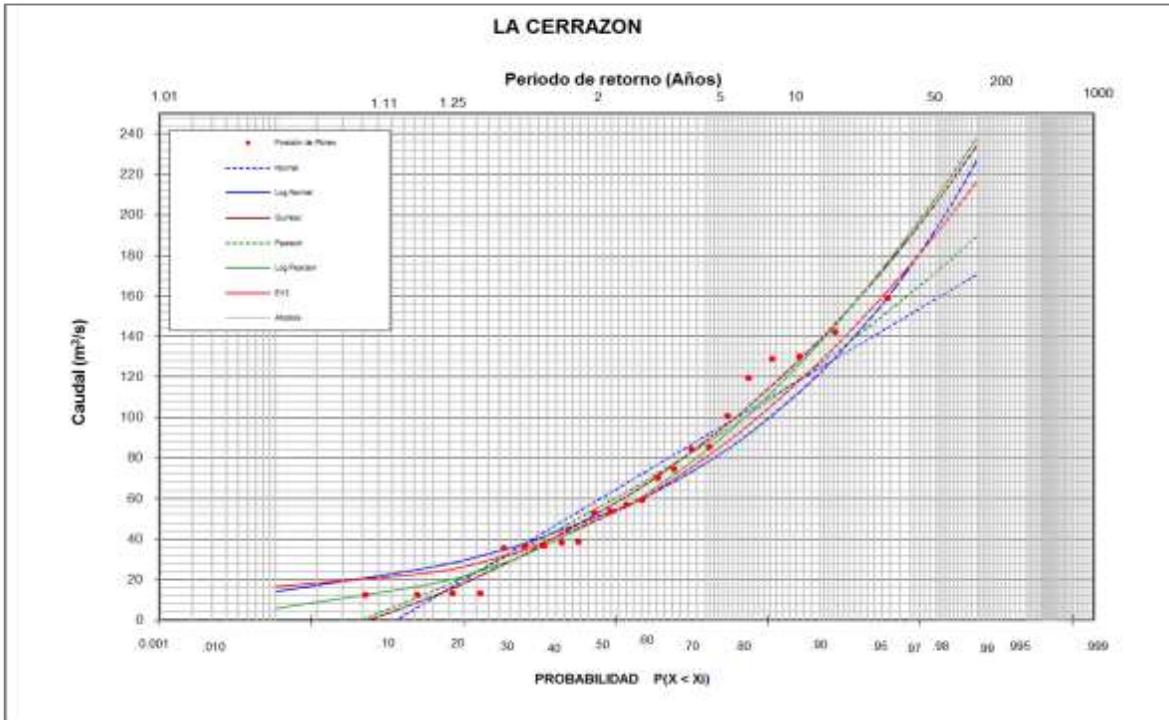
Se desarrollaron los análisis, para el período de registro de 1987 a 2015. En la Tabla 22, se presentan los valores máximos mensuales y anuales y en la Gráfica 14, el análisis gráfico. En la Tabla 23, se presentan los resultados para períodos de retorno de 2 a 500 años.

Tabla 22. Caudales máximos – Estación Le Cerrazón

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1987	37,40	43,16	23,00	65,06	70,50	52,92	50,32	68,03	45,64	68,52	23,00	25,96	70,50
1988	6,00	19,20	1,00	81,66	71,01	38,36	85,50	78,15	75,60	77,64	39,32	75,60	85,50
1989	49,80	3,76	18,84	15,60	74,58	71,52	55,00	35,00	73,05	27,48	45,12	41,24	74,58
1990	11,04	10,28	11,80	43,34	55,20	37,80	21,00	29,00	53,52	57,18	59,32	23,85	59,32
1991	9,90	11,23	39,68	14,00	31,80	15,50	8,88	29,40	50,14	43,76	53,10	10,38	53,10
1992	3,00	1,21	XXX	4,88	9,25	10,66	10,30	8,65	8,19	9,95	19,46	57,07	57,07
1993	63,08	13,26	11,10	25,27	13,80	39,40	10,43	12,18	80,27	84,22	83,76	66,54	84,22
1994	19,30	2,78	55,40	13,86	18,56	29,84	11,83	56,28	54,12	119,60	52,81	58,44	119,60
1995	8,80	2,50	17,00	96,30	100,00	98,80	33,40	117,70	24,00	108,80	27,20	130,00	130,00
1996	68,60	14,20	14,20	99,60	129,10	XXX	93,00	115,60	62,60	73,90	68,20	25,40	129,10
2000	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	46,54	53,90	22,82	XXX	XXX	XXX	XXX	53,90
2003	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	100,90	100,90
2004	10,98	6,09	4,38	11,53	12,99	12,40	12,99	13,29	8,26	XXX	XXX	XXX	13,29
2005	XXX	XXX	XXX	XXX	12,69	11,80	11,53	XXX	XXX	11,53	12,40	9,09	12,69
2006	7,62	11,53	7,20	11,53	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	11,25	12,69	XXX	12,69
2007	XXX	XXX	11,53	10,98	XXX	XXX	12,69	13,29	10,70	9,98	12,10	12,69	13,29
2008	8,14	117,40	44,25	158,90	91,31	72,68	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	32,38	158,90
2009	77,85	116,10	87,17	142,30	122,50	24,70	79,93	24,18	60,29	71,79	36,06	24,84	142,30
2010	29,74	8,03	28,20	29,22	37,70	33,32	31,78	27,64	33,32	38,80	38,25	38,80	38,80
2011	37,16	23,72	19,73	38,25	23,72	23,72	17,81	21,16	XXX	XXX	XXX	XXX	38,25
2012	XXX	XXX	XXX	XXX	17,81	XXX	XXX	34,96	35,51	XXX	XXX	XXX	35,51
2013	XXX	XXX	36,61	36,61	XXX	XXX	XXX	20,20	32,81	XXX	XXX	XXX	36,61
2014	34,42	8,58	12,32	30,25	36,61	36,61	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	36,61

Fuente: IDEAM

Gráfica 14. Análisis de frecuencias caudales máximos – Estación La Cerrazón



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Tabla 23. Resultados análisis de frecuencias

TR años	NORMAL	GUMBEL	PEARSON	LOG-PEAR	LOG-NOR	EV3
2	67,68	61,06	63,37	56,53	56,63	56,03
2,33	78,89	73,57	74,65	68,59	65,86	66,83
5	104,97	107,51	103,08	103,68	93,60	98,17
10	124,49	138,27	126,47	136,75	121,76	127,41
20	140,59	167,78	147,18	168,48	151,28	155,31
25	145,29	177,14	153,47	178,46	161,16	164,07
50	158,72	205,97	172,08	208,76	193,14	190,70
100	170,80	234,59	189,64	238,06	227,30	216,61
200	181,85	263,11	206,40	266,39	263,82	241,93
500	195,25	300,73	227,60	302,35	316,02	274,62
Chi 2	154,23	127,93	573,79	21,62	56,98	38,88

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

En la Tabla anterior se puede observar que la distribución que presenta el mejor ajuste es la de Log - Pearson Tipo III, con un valor de Chi<sup>2</sup> de 21.62. Para un periodo de retorno de 100 años, el caudal máximo es de 238.06 m<sup>3</sup>/s y para 500 años, es de 302.35 m<sup>3</sup>/s.

#### 1.1.1.15. Caudales mínimos anuales

A partir de las series de valores mínimos anuales, se desarrollaron los análisis de frecuencias, por medio de las distribuciones Normal, Gumbel, Pearson Tipo III, Log-Pearson Tipo III, Log-Normal y de Extremos (EV3) y se ajustaron a la distribución Chi<sup>2</sup>, para determinar el mejor ajuste y de acuerdo con este valor, se seleccionó la que presentó el menor valor.

Estos análisis muestran la probabilidad de que un determinado evento, pueda ocurrir en un lapso establecido, que puede variar de 2 a miles de años. Para el estudio, se tomaron períodos de retorno de 2 a 500 años, que permiten la toma de decisiones para determinar la disponibilidad de agua para el proyecto, que normalmente para proyectos de adecuación de tierras es de 5 años.

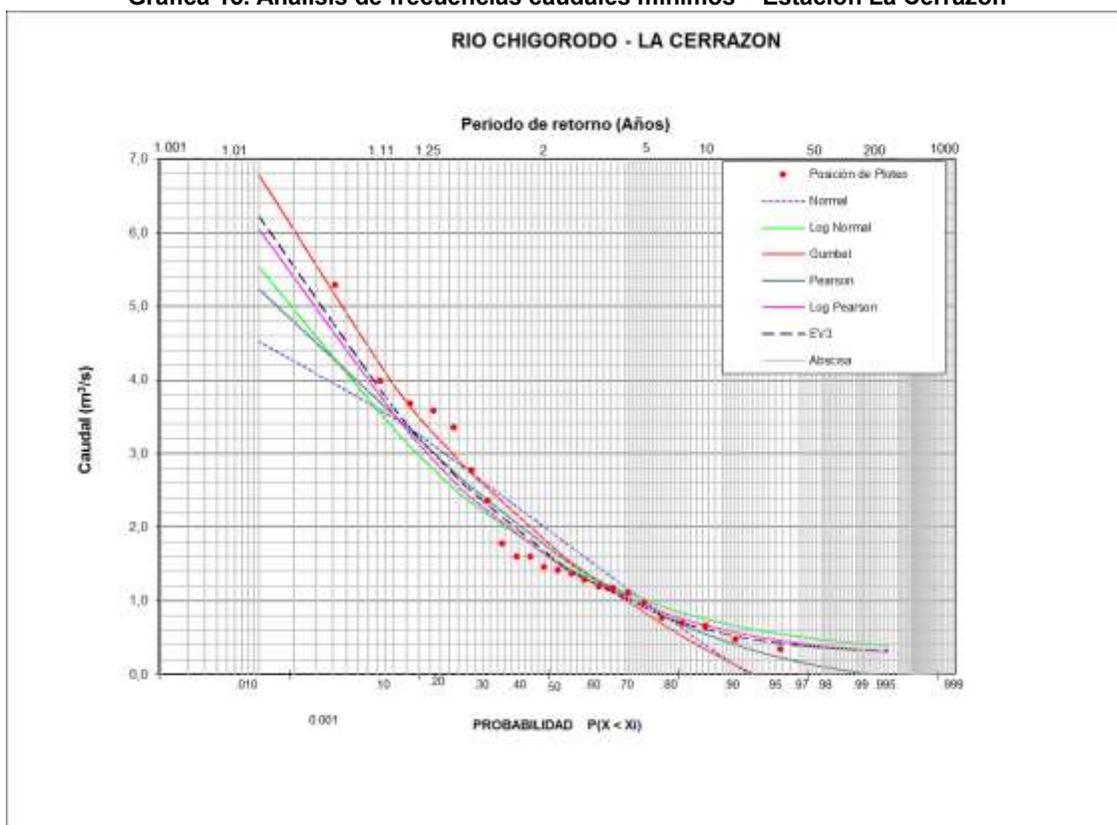
Se desarrollaron los análisis, para el período de registro de 1987 a 2015. En la Tabla 24, se presentan los valores mínimos mensuales y anuales y en la Gráfica 15, el análisis gráfico. En la Tabla 25, se presentan los resultados para períodos de retorno de 2 a 500 años.

**Tabla 24. Caudales mínimos**

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1987	2.00	2.07	1.65	1.65	5.30	3.32	2.49	2.73	1.42	1.91	2.98	2.14	1.42
1988	2.21	2.49	0.34	0.38	3.92	1.65	2.13	4.86	2.23	1.88	4.88	3.38	0.34
1989	0.98	0.47	0.63	0.73	2.18	8.14	5.51	4.05	3.59	3.49	2.19	1.90	0.47
1990	1.40	1.33	1.18	1.23	2.83	1.91	1.34	1.90	4.62	5.99	3.59	2.36	1.18
1991	1.93	1.75	1.54	1.37	2.92	2.88	1.96	1.86	1.83	2.08	2.56	1.96	1.37
1992	XXX	4.72	3.68	XXX	XXX	XXX	3.68						
1993	4.33	XXX	5.55	3.36	3.36								
1994	1.98	XXX	XXX	1.60	3.60	4.02	3.40	2.70	2.63	XXX	XXX	2.51	1.60
1995	1.78	2.10	2.10	2.25	4.00	3.75	3.39	3.25	4.05	3.71	2.83	2.55	1.78
1996	2.60	3.00	3.40	4.85	3.94	XXX	4.74	3.15	2.62	2.05	1.60	1.98	1.60
2000	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	1.85	0.98	0.98	XXX	XXX	XXX	XXX	0.98
2003	XXX	3.99	6.13	3.99									
2004	2.85	2.02	1.76	1.46	4.01	3.65	3.15	3.07	1.82	XXX	XXX	XXX	1.46
2005	XXX	XXX	XXX	2.78	3.59	4.45	4.16	XXX	5.01	4.52	4.52	2.92	2.78
2006	2.63	0.66	0.66	2.59	5.27	5.59	XXX	XXX	4.17	3.22	2.35	3.94	0.66
2007	XXX	XXX	1.11	2.70	2.78	5.14	3.19	3.29	3.51	3.09	2.55	1.82	1.11
2008	1.19	1.07	0.99	1.94	5.10	3.71	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	0.77	0.77
2009	1.13	0.69	0.99	1.27	3.64	2.41	1.89	2.04	2.64	2.67	3.50	2.22	0.69
2010	1.41	1.29	1.34	2.42	2.33	2.91	2.29	1.99	2.77	2.33	3.04	4.93	1.29
2011	3.53	2.36	2.63	5.13	5.75	3.35	2.64	2.51	3.95	XXX	XXX	XXX	2.36
2012	XXX	XXX	XXX	XXX	3.23	XXX	1.56	1.31	1.20	XXX	XXX	XXX	1.20
2013	XXX	XXX	5.45	6.17	XXX	XXX	XXX	5.30	5.31	5.40	XXX	XXX	5.30
2014	4.14	3.58	3.71	3.71	7.35	6.23	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	3.58

Fuente: IDEAM

Gráfica 15. Análisis de frecuencias caudales mínimos – Estación La Cerrazón



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Tabla 25. Resultados análisis de frecuencias

TR años	NORMAL	GUMBEL	PEARSON	LOG- PEAR	LOG-NOR	EV3
2	1.87	1.67	1.63	1.50	1.53	1.53
2.33	1.64	1.43	1.42	1.32	1.37	1.33
5	0.79	0.66	0.78	0.83	0.91	0.78
10	0.25	0.22	0.47	0.61	0.70	0.56
20	-0.16	-0.09	0.27	0.48	0.57	0.44
50	-0.57	-0.42	0.11	0.38	0.47	0.37
100	-0.79	-0.61	0.03	0.34	0.42	0.34
200	-0.96	-0.78	-0.02	0.31	0.39	0.32
500	-1.12	-0.98	-0.07	0.28	0.36	0.31
chi 2	1.200	0.301	0.912	0.762	1.300	0.404

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

En la tabla se puede observar que la distribución que presenta el mejor ajuste es la distribución de extremo EV3 con un valor de  $\chi^2$  de 0.404. Para un período de retorno de 5 años, el caudal mínimo es de 0.78 m<sup>3</sup>/s y para 10 años, es de 0.56 m<sup>3</sup>/s.

#### 1.7.4.4 Río Chigorodó – Chigorodó

##### 1.1.1.1.16. Caudales medios

La distribución temporal de los caudales medios mensuales, es de tipo bimodal, observándose los caudales más altos en los meses de Mayo y Junio en el primer semestre

del año con registros de 18.34 y 17.14 m<sup>3</sup>/s respectivamente y Octubre y Noviembre en el segundo, con registros de 18.89 y 17.89 m<sup>3</sup>/s. Los valores más bajos se observan en los meses de Febrero y Marzo, con registros de 7.39 y 7.62 m<sup>3</sup>/s. El valor promedio anual es de 14.26 m<sup>3</sup>/s.

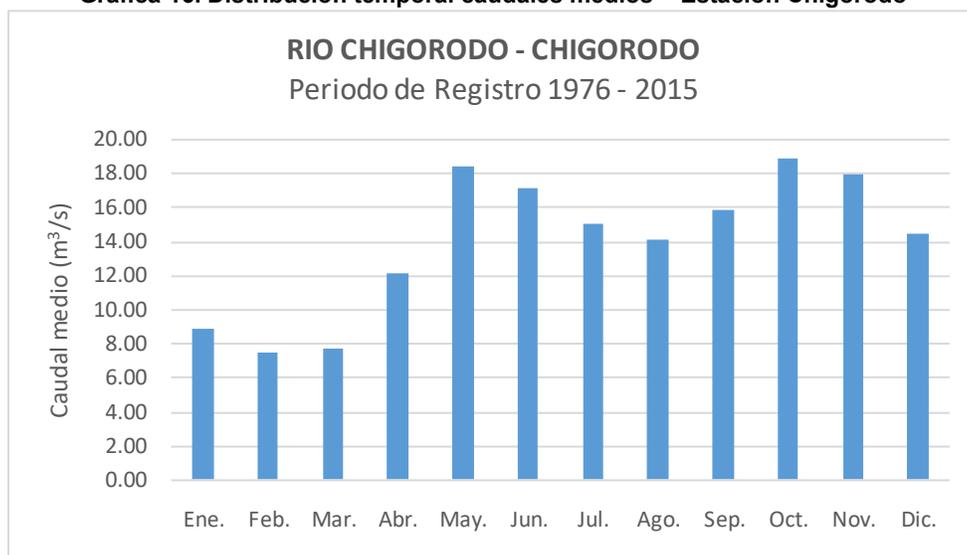
En la Tabla 26 se presentan los valores medios mensuales y en la Gráfica 16 la distribución temporal.

**Tabla 26. Caudales medios mensuales (m<sup>3</sup>/s) – Estación Chigorodó**

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1976	XXX	13.78	16.56	5.23	11.86								
1977	2.04	1.39	1.21	2.79	28.39	18.01	21.06	19.80	22.62	34.82	28.30	20.72	16.76
1978	6.02	4.91	5.86	32.56	41.86	37.97	11.34	7.13	8.70	10.49	12.72	7.10	15.55
1979	1.60	0.82	0.63	6.56	18.08	24.19	23.44	32.44	26.61	24.74	6.71	XXX	15.07
1980	XXX	XXX	XXX	0.54	8.43	7.73	25.70	13.25	10.57	24.76	18.90	19.39	14.36
1981	4.20	2.89	11.85	15.74	16.87	20.12	4.33	3.67	10.17	8.85	8.17	6.47	9.44
1982	14.85	20.55	13.32	13.50	33.00	18.22	18.19	12.42	13.64	15.75	22.98	7.11	16.96
1983	2.20	2.11	2.78	5.33	14.30	15.56	20.55	19.05	22.90	45.03	32.23	42.11	18.68
1984	18.40	26.80	8.13	9.37	28.43	16.05	22.60	19.43	14.28	29.52	27.76	9.23	19.17
1985	11.34	7.64	6.61	8.92	13.05	22.13	5.79	13.84	16.99	18.44	15.46	11.52	12.65
1986	5.60	6.77	6.46	20.94	13.45	13.71	18.87	11.38	14.44	16.99	16.66	7.55	12.74
1987	6.59	5.90	3.75	13.57	23.71	21.48	19.14	20.70	18.33	24.10	15.13	20.02	16.04
1988	XXX	XXX	XXX	18.41	18.65	10.15	18.51	26.94	23.96	33.24	20.17	21.48	21.28
1989	17.82	XXX	6.86	7.95	15.60	18.71	18.31	XXX	XXX	15.33	XXX	XXX	14.37
1991	XXX	XXX	XXX	XXX	40.63	57.84	XXX	XXX	XXX	17.95	20.46	8.55	29.08
1992	2.98	XXX	XXX	4.78	9.94	8.05	6.57	10.22	9.95	10.00	9.74	10.24	8.25
1993	10.22	13.18	6.01	10.75	15.45	18.43	12.70	9.14	12.56	18.32	21.90	12.12	13.40
1994	5.66	2.45	6.52	6.91	12.45	11.21	7.19	9.97	15.17	25.24	26.37	16.36	12.13
1995	9.25	1.34	12.91	23.39	20.94	19.54	22.23	19.88	18.01	28.41	31.37	39.48	20.56
1996	XXX	11.50	9.75	12.91	15.32	12.69	17.18	8.94	14.41	10.65	11.34	9.54	12.20
1997	8.08	13.49	8.88	8.65	12.46	13.16	13.28	12.46	12.69	17.67	16.83	10.04	12.31
1998	8.33	7.41	7.02	9.50	12.25	16.84	15.47	15.16	13.31	11.08	13.77	7.46	11.47
1999	13.06	8.75	10.15	14.61	12.70	12.27	12.02	13.89	14.69	14.70	12.42	12.80	12.67
2000	8.85	7.72	7.50	10.10	13.06	9.98	9.64	12.22	13.75	11.76	11.86	13.66	10.84
2001	9.79	6.87	7.29	7.00	10.79	9.27	9.87	10.27	9.92	10.70	11.31	10.57	9.47
2002	11.14	6.59	5.03	8.49	10.01	10.42	10.62	9.93	10.08	9.19	9.76	9.64	9.24
2003	5.12	3.32	2.46	10.32	9.98	8.97	8.43	9.26	10.31	11.21	8.91	8.80	8.09
2004	4.32	3.29	2.46	5.83	9.41	10.12	8.04	9.41	9.75	8.91	9.33	7.41	7.36
2005	8.45	3.25	3.01	8.30	8.51	9.37	7.94	5.21	19.96	40.40	34.66	29.63	14.89
2006	16.48	9.45	8.29	16.17	30.07	30.60	21.56	22.42	19.21	17.14	19.92	13.75	18.76
2007	9.26	2.35	5.79	13.24	26.51	18.75	18.69	19.90	21.61	15.29	18.25	10.21	14.99
2008	5.87	10.41	10.72	17.08	25.81	23.37	24.03	17.32	21.20	27.50	21.15	13.78	18.19
2009	16.17	12.68	10.99	11.91	20.67	15.28	19.48	13.77	15.12	16.31	26.22	12.69	15.94
2010	3.65	1.87	4.74	14.17	12.81	15.15	6.65	7.68	11.75	12.03	20.88	23.38	11.23
2011	16.93	8.33	12.29	22.76	18.65	15.26	15.04	15.33	25.58	15.38	13.64	12.70	15.99
2012	7.36	7.57	9.42	21.66	16.85	10.03	14.45	11.15	10.17	XXX	XXX	XXX	12.07
2013	XXX	XXX	19.25	15.93	23.06	16.62	18.57	18.89	24.04	19.00	18.67	16.56	19.06
2014	11.51	5.44	6.41	9.58	16.27	16.83	10.70	10.57	16.92	14.33	13.54	16.11	12.35
2015	9.75	9.43	14.65	8.71	XXX	10.63							
<b>Media</b>	8.87	7.39	7.62	12.13	18.34	17.14	14.95	14.09	15.81	18.89	17.89	14.38	14.26
<b>Max</b>	18.40	26.80	19.25	32.56	41.86	57.84	25.70	32.44	26.61	45.03	34.66	42.11	57.84
<b>Min</b>	1.60	0.82	0.63	0.54	8.43	7.73	4.33	3.67	8.70	8.85	6.71	5.23	0.54

Fuente: IDEAM

**Gráfica 16. Distribución temporal caudales medios – Estación Chigorodó**



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

#### 1.1.1.1.17. Curva de duración de caudales medios diarios

A partir de la serie de caudales medios diarios registrados, para el período 1976 – 2015, se desarrolló la curva de duración, que permite establecer el porcentaje de tiempo que un determinado caudal, es igualado o excedido.

La curva se desarrolla, para los caudales medios diarios y para los medios decadales, primero ordenando la serie de mayor a menor, luego se asigna un número de orden a cada dato y a continuación, se define una posición de ploteo, de acuerdo con la siguiente ecuación:

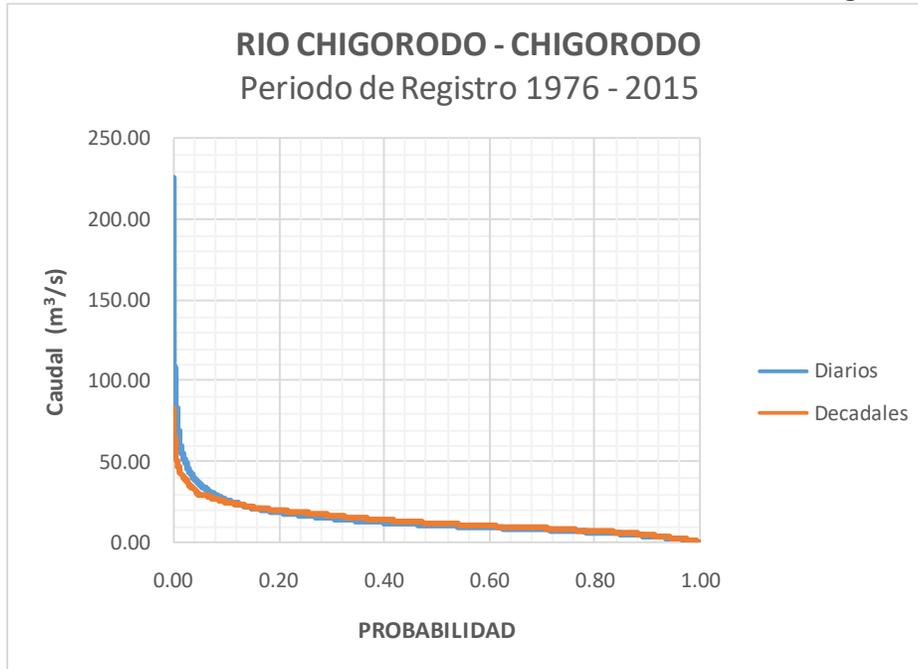
$$P_p = M/N$$

Dónde:

- $P_p$  = Posición de ploteo.
- $M$  = Número de orden.
- $N$  = Número total de datos.

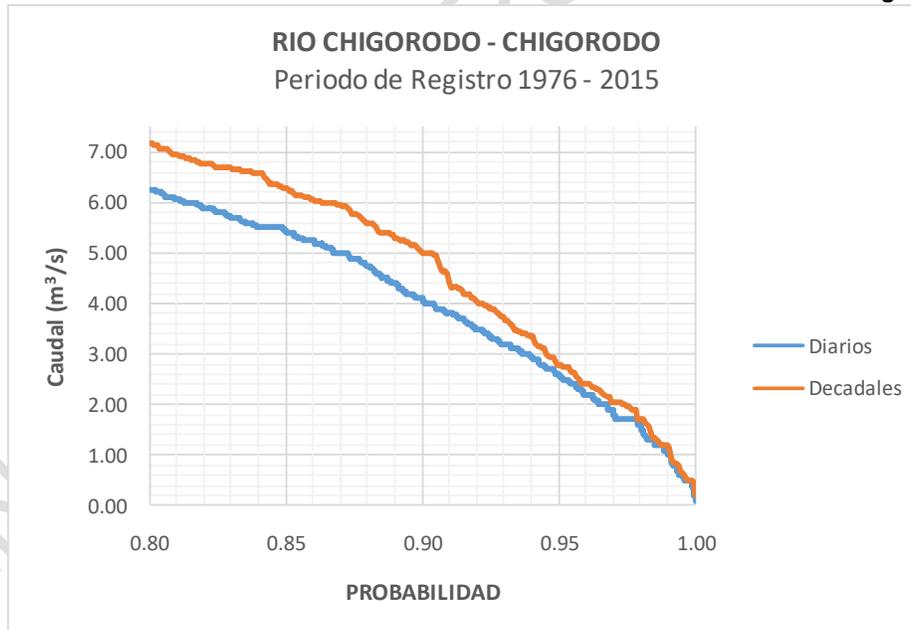
En la Gráfica 17, se presenta la curva de duración de los caudales medios diarios y decadales y en la Gráfica 18, el detalle de la misma, para excedencias superiores al 80%. En la Tabla 27, se presentan los respectivos caudales característicos.

**Gráfica 17. Curva de duración de caudales medios diarios – Estación Chigorodó**



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

**Gráfica 18. Detalle curva de duración de caudales medios diarios – Estación Chigorodó**



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

**Tabla 27. Caudales característicos – Estación Chigorodó**

DIARIOS		DECADELES	
CAUDALES	VALOR m <sup>3</sup> /s	CAUDALES	VALOR m <sup>3</sup> /s
Máximo	226.30	Máximo	82.94
Q <sub>50</sub>	10.82	Q <sub>50</sub>	12.03

Q <sub>75</sub>	7.32	Q <sub>75</sub>	8.21
Q <sub>90</sub>	4.20	Q <sub>90</sub>	5.19
Q <sub>95</sub>	2.74	Q <sub>95</sub>	3.01
Q <sub>97</sub>	2.00	Q <sub>97</sub>	2.28
Q <sub>99</sub>	1.20	Q <sub>99</sub>	1.32
Mínimo	0.10	Mínimo	0.20

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

En la tabla se puede observar que el caudal máximo registrado es de 226.30 m<sup>3</sup>/s, el caudal correspondiente al 50%, es de 10.82 m<sup>3</sup>/s, el caudal correspondiente al 95 % es de 2.74 m<sup>3</sup>/s el caudal mínimo registrado es de 0.10 m<sup>3</sup>/s.

#### 1.1.1.18. Caudales máximos anuales

A partir de las series de valores máximos anuales, se desarrollaron los análisis de frecuencias, por medio de las distribuciones Normal, Gumbel, Pearson Tipo III, Log-Pearson Tipo III, Log-Normal y de Extremos (EV3) y se ajustaron a la distribución Chi<sup>2</sup>, para determinar el mejor ajuste y de acuerdo con este valor, se seleccionó la que presentó el menor valor.

Estos análisis muestran la probabilidad de que un determinado evento, pueda ocurrir en un lapso establecido, que puede variar de 2 a miles de años. Para el estudio, se tomaron períodos de retorno de 2 a 500 años, que permiten la toma de decisiones para la construcción de la mayoría de obras de infraestructura en la cuenca, tales como estructuras de captación, puentes, pontones, diques de protección contra inundaciones etc.

Se desarrollaron los análisis, para el período de registro de 1976 a 2015. En la Tabla 28, se presentan los valores máximos mensuales y anuales y en la Gráfica 19, el análisis gráfico. En la Tabla 29, se presentan los resultados para períodos de retorno de 2 a 500 años.

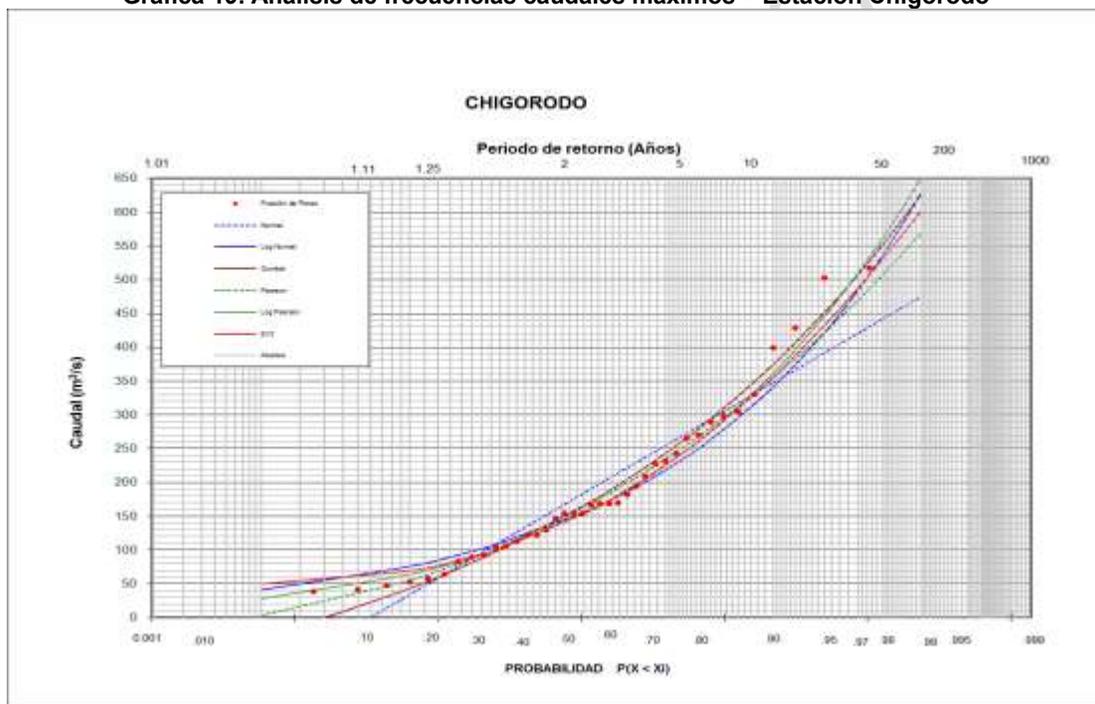
**Tabla 28. Caudales máximos – Estación Chigorodó**

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1976	XXX	59,29	154,50	26,20	154,50								
1977	4,40	1,60	1,30	15,00	217,80	196,40	299,00	162,20	157,60	186,50	241,90	263,10	299,00
1978	8,10	6,20	110,00	517,50	428,30	498,70	110,00	149,90	223,40	168,40	93,60	75,50	517,50
1979	3,70	1,70	2,60	303,20	407,60	353,40	46,00	378,60	272,10	502,90	25,50	10,80	502,90
1980	10,00	5,40	5,10	10,40	89,00	43,00	242,60	59,20	43,00	190,90	69,10	43,00	242,60
1981	7,10	5,00	208,10	283,70	304,40	273,50	9,40	17,50	96,20	50,00	59,20	54,60	304,40
1982	260,50	265,00	89,00	117,00	155,00	75,00	89,00	54,70	43,00	43,00	137,00	13,50	265,00
1983	5,20	7,00	23,00	67,00	212,70	148,00	152,00	128,00	125,00	278,60	312,80	399,70	399,70
1984	307,00	266,80	125,40	174,60	420,00	118,20	112,00	193,50	146,20	210,00	429,10	214,40	429,10
1985	36,20	17,00	30,20	25,00	330,00	327,20	13,70	115,40	217,80	233,50	226,20	115,40	330,00
1986	27,50	36,20	47,00	172,00	63,20	107,00	181,80	115,40	229,00	265,00	290,00	76,50	290,00
1987	44,50	20,20	13,30	157,60	172,00	86,40	115,20	69,50	93,60	270,00	117,00	97,20	270,00
1988	14,20	92,00	XXX	73,40	39,70	22,20	51,00	65,00	133,60	232,00	60,80	65,00	232,00
1989	44,50	75,60	10,50	17,80	53,10	35,75	82,80	159,80	159,70	35,20	166,30	150,40	166,30
1991	21,98	24,93	88,10	75,25	209,50	163,00	19,71	65,27	111,30	60,50	124,00	59,00	209,50
1992	8,10	3,26	4,20	13,20	25,00	28,80	27,90	21,40	88,50	26,90	52,60	154,30	154,30
1993	29,10	35,80	30,00	68,30	37,30	106,50	28,20	32,90	217,00	227,60	220,50	80,70	227,60
1994	14,20	4,50	169,30	19,30	58,30	30,00	15,20	34,40	83,10	193,90	85,60	44,00	193,90
1995	20,40	12,30	40,60	100,50	49,00	37,30	130,40	54,00	37,30	99,00	44,00	116,50	130,40
1996	XXX	20,10	19,30	29,90	59,00	154,40	127,60	33,50	86,00	39,70	53,00	51,00	154,40
1997	64,00	111,50	10,70	36,10	36,80	46,00	22,20	34,10	23,70	112,80	58,00	15,90	112,80
1998	12,66	11,24	11,80	34,70	19,70	56,00	35,36	75,80	27,50	20,70	25,58	89,40	89,40

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1999	168,50	22,20	29,30	35,40	60,00	24,10	29,30	57,00	74,20	71,60	52,00	31,10	168,50
2000	16,50	11,00	13,00	36,10	35,40	30,50	25,10	168,50	76,80	21,70	58,00	105,50	168,50
2001	25,10	8,28	11,52	13,30	53,00	13,62	25,10	42,56	14,90	28,70	27,02	27,50	53,00
2002	38,24	12,98	7,32	19,30	28,70	25,10	17,30	24,62	18,10	21,74	18,90	20,10	38,24
2003	6,96	3,64	2,92	36,80	24,14	13,94	15,22	23,18	17,30	64,00	20,10	27,02	64,00
2004	6,12	3,76	2,92	29,30	21,30	29,30	10,68	39,68	15,54	41,84	14,90	12,98	41,84
2005	67,00	4,64	7,56	100,20	21,30	95,00	14,26	13,62	73,50	107,00	63,00	67,50	107,00
2006	57,40	18,40	42,80	41,70	58,80	84,40	84,40	78,00	66,00	49,40	104,90	45,00	104,90
2007	20,80	5,50	14,60	43,90	73,50	54,90	46,10	78,00	92,30	51,60	67,50	38,40	92,30
2008	10,40	66,00	50,00	152,90	75,50	130,80	66,60	54,40	45,60	181,40	102,00	38,00	181,40
2009	51,10	75,50	24,20	47,80	146,10	47,80	58,80	31,00	32,00	63,80	128,60	21,00	146,10
2010	9,95	8,42	21,00	68,00	53,30	169,30	75,50	34,00	39,00	57,90	77,00	83,71	169,30
2011	83,71	14,68	70,42	63,98	57,90	83,71	63,98	57,90	83,71	57,90	51,70	39,42	83,71
2012	12,76	51,70	39,42	57,90	57,90	39,42	57,90	34,27	21,51	XXX	XXX	XXX	57,90
2013	XXX	XXX	61,18	54,04	121,50	75,46	54,04	61,18	93,87	42,13	61,18	66,89	121,50
2014	26,07	13,85	9,00	32,00	42,13	48,08	37,07	84,67	121,50	42,13	42,13	103,10	121,50
2015	48,08	XXX	XXX	16,60	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	48,08

Fuente: IDEAM

Gráfica 19. Análisis de frecuencias caudales máximos – Estación Chigorodó



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Tabla 29. Resultados análisis de frecuencias

TR años	NORMAL	GUMBEL	PEARSON	LOG-PEAR	LOG-NOR	EV3
2	190,85	171,90	169,16	160,36	160,70	158,70
2,33	221,78	204,67	199,45	189,72	186,39	188,49
5	293,74	293,58	281,40	276,27	263,22	274,95
10	347,57	374,14	354,01	360,90	340,76	355,65
20	392,02	451,42	421,80	446,06	421,73	432,61
25	404,96	475,94	442,94	473,76	448,74	456,78
50	442,02	551,45	507,08	560,91	536,04	530,27
100	475,35	626,41	569,49	649,95	628,96	601,77
200	505,86	701,09	630,67	741,02	728,05	671,61
500	542,82	799,62	710,19	864,59	869,25	761,82
Chi 2	197,15	184,52	64,19	31,37	89,73	55,21

En la tabla se puede observar que la distribución que presenta el mejor ajuste es la de Log - Pearson Tipo III, con un valor de  $\chi^2$  de 31.37. Para un período de retorno de 100 años, el caudal máximo es de 649.95 m<sup>3</sup>/s y para 500 años, es de 864.59 m<sup>3</sup>/s.

#### 1.1.1.19. Caudales mínimos anuales

A partir de las series de valores mínimos anuales, se desarrollaron los análisis de frecuencias, por medio de las distribuciones Normal, Gumbel, Pearson Tipo III, Log-Pearson Tipo III, Log-Normal y de Extremos (EV3) y se ajustaron a la distribución  $\chi^2$ , para determinar el mejor ajuste y de acuerdo con este valor, se seleccionó la que presentó el menor valor.

Estos análisis muestran la probabilidad de que un determinado evento, pueda ocurrir en un lapso establecido, que puede variar de 2 a miles de años. Para el estudio, se tomaron períodos de retorno de 2 a 500 años, que permiten la toma de decisiones para determinar la disponibilidad de agua para el proyecto, que normalmente para proyectos de adecuación de tierras es de 5 años. Se desarrollaron los análisis, para el periodo de registro de 1976 a 2015. En la Tabla 75, se presentan los valores mínimos mensuales y anuales y en la Gráfica 20, el análisis gráfico. En la Tabla 31, se presentan los resultados para períodos de retorno de 2 a 500 años.

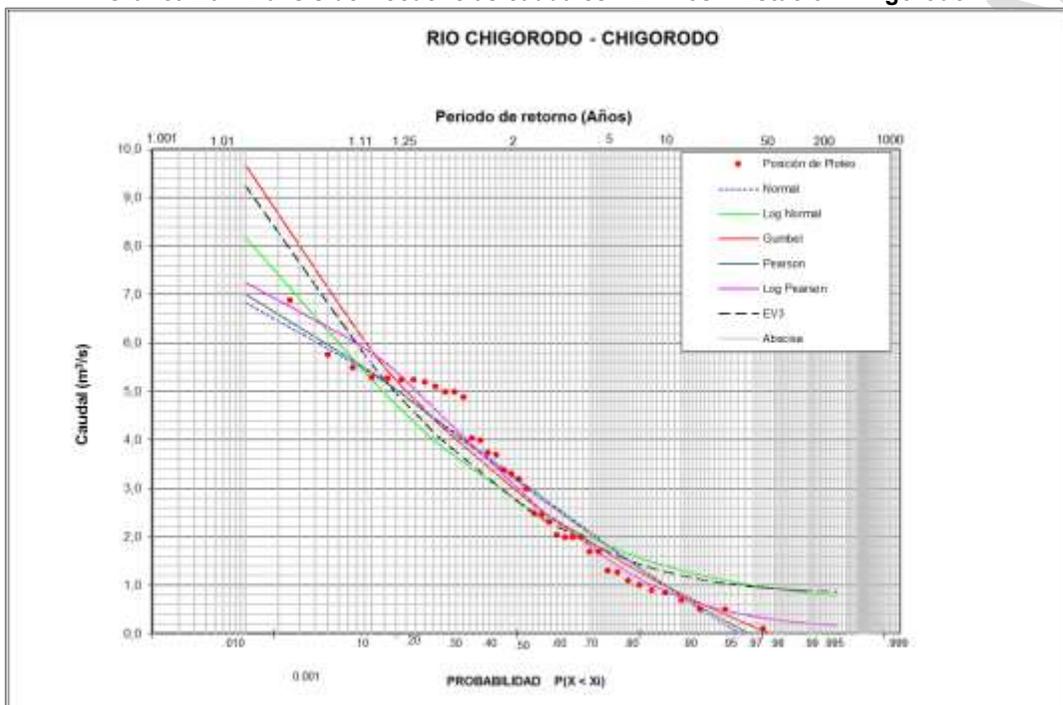
Tabla 30. Caudales mínimos – Estación Chigorodó

ANO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1976	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	6.90	7.20	3.00	3.00
1977	1.60	1.30	1.20	1.10	3.78	7.40	6.50	6.90	10.70	12.40	17.30	8.00	1.10
1978	5.00	4.20	3.70	5.40	11.80	14.30	5.50	3.20	3.50	4.60	6.30	3.90	3.20
1979	1.00	0.60	0.50	0.70	7.70	6.90	17.10	13.80	12.40	10.10	3.30	XXX	0.50
1980	XXX	XXX	XXX	0.10	1.70	3.00	6.90	6.90	7.00	9.80	9.90	12.90	0.10
1981	2.60	1.80	1.10	1.00	4.10	6.10	1.70	1.70	1.60	2.10	2.80	1.80	1.00
1982	5.20	6.70	7.10	7.00	12.70	9.40	9.70	6.30	5.10	8.40	8.60	5.20	5.10
1983	1.90	1.70	1.70	2.00	2.60	7.90	6.90	7.70	8.50	8.40	7.60	8.00	1.70
1984	3.80	4.50	2.00	2.40	11.40	5.90	8.60	6.60	5.20	6.80	7.50	2.70	2.00
1985	7.23	6.00	6.00	5.50	4.00	8.53	4.25	4.13	6.38	6.38	5.00	5.00	4.00
1986	3.80	3.80	2.80	7.40	8.20	7.40	9.80	7.60	7.20	7.90	5.00	2.50	2.50
1987	2.80	2.30	2.50	3.10	12.20	4.90	9.25	11.25	11.77	10.75	8.38	7.75	2.30
1988	XXX	XXX	XXX	3.70	10.40	3.70	10.80	14.50	14.30	13.60	12.40	11.70	3.70
1989	10.75	XXX	5.30	5.60	8.50	9.63	10.13	XXX	XXX	9.88	XXX	XXX	5.30
1991	XXX	XXX	XXX	XXX	6.00	11.60	XXX	XXX	XXX	9.40	11.10	0.90	0.90
1992	0.69	XXX	XXX	2.70	4.38	4.74	3.90	6.10	4.62	5.30	6.10	2.58	0.69
1993	5.48	1.27	1.33	6.32	9.46	11.61	8.34	6.06	7.89	7.37	8.10	5.48	1.27
1994	2.40	1.30	2.30	3.90	5.00	5.60	5.30	4.70	5.60	13.80	14.90	12.00	1.30
1995	3.78	0.50	0.50	15.49	14.94	14.42	14.29	12.55	12.99	11.83	23.48	22.35	0.50
1996	XXX	8.82	7.98	8.95	9.07	5.56	6.48	4.88	6.24	5.84	5.88	5.64	4.88
1997	5.00	6.24	7.74	5.56	9.50	8.64	8.88	9.07	8.58	12.22	12.82	6.66	5.00
1998	4.68	5.56	4.28	7.62	9.42	11.38	11.17	10.75	9.49	8.58	10.05	2.46	2.46
1999	6.80	5.20	7.40	10.00	9.50	10.00	9.40	10.60	9.50	9.80	9.20	9.20	5.20
2000	5.40	5.08	5.08	5.00	8.64	7.68	6.66	7.02	8.40	8.88	8.88	7.26	5.00
2001	7.98	5.96	6.18	5.76	6.96	7.02	7.62	7.32	8.34	8.40	6.54	8.16	5.76
2002	6.96	4.68	3.38	5.68	8.10	7.86	8.16	7.44	7.86	5.64	7.86	7.14	3.38
2003	3.70	2.96	2.00	6.02	6.84	6.66	5.32	6.54	7.92	7.86	5.60	5.84	2.00
2004	3.48	2.96	2.00	3.30	6.24	6.96	5.84	5.20	7.20	5.20	5.68	4.36	2.00
2005	4.68	2.18	2.04	3.30	4.24	4.96	4.08	3.70	4.56	18.80	12.32	16.40	2.04
2006	3.74	7.50	4.50	8.75	17.20	14.25	8.25	4.38	9.53	7.63	7.25	5.63	3.74
2007	2.69	0.85	2.78	5.13	12.15	10.75	7.13	9.35	9.88	8.00	7.50	4.75	0.85

ANO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
2008	3.30	3.30	6.65	8.57	11.62	12.23	13.68	11.62	13.49	12.84	10.56	8.12	3.30
2009	10.86	7.35	6.24	4.04	10.40	7.96	14.45	8.57	8.12	7.35	11.16	9.79	4.04
2010	1.70	1.70	1.70	4.04	4.18	4.18	3.76	2.39	4.45	3.49	8.80	8.80	1.70
2011	8.47	5.50	5.28	7.18	8.80	7.37	7.18	7.37	9.13	7.37	8.47	8.47	5.28
2012	5.50	5.50	5.50	7.92	6.81	5.50	5.50	7.18	6.72	XXX	XXX	XXX	5.50
2013	XXX	XXX	11.93	10.47	8.36	9.00	9.21	11.10	10.05	9.00	10.47	6.89	6.89
2014	5.24	5.24	5.24	5.24	8.57	7.31	5.41	5.74	5.41	6.07	5.57	5.57	5.24
2015	5.24	6.70	10.05	5.90	XXX	XXX	5.24						

Fuente: IDEAM

Gráfica 20. Análisis de frecuencias caudales mínimos – Estación Chigorodó



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Tabla 31. Resultados análisis de frecuencias

TR años	NORMAL	GUMBEL	PEARSON	LOG- PEAR	LOG-NOR	EV3
2	3.07	2.78	3.01	2.84	2.63	2.59
2.33	2.74	2.46	2.69	2.45	2.38	2.31
5	1.53	1.41	1.52	1.27	1.65	1.53
10	0.77	0.83	0.80	0.76	1.31	1.21
20	0.18	0.40	0.26	0.48	1.10	1.04
50	-0.39	-0.04	-0.26	0.29	0.93	0.94
100	-0.71	-0.30	-0.54	0.22	0.84	0.89
200	-0.95	-0.53	-0.75	0.17	0.78	0.87
500	-1.17	-0.79	-0.95	0.13	0.73	0.86
chi 2	1.964	2.044	1.695	1.155	6.294	2.381

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

En la tabla se puede observar que la distribución que presenta el mejor ajuste es la distribución Log - Pearson con un valor de Chi<sup>2</sup> de 1.155. Para un período de retorno de 5 años, el caudal mínimo es de 1.27 m<sup>3</sup>/s y para 10 años, es de 0.76 m<sup>3</sup>/s.

#### 1.7.4.5 Río Apartadó – Apartadó

### 1.1.1.1.20. Caudales medios

La distribución temporal de los caudales medios mensuales, es de tipo bimodal, observándose los caudales más altos en los meses de Mayo y Junio en el primer semestre del año con registros de 6.94 y 6.32 m<sup>3</sup>/s respectivamente y Octubre y Noviembre en el segundo, con registros de 6.50 y 7.25 m<sup>3</sup>/s. Los valores más bajos se observan en los meses de Febrero y Marzo, con registros de 2.36 y 2.26 m<sup>3</sup>/s. El valor promedio anual es de 5.13 m<sup>3</sup>/s.

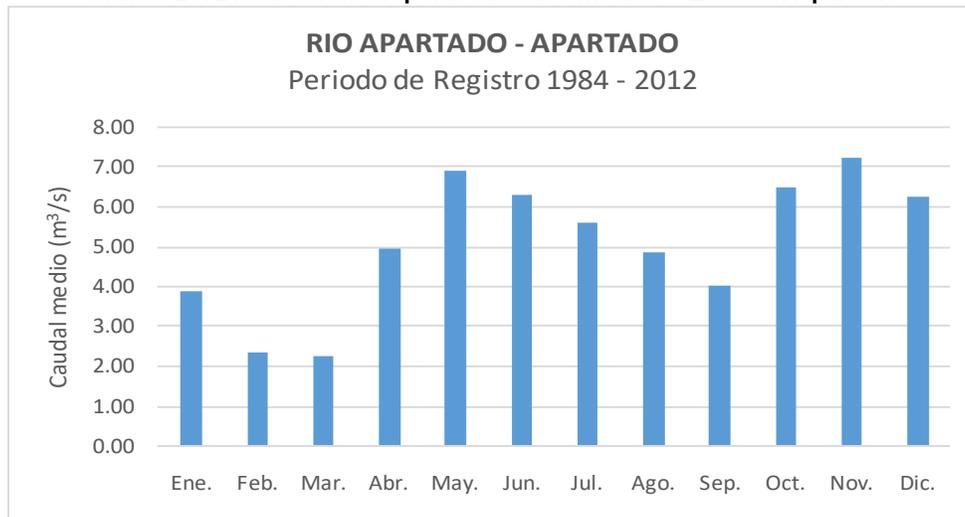
En la Tabla 32 se presentan los valores medios mensuales y en la Gráfica 21 la distribución temporal.

**Tabla 32. Caudales medios mensuales (m<sup>3</sup>/s) – Estación Apartadó**

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1984	4.66	5.61	2.60	1.07	1.17	4.96	6.60	3.81	4.38	5.69	6.47	3.02	4.17
1985	2.43	1.84	1.57	1.86	2.88	6.21	6.00	3.72	6.16	4.98	8.34	5.62	4.30
1986	2.76	3.07	1.84	5.74	5.44	3.83	4.60	2.75	4.39	6.70	5.68	2.15	4.08
1987	1.65	1.65	1.01	3.93	4.12	2.60	1.69	1.88	2.84	2.86	1.78	2.53	2.38
1988	0.90	0.79	0.49	1.93	5.44	5.60	4.66	5.48	5.06	3.64	3.08	5.43	3.54
1989	3.57	1.69	1.43	1.26	3.00	7.78	5.48	1.95	3.79	3.02	4.73	2.40	3.34
1990	2.66	1.35	0.67	0.70	10.88	6.81	5.68	5.86	3.31	15.45	10.93	3.14	5.62
1991	1.52	1.06	0.77	0.69	0.93	6.12	3.68	5.00	4.41	8.47	13.33	3.46	4.12
1992	2.05	1.64	0.97	1.28	4.96	2.69	1.63	2.04	3.32	5.57	6.24	4.99	3.11
1993	4.79	1.46	5.24	7.84	15.30	6.51	10.18	2.17	2.81	5.58	14.65	17.73	7.86
1994	7.16	4.29	4.96	11.52	22.24	9.87	6.66	7.67	5.89	11.05	13.19	5.24	9.14
1995	1.63	1.16	0.96	3.92	7.56	5.96	3.14	10.44	4.21	3.55	3.85	12.30	4.89
1996	15.82	11.57	4.52	4.57	8.01	12.55	16.08	8.09	6.12	15.94	12.02	10.37	10.47
1997	3.44	7.97	0.86	1.39	11.65	14.19	9.60	6.53	2.68	16.01	16.76	2.51	7.80
1998	0.74	0.55	0.69	2.09	3.70	8.61	4.72	8.80	5.40	6.16	19.37	18.83	6.64
1999	7.20	3.41	4.15	12.56	4.17	4.31	3.17	4.75	2.43	8.32	3.44	4.78	5.22
2000	2.16	1.67	0.83	5.67	2.30	1.76	2.30	2.33	2.70	6.33	2.19	2.65	2.74
2001	1.08	0.41	1.03	1.46	2.11	1.10	2.21	0.82	0.54	0.92	2.49	2.61	1.40
2002	1.14	0.30	0.21	1.03	1.61	2.22	1.10	0.60	0.77	1.28	0.74	3.34	1.19
2003	0.28	0.19	0.15	3.98	2.14	1.60	0.62	0.62	2.73	0.97	0.52	3.02	1.40
2004	0.31	0.11	0.14	2.24	2.20	2.58	1.30	1.43	1.36	1.83	1.20	1.68	1.36
2005	3.14	0.73	0.95	2.95	5.20	5.86	4.46	4.57	4.21	6.43	6.65	XXX	4.10
2006	XXX	1.01	4.22	6.37	7.77	7.95	7.51	6.78	3.73	3.33	4.17	3.20	5.09
2007	1.45	0.69	1.20	6.18	8.11	7.85	6.58	5.53	5.87	6.91	7.47	10.39	5.69
2008	5.55	2.76	1.14	4.39	10.51	7.47	7.57	6.13	4.98	7.44	7.35	3.33	5.72
2009	4.10	1.48	3.06	15.06	13.00	13.04	10.59	7.98	6.74	5.06	10.96	8.25	8.28
2010	1.65	0.69	4.84	7.10	5.92	7.90	4.34	6.85	9.90	7.02	9.65	21.14	7.25
2011	17.08	7.04	12.70	18.31	18.65	10.47	17.78	11.82	XXX	11.87	6.81	7.45	12.73
2012	7.49	2.26	XXX	6.89	10.40	4.83	2.87	4.82	1.64	6.22	6.10	3.95	5.22
<b>Media</b>	<b>3.87</b>	<b>2.36</b>	<b>2.26</b>	<b>4.97</b>	<b>6.94</b>	<b>6.32</b>	<b>5.61</b>	<b>4.87</b>	<b>4.01</b>	<b>6.50</b>	<b>7.25</b>	<b>6.27</b>	<b>5.13</b>
<b>Max</b>	<b>17.08</b>	<b>11.57</b>	<b>12.70</b>	<b>18.31</b>	<b>22.24</b>	<b>14.19</b>	<b>17.78</b>	<b>11.82</b>	<b>9.90</b>	<b>16.01</b>	<b>19.37</b>	<b>21.14</b>	<b>22.24</b>
<b>Min</b>	<b>0.28</b>	<b>0.11</b>	<b>0.14</b>	<b>0.69</b>	<b>0.93</b>	<b>1.10</b>	<b>0.62</b>	<b>0.60</b>	<b>0.54</b>	<b>0.92</b>	<b>0.52</b>	<b>1.68</b>	<b>0.11</b>

Fuente: IDEAM

**Gráfica 21. Distribución temporal caudales medios – Estación Apartadó**



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

#### 1.1.1.1.21. Curva de duración de caudales medios diarios

A partir de la serie de caudales medios diarios registrados, para el período 1984 – 2012, se desarrolló la curva de duración, que permite establecer el porcentaje de tiempo que un determinado caudal, es igualado o excedido.

La curva se desarrolla, para los caudales medios diarios y para los medios decadales, primero ordenando la serie de mayor a menor, luego se asigna un número de orden a cada dato y a continuación, se define una posición de ploteo, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$P_p = M/N$$

Donde:

$P_p$  = Posición de ploteo  
 $M$  = Número de orden  
 $N$  = Número total de datos

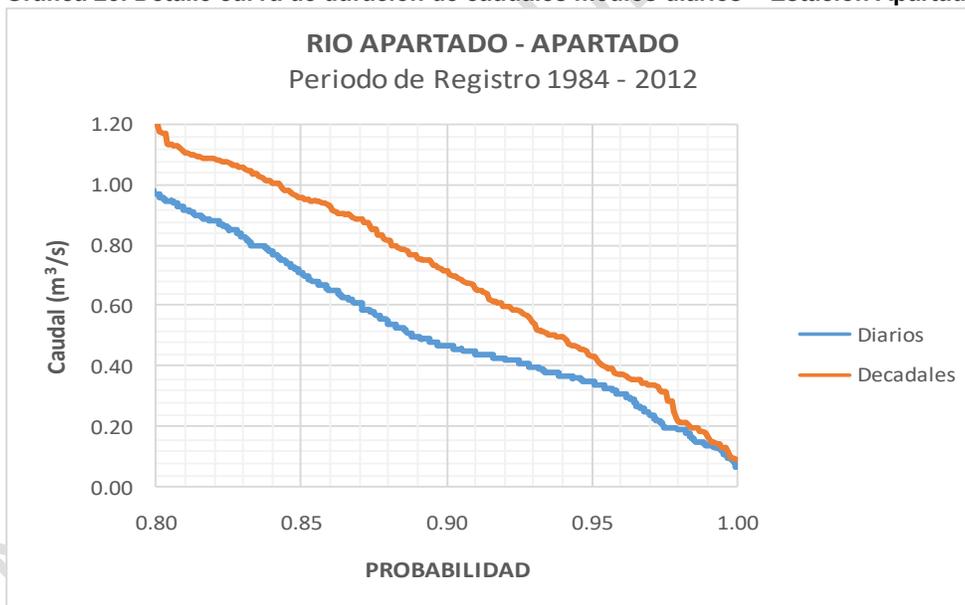
En la Gráfica 22, se presenta la curva de duración de los caudales medios diarios y decadales y en la Gráfica 23, el detalle de la misma, para excedencias superiores al 80%. En la Tabla 33, se presentan los respectivos caudales característicos.

Gráfica 22. Curva de duración de caudales medios diarios – Estación Apartadó



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Gráfica 23. Detalle curva de duración de caudales medios diarios – Estación Apartadó



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Tabla 33. Caudales característicos

DIARIOS		DECADALES	
CAUDALES	VALOR m³/s	CAUDALES	VALOR m³/s
Máximo	90.24	Máximo	32.81
Q <sub>50</sub>	2.84	Q <sub>50</sub>	3.79
Q <sub>75</sub>	1.25	Q <sub>75</sub>	1.63
Q <sub>90</sub>	0.47	Q <sub>90</sub>	0.74
Q <sub>95</sub>	0.35	Q <sub>95</sub>	0.46

Q <sub>97</sub>	0.26	Q <sub>97</sub>	0.36
Q <sub>99</sub>	0.15	Q <sub>99</sub>	0.20
Mínimo	0.07	Mínimo	0.09

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

En la tabla se puede observar que el caudal máximo registrado es de 90.24 m<sup>3</sup>/s, el caudal correspondiente al 50%, es de 2.84 m<sup>3</sup>/s, el caudal correspondiente al 95 % es de 0.35 m<sup>3</sup>/s el caudal mínimo registrado es de 0.07 m<sup>3</sup>/s.

#### 1.1.1.1.22. Caudales máximos anuales

A partir de las series de valores máximos anuales, se desarrollaron los análisis de frecuencias, por medio de las distribuciones Normal, Gumbel, Pearson Tipo III, Log-Pearson Tipo III, Log-Normal y de Extremos (EV3) y se ajustaron a la distribución Chi<sup>2</sup>, para determinar el mejor ajuste y de acuerdo con este valor, se seleccionó la que presentó el menor valor.

Estos análisis muestran la probabilidad de que un determinado evento, pueda ocurrir en un lapso establecido, que puede variar de 2 a miles de años. Para el estudio, se tomaron períodos de retorno de 2 a 500 años, que permiten la toma de decisiones para la construcción de la mayoría de obras de infraestructura en la cuenca, tales como estructuras de captación, puentes, pontones, diques de protección contra inundaciones etc.

Se desarrollaron los análisis, para el período de registro de 1984 a 2012. En la Tabla 34, se presentan los valores máximos mensuales y anuales y en la Gráfica 24, el análisis gráfico. En la Tabla 35, se presentan los resultados para períodos de retorno de 2 a 500 años.

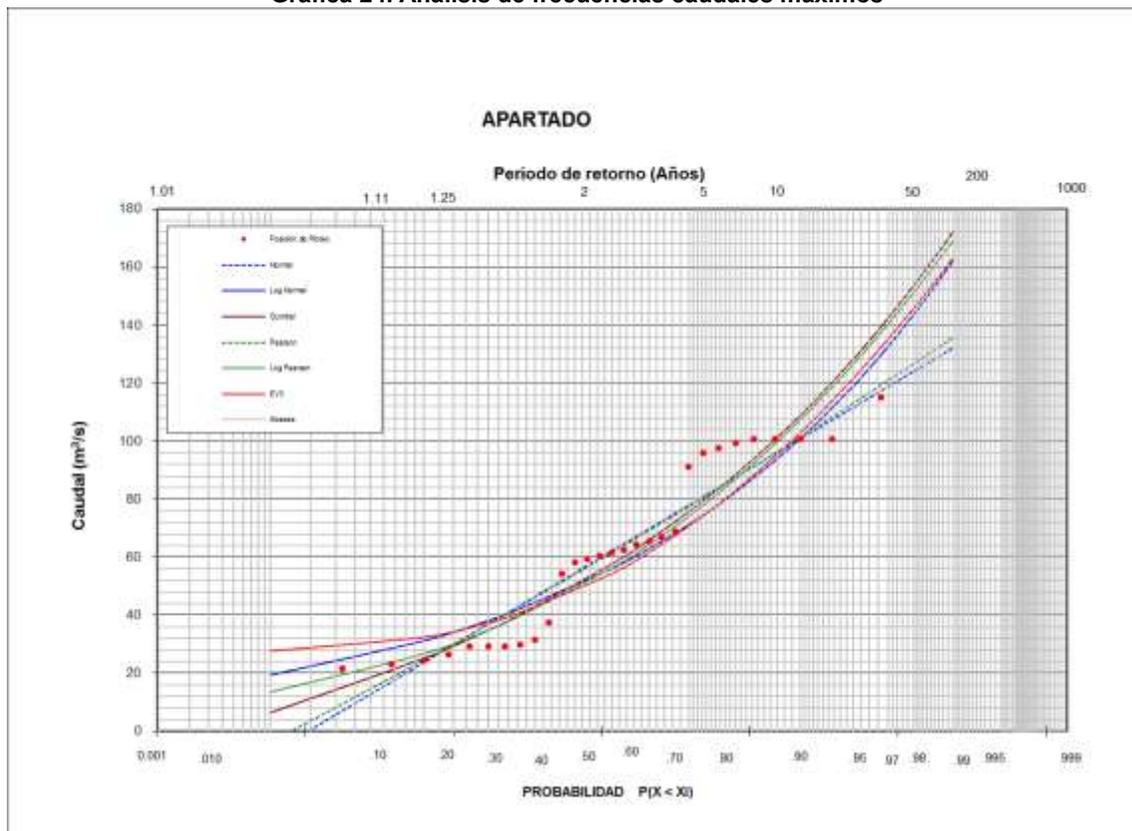
Tabla 34. Caudales máximos – Estación Apartadó

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1984	12,30	20,05	6,82	1,60	1,90	21,70	36,60	58,20	115,00	47,00	60,70	9,60	115,00
1985	5,77	2,17	1,68	7,60	37,50	59,30	21,70	7,60	XXX	24,80	37,50	35,00	59,30
1986	4,20	21,70	4,30	9,40	8,40	8,40	15,20	7,60	XXX	13,75	21,70	4,20	21,70
1987	7,60	3,52	1,22	26,40	21,70	7,60	7,60	4,50	XXX	7,60	4,00	8,60	26,40
1988	1,14	4,20	0,67	21,70	13,75	23,25	21,70	24,49	21,70	7,60	7,60	7,60	24,49
1989	8,60	2,04	2,31	1,46	9,60	22,94	7,60	3,25	8,60	15,20	21,70	7,60	22,94
1990	9,60	1,92	0,84	1,98	52,90	49,80	31,20	45,15	21,70	52,90	65,60	8,40	65,60
1991	2,10	1,34	1,00	1,06	2,10	37,40	12,30	28,00	59,20	52,90	62,40	7,28	62,40
1992	2,59	2,80	1,62	2,73	18,40	7,60	7,60	7,60	XXX	23,56	37,40	21,70	37,40
1993	37,40	1,98	52,90	37,40	58,33	32,70	32,70	3,80	XXX	50,75	54,36	32,70	58,33
1994	8,80	6,00	32,70	86,10	100,80	27,00	12,50	32,70	32,70	50,80	59,80	12,80	100,80
1995	3,80	1,79	2,64	59,78	41,73	83,20	32,70	92,80	28,49	50,75	34,51	96,00	96,00
1996	94,40	68,80	36,31	52,56	59,78	99,20	99,20	36,31	50,75	92,80	50,75	52,92	99,20
1997	32,70	100,80	3,80	14,10	84,80	58,00	50,80	50,80	10,90	85,10	92,80	14,10	100,80
1998	1,05	1,15	13,50	24,28	32,70	84,80	47,14	54,36	32,70	47,14	91,20	68,80	91,20
1999	100,80	32,70	68,80	96,00	47,10	78,40	27,00	43,90	7,50	68,80	9,60	21,20	100,80
2000	36,30	34,50	4,90	100,80	10,90	28,10	23,10	32,70	14,10	95,70	15,80	32,70	100,80
2001	7,30	0,50	21,23	61,58	30,79	7,70	47,14	5,74	1,30	10,90	26,96	47,14	61,58
2002	20,46	0,62	0,34	6,30	14,15	32,70	5,60	3,80	XXX	28,88	6,30	68,80	68,80
2003	0,56	0,22	0,17	50,75	32,70	17,40	4,90	9,86	XXX	8,56	2,56	97,60	97,60
2004	1,38	0,18	XXX	XXX	29,24	20,40	XXX	11,52	11,52	15,52	15,97	13,75	29,24
2005	30,35	XXX	XXX	13,75	26,59	22,61	13,75	31,46	31,46	29,24	XXX	XXX	31,46
2006	XXX	1,53	29,91	27,03	26,81	20,40	17,07	19,29	9,80	20,80	16,72	7,28	29,91
2007	7,28	2,18	28,72	28,00	23,20	27,76	29,20	28,72	13,50	28,72	29,20	23,20	29,20

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
2008	13,04	13,76	1,70	21,28	28,72	16,48	29,20	25,84	23,92	28,72	28,96	13,50	29,20
2009	28,24	2,75	18,90	48,04	33,29	28,96	31,13	37,75	36,86	21,60	64,43	33,29	64,43
2010	6,52	0,86	66,99	22,80	22,80	35,97	31,13	35,52	55,84	34,63	49,00	65,96	66,99
2011	35,52	14,49	40,05	54,37	53,38	25,21	46,13	35,52	XXX	35,52	18,90	18,90	54,37
2012	19,28	3,50	XXX	60,35	52,89	15,20	14,49	18,14	7,96	55,84	28,13	XXX	60,35

Fuente: IDEAM

Gráfica 24. Análisis de frecuencias caudales máximas



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Tabla 35. Resultados análisis de frecuencias

TR años	NORMAL	GUMBEL	PEARSON	LOG-PEAR	LOG-NOR	EV3
2	62,29	57,71	61,46	56,31	56,10	54,39
2,33	69,89	65,98	69,10	64,45	62,98	61,71
5	87,57	88,43	87,29	86,91	82,43	82,95
10	100,80	108,77	101,28	107,27	100,82	102,78
20	111,72	128,28	113,08	126,58	119,06	121,69
25	114,90	134,46	116,56	132,64	124,97	127,63
50	124,01	153,53	126,63	151,15	143,55	145,69
100	132,20	172,45	135,83	169,28	162,61	163,26
200	139,69	191,30	144,35	187,11	182,27	180,42
500	148,77	216,18	154,83	210,33	209,29	202,59
Chi 2	61,18	36,83	47,93	36,50	50,12	55,02

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

En la tabla se puede observar que la distribución que presenta el mejor ajuste es la de Log - Pearson Tipo III, con un valor de  $\chi^2$  de 36.50. Para un período de retorno de 100 años, el caudal máximo es de 169.28 m<sup>3</sup>/s y para 500 años, es de 210.33 m<sup>3</sup>/s.

### 1.1.1.1. Caudales mínimos anuales

A partir de las series de valores mínimos anuales, se desarrollaron los análisis de frecuencias, por medio de las distribuciones Normal, Gumbel, Pearson Tipo III, Log-Pearson Tipo III, Log-Normal y de Extremos (EV3) y se ajustaron a la distribución Chi<sup>2</sup>, para determinar el mejor ajuste y de acuerdo con este valor, se seleccionó la que presentó el menor valor.

Estos análisis muestran la probabilidad de que un determinado evento, pueda ocurrir en un lapso establecido, que puede variar de 2 a miles de años. Para el estudio, se tomaron períodos de retorno de 2 a 500 años, que permiten la toma de decisiones para determinar la disponibilidad de agua para el proyecto, que normalmente para proyectos de adecuación de tierras es de 5 años.

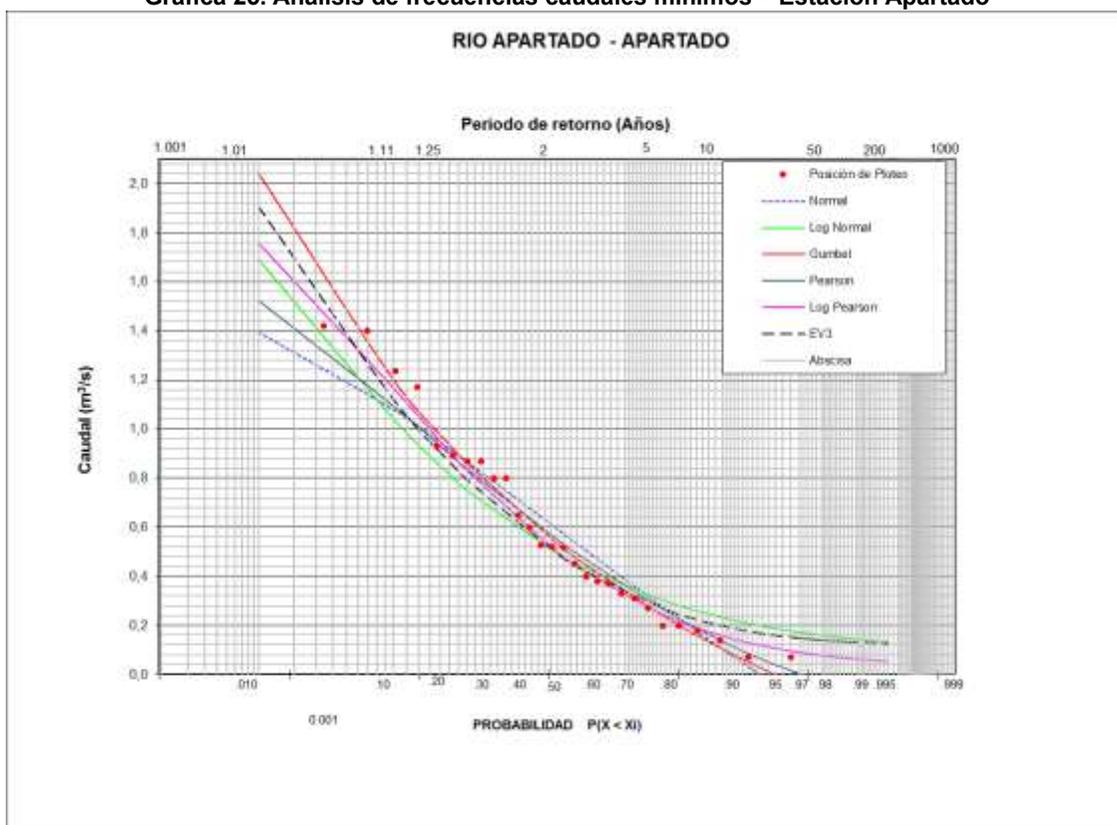
Se desarrollaron los análisis, para el período de registro de 1984 a 2012. En la Tabla 36, se presentan los valores mínimos mensuales y anuales y en la Gráfica 25, el análisis gráfico. En la Tabla 37, se presentan los resultados para períodos de retorno de 2 a 500 años.

**Tabla 36. Caudales mínimos – Estación Apartadó**

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1984	1.50	1.27	1.27	0.87	0.87	1.09	1.95	1.36	1.32	2.25	1.50	1.65	0.87
1985	2.10	1.68	1.50	1.50	1.40	1.92	3.90	2.29	1.84	2.45	4.70	3.20	1.40
1986	2.10	1.92	1.50	1.89	3.80	2.10	2.66	1.42	1.53	4.52	2.62	1.50	1.42
1987	1.18	1.22	0.89	0.89	1.50	1.56	0.97	0.92	1.53	1.53	1.09	1.10	0.89
1988	0.67	0.64	0.40	0.44	0.78	2.84	2.24	1.24	1.77	1.74	1.53	3.20	0.40
1989	1.62	1.53	1.32	0.93	1.07	2.55	2.20	1.18	1.42	1.53	1.65	1.53	0.93
1990	1.65	0.72	0.48	0.43	1.68	2.54	2.42	1.56	1.02	1.18	4.25	1.56	0.43
1991	1.10	0.90	0.61	0.52	0.70	0.97	1.06	1.20	1.18	2.38	2.63	1.50	0.52
1992	1.59	1.48	0.45	1.07	2.04	1.14	1.05	1.18	1.14	2.14	1.89	1.36	0.45
1993	1.56	0.90	0.87	4.10	6.02	2.90	1.02	0.98	1.30	3.25	3.60	8.43	0.87
1994	4.97	3.80	3.50	4.90	6.90	4.52	4.30	3.60	2.53	2.90	3.80	1.17	1.17
1995	1.05	0.80	0.80	1.08	2.50	1.51	1.44	1.51	0.80	1.25	1.47	1.47	0.80
1996	1.28	1.34	0.80	2.16	2.50	2.60	2.60	3.30	2.60	2.04	2.50	2.16	0.80
1997	0.42	0.43	0.23	0.20	1.08	2.36	1.37	2.32	1.40	1.51	3.80	0.92	0.20
1998	0.51	0.41	0.40	0.20	0.41	0.86	0.63	0.32	0.40	0.51	3.70	2.12	0.20
1999	0.70	0.37	0.59	1.51	0.68	0.65	0.41	0.85	0.92	1.62	1.75	2.04	0.37
2000	0.68	0.51	0.38	0.38	1.31	0.41	0.44	0.68	0.83	1.10	0.75	0.45	0.38
2001	0.45	0.37	0.35	0.33	0.37	0.31	0.42	0.38	0.37	0.34	0.33	0.34	0.31
2002	0.32	0.22	0.18	0.19	0.30	0.49	0.37	0.22	0.26	0.29	0.25	0.27	0.18
2003	0.18	0.17	0.14	0.14	0.48	0.42	0.30	0.25	0.29	0.30	0.26	0.29	0.14
2004	0.15	0.07	0.13	0.12	0.09	0.08	0.08	0.08	0.09	0.10	0.08	0.09	0.07
2005	0.08	0.10	0.11	0.07	1.31	1.27	1.98	1.84	0.78	1.94	3.17	XXX	0.07
2006	XXX	0.80	0.60	1.75	3.28	5.20	3.81	3.68	0.84	1.27	1.20	1.31	0.60
2007	0.84	0.42	0.33	0.71	2.13	1.14	1.38	1.41	2.13	2.35	1.17	2.35	0.33
2008	2.35	1.27	0.73	1.14	4.74	2.69	2.24	2.04	1.03	2.58	1.66	0.65	0.65
2009	1.24	0.27	0.27	5.05	4.78	7.96	5.72	2.62	1.77	1.53	4.16	1.65	0.27
2010	0.82	0.53	0.53	2.51	1.71	1.47	1.41	1.71	2.40	2.12	1.83	4.78	0.53
2011	10.25	4.05	3.94	3.06	4.78	1.94	8.26	4.40	XXX	3.28	1.24	2.29	1.24
2012	2.29	1.53	XXX	0.93	1.47	2.18	1.00	0.72	0.52	0.89	1.47	0.89	0.52

Fuente: IDEAM

Gráfica 25. Análisis de frecuencias caudales mínimos – Estación Apartadó



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Tabla 37. Resultados análisis de frecuencias

TR años	NORMAL	GUMBEL	PEARSON	LOG- PEAR	LOG-NOR	EV3
2	0.59	0.53	0.55	0.50	0.49	0.49
2.33	0.52	0.46	0.48	0.43	0.44	0.43
5	0.27	0.23	0.26	0.24	0.30	0.26
10	0.10	0.10	0.14	0.16	0.23	0.20
20	-0.02	0.01	0.05	0.11	0.19	0.16
50	-0.14	-0.08	-0.03	0.08	0.16	0.14
100	-0.21	-0.14	-0.07	0.06	0.14	0.13
200	-0.26	-0.19	-0.10	0.05	0.13	0.13
500	-0.31	-0.25	-0.12	0.05	0.12	0.12
chi 2	0.162	-0.229	0.414	0.135	0.609	0.316

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

En la tabla se puede observar que la distribución que presenta el mejor ajuste es la distribución Log - Pearson con un valor de Chi<sup>2</sup> de 0.135. Para un período de retorno de 5 años, el caudal mínimo es de 0.24 m<sup>3</sup>/s y para 10 años, es de 0.16 m<sup>3</sup>/s.

#### 1.7.4.6 Río Carepa – Carepa

##### 1.1.1.1.2. Caudales medios

La distribución temporal de los caudales medios mensuales, es de tipo bimodal, observándose los caudales más altos en los meses de Mayo y Junio en el primer semestre

del año con registros de 29.82 y 35.94 m<sup>3</sup>/s respectivamente y Septiembre y Octubre en el segundo, con registros de 7.33 y 8.46 m<sup>3</sup>/s. Los valores más bajos se observan en los meses de Enero y Febrero, con registros de 2.71 y 2.11 m<sup>3</sup>/s. El valor promedio anual es de 6.03 m<sup>3</sup>/s.

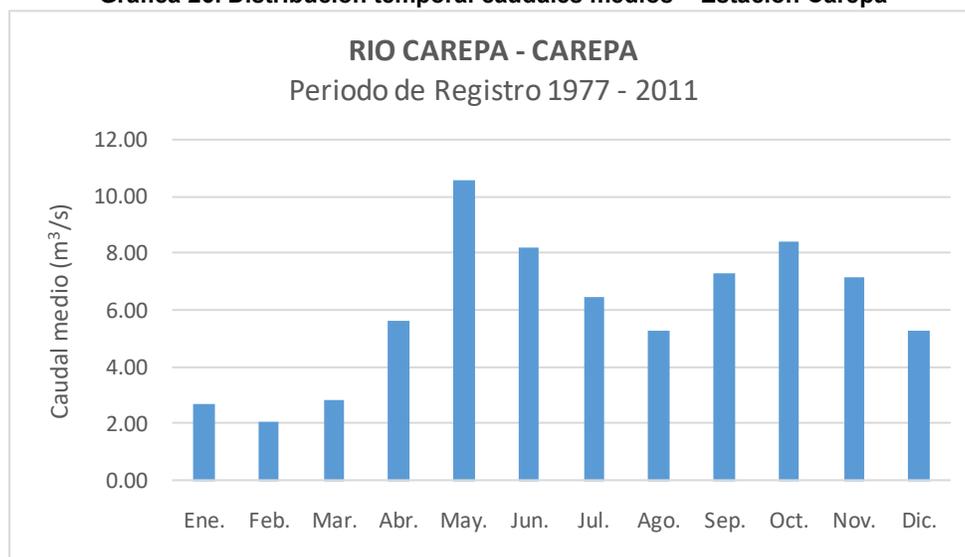
En la Tabla 38 se presentan los valores medios mensuales y en la Gráfica 26 la distribución temporal.

**Tabla 38. Caudales medios mensuales (m<sup>3</sup>/s) – Estación Carepa**

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1977	XXX	XXX	2.87	3.49	XXX	11.83	10.48	9.33	8.32	5.99	5.27	3.31	6.77
1978	XXX	XXX	2.38	9.21	10.65	9.77	4.66	4.58	4.17	8.12	5.76	5.18	6.45
1979	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	4.45	XXX	7.20	6.19	XXX	10.66	7.13
1980	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	5.78	7.76	2.32	3.83	11.25	4.76	4.64	5.76
1981	3.20	1.40	9.43	6.02	19.71	9.45	3.08	4.58	23.32	7.49	6.50	5.63	8.32
1982	5.51	10.49	5.50	12.93	29.82	4.72	9.69	9.61	7.63	10.21	11.70	4.05	10.15
1983	0.17	0.15	0.17	XXX	4.16	4.98	3.88	4.10	2.23	5.97	4.59	7.26	3.43
1984	XXX	4.37	1.70	3.41	XXX	XXX	XXX	1.67	1.82	2.29	2.96	0.57	2.35
1985	0.17	0.12	0.13	0.16	0.83	2.68	0.47	0.49	2.15	XXX	XXX	0.27	0.75
1986	0.11	0.14	0.13	XXX	1.14	XXX	XXX	5.14	17.22	30.16	4.29	0.92	6.58
1987	0.22	0.11	0.10	3.79	5.57	0.37	0.41	3.76	0.86	2.62	0.84	2.96	1.80
1988	0.22	0.35	0.10	1.25	3.71	2.57	3.95	5.72	3.10	3.45	1.51	2.68	2.38
1989	1.99	0.10	0.10	0.38	0.64	0.81	1.28	0.19	1.26	0.32	0.82	0.43	0.69
1990	2.10	0.97	0.67	2.61	15.10	7.98	4.45	5.35	5.56	17.47	13.56	5.79	6.80
1991	1.37	0.72	2.32	2.21	8.59	11.17	9.87	6.79	10.72	12.41	14.92	2.76	6.99
1992	0.94	0.76	0.65	5.51	8.62	6.36	4.22	7.12	8.38	6.87	5.38	8.18	5.25
1993	6.00	0.83	6.08	8.30	14.73	8.41	8.48	2.58	7.58	6.49	8.61	4.44	6.88
1994	1.04	2.39	2.33	1.02	11.61	8.94	4.48	8.84	12.87	17.25	8.41	1.57	6.73
1995	0.07	0.01	0.01	10.39	15.11	XXX	2.88	4.01	3.92	2.56	0.23	1.00	3.65
1996	0.97	3.68	10.82	13.82	28.53	35.94	19.40	5.28	17.07	18.73	30.36	6.32	15.91
1997	3.65	XXX	2.77	4.07	12.16	11.09	14.67	7.08	7.10	9.27	10.02	8.25	8.19
1998	3.97	4.93	3.96	4.76	11.02	15.51	9.59	9.03	7.82	6.56	9.44	7.86	7.87
1999	6.93	7.26	5.66	6.15	9.18	6.26	5.43	5.92	6.61	11.85	5.79	8.96	7.17
2000	4.08	1.65	3.05	12.36	8.35	3.14	3.13	4.51	14.28	4.88	4.33	3.87	5.64
2001	3.50	XXX	XXX	0.76	4.17	2.54	5.65	3.18	3.08	3.20	9.20	7.86	4.31
2002	5.17	1.46	1.03	2.97	7.57	7.05	10.04	4.33	5.32	5.30	4.93	7.08	5.19
2003	0.99	0.80	0.80	7.66	10.13	8.61	3.99	3.42	9.42	8.87	3.25	6.26	5.35
2004	0.92	0.80	2.94	5.43	8.01	10.23	3.05	4.36	5.32	5.49	4.22	2.90	4.47
2005	4.79	2.60	2.74	9.58	11.59	12.25	9.26	7.28	7.59	11.38	10.40	7.32	8.06
2006	4.27	1.55	3.92	9.67	12.73	8.74	6.77	4.22	4.37	5.57	5.31	3.84	5.91
2007	2.57	1.86	1.94	6.99	16.51	9.84	7.65	7.65	6.24	6.28	6.50	4.88	6.58
2008	0.69	4.67	6.40	2.31	14.34	8.59	4.01	2.50	4.19	7.50	5.42	8.49	5.76
2009	7.79	3.28	2.99	3.95	7.71	7.02	15.90	10.20	4.28	7.31	14.12	3.65	7.35
2010	0.83	0.30	2.02	3.67	5.43	5.45	2.23	4.28	11.61	9.85	7.10	19.51	6.02
2011	7.05	3.37	6.74	9.75	11.40	7.55	8.62	10.91	10.23	XXX	XXX	XXX	8.40
<b>Media</b>	2.71	2.11	2.89	5.63	10.61	8.25	6.48	5.30	7.33	8.46	7.20	5.27	6.03
<b>Max</b>	7.79	10.49	10.82	13.82	29.82	35.94	19.40	10.91	23.32	30.16	30.36	19.51	35.94
<b>Min</b>	0.07	0.01	0.01	0.16	0.64	0.37	0.41	0.19	0.86	0.32	0.23	0.27	0.01

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

**Gráfica 26. Distribución temporal caudales medios – Estación Carepa**



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

### 1.1.1.1.3. Curva de duración de caudales medios diarios

A partir de la serie de caudales medios diarios registrados, para el período 1977 – 2011, se desarrolló la curva de duración, que permite establecer el porcentaje de tiempo que un determinado caudal, es igualado o excedido.

La curva se desarrolla, para los caudales medios diarios y para los medios decadales, primero ordenando la serie de mayor a menor, luego se asigna un número de orden a cada dato y a continuación, se define una posición de ploteo, de acuerdo con la siguiente ecuación:

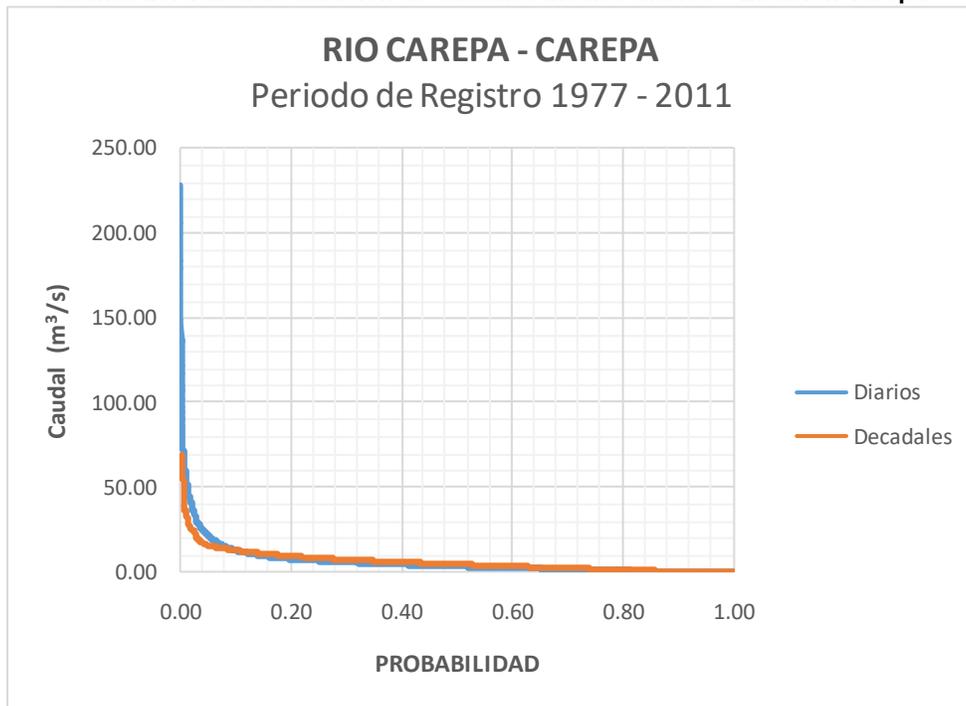
$$P_p = M/N$$

Donde:

- $P_p$  = Posición de ploteo
- $M$  = Número de orden
- $N$  = Número total de datos

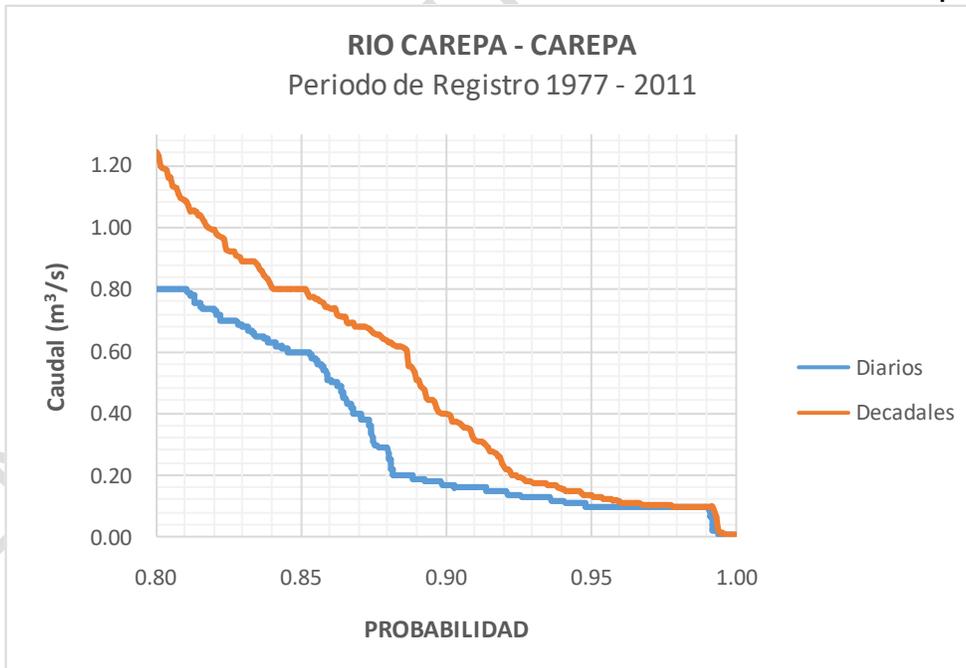
En la Gráfica 27, se presenta la curva de duración de los caudales medios diarios y decadales y en la Gráfica 28, el detalle de la misma, para excedencias superiores al 80%. En la Tabla 39, se presentan los respectivos caudales característicos.

**Gráfica 27. Curva de duración de caudales medios diarios – Estación Carepa**



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

**Gráfica 28. Detalle curva de duración de caudales medios diarios – Estación Carepa**



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

**Tabla 39. Caudales característicos**

DIARIOS	DECADELES
---------	-----------

CAUDALES	VALOR m <sup>3</sup> /s	CAUDALES	VALOR m <sup>3</sup> /s
Máximo	228.60	Máximo	69.62
Q <sub>50</sub>	3.25	Q <sub>50</sub>	4.65
Q <sub>75</sub>	1.20	Q <sub>75</sub>	1.85
Q <sub>90</sub>	0.18	Q <sub>90</sub>	0.44
Q <sub>95</sub>	0.11	Q <sub>95</sub>	0.15
Q <sub>97</sub>	0.10	Q <sub>97</sub>	0.11
Q <sub>99</sub>	0.10	Q <sub>99</sub>	0.10
Mínimo	0.01	Mínimo	0.01

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

En la tabla se puede observar que el caudal máximo registrado es de 228.60 m<sup>3</sup>/s, el caudal correspondiente al 50%, es de 3.25 m<sup>3</sup>/s, el caudal correspondiente al 95 % es de 0.11 m<sup>3</sup>/s el caudal mínimo registrado es de 0.11 m<sup>3</sup>/s.

#### 1.1.1.1.4. Caudales máximos anuales

A partir de las series de valores máximos anuales, se desarrollaron los análisis de frecuencias, por medio de las distribuciones Normal, Gumbel, Pearson Tipo III, Log-Pearson Tipo III, Log-Normal y de Extremos (EV3) y se ajustaron a la distribución Chi<sup>2</sup>, para determinar el mejor ajuste y de acuerdo con este valor, se seleccionó la que presentó el menor valor.

Estos análisis muestran la probabilidad de que un determinado evento, pueda ocurrir en un lapso establecido, que puede variar de 2 a miles de años. Para el estudio, se tomaron períodos de retorno de 2 a 500 años, que permiten la toma de decisiones para la construcción de la mayoría de obras de infraestructura en la cuenca, tales como estructuras de captación, puentes, pontones, diques de protección contra inundaciones etc.

Se desarrollaron los análisis, para el período de registro de 1977 a 2011. En la Tabla 40, se presentan los valores máximos mensuales y anuales y en la Gráfica 29, el análisis gráfico. En la Tabla 41 se presentan los resultados para períodos de retorno de 2 a 500 años.

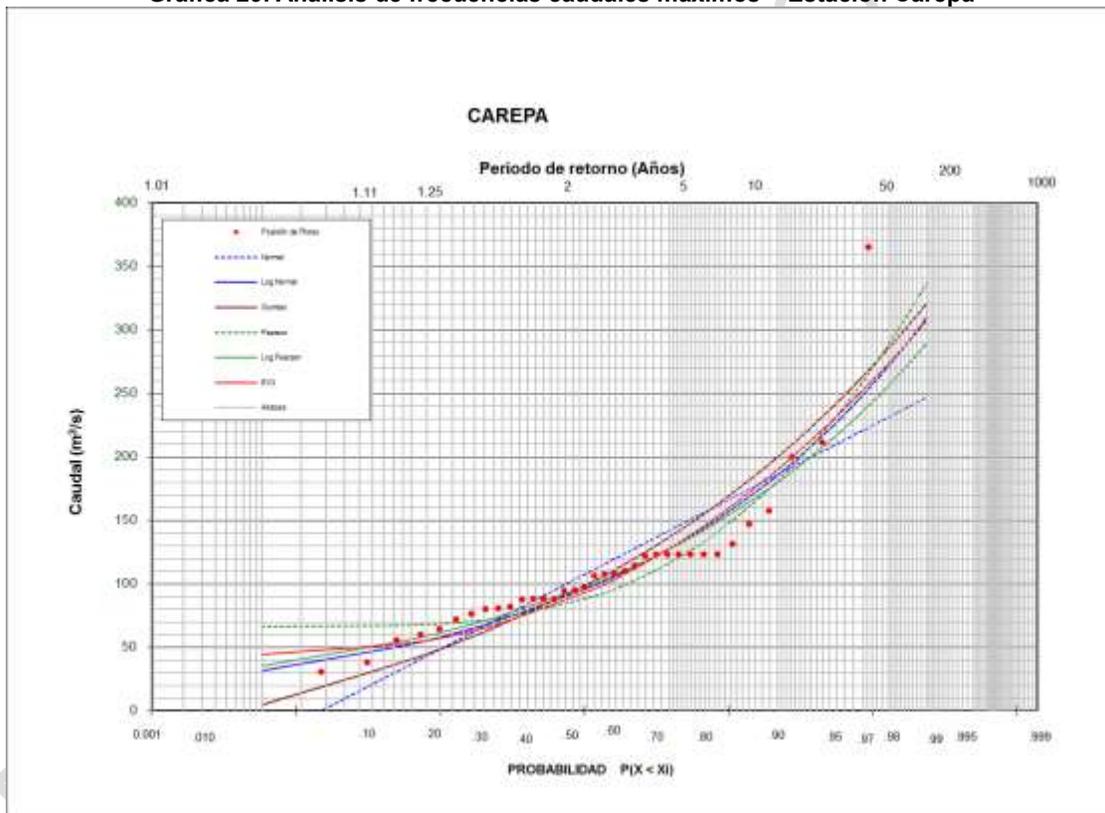
Tabla 40. Caudales máximos – Estación Carepa

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1977	XXX	XXX	18,30	17,70	XXX	56,80	27,12	71,96	47,26	28,96	28,50	55,50	71,96
1978	70,30	58,10	16,95	72,50	73,15	26,55	19,75	17,30	27,02	79,72	22,97	26,55	79,72
1979	19,30	10,40	22,50	52,50	157,60	28,60	20,51	140,70	15,00	24,20	78,40	104,20	157,60
1980	48,40	20,90	18,50	9,60	29,00	96,30	146,90	18,40	40,90	104,20	41,40	33,80	146,90
1981	38,80	4,60	104,20	41,40	245,60	106,60	13,40	46,30	365,00	104,20	33,80	24,20	365,00
1982	82,40	137,50	104,20	175,00	211,60	36,30	112,20	148,70	50,80	59,40	105,80	2,90	211,60
1983	0,19	0,17	0,65	63,00	33,80	32,82	34,80	41,45	14,36	81,70	68,60	77,74	81,70
1984	20,00	33,80	4,77	94,70	25,30	27,90	23,40	8,30	XXX	36,30	12,00	1,69	94,70
1985	1,20	0,16	0,98	0,47	9,45	30,86	3,40	6,30	XXX	XXX	13,20	1,46	30,86
1986	0,12	0,56	1,55	XXX	13,40	20,10	64,50	41,45	75,10	88,30	28,90	10,60	88,30
1987	1,90	0,16	0,13	28,90	88,30	4,60	1,90	88,30	28,90	28,90	28,90	88,30	88,30
1988	1,90	4,60	0,16	28,90	88,30	28,90	88,30	88,30	55,40	55,40	28,90	55,40	88,30
1989	55,40	0,20	0,13	10,60	10,60	13,40	33,80	1,90	XXX	3,10	28,90	10,60	55,40
1990	20,30	1,50	0,90	25,50	200,00	64,20	25,50	25,50	64,20	132,10	132,10	20,30	200,00
1991	2,54	0,94	25,50	25,50	25,50	31,50	46,30	25,50	64,20	38,80	64,20	15,80	64,20
1992	1,50	1,50	0,86	27,00	27,00	18,00	11,20	27,00	22,20	27,00	27,00	38,40	38,40
1993	27,00	2,14	27,00	60,00	60,00	27,00	26,04	8,40	XXX	27,00	27,00	11,20	60,00

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1994	1,75	22,20	45,60	6,00	95,00	60,00	13,90	60,00	95,00	81,00	95,00	14,20	95,00
1995	0,54	0,02	0,02	80,75	XXX	XXX	7,70	15,80	7,70	7,70	0,60	7,70	80,75
1996	7,70	38,50	80,80	72,30	80,80	80,80	80,80	30,00	80,80	80,80	123,00	38,50	123,00
1997	7,70	XXX	7,22	11,20	63,85	76,53	55,40	30,00	11,66	38,50	46,95	15,80	76,53
1998	6,50	6,50	6,50	34,30	55,40	123,00	38,50	30,00	79,90	11,20	38,50	38,50	123,00
1999	59,60	76,50	11,20	15,80	63,80	15,80	7,70	9,40	XXX	114,60	38,50	89,20	114,60
2000	9,40	15,80	22,00	123,00	80,80	15,80	15,80	63,80	63,80	22,00	15,80	15,80	123,00
2001	11,20	XXX	XXX	4,25	22,00	41,88	97,65	42,72	73,99	21,38	55,40	84,97	97,65
2002	47,00	4,70	1,70	11,20	84,10	38,50	107,80	47,00	32,50	30,00	89,20	68,10	107,80
2003	1,60	0,80	0,80	72,30	55,40	85,00	18,90	17,00	55,40	55,40	6,70	106,10	106,10
2004	2,72	0,80	80,75	80,75	87,51	72,30	9,45	38,50	38,50	51,17	26,00	7,70	87,51
2005	87,51	2,60	7,22	123,00	45,26	76,53	25,80	18,20	16,86	87,51	63,85	55,40	123,00
2006	34,96	5,53	59,63	110,30	93,43	41,88	101,90	16,22	17,85	23,40	18,20	4,98	110,30
2007	14,94	3,82	4,35	97,65	106,10	76,53	51,17	34,96	86,67	46,95	97,65	123,00	123,00
2008	XXX	XXX	XXX	9,55	87,51	131,00	29,70	38,50	46,95	46,95	XXX	42,72	131,00
2009	123,00	59,63	31,17	25,35	34,83	22,64	123,00	32,63	14,80	70,61	63,85	14,80	123,00
2010	2,04	0,47	21,18	15,26	21,18	24,75	7,75	24,75	116,40	63,43	24,04	122,10	122,10

Fuente: IDEAM

Gráfica 29. Análisis de frecuencias caudales máximos – Estación Carepa



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Tabla 41. Resultados análisis de frecuencias

TR años	NORMAL	GUMBEL	PEARSON	LOG-PEAR	LOG-NOR	EV3
2	111,38	102,41	90,48	100,44	98,70	96,07
2,33	126,11	118,16	101,49	112,64	111,77	110,25
5	160,38	160,89	139,33	147,13	149,27	151,43
10	186,01	199,62	180,96	179,74	185,34	189,86
20	207,18	236,76	225,42	212,10	221,60	226,52
25	213,35	248,55	240,25	222,58	233,43	238,02
50	231,00	284,85	287,78	255,58	270,94	273,02

100	246,87	320,87	337,33	289,45	309,80	307,07
200	261,40	356,77	388,71	324,40	350,21	340,34
500	279,00	404,13	459,21	372,50	406,32	383,30
Chi 2	121,08	146,16	106,14	93,88	87,61	102,65

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

En la tabla se puede observar que la distribución que presenta el mejor ajuste es la de Log - Normal, con un valor de Chi<sup>2</sup> de 87.61. Para un período de retorno de 100 años, el caudal máximo es de 309.80 m<sup>3</sup>/s y para 500 años, es de 406.32 m<sup>3</sup>/s.

#### 1.1.1.1.5. Caudales mínimos anuales

A partir de las series de valores mínimos anuales, se desarrollaron los análisis de frecuencias, por medio de las distribuciones Normal, Gumbel, Pearson Tipo III, Log-Pearson Tipo III, Log-Normal y de Extremos (EV3) y se ajustaron a la distribución Chi<sup>2</sup>, para determinar el mejor ajuste y de acuerdo con este valor, se seleccionó la que presentó el menor valor.

Estos análisis muestran la probabilidad de que un determinado evento, pueda ocurrir en un lapso establecido, que puede variar de 2 a miles de años. Para el estudio, se tomaron períodos de retorno de 2 a 500 años, que permiten la toma de decisiones para determinar la disponibilidad de agua para el proyecto, que normalmente para proyectos de adecuación de tierras es de 5 años.

Se desarrollaron los análisis, para el período de registro de 1977 a 2011. En la Tabla 42, se presentan los valores mínimos mensuales y anuales y en la Gráfica 30, el análisis gráfico. En la Tabla 43, se presentan los resultados para períodos de retorno de 2 a 500 años.

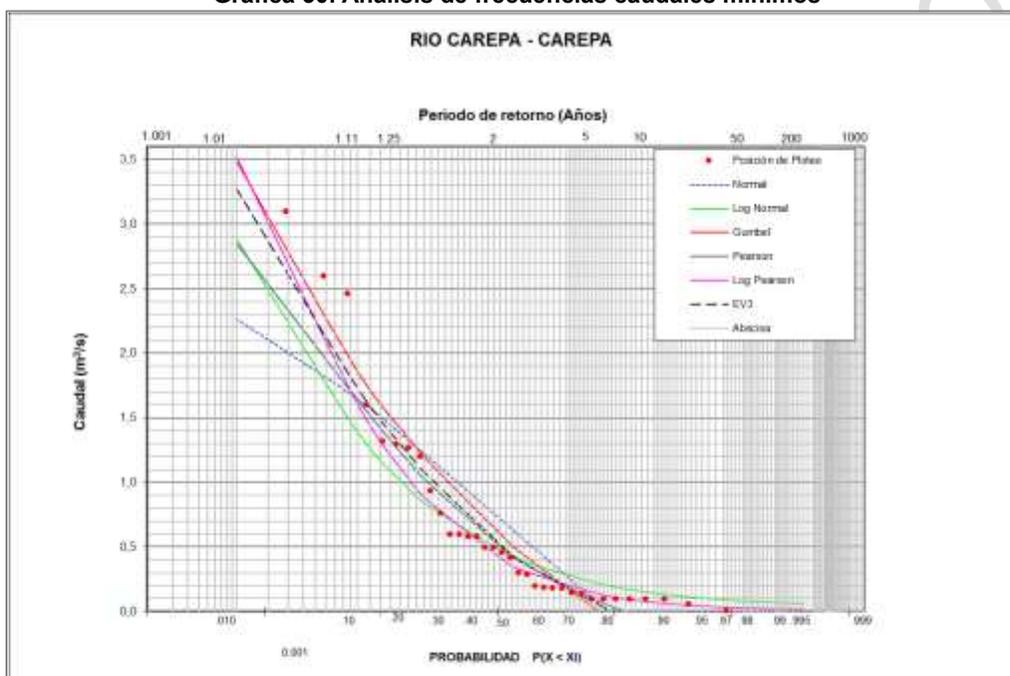
Tabla 42. Caudales mínimos – Estación Carepa

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1977	XXX	XXX	2.79	2.65	XXX	5.43	4.67	4.29	2.58	2.26	1.83	1.60	1.60
1978	XXX	XXX	1.27	2.32	3.77	4.86	2.20	2.08	2.20	3.77	2.98	3.25	1.27
1979	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	1.20	XXX	3.55	3.18	XXX	3.10	1.20
1980	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	1.27	1.62	0.19	0.53	1.44	1.62	1.34	0.19
1981	1.10	0.45	0.30	0.30	1.30	2.50	1.20	1.20	1.90	1.70	2.40	1.20	0.30
1982	1.50	1.70	1.50	1.40	3.00	1.00	2.50	1.60	1.40	2.40	2.80	0.20	0.20
1983	0.16	0.15	0.14	XXX	1.06	2.15	1.09	0.31	0.27	0.20	1.09	1.86	0.14
1984	XXX	1.44	0.70	0.70	XXX	XXX	XXX	0.18	0.38	0.40	0.29	0.36	0.18
1985	0.11	0.10	0.10	0.10	0.13	0.54	0.16	0.16	0.45	XXX	XXX	0.11	0.10
1986	0.10	0.10	0.10	XXX	0.12	XXX	XXX	0.16	0.14	0.25	0.10	0.10	0.10
1987	0.10	0.10	0.10	0.10	0.14	0.10	0.12	0.13	0.12	0.13	0.10	0.10	0.10
1988	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.14	0.14	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
1989	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
1990	0.70	0.60	0.50	0.60	0.70	1.50	0.60	1.30	1.30	1.30	4.20	0.70	0.50
1991	0.74	0.64	0.65	0.60	1.46	1.79	1.79	1.46	2.08	3.19	3.19	0.58	0.58
1992	0.58	0.55	0.55	0.18	1.95	1.88	1.56	1.36	2.21	1.75	1.82	1.42	0.18
1993	1.95	0.46	0.50	2.08	5.00	1.95	1.82	1.16	2.08	1.04	1.56	1.10	0.46
1994	0.42	0.42	0.50	0.46	0.62	1.42	1.42	2.21	3.92	3.76	2.08	0.56	0.42
1995	0.01	0.01	0.01	0.01	4.25	XXX	1.30	0.80	0.80	0.01	0.02	0.25	0.01
1996	0.10	0.06	1.50	1.00	5.30	6.50	2.00	0.10	3.20	3.20	1.50	2.00	0.06
1997	0.50	XXX	2.00	2.00	3.20	5.30	5.30	4.25	5.30	4.88	3.72	5.30	0.50
1998	2.00	3.20	1.30	1.50	3.20	5.30	7.20	6.70	2.70	4.80	5.00	4.90	1.30
1999	3.20	3.10	3.10	4.80	4.80	4.80	3.20	4.40	4.30	3.40	3.70	3.20	3.10
2000	1.00	0.70	0.80	0.60	3.20	1.30	0.80	0.90	2.60	1.00	1.00	1.00	0.60
2001	0.80	XXX	XXX	0.58	0.72	0.72	0.72	0.68	0.60	0.60	0.60	2.84	0.58
2002	1.50	1.05	0.88	1.30	2.30	2.72	2.84	2.60	2.60	2.36	2.42	1.70	0.88

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
2003	0.76	0.80	0.80	0.80	1.75	2.24	2.12	2.00	1.95	2.20	2.06	1.45	0.76
2004	0.80	0.80	0.60	0.15	1.20	1.65	1.40	2.00	2.60	2.60	2.60	2.60	0.15
2005	2.60	2.60	2.60	2.60	7.64	7.82	6.90	5.43	5.33	6.51	4.49	5.14	2.60
2006	1.38	0.60	0.60	1.10	3.47	3.09	2.49	1.80	2.14	4.09	3.47	3.16	0.60
2007	2.00	1.46	1.32	3.01	4.09	4.82	5.14	3.91	2.70	1.86	1.46	1.32	1.32
2008	0.10	1.79	6.40	0.83	0.58	0.78	0.38	0.56	0.59	0.38	0.24	1.88	0.10
2009	1.51	1.51	1.33	1.51	1.88	3.57	7.84	4.25	1.79	1.15	5.50	0.94	0.94
2010	0.38	0.29	0.29	1.63	2.69	2.96	1.35	1.12	3.50	4.21	4.21	5.14	0.29
2011	4.50	2.46	2.60	2.60	5.46	4.82	5.14	4.82	5.78	XXX	XXX	XXX	2.46
2011	4.50	2.46	2.60	2.60	5.46	4.82	5.14	4.82	5.78	XXX	XXX	XXX	2.46

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Gráfica 30. Análisis de frecuencias caudales mínimos



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Tabla 43. Resultados análisis de frecuencias

TR años	NORMAL	GUMBEL	PEARSON	LOG-PEAR	LOG-NOR	EV3
2	0.68	0.56	0.47	0.39	0.45	0.48
2.33	0.54	0.42	0.36	0.31	0.38	0.36
5	0.03	-0.02	0.06	0.13	0.21	0.03
10	-0.29	-0.27	-0.05	0.07	0.14	-0.10
20	-0.53	-0.45	-0.12	0.04	0.11	-0.17
50	-0.77	-0.64	-0.16	0.03	0.08	-0.22
100	-0.90	-0.75	-0.17	0.02	0.07	-0.23
200	-1.01	-0.85	-0.18	0.02	0.06	-0.24
500	-1.10	-0.96	-0.18	0.01	0.06	-0.25
chi 2	-0.133	-2.317	-2.756	0.915	2.495	-2.727

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

En la Tabla se puede observar que la distribución que presenta el mejor ajuste es la distribución Log - Pearson con un valor de Chi<sup>2</sup> de 0.915. Para un período de retorno de 5 años, el caudal mínimo es de 0.13 m<sup>3</sup>/s y para 10 años, es de 0.07 m<sup>3</sup>/s.

#### 1.7.4.7 Río Zungo – Puente Carretera

### 1.1.1.1.6. Caudales medios

La distribución temporal de los caudales medios mensuales, es de tipo bimodal, observándose los caudales más altos en los meses de Mayo y Junio en el primer semestre del año con registros de 3.16 y 3.28 m<sup>3</sup>/s respectivamente y Octubre y Noviembre en el segundo, con registros de 2.75 y 2.57 m<sup>3</sup>/s. Los valores más bajos se observan en los meses de enero, febrero y marzo, con registros de 1.24, 1.15 y 1.24 m<sup>3</sup>/s. El valor promedio anual es de 2.35 m<sup>3</sup>/s.

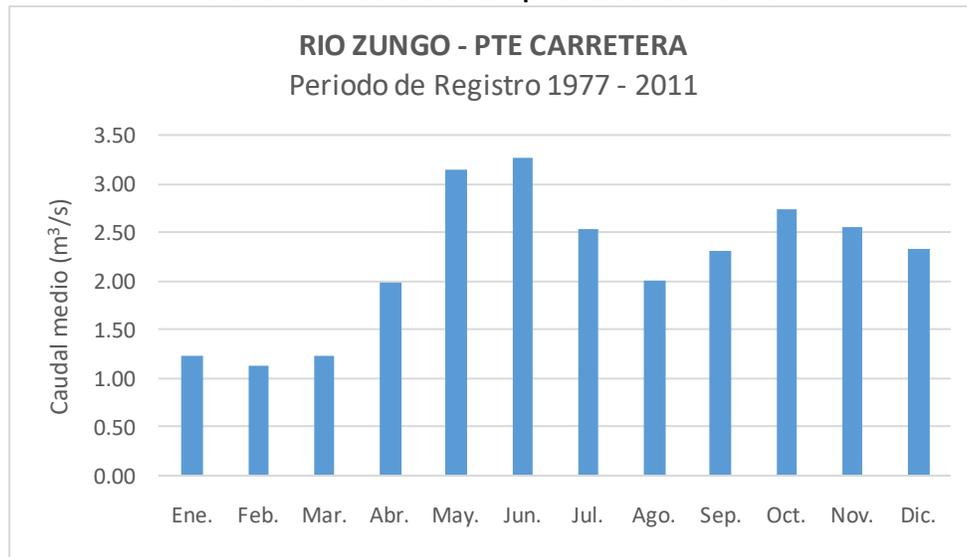
En la Tabla 44 se presentan los valores medios mensuales y en la Gráfica 31 la distribución temporal.

Tabla 44. Caudales medios mensuales (m<sup>3</sup>/s)

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1977	XXX	XXX	0.48	0.55	3.77	2.01	2.01	2.74	2.74	3.26	2.32	1.12	2.10
1978	0.15	0.17	0.63	4.06	3.30	7.90	2.35	3.11	3.30	5.18	3.64	2.09	2.99
1979	0.62	XXX	XXX	5.05	4.45	4.48	3.36	3.09	2.41	3.25	1.69	2.45	3.08
1980	1.17	0.04	0.04	0.49	1.30	1.32	3.21	2.77	1.62	3.37	2.09	2.69	1.67
1981	1.52	0.65	2.02	2.41	3.66	1.91	1.15	2.16	3.03	3.86	4.23	2.58	2.43
1982	1.29	3.66	1.27	1.88	5.25	2.19	4.72	2.63	4.16	4.40	5.00	1.21	3.14
1983	0.39	0.36	0.67	1.41	2.14	2.60	1.78	2.40	0.66	1.85	1.99	4.65	1.74
1984	0.84	1.32	0.03	0.04	0.36	0.58	0.52	0.54	0.66	0.83	1.35	0.03	0.59
1985	0.31	0.28	0.16	0.51	1.21	2.95	1.58	1.62	3.82	3.82	4.38	2.06	1.89
1986	0.24	0.35	0.24	3.97	2.47	2.02	4.41	2.69	3.61	3.66	2.82	2.02	2.38
1987	0.93	0.47	0.32	0.69	3.31	1.14	0.92	0.89	1.08	1.39	1.35	1.76	1.19
1988	1.10	1.23	1.10	1.98	1.86	2.88	2.67	1.97	2.12	1.97	1.76	2.09	1.90
1989	2.43	1.19	XXX	XXX	1.83	2.83	3.41	XXX	4.55	1.95	1.67	0.95	2.31
1990	0.79	0.70	0.48	0.45	5.87	6.64	6.99	XXX	1.36	7.80	4.64	2.49	3.47
1991	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	2.70	2.30	3.10	8.22	7.52	7.30	2.26	4.77
1992	1.10	1.10	1.10	1.26	2.49	2.39	1.10	2.04	2.44	3.13	7.21	6.52	2.66
1993	6.91	1.10	3.61	6.02	9.95	7.80	4.87	1.99	2.52	3.67	6.20	3.17	4.82
1994	1.28	1.10	1.10	1.91	6.02	4.70	4.13	XXX	XXX	XXX	XXX	3.96	3.02
1995	1.10	1.10	1.10	3.06	9.50	9.07	5.84	3.94	5.45	4.29	XXX	XXX	4.44
1996	4.73	9.69	14.36	13.01	12.86	17.60	7.28	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	11.36
1997	XXX	XXX	0.81	0.68	1.41	2.09	2.46	1.66	1.34	2.73	0.81	0.50	1.45
1998	0.30	0.24	0.30	0.43	0.95	2.47	1.65	2.01	1.28	1.14	2.71	1.68	1.26
1999	1.30	1.64	1.59	2.21	1.65	1.71	1.90	2.48	2.14	1.90	1.37	1.60	1.79
2000	1.07	0.97	0.87	1.63	1.90	1.67	1.53	1.78	2.13	2.65	1.43	1.99	1.63
2001	1.26	0.84	0.90	0.80	1.55	1.59	1.81	1.59	1.38	1.78	1.78	1.27	1.38
2002	1.33	0.66	0.48	1.18	1.93	1.64	1.96	1.57	1.82	1.86	1.61	2.38	1.54
2003	1.01	0.83	0.74	1.55	2.23	2.50	1.28	1.72	2.19	1.03	1.60	1.40	1.51
2004	0.72	0.62	0.58	0.98	1.06	1.92	1.25	0.94	0.98	0.99	1.00	0.88	0.99
2005	1.21	0.93	0.82	1.23	1.60	1.85	1.52	1.62	1.27	1.65	1.79	1.71	1.43
2006	1.05	0.56	0.37	0.70	2.02	1.39	1.29	1.10	0.82	0.83	0.73	0.61	0.96
2007	0.51	0.49	0.37	0.93	2.04	2.16	1.19	1.40	0.98	1.69	1.20	0.78	1.15
2008	0.56	0.73	0.21	0.63	1.18	1.48	1.26	1.20	0.70	1.24	0.94	1.06	0.93
2009	1.40	1.01	1.11	1.16	1.32	1.05	1.15	1.27	1.04	1.44	0.77	0.27	1.08
2010	0.62	0.43	0.66	1.08	1.97	2.33	1.56	2.19	2.29	1.76	2.18	14.48	2.63
2011	0.62	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	0.62
Media	1.24	1.15	1.24	2.00	3.16	3.28	2.54	2.01	2.32	2.75	2.57	2.33	2.35
Max	6.91	9.69	14.36	13.01	12.86	17.60	7.28	3.94	8.22	7.80	7.30	14.48	17.60
Min	0.15	0.04	0.03	0.04	0.36	0.58	0.52	0.54	0.66	0.83	0.73	0.03	0.03

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

**Gráfica 31. Distribución temporal caudales medios**



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

#### 1.1.1.1.7. Curva de duración de caudales medios diarios

A partir de la serie de caudales medios diarios registrados, para el período 1977 – 2011, se desarrolló la curva de duración, que permite establecer el porcentaje de tiempo que un determinado caudal, es igualado o excedido.

La curva se desarrolla, para los caudales medios diarios y para los medios decadales, primero ordenando la serie de mayor a menor, luego se asigna un número de orden a cada dato y a continuación, se define una posición de ploteo, de acuerdo con la siguiente ecuación:

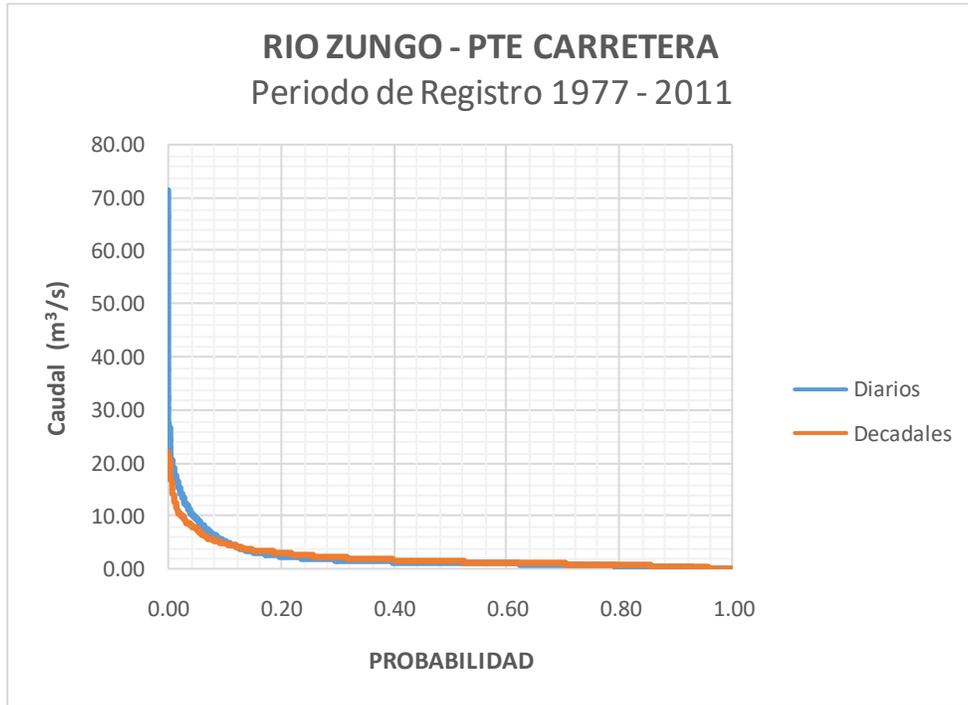
$$P_p = M/N$$

Donde:

- $P_p$  = Posición de ploteo
- $M$  = Número de orden
- $N$  = Número total de datos

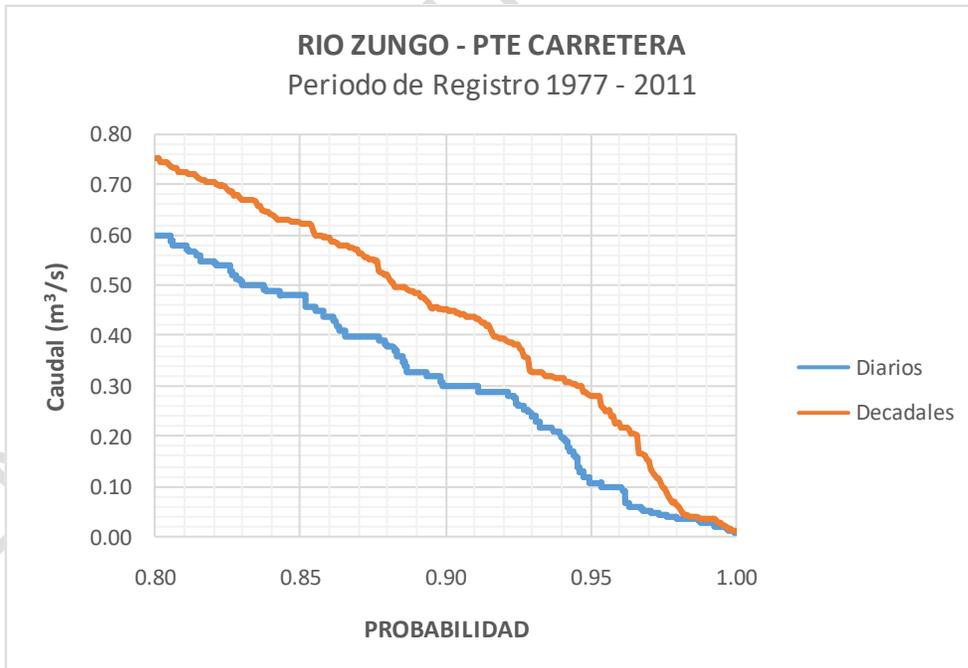
En la Gráfica 32, se presenta la curva de duración de los caudales medios diarios y decadales y en la Gráfica 33, el detalle de la misma, para excedencias superiores al 80%. En la Tabla 45, se presentan los respectivos caudales característicos.

**Gráfica 32. Curva de duración de caudales medios diarios**



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

**Gráfica 33. Detalle curva de duración de caudales medios diarios**



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

**Tabla 45. Caudales característicos**

DIARIOS		DECADELES	
CAUDALES	VALOR	CAUDALES	VALOR

	<b>m<sup>3</sup>/s</b>		<b>m<sup>3</sup>/s</b>
Máximo	71.53	Máximo	21.96
Q <sub>50</sub>	1.10	Q <sub>50</sub>	1.44
Q <sub>75</sub>	0.73	Q <sub>75</sub>	0.88
Q <sub>90</sub>	0.32	Q <sub>90</sub>	0.46
Q <sub>95</sub>	0.16	Q <sub>95</sub>	0.30
Q <sub>97</sub>	0.06	Q <sub>97</sub>	0.20
Q <sub>99</sub>	0.04	Q <sub>99</sub>	0.04
Mínimo	0.01	Mínimo	0.01

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

En la tabla se puede observar que el caudal máximo registrado es de 71.53 m<sup>3</sup>/s, el caudal correspondiente al 50%, es de 1.10 m<sup>3</sup>/s, el caudal correspondiente al 95 % es de 0.16 m<sup>3</sup>/s el caudal mínimo registrado es de 0.01 m<sup>3</sup>/s.

### 1.1.1.1.8. Caudales máximos anuales

A partir de las series de valores máximos anuales, se desarrollaron los análisis de frecuencias, por medio de las distribuciones Normal, Gumbel, Pearson Tipo III, Log–Pearson Tipo III, Log–Normal y de Extremos (EV3) y se ajustaron a la distribución Chi<sup>2</sup>, para determinar el mejor ajuste y de acuerdo con este valor, se seleccionó la que presentó el menor valor.

Estos análisis muestran la probabilidad de que un determinado evento, pueda ocurrir en un lapso establecido, que puede variar de 2 a miles de años. Para el estudio, se tomaron períodos de retorno de 2 a 500 años, que permiten la toma de decisiones para la construcción de la mayoría de obras de infraestructura en la cuenca, tales como estructuras de captación, puentes, pontones, diques de protección contra inundaciones etc.

Se desarrollaron los análisis, para el período de registro de 1977 a 2011. En la Tabla 46, se presentan los valores máximos mensuales y anuales y en la Gráfica 34, el análisis gráfico. En la Tabla 47, se presentan los resultados para períodos de retorno de 2 a 500 años.

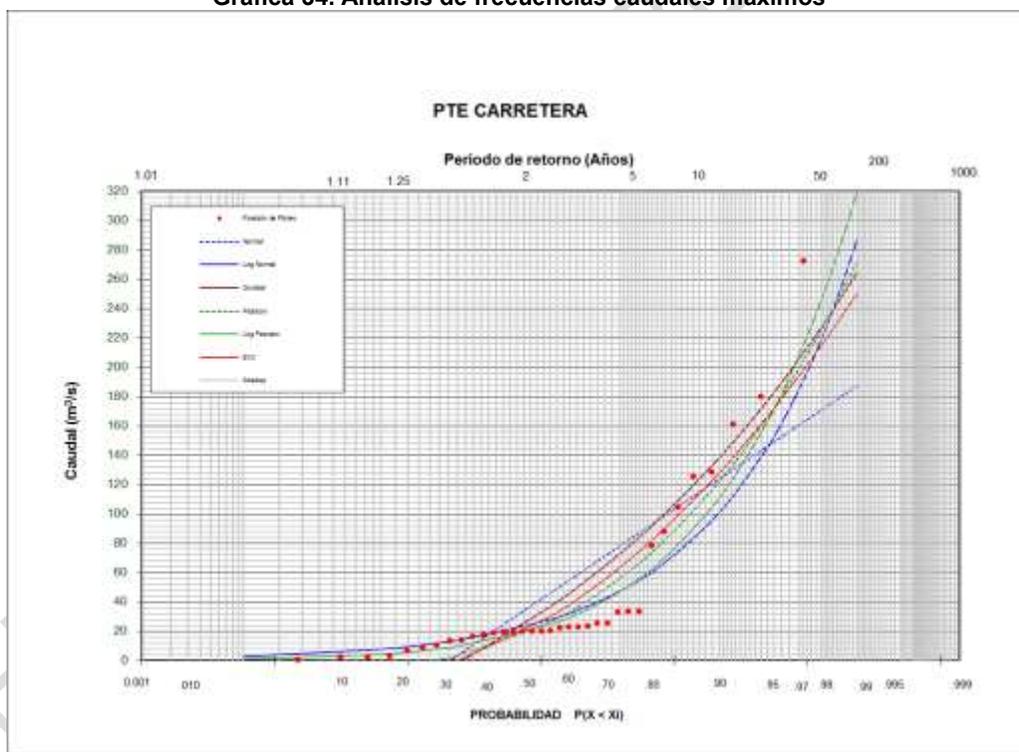
Tabla 46. Caudales máximos

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1977	XXX	XXX	0,49	0,84	19,69	72,40	18,74	19,69	60,20	78,70	32,78	28,58	78,70
1978	2,42	6,90	19,69	179,80	56,70	78,16	59,60	43,80	19,69	81,10	17,78	13,19	179,80
1979	0,84	7,80	7,70	19,69	18,74	14,92	19,69	18,74	13,19	19,69	6,29	9,12	19,69
1980	4,46	0,04	0,04	6,29	10,60	9,86	65,40	125,70	71,20	75,80	68,90	51,50	125,70
1981	19,69	3,44	75,80	92,70	128,60	23,43	52,60	19,69	14,06	70,00	90,90	86,50	128,60
1982	43,60	160,90	10,60	10,60	108,90	29,60	58,40	28,20	10,60	10,60	10,60	8,32	160,90
1983	0,54	0,54	4,90	10,60	88,10	25,70	7,56	10,60	2,18	31,90	10,60	10,60	88,10
1984	2,54	7,18	0,06	0,26	10,60	10,60	10,60	8,70	XXX	10,60	10,60	0,13	10,60
1985	0,86	0,48	0,29	1,98	16,42	15,26	13,52	14,10	20,00	18,80	20,00	13,52	20,00
1986	0,48	0,67	0,67	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	15,26	20,00
1987	4,01	0,80	0,32	2,99	18,80	11,78	2,44	2,44	2,65	7,72	14,10	14,68	18,80
1988	1,10	5,60	1,10	16,44	15,32	15,88	16,44	5,95	XXX	6,76	13,62	13,33	16,44
1989	13,62	1,82	XXX	XXX	2,00	8,60	13,62	XXX	20,00	11,30	15,32	4,55	20,00
1990	1,10	0,86	0,62	0,62	19,40	18,50	19,70	18,80	5,95	18,20	16,44	15,88	19,70
1991	1,83	1,17	0,87	0,92	1,83	14,13	18,14	19,91	19,91	18,73	22,78	18,73	22,78
1992	1,10	1,10	1,10	17,55	17,55	14,70	1,10	22,78	18,73	21,07	22,50	22,50	22,78

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1993	22,50	1,10	19,32	23,35	21,64	18,73	21,07	7,65	XXX	23,35	23,35	19,32	23,35
1994	3,95	1,10	1,10	10,14	21,07	19,91	19,91	240,20	53,90	272,40	XXX	18,14	272,40
1995	1,10	1,10	1,10	15,84	18,73	20,50	18,73	12,99	18,73	20,50	XXX	XXX	20,50
1996	32,58	23,65	31,39	33,17	26,92	26,33	25,14	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	33,17
1997	XXX	XXX	0,95	13,20	9,50	24,00	33,30	15,95	4,82	27,72	1,66	1,80	33,30
1998	0,33	0,26	1,80	2,25	8,45	11,90	4,82	33,30	2,16	2,80	25,86	18,95	33,30
1999	14,50	25,60	4,84	19,00	6,25	8,05	13,50	19,00	13,50	6,25	3,76	3,07	25,60
2000	2,50	5,82	3,01	7,10	11,10	5,40	4,00	13,50	17,50	25,60	6,25	25,60	25,60
2001	3,40	0,94	2,60	1,00	13,50	4,00	4,35	3,40	2,35	9,00	3,70	6,68	13,50
2002	4,00	2,35	0,55	4,00	8,05	3,70	11,10	3,40	4,00	4,00	8,05	22,30	22,30
2003	1,40	0,88	0,76	4,00	17,50	17,50	1,85	3,29	9,52	1,32	4,00	2,85	17,50
2004	0,79	0,70	0,58	1,85	4,70	7,10	7,10	1,85	2,35	2,45	2,25	1,40	7,10
2005	8,05	1,32	1,85	4,00	9,00	7,67	3,76	6,68	2,25	2,75	2,75	2,75	9,00
2006	2,45	1,55	2,60	2,60	XXX	2,75	2,60	2,60	2,75	2,60	2,60	2,75	2,75
2007	XXX	1,15	1,25	2,60	XXX	XXX	2,60	2,60	2,30	2,60	2,60	1,80	2,60
2008	1,80	7,73	0,60	3,54	6,26	10,93	10,93	XXX	5,93	13,80	XXX	2,20	13,80
2009	2,20	1,80	2,20	2,56	2,80	2,20	2,20	2,04	1,42	2,80	1,68	1,68	2,80
2010	0,74	0,52	1,61	7,91	35,53	39,14	6,15	13,61	16,64	19,93	23,46	104,30	104,30
2011	0,74	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	0,74						

Fuente: IDEAM

Gráfica 34. Análisis de frecuencias caudales máximas



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Tabla 47. Resultados análisis de frecuencias Caudales mínimos anuales

TR años	NORMAL	GUMBEL	PEARSON	LOG- PEAR	LOG-NOR	EV3
2	46,18	36,81	26,59	24,65	27,93	30,19
2,33	61,55	53,25	39,32	33,79	36,00	45,00
5	97,33	97,87	80,07	67,93	64,94	87,99
10	124,09	138,29	122,36	110,94	100,98	128,11

20	146,19	177,07	166,02	163,02	145,39	166,37
25	152,62	189,37	180,35	181,75	161,67	178,38
50	171,05	227,26	225,67	246,14	219,09	214,92
100	187,62	264,87	272,17	320,03	287,96	250,46
200	202,78	302,34	319,77	403,56	369,79	285,18
500	221,15	351,78	384,31	528,93	500,70	330,03
<b>Chi 2</b>	<b>589,44</b>	<b>471,41</b>	<b>456,48</b>	<b>122,97</b>	<b>189,08</b>	<b>59,28</b>

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

En la tabla se puede observar que la distribución que presenta el mejor ajuste es la EV3, con un valor de  $\text{Chi}^2$  de 59.28. Para un período de retorno de 100 años, el caudal máximo es de 250.46  $\text{m}^3/\text{s}$  y para 500 años, es de 330.03  $\text{m}^3/\text{s}$ .

#### 1.1.1.1.9. Caudales mínimos anuales

A partir de las series de valores mínimos anuales, se desarrollaron los análisis de frecuencias, por medio de las distribuciones Normal, Gumbel, Pearson Tipo III, Log-Pearson Tipo III, Log-Normal y de Extremos (EV3) y se ajustaron a la distribución  $\text{Chi}^2$ , para determinar el mejor ajuste y de acuerdo con este valor, se seleccionó la que presentó el menor valor.

Estos análisis muestran la probabilidad de que un determinado evento, pueda ocurrir en un lapso establecido, que puede variar de 2 a miles de años. Para el estudio, se tomaron períodos de retorno de 2 a 500 años, que permiten la toma de decisiones para determinar la disponibilidad de agua para el proyecto, que normalmente para proyectos de adecuación de tierras es de 5 años.

Se desarrollaron los análisis, para el período de registro de 1977 a 2011. En la Tabla 48, se presentan los valores mínimos mensuales y anuales y en la Gráfica 35, el análisis gráfico. En la Tabla 49, se presentan los resultados para períodos de retorno de 2 a 500 años.

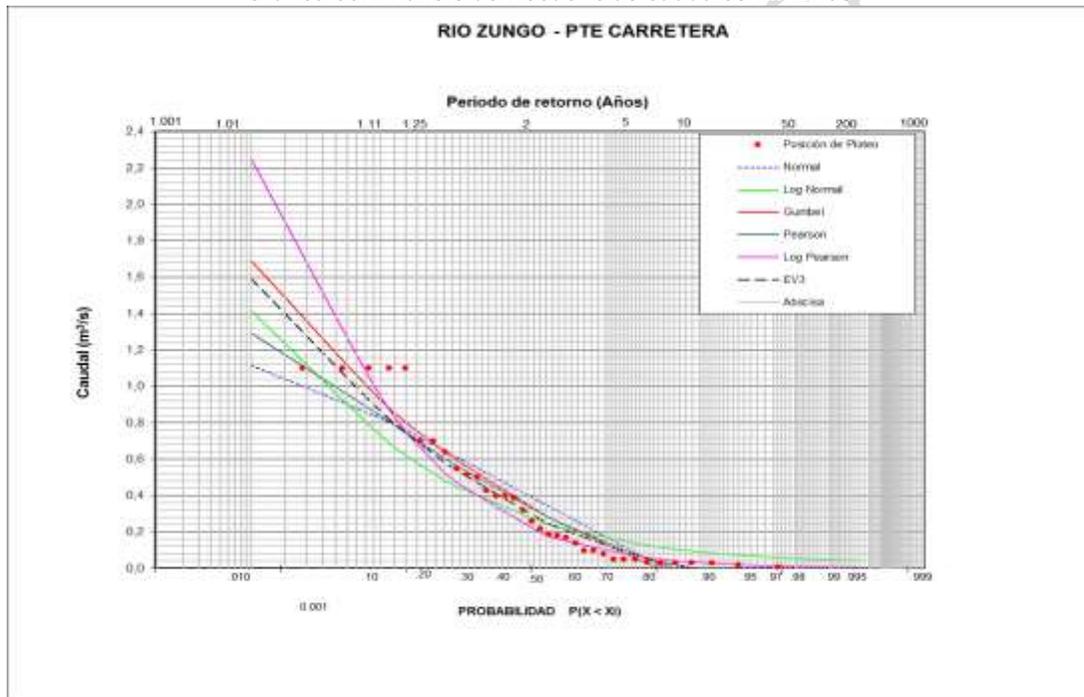
**Tabla 48. Caudales mínimos**

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1977	XXX	XXX	0.44	0.49	0.57	0.33	0.55	0.38	0.44	0.50	0.25	0.19	0.19
1978	0.04	0.04	0.03	0.06	0.60	2.72	0.72	0.72	0.55	0.72	0.11	0.05	0.03
1979	0.60	XXX	XXX	0.28	0.96	1.32	0.28	0.17	0.60	1.32	0.38	0.84	0.17
1980	0.17	0.04	0.04	0.04	0.04	0.22	0.34	0.36	0.20	1.08	0.63	0.84	0.04
1981	0.17	0.05	0.17	0.14	0.72	0.46	0.11	0.06	1.08	1.57	1.80	0.55	0.05
1982	0.06	0.23	0.13	0.05	0.64	0.89	1.82	0.54	1.03	0.75	0.75	0.54	0.05
1983	0.33	0.31	0.33	0.33	0.33	0.82	0.61	0.40	0.33	0.26	0.26	0.26	0.26
1984	0.40	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
1985	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.48	0.48	0.48	1.05	1.05	0.86	0.29	0.10
1986	0.10	0.10	0.08	0.10	0.48	0.29	1.05	0.48	0.67	1.05	0.29	0.10	0.08
1987	0.80	0.32	0.32	0.32	1.04	0.44	0.56	0.68	0.80	0.80	0.66	0.80	0.32
1988	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.28	1.28	1.28	1.10
1989	1.10	1.10	XXX	XXX	0.98	0.50	1.10	XXX	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
1990	0.59	0.50	0.39	0.37	0.05	1.10	2.99	XXX	0.62	1.04	0.50	0.65	0.05
1991	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
1992	1.10	1.10	1.10	0.02	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	0.59	0.19	1.10	0.02
1993	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
1994	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	XXX	XXX	XXX	XXX	1.10	1.10
1995	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	XXX	XXX	1.10
1996	0.18	1.93	4.95	4.95	2.65	8.39	2.65	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	0.18

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1997	XXX	XXX	0.54	0.18	0.14	0.85	0.63	0.45	0.72	0.63	0.51	0.36	0.14
1998	0.26	0.22	0.22	0.28	0.52	0.91	0.99	0.76	0.88	0.77	1.07	0.54	0.22
1999	0.69	0.39	1.00	1.12	0.94	1.00	1.16	1.16	1.16	1.04	1.00	0.94	0.39
2000	0.79	0.64	0.58	0.55	1.02	1.04	1.00	1.08	1.18	1.22	0.99	0.97	0.55
2001	0.91	0.76	0.78	0.70	0.82	1.00	1.28	0.94	1.00	1.06	1.00	0.79	0.70
2002	0.67	0.55	0.43	0.46	0.82	0.99	1.26	0.92	0.97	1.14	0.97	1.28	0.43
2003	0.88	0.79	0.70	0.73	1.10	1.32	1.12	1.08	0.85	0.85	0.73	0.79	0.70
2004	0.70	0.58	0.58	0.58	0.40	1.14	0.93	0.55	0.40	0.52	0.75	0.69	0.40
2005	0.66	0.85	0.64	0.91	0.97	0.94	0.90	0.94	0.90	0.91	1.25	1.25	0.64
2006	0.30	0.11	0.03	0.11	1.68	0.60	0.30	0.26	0.11	0.07	0.21	0.11	0.03
2007	0.03	0.30	0.11	0.40	1.40	1.80	0.60	0.60	0.11	1.40	0.60	0.30	0.03
2008	0.30	0.30	0.03	0.03	0.11	0.11	0.07	0.21	0.11	0.07	0.07	0.83	0.03
2009	0.79	0.74	0.74	0.74	0.95	0.66	0.85	0.85	0.74	0.46	0.22	0.10	0.10
2010	0.52	0.40	0.43	0.49	0.57	0.57	0.69	0.80	0.52	0.63	0.63	1.49	0.40
2011	0.52	XXX	0.52										

Fuente: IDEAM

Gráfica 35. Análisis de frecuencias caudales mínimos



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Tabla 49. Resultados análisis de frecuencias

TR años	NORMAL	GUMBEL	PEARSON	LOG-PEAR	LOG-NOR	EV3
2	0.37	0.31	0.31	0.20	0.26	0.27
2.33	0.30	0.24	0.25	0.16	0.22	0.22
5	0.06	0.04	0.06	0.06	0.13	0.06
10	-0.09	-0.08	-0.04	0.03	0.09	0.00
20	-0.21	-0.17	-0.10	0.02	0.07	-0.03
50	-0.32	-0.25	-0.15	0.01	0.05	-0.06
100	-0.38	-0.31	-0.18	0.01	0.05	-0.06
200	-0.43	-0.35	-0.20	0.01	0.04	-0.07
500	-0.47	-0.40	-0.21	0.01	0.04	-0.07
chi 2	1.260	1.703	0.525	0.818	1.755	0.021

En la tabla se puede observar que la distribución que presenta el mejor ajuste es la distribución de valores extremos (EV3), pero presenta valores negativos, lo cual es imposible, al igual que la Pearson, por lo cual se escoge la Log - Pearson con un valor de  $\chi^2$  de 0.818. Para un período de retorno de 5 años, el caudal mínimo es de 0.06 m<sup>3</sup>/s y para 10 años, es de 0.03 m<sup>3</sup>/s.

### 1.7.4.8 Río Grande – Río Grande

#### 1.1.1.1.10. Caudales medios

La distribución temporal de los caudales medios mensuales, es de tipo bimodal, observándose los caudales más altos en los meses de Mayo y Junio en el primer semestre del año con registros de 4.08 y 3.50 m<sup>3</sup>/s respectivamente y Octubre y Noviembre en el segundo, con registros de 3.22 y 2.88 m<sup>3</sup>/s. Los valores más bajos se observan en los meses de Febrero y Marzo, con registros de 1.04 y 0.91 m<sup>3</sup>/s. El valor promedio anual es de 2.53 m<sup>3</sup>/s.

En la Tabla 50 se presentan los valores medios mensuales y en la Gráfica 36 la distribución temporal.

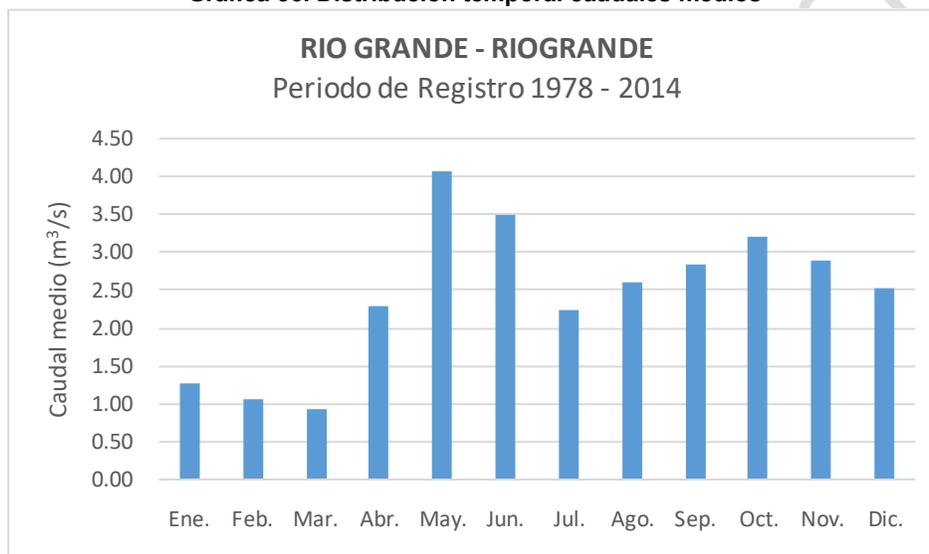
Tabla 50. Caudales medios mensuales (m<sup>3</sup>/s)

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1978	0.78	0.61	1.31	1.82	13.50	12.83	1.31	1.13	1.78	7.10	3.19	2.43	3.98
1979	0.20	XXX	XXX	XXX	15.35	12.44	4.06	11.42	17.69	2.24	6.99	7.97	8.71
1980	1.89	0.44	0.36	0.44	1.43	0.54	5.29	2.05	0.44	4.92	1.72	6.78	2.19
1981	0.52	1.14	1.04	6.56	5.45	3.86	1.70	0.84	1.13	5.13	4.07	7.09	3.21
1982	1.59	7.59	0.32	2.92	8.02	1.43	1.97	3.54	5.06	4.32	3.26	0.32	3.36
1983	0.34	0.18	0.24	0.47	7.16	2.67	1.02	0.82	0.82	7.43	3.05	2.83	2.25
1984	3.26	2.95	0.58	0.59	4.14	7.90	2.37	4.13	2.84	5.22	2.26	0.95	3.10
1985	0.56	0.25	0.17	0.51	2.32	8.16	1.20	2.43	5.20	2.36	2.55	3.49	2.43
1986	0.38	0.37	0.65	6.60	3.14	3.38	4.82	1.87	6.06	6.99	2.74	1.30	3.19
1987	1.46	0.58	0.51	10.70	8.08	5.99	1.84	2.89	3.75	9.51	4.97	2.28	4.38
1988	0.62	0.51	0.41	3.58	3.43	1.72	1.63	7.23	4.81	3.98	7.17	XXX	3.19
1989	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	1.93	1.89	1.93	1.90	2.53	2.28	2.08
1990	2.86	1.44	0.39	0.85	4.14	3.00	4.03	2.14	1.44	2.83	3.42	1.85	2.37
1991	1.27	1.03	0.93	1.47	1.41	1.93	1.98	1.64	1.81	2.71	3.88	1.32	1.78
1992	0.72	0.62	0.41	1.21	1.94	1.46	0.96	2.15	1.42	1.52	1.62	1.10	1.26
1993	1.02	0.42	1.40	1.74	3.33	1.20	1.11	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	1.46
1994	XXX	XXX	XXX	2.36	1.83	0.82	0.69	3.34	1.44	3.00	2.84	1.25	1.95
1995	0.77	0.55	0.44	0.84	2.82	1.87	1.96	6.28	XXX	2.20	2.18	3.73	2.15
1996	2.94	2.13	2.16	2.44	4.34	5.02	5.99	XXX	4.90	4.16	4.95	5.06	4.01
1997	1.71	2.37	1.59	1.69	2.35	4.53	4.02	2.98	3.91	3.69	3.58	2.02	2.87
1998	1.14	1.04	1.05	1.73	2.50	2.73	2.64	2.37	1.00	1.15	1.86	0.61	1.65
1999	0.46	1.09	0.42	2.20	1.81	1.00	1.08	0.65	1.22	3.02	0.49	1.32	1.23
2000	1.06	1.05	2.18	2.10	2.87	2.33	1.90	2.40	2.95	3.38	2.08	1.29	2.13
2001	1.28	0.40	0.59	0.39	1.76	1.57	1.66	0.79	0.48	1.64	1.81	2.46	1.24
2002	2.31	0.35	0.15	1.00	1.88	3.28	1.06	0.23	0.67	0.78	0.63	2.08	1.20
2003	0.13	XXX	XXX	XXX	7.72	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	3.92
2004	0.87	0.53	XXX	0.86	1.41	1.81	1.77	1.82	1.68	1.70	1.80	1.73	1.45
2005	1.62	1.28	1.18	1.57	1.71	1.88	1.88	1.80	1.68	1.84	1.56	1.26	1.60
2006	0.79	0.83	0.82	1.48	1.84	1.98	1.40	1.27	1.45	1.22	1.29	1.24	1.30

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
2007	0.50	0.31	0.65	1.59	2.08	2.30	1.79	1.83	1.56	1.47	2.43	1.54	1.50
2008	0.57	0.55	0.31	2.26	5.17	3.24	2.49	2.24	2.09	4.43	4.15	0.95	2.37
2009	4.97	1.13	1.09	2.09	3.87	3.68	2.00	1.73	1.01	0.77	3.13	2.07	2.30
2010	0.72	0.28	1.46	1.68	3.82	6.91	2.80	3.64	4.00	3.23	4.75	6.93	3.35
2011	2.54	1.31	2.48	5.40	4.20	2.06	2.04	2.95	2.70	1.26	1.86	3.10	2.66
2012	1.01	0.32	0.54	3.61	4.90	3.53	1.67	2.62	1.77	2.41	2.80	2.30	2.29
2013	0.32	0.32	2.74	2.17	2.72	2.09	2.43	1.95	3.09	1.55	1.63	1.43	1.87
2014	0.59	0.50	0.49	0.93	2.31	1.32	1.62	1.79	2.55	1.67	1.65	2.00	1.45
Media	1.25	1.04	0.91	2.29	4.08	3.50	2.22	2.61	2.83	3.22	2.88	2.54	2.53
Max	4.97	7.59	2.74	10.70	15.35	12.83	5.99	11.42	17.69	9.51	7.17	7.97	17.69
Min	0.13	0.18	0.15	0.39	1.41	0.54	0.69	0.23	0.44	0.77	0.49	0.32	0.13

Fuente: IDEAM

Gráfica 36. Distribución temporal caudales medios



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

#### 1.1.1.1.11. Curva de duración de caudales medios diarios

A partir de la serie de caudales medios diarios registrados, para el período 1978 – 2014, se desarrolló la curva de duración, que permite establecer el porcentaje de tiempo que un determinado caudal, es igualado o excedido.

La curva se desarrolla, para los caudales medios diarios y para los medios decadales, primero ordenando la serie de mayor a menor, luego se asigna un número de orden a cada dato y a continuación, se define una posición de ploteo, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$P_p = M/N$$

Donde:

$P_p$  = Posición de ploteo  
 $M$  = Número de orden

N = Número total de datos

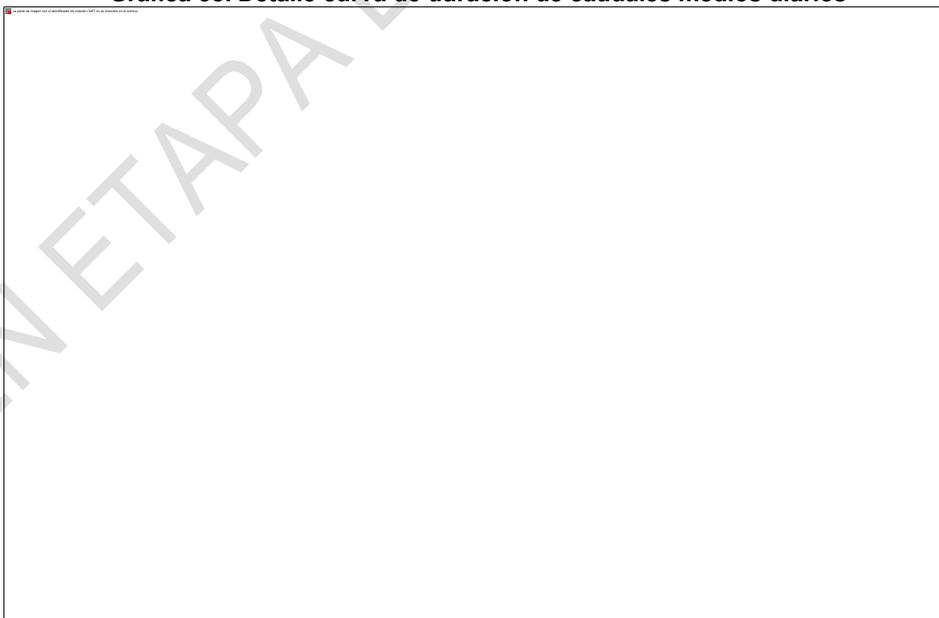
En la Gráfica 37, se presenta la curva de duración de los caudales medios diarios y decadales y en la Gráfica 38, el detalle de la misma, para excedencias superiores al 80%. En la Tabla 51, se presentan los respectivos caudales característicos.

**Gráfica 37. Curva de duración de caudales medios diarios**



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

**Gráfica 38. Detalle curva de duración de caudales medios diarios**



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

**Tabla 51. Caudales característicos**

DIARIOS		DECADALES	
CAUDALES	VALOR m <sup>3</sup> /s	CAUDALES	VALOR m <sup>3</sup> /s
Máximo	108.00	Máximo	24.59
Q <sub>50</sub>	1.34	Q <sub>50</sub>	1.68
Q <sub>75</sub>	0.63	Q <sub>75</sub>	0.89
Q <sub>90</sub>	0.37	Q <sub>90</sub>	0.44
Q <sub>95</sub>	0.28	Q <sub>95</sub>	0.33
Q <sub>97</sub>	0.23	Q <sub>97</sub>	0.28
Q <sub>99</sub>	0.16	Q <sub>99</sub>	0.18
Mínimo	0.10	Mínimo	0.10

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

En la tabla se puede observar que el caudal máximo registrado es de 108.0 m<sup>3</sup>/s, el caudal correspondiente al 50%, es de 1.34 m<sup>3</sup>/s, el caudal correspondiente al 95 % es de 0.28 m<sup>3</sup>/s el caudal mínimo registrado es de 0.10 m<sup>3</sup>/s.

### 1.1.1.1.23. Caudales máximos anuales

A partir de las series de valores máximos anuales, se desarrollaron los análisis de frecuencias, por medio de las distribuciones Normal, Gumbel, Pearson Tipo III, Log–Pearson Tipo III, Log–Normal y de Extremos (EV3) y se ajustaron a la distribución Chi<sup>2</sup>, para determinar el mejor ajuste y de acuerdo con este valor, se seleccionó la que presentó el menor valor.

Estos análisis muestran la probabilidad de que un determinado evento, pueda ocurrir en un lapso establecido, que puede variar de 2 a miles de años. Para el estudio, se tomaron períodos de retorno de 2 a 500 años, que permiten la toma de decisiones para la construcción de la mayoría de obras de infraestructura en la cuenca, tales como estructuras de captación, puentes, pontones, diques de protección contra inundaciones etc.

Se desarrollaron los análisis, para el período de registro de 1978 a 2014. En la Tabla 52, se presentan los valores máximos mensuales y anuales y en la Gráfica 39, el análisis gráfico. En la Tabla 53, se presentan los resultados para períodos de retorno de 2 a 500 años.

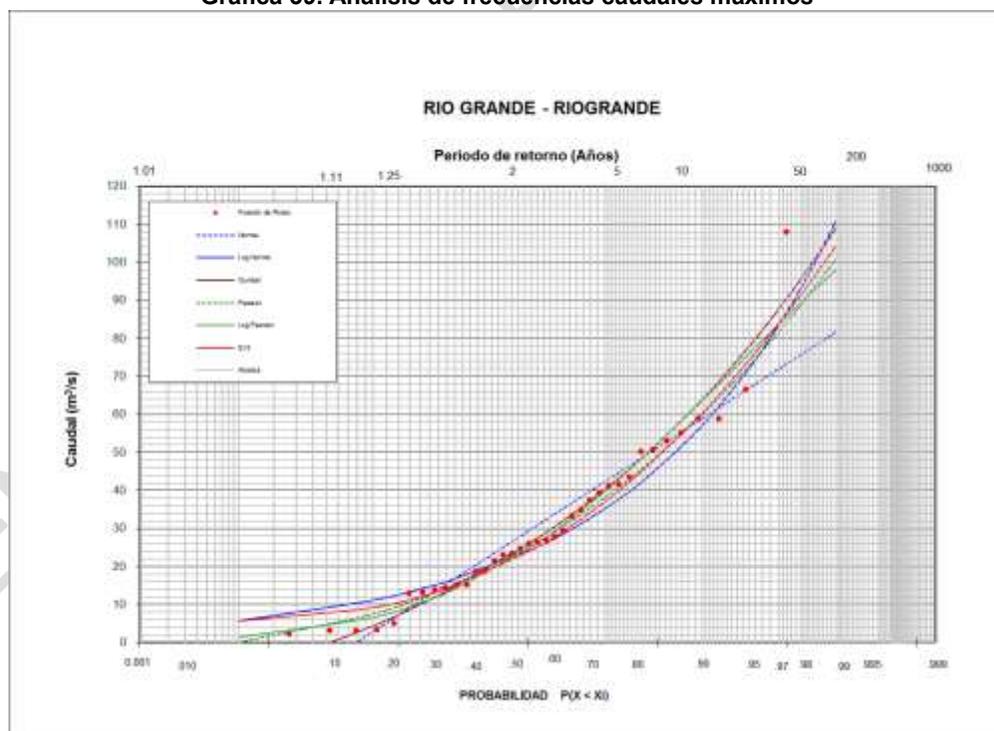
**Tabla 52. Caudales máximos**

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1978	1.52	0.91	7.02	6.81	108.00	46.61	7.71	3.29	3.29	14.88	8.70	23.20	108.00
1979	0.43	XXX	XXX	XXX	33.78	66.60	21.10	28.45	59.16	7.86	65.56	29.50	66.60
1980	21.10	0.80	0.37	0.80	4.66	1.48	31.81	26.35	2.10	27.40	7.02	53.08	53.08
1981	0.80	9.09	8.70	50.84	30.57	34.85	7.73	3.29	5.50	37.01	46.49	47.76	50.84
1982	14.90	58.97	1.25	57.96	25.30	4.70	10.76	45.45	28.49	13.85	13.85	0.69	58.97
1983	2.39	0.32	2.07	4.66	58.95	45.60	5.78	2.84	2.84	40.25	24.25	21.24	58.95
1984	30.57	17.74	2.84	2.39	24.25	33.78	29.85	37.55	23.38	24.10	13.85	3.29	37.55
1985	3.79	0.37	0.48	8.74	9.18	29.50	3.98	15.75	24.25	31.68	34.85	14.67	34.85
1986	0.48	0.37	4.66	21.12	12.17	33.11	13.85	16.05	29.54	19.00	12.82	3.80	33.11
1987	9.43	1.02	0.75	55.16	43.37	26.35	7.02	8.06	42.33	42.33	10.76	7.02	55.16
1988	1.25	1.14	0.59	29.50	38.09	4.66	8.29	33.20	39.30	18.10	16.00	XXX	39.30
1989	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	3.66	2.68	3.08	2.68	5.15	3.28	5.15
1990	7.30	1.80	0.48	13.10	19.18	9.24	41.59	8.62	1.71	18.24	27.00	4.05	41.59

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1991	1.62	1.74	2.40	6.63	3.36	6.63	11.55	5.44	4.50	11.57	26.40	5.42	26.40
1992	0.72	0.86	0.56	14.17	9.00	3.79	1.44	15.20	10.57	4.20	7.67	4.27	15.20
1993	5.40	1.30	11.24	10.06	13.88	1.87	2.40	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	13.88
1994	XXX	XXX	XXX	41.26	7.01	2.89	1.18	28.75	7.98	33.25	11.00	7.46	41.26
1995	2.04	0.80	0.70	3.82	23.10	7.70	9.10	43.53	XXX	4.78	7.79	16.44	43.53
1996	27.20	6.37	6.81	3.56	26.45	27.21	29.41	XXX	20.61	11.04	8.08	8.69	29.41
1997	2.32	15.29	1.96	4.03	18.28	23.27	24.68	9.47	18.29	15.23	9.49	3.16	24.68
1998	1.40	1.53	2.01	7.35	10.66	9.99	7.29	5.45	2.53	6.02	19.01	3.24	19.01
1999	2.55	10.30	1.29	11.87	21.33	13.27	11.09	4.72	10.38	26.00	0.83	10.93	26.00
2000	2.53	6.57	18.63	7.13	15.47	7.76	5.49	15.54	23.03	18.04	8.49	4.11	23.03
2001	7.51	0.60	2.58	0.95	13.99	7.64	6.90	2.87	1.92	10.44	13.41	14.18	14.18
2002	18.70	0.45	0.22	3.90	5.77	12.43	7.21	0.52	2.44	4.02	3.68	10.59	18.70
2003	0.43	XXX	XXX	XXX	15.25	XXX	15.25						
2004	1.40	0.53	XXX	1.53	2.29	2.17	2.31	2.33	2.27	2.33	2.21	2.16	2.33
2005	2.14	1.62	1.78	2.12	2.21	2.43	2.23	2.33	2.48	3.15	3.15	2.96	3.15
2006	1.62	1.76	2.35	2.84	3.25	3.15	2.74	2.35	2.54	1.91	2.54	2.70	3.25
2007	1.17	0.79	1.75	3.05	2.54	3.35	2.42	3.45	2.24	2.12	3.45	2.60	3.45
2008	1.82	2.26	1.29	14.49	12.52	21.55	6.30	7.22	6.35	16.93	21.59	3.71	21.59
2009	27.04	15.38	8.40	8.43	14.46	9.52	4.21	16.92	2.80	3.67	14.34	12.54	27.04
2010	1.53	0.40	9.03	7.20	19.53	28.03	7.47	11.71	10.95	11.80	15.60	25.22	28.03
2011	13.57	4.84	8.66	23.50	20.16	6.86	5.21	18.80	17.30	3.06	7.15	13.38	23.50
2012	12.59	0.63	5.61	21.98	16.77	50.35	7.99	5.63	5.96	12.09	11.24	17.98	50.35
2013	0.55	1.10	12.92	7.68	6.50	4.24	8.76	5.43	12.92	5.23	4.18	4.18	12.92
2014	0.91	0.69	0.63	1.96	6.91	5.91	7.95	11.57	13.38	4.88	5.17	5.53	13.38

Fuente: IDEAM

Gráfica 39. Análisis de frecuencias caudales máximos



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Tabla 53. Resultados análisis de frecuencias

TR años	NORMAL	GUMBEL	PEARSON	LOG-PEAR	LOG-NOR	EV3
---------	--------	--------	---------	----------	---------	-----

2	30.88	27.50	26.42	26.26	25.20	25.13
2.33	36.42	33.39	31.75	32.40	29.61	30.46
5	49.29	49.37	46.54	49.30	43.10	45.93
10	58.92	63.84	59.98	63.64	57.07	60.37
20	66.87	77.73	72.75	75.91	71.95	74.14
25	69.19	82.14	76.77	79.48	76.98	78.46
50	75.82	95.71	89.05	89.50	93.39	91.61
100	81.78	109.17	101.11	98.07	111.12	104.40
200	87.24	122.59	113.04	105.40	130.28	116.89
500	93.85	140.30	128.66	113.43	157.97	133.03
<b>Chi 2</b>	<b>-752.33</b>	<b>-29.61</b>	<b>16.21</b>	<b>16.61</b>	<b>36.04</b>	<b>25.39</b>

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

En la tabla se puede observar que la distribución que presenta el mejor ajuste es la Pearson Tipo III, con un valor de  $\chi^2$  de 16.21. Para un período de retorno de 100 años, el caudal máximo es de 101.10 m<sup>3</sup>/s y para 500 años, es de 128.66 m<sup>3</sup>/s.

#### 1.1.1.1.24. Caudales mínimos anuales

A partir de las series de valores mínimos anuales, se desarrollaron los análisis de frecuencias, por medio de las distribuciones Normal, Gumbel, Pearson Tipo III, Log-Pearson Tipo III, Log-Normal y de Extremos (EV3) y se ajustaron a la distribución  $\chi^2$ , para determinar el mejor ajuste y de acuerdo con este valor, se seleccionó la que presentó el menor valor.

Estos análisis muestran la probabilidad de que un determinado evento, pueda ocurrir en un lapso establecido, que puede variar de 2 a miles de años. Para el estudio, se tomaron períodos de retorno de 2 a 500 años, que permiten la toma de decisiones para determinar la disponibilidad de agua para el proyecto, que normalmente para proyectos de adecuación de tierras es de 5 años.

Se desarrollaron los análisis, para el período de registro de 1976 a 2015. En la Tabla 54, se presentan los valores mínimos mensuales y anuales y en la Gráfica 40, el análisis gráfico. En la Tabla 55, se presentan los resultados para períodos de retorno de 2 a 500 años.

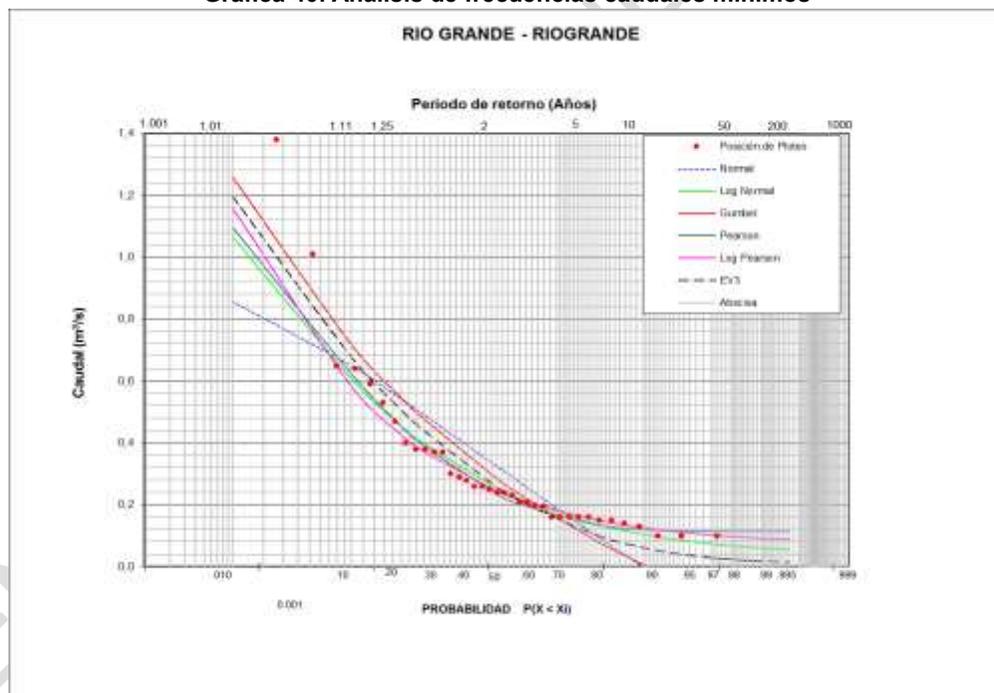
**Tabla 54. Caudales mínimos**

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1978	0.55	0.56	0.59	0.79	1.17	0.80	0.59	0.53	0.64	2.60	0.59	0.37	0.37
1979	0.10	XXX	XXX	XXX	1.02	0.37	0.37	0.48	2.60	0.59	0.37	0.43	0.10
1980	0.37	0.26	0.32	0.26	0.48	0.37	0.43	0.37	0.10	0.37	0.37	0.37	0.10
1981	0.37	0.37	0.21	0.16	0.59	0.48	0.48	0.37	0.37	0.69	0.37	0.53	0.16
1982	0.32	0.37	0.16	0.16	0.48	0.43	0.37	0.37	0.48	0.69	0.43	0.16	0.16
1983	0.16	0.16	0.16	0.16	0.32	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.48	0.48	0.16
1984	0.32	0.26	0.32	0.37	0.69	0.59	0.59	0.59	0.69	0.69	0.59	0.37	0.26
1985	0.37	0.16	0.16	0.16	0.26	0.80	0.48	0.48	0.37	0.48	0.37	0.37	0.16
1986	0.37	0.37	0.37	1.25	0.59	0.48	0.69	0.59	0.80	0.80	0.69	0.37	0.37
1987	0.37	0.37	0.37	0.16	0.80	0.80	0.59	0.69	0.69	3.29	1.70	0.59	0.16
1988	0.59	0.37	0.37	0.59	0.69	0.69	0.59	0.25	0.35	1.20	1.50	XXX	0.25
1989	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	1.59	1.38	1.68	1.68	1.68	1.74	1.38
1990	1.74	0.40	0.38	0.38	1.68	1.26	1.14	1.56	1.32	1.41	1.74	1.38	0.38
1991	1.12	0.68	0.64	0.68	0.96	1.10	0.88	0.88	1.08	1.44	1.50	0.68	0.64
1992	0.68	0.48	0.37	0.30	0.80	0.84	0.72	0.66	0.80	1.00	0.80	0.40	0.30
1993	0.40	0.30	0.28	0.64	1.20	0.72	0.40	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	0.28

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1994	XXX	XXX	XXX	0.24	0.72	0.35	0.38	0.37	0.62	0.70	0.96	0.80	0.24
1995	0.64	0.40	0.40	0.40	0.40	0.86	0.88	0.96	XXX	1.73	1.60	1.68	0.40
1996	1.01	1.07	1.40	1.85	2.30	2.74	3.10	XXX	3.24	3.07	4.15	4.15	1.01
1997	1.58	1.58	1.32	1.24	0.38	1.83	0.92	2.00	1.83	2.72	1.91	1.49	0.38
1998	1.06	0.92	0.88	0.70	1.15	1.15	1.75	0.88	0.50	0.48	0.48	0.26	0.26
1999	0.26	0.23	0.24	0.37	0.26	0.28	0.24	0.24	0.49	0.46	0.38	0.42	0.23
2000	0.80	0.75	0.75	0.75	1.10	1.10	0.92	1.28	1.16	1.13	0.75	0.29	0.29
2001	0.63	0.30	0.30	0.30	0.30	0.55	0.30	0.30	0.28	0.28	0.24	0.55	0.24
2002	0.45	0.23	0.13	0.14	0.22	1.07	0.24	0.16	0.18	0.25	0.13	0.16	0.13
2003	0.10	XXX	XXX	XXX	0.18	XXX	0.10						
2004	0.53	0.53	XXX	0.53	0.97	1.54	1.42	1.51	1.39	1.45	1.53	1.45	0.53
2005	1.23	1.04	0.89	1.16	1.42	1.35	1.54	1.48	1.08	1.34	1.13	0.65	0.65
2006	0.21	0.21	0.26	0.76	1.07	1.04	0.78	0.64	1.18	0.70	0.67	0.72	0.21
2007	0.30	0.21	0.21	0.83	1.62	1.34	1.21	1.04	1.18	0.96	1.67	1.07	0.21
2008	0.34	0.27	0.20	0.27	1.67	1.19	1.35	1.11	0.79	1.51	1.07	0.41	0.20
2009	0.30	0.23	0.14	1.03	1.32	1.43	1.10	0.90	0.59	0.52	0.80	0.71	0.14
2010	0.40	0.15	0.31	0.98	0.90	1.64	1.67	1.67	1.60	1.43	1.64	1.67	0.15
2011	1.19	0.90	1.10	1.26	1.64	1.53	1.16	1.29	1.06	0.59	0.69	0.90	0.59
2012	0.37	0.20	0.15	0.40	1.67	1.26	0.90	0.90	0.73	0.51	0.78	0.57	0.15
2013	0.22	0.20	0.23	0.89	1.46	1.23	1.18	1.18	1.13	0.99	0.79	0.65	0.20
2014	0.47	0.47	0.47	0.47	0.79	0.47	0.62	0.62	1.13	0.99	0.87	0.99	0.47

Fuente: IDEAM

Gráfica 40. Análisis de frecuencias caudales mínimos



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Tabla 55. Resultados análisis de frecuencias

TR años	NORMAL	GUMBEL	PEARSON	LOG- PEAR	LOG-NOR	EV3
2	0.32	0.28	0.23	0.24	0.25	0.26
2.33	0.28	0.24	0.20	0.22	0.22	0.22
5	0.11	0.09	0.14	0.15	0.14	0.11
10	0.00	0.01	0.12	0.13	0.11	0.06

20	-0.08	-0.05	0.11	0.11	0.08	0.04
50	-0.16	-0.11	0.11	0.10	0.07	0.02
100	-0.21	-0.15	0.11	0.09	0.06	0.02
200	-0.24	-0.18	0.11	0.09	0.05	0.01
500	-0.27	-0.22	0.11	0.08	0.05	0.01
<b>chi 2</b>	<b>2.109</b>	<b>0.340</b>	<b>0.345</b>	<b>0.373</b>	<b>0.425</b>	<b>0.553</b>

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

En la Tabla se puede observar que la distribución que presenta el mejor ajuste es la distribución Gumbel con un valor de  $\text{Chi}^2$  de 0.34, pero presenta valores negativos, por lo cual se selecciona la distribución Pearson, con un valor de  $\text{Chi}^2$  de 0.345. Para un período de retorno de 5 años, el caudal mínimo es de  $0.14 \text{ m}^3/\text{s}$  y para 10 años, es de  $0.12 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### 1.7.5 Modelo hidrológico Lluvia - Escorrentía para la cuenca Río León y subcuencas

La caracterización del régimen hidrológico se realiza para cada una de las diferentes Unidades de Análisis Hidrológico – UAH de la cuenca del río León; adicionalmente, se hace una caracterización del régimen hidrológico para algunos puntos que son importantes desde el punto de vista de la demanda (bocatomas para acueductos municipales, infraestructura hidráulica relevante, entre otros) y desde el punto de vista de la calidad del agua (puntos de monitoreo).

La caracterización del régimen hidrológico se configura a partir del estudio del régimen de caudales, por lo que es necesaria esta información para cada una de las UAH. Dado que no todas las subcuencas están instrumentadas, se hace necesario el uso de un modelo lluvia-escorrentía para suplir el déficit de información, de tal manera que pueda tenerse un cálculo aproximado de los caudales a resolución diaria en cada una de las UAH. Estos caudales serán los insumos para el cálculo de la oferta hídrica, el rendimiento hídrico y el análisis de eventos extremos (caudales máximos y mínimos). Un esquema general de la metodología para la caracterización del régimen hidrológico se muestra en la Gráfica 41

Gráfica 41. Proceso de simulación de caudales



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

La metodología que se establece para la caracterización hidrológica en las UAH se compone inicialmente del tratamiento de datos, la preparación de las entradas al modelo lluvia-escorrentía (precipitación y parámetros), la calibración y validación del modelo, la generación de la serie de caudales en cada UAH y finalmente el análisis de la oferta hídrica, el rendimiento hídrico, y el análisis de eventos extremos.

- **Tratamiento de datos:** teniendo en cuenta la Guía de Prácticas Hidrológicas de la OMM No. 168 (WMO, 2011) y los estándares de calidad aplicables para Colombia, fueron seleccionadas series las cuales contaran con mínimo 10 años de datos. En este caso, al ser datos hidrológicos con un porcentaje de datos faltantes menor al 30%, se realizó un proceso de identificación de datos anómalos por la metodología MAD (Median Absolut Deviation) (Leys et al., 2013; Rosenmai, 2013a; Rousseeuw & Croux, 1993).
- **Preparación de las entradas del modelo lluvia-escorrentía:** El modelo lluvia escorrentía tiene como insumo principal la precipitación, por lo que se seleccionan las series de precipitación diaria que se encuentran dentro de la cuenca del río León, y que cumplen los criterios de consistencia, tal y como se presentan en el Literla de Clima.
- **Calibración y validación: del modelo lluvia-escorrentía:** El modelo lluvia – escorrentía seleccionado es el Modelo Hidrológico Conceptual Agregado desarrollado por Vélez (2001), también conocido como “Modelo de Tanques”. Este modelo, además del insumo de precipitación, tiene en cuenta otra serie de parámetros, que se relacionan con las condiciones y estructura del suelo, con la

cobertura, los usos del suelo, y las características geológicas. En la etapa de calibración se seleccionan los parámetros óptimos para el modelo, y en la etapa de validación se compara la serie de caudales simulada con los registros de caudales. Para la calibración y la validación se comparan algunas métricas de desempeño, de tal manera que se pueda concluir que los parámetros escogidos son suficientemente adecuados.

- **Generación de series de caudal en las UAH:** Seleccionados los mejores parámetros para el modelo de tanques, se procede a la generación de las series diarias de caudales para cada una de las subcuencas (UAH). Estas series serán las que permitan realizar la caracterización del régimen hidrológico en cada una de ellas.
- **Cálculo de la oferta hídrica y análisis de eventos extremos.** A partir de los caudales generados con el modelo lluvia-escorrentía, se estima la oferta hídrica para cada una de las UAH, en condiciones de año hidrológico medio, seco y húmedo. En cuanto a eventos extremos, se aplica a las series de caudal un análisis de frecuencias y ajuste de funciones de probabilidad, de manera que sea posible determinar caudales máximos y mínimos para diferentes periodos de retorno.

Los resultados de la caracterización del régimen hidrológico se presentan tanto en manera tabular, como a manera de salidas cartográficas.

El estudio de la relación entre la precipitación que ocurre sobre una cuenca y la correspondiente escorrentía que genera, es uno de los aspectos básicos del análisis hidrológico. La evaluación de ésta relación ha sido objeto de numerosos estudios e investigaciones: desde las primeras formulaciones desarrolladas por T. Mulvaney en 1851, citadas por K. Beven (2001), hasta los tiempos actuales, se han desarrollado numerosos procedimientos y metodologías para su estudio. En este contexto surgen los modelos lluvia-escorrentía, los cuales son una valiosa herramienta que permite simular la producción de caudal de una cuenca hidrográfica ante la carencia de registros de medición. En esencia, estos modelos lo que buscan es emular y pronosticar algunos procesos dentro del sistema hidrológico.

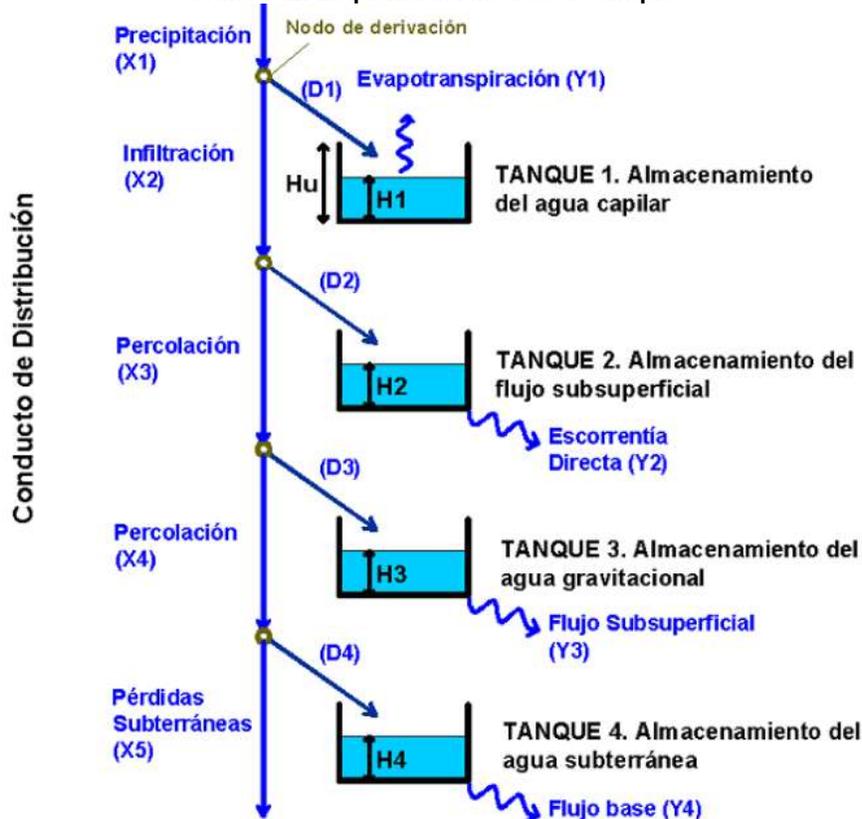
Dado que no existe información específica de caudales para cada una de las Unidades de Análisis Hidrológico (UAH) de la cuenca del río León, se implementará un modelo lluvia-escorrentía para suplir la ausencia de instrumentación en la mayoría de ellas. Si bien se cuenta con algunas estaciones de caudal dentro de la cuenca del río León, estas estaciones no se corresponden estrictamente con las UAH de trabajo, por lo que serán usadas fundamentalmente para la calibración del modelo.

En este estudio se aplica el Modelo Hidrológico Conceptual Agregado desarrollado por Vélez (2001). El modelo se basa en la representación de diferentes componentes de la fase terrestre del ciclo hidrológico a través de cuatro tanques interconectados entre sí: uno representa el almacenamiento capilar, otro el flujo superficial, otro el flujo subsuperficial y otro el flujo subterráneo. Al ser un modelo conceptual configurado a partir de tanques, este modelo lluvia-escorrentía también recibe el nombre de “Modelo de Tanques”. Se realiza aquí una descripción somera del funcionamiento conceptual del modelo, por lo que para mayor detalle, remitirse a Vélez (2001).

### 1.7.5.1 Descripción del Modelo de Tanques.

El modelo de tanques desarrollado por Vélez (2001) realiza un balance de la cantidad de agua en cada uno de los tanques que lo conforman, actualizando los volúmenes de agua almacenados en cada uno. Uno de los principales insumos del modelo de tanques es la precipitación ( $X_1$ ), la cual se toma de registros diarios de estaciones que estén cerca, ponderando cuál es la contribución de cada una de estas estaciones a la cuenca en evaluación. En cada uno de los nodos ( $D_i$ ) parte del agua se distribuye: una parte se dirige a uno de los tanques, y otra continúa hasta los niveles inferiores ( $X_i$ ). La cantidad de agua que sigue hasta los niveles inferiores dependerá de la cantidad de agua que quede disponible después de la derivación en el nodo, del estado de almacenamiento del tanque y de la conductividad hidráulica del nodo del conducto posterior al nodo. Cada tanque realiza una descarga ( $Y_i$ ), que depende del volumen almacenado en el tanque. A partir del segundo tanque, cada una de estas descargas corresponde a los diferentes aportes que se realizan al caudal: el aporte por escorrentía directa, el aporte por flujo subsuperficial, y el aporte por el flujo base. En la Gráfica 42 se presenta un esquema del funcionamiento del modelo de tanques, así como la asociación física que tiene cada una de las etapas del modelo.

Gráfica 42. Esquema del modelo de tanques



Fuente: Vélez, 2001.

**Tanque 1:** Almacenamiento Capilar en el Suelo: Antes del tanque 1, el modelo deriva la precipitación  $X1$  en el nodo  $D1$ . Parte del agua va a los conductos inferiores, y parte se almacena en el tanque. El primer tanque representa el agua que transita por la cuenca y que solo sale por evapotranspiración, por lo que no hace parte de la escorrentía. En ella se ve representada el agua que es almacena en el suelo por capilaridad, a la detención de agua en los charcos y a la interceptación. La capacidad máxima de almacenamiento del tanque  $Hu$  está relacionada con la capacidad del suelo y de la cobertura de la superficie para almacenar agua. La capacidad de cobertura de la superficie para almacenar el agua está estrechamente relacionada con la cobertura vegetal de la cuenca.

**Tanque 2.** Almacenamiento de Flujo Superficial: El tanque 2 del modelo representa el agua que puede infiltrarse a niveles inferiores del suelo o la que se transforma en escorrentía directa. La cantidad de agua que es almacenada en el segundo tanque ( $H2$ ) depende de la capacidad del suelo para dejar pasar agua a su interior, representado a través de la conductividad hidráulica, que está en función del tipo y estructura del suelo, y que puede ser relacionada con la cobertura vegetal y los usos generales que tenga el suelo. La cantidad de agua que entra al tanque es la que resulta luego de la derivación del excedente del almacenamiento capilar ( $X2$  - infiltración), y la que sale es la escorrentía directa ( $Y2$ ) a través de la cuenca.

**Tanque 3.** Almacenamiento de agua gravitacional en la capa superior del suelo: El tanque 3 representa el agua almacenada en la capa superior del suelo, que se convertirá posteriormente en el flujo subsuperficial (Y3). La cantidad de agua que entra a este tanque es la resultante de derivación en el nodo D3, la cual se asocia a la cantidad de agua que se filtra por percolación (X3). Esta capacidad de percolación es representativa del tipo de subsuelo y de su estructura, lo que está altamente relacionado con las características geológicas de las capas inferiores del suelo. A su vez, la capacidad de percolación también está relacionada con aspectos geomorfológicos como el relieve.

**Tanque 4.** Almacenamiento subterráneo: El tanque T4 se consideraría como el almacenamiento de agua dentro del acuífero, en donde se almacena el agua gravitacional antes de salir como flujo base (Y4). El agua que es derivada al tanque 4 también se filtra como percolación a través de las capas inferiores del suelo.

La información de precipitación que requiere como entrada el modelo de tanques es de resolución diaria, por lo que el resultado del modelo será una serie de caudales medios diarios. Este caudal será calculado para cada paso de tiempo como la suma de la escorrentía directa (Y2), el flujo subsuperficial (Y3) y el flujo base (Y4).

### 1.7.5.2 Resultados del modelo

La correcta aplicación del modelo requiere de un proceso de calibración, en el cual se seleccionan los valores adecuados de algunos parámetros de entrada. Para la calibración y validación del modelo se ha escogido la estación con código 12017020-Villa Arteaga, que se ubica sobre la corriente principal de la cuenca (río Leon) y que cuenta con una longitud suficiente de registro de caudales (más de 10 años de información). A la estación seleccionada se le trazó su cuenca aferente, con el objeto de estimar los caudales a través del modelo y compararlos con el registro de la estación.

El criterio para seleccionar el grupo de parámetros que mejor se ajusta a los caudales observados se basó en la comparación visual de las series, en el cálculo del criterio de eficiencia de Nash-Sutcliffe (1970), en el error entre el caudal medio a largo plazo simulado y observado (“error del balance”), y en la estimación del error medio cuadrático RMSE. Adicionalmente, se verificó el comportamiento de la curva de duración de caudales. Las siguientes expresiones refieren al criterio de eficiencia de Nash, al balance y al RMSE:

$$NASH(Q) = \left( 1 - \frac{\sum(Q(t)_{obs} - Q(t)_{sim})^2}{\sum(\bar{Q}_{obs} - Q(t)_{obs})^2} \right)$$

$$Balance [\%] = \frac{\bar{Q}_{sim} - \bar{Q}_{obs}}{\bar{Q}_{obs}} * 100$$

$$RMSE [m3/s] = \sqrt{\frac{\sum(Q_{obs} - Q_{sim})^2}{N}}$$

Con  $Q(t)_{obs}$  como el caudal observado, en función del tiempo  $t$ ,  $Q(t)_{sim}$  es el caudal simulado en el tiempo  $t$ ,  $\bar{Q}_{obs}$  es el promedio de los caudales observados,  $\bar{Q}_{sim}$  es el promedio de los caudales simulados, y  $N$  es el número de datos.

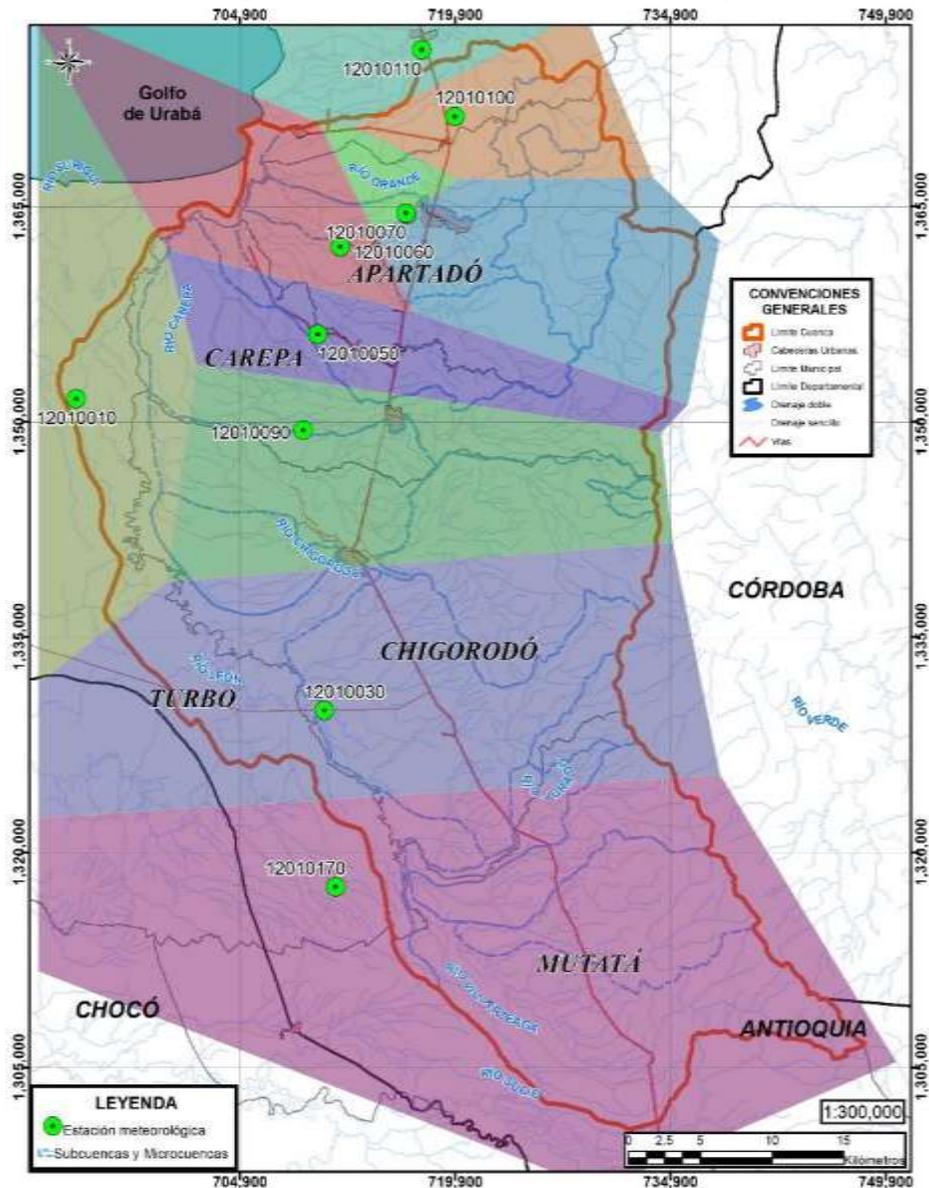
El criterio de eficiencia de Nash es un indicador de qué tan similares son la serie simulada y la serie observada, y éste puede tomar valores en el rango  $(-\infty, 1]$ , donde 1 indica un ajuste perfecto entre las series. En términos generales, un valor positivo es satisfactorio, pues indica que la serie simulada tiene un ajuste más allá del promedio, siendo que mientras el número de Nash sea más cercano a 1, mejor será el ajuste a caudales extremos.

Por otro lado, el error del balance es un comparativo de qué tanto se ajustan los valores medios, y el error medio cuadrático es un indicador de la magnitud de los errores entre ambas series.

- **Calibración del modelo de tanques sobre la cuenca**

Uno de los principales insumos de entrada para el modelo lluvia-escorrentía es la información de las estaciones de precipitación que se encuentran dentro de la cuenca y que poseen información suficiente. El modelo requiere que se defina la proporción del área de influencia de cada una de las estaciones de precipitación, por lo que se construyeron polígonos de Thiessen para determinar el aporte ponderado de cada estación a la cuenca sobre la que se realiza la calibración y validación. Una vez validado el modelo, a través de estos mismos polígonos se determina el aporte ponderado de cada estación sobre cada una de las subcuencas. En la Gráfica 43 se indica la distribución espacial de los polígonos de Thiessen correspondientes a cada estación de precipitación, en la cuenca de calibración del modelo lluvia escorrentía.

Gráfica 43. Polígonos de Thiessen para las estaciones de precipitación



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

La calibración se realizó variando los parámetros manualmente, cuidando siempre de moverlos en el rango en que son físicamente adecuados. En la Tabla 1-56 se presentan los parámetros escogidos para el modelo de tanques y la proporción de área correspondiente a cada estación de precipitación; en la Tabla 1-57 se muestran los caudales medios observado y simulado, la eficiencia de Nash, el error en el balance y el RMSE.

Tabla 1-56. Parámetros escogidos para el modelo de tanques en la cuenca del río Leon.

Área de la Cuenca hasta estación 12017020 en Km <sup>2</sup> :	673.52
--	--------

Parámetros		Mínimo Sugerido	Máximo Sugerido
Almacenamiento Máximo Capilar	321.13574	20	600
Conductividad Capa Sup (mm/día)	1	1	100
Conductividad Capa Inf (mm/día)	10	0,01	10
Perdidas Subterráneas (mm)	0	0	10
Tiempo de Residencia Flujo Superficial (días)	9.1342487	1	10
Tiempo de Residencia Flujo Subsuperficial (días)	10	1	10
Tiempo de Residencia Flujo Base (días)	50	50	200
<b>Condiciones Iniciales (mm)</b>			
Almacenamiento Capilar	0.00	0	171,14
Almacenamiento Agua Superficial	0.00	0	10
Almacenamiento Gravitacional Z Sup	0.01	0	30
Almacenamiento Gravitacional Z Inf (acuífero)	70.28	0	2000
<b>Parámetros de Interpolación Estaciones de Precipitación</b>			
<b>12010010</b>	0.071	<b>12010100</b>	0.000
<b>10010030</b>	0.161	<b>12010110</b>	0.000
<b>12010050</b>	0.032	<b>12010120</b>	0.000
<b>12010060</b>	0.000	<b>12010170</b>	0.735
<b>12010070</b>	0.000		
<b>12010090</b>	0.000		
<b>Otros Parámetros del Modelo</b>			
Exponente Infiltración	1		
Exponente Evaporación	1		

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

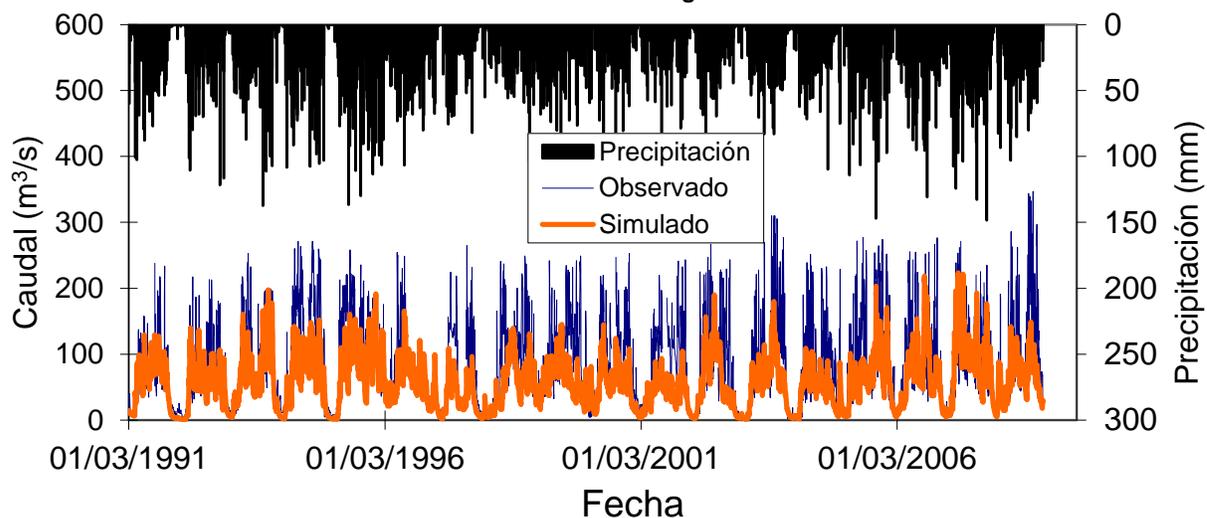
**Tabla 1-57. Criterios de desempeño del Modelo de Tanques.**

Criterio	Valor
Nash-Q	0.27
Error en Balance (%)	28.35
RMSE	54.7
<i>Umbral RMSE</i>	145.378

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Desde el punto de vista del criterio de eficiencia de Nash, el modelo tiene un comportamiento aceptable, dado que el valor es positivo y relativamente alto. Respecto al error del balance, un valor de 28% indica que los caudales medios son similares y RMSE por debajo del umbral es un indicador de que la magnitud del error entre caudales simulados y observados no es excesiva. En la Gráfica 44 se presenta la comparación entre la serie de caudales simulada y la observada el periodo de calibración

**Gráfica 44. Comparación serie de caudales simulada (naranja) y observada (azul), para la estación 12072010 – Villaarteaga.**



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Respecto al modelo lluvia-escorrentía, se concluye entonces que la elección realizada de los parámetros es adecuada, y que el modelo logra representar suficientemente bien las características del caudal en la estación donde se realizó la calibración. Realizada la calibración del modelo lluvia-escorrentía, se procede a calcular las series de caudales medios diarios para cada una de las subcuencas y microcuencas de la cuenca del río Leon. Se usan los mismos parámetros de la tabla Tabla 1-56, aunque se varía el peso de cada estación de precipitación según corresponda, con estas series se estima la curva de duración de caudales.

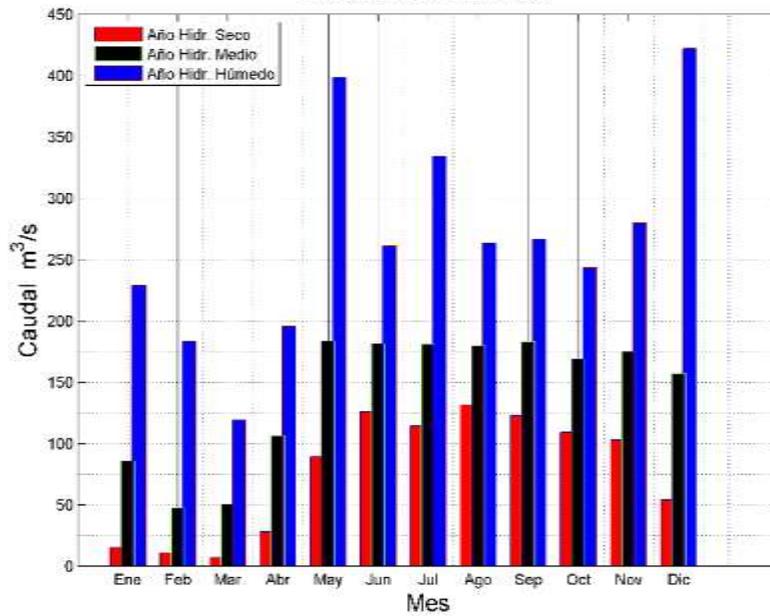
En la **Tabla 58** se muestran los valores estimados de caudal medio para el año húmedo, normal y seco

**Tabla 58. Caudales medios de año húmedo, normal y seco por subcuencas y microcuencas**

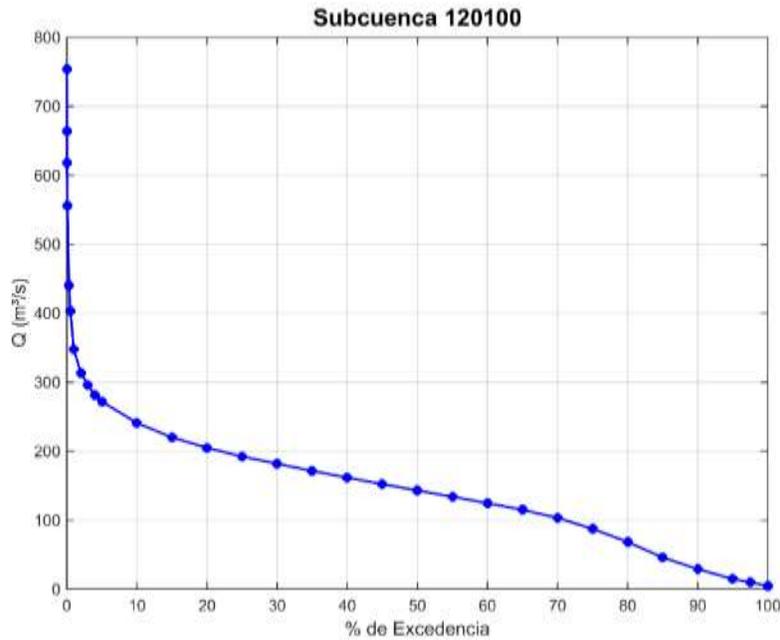
Código	CUENCA	Caudal año húmedo (m <sup>3</sup> /s)	Caudal año normal (m <sup>3</sup> /s)	Caudal año seco (m <sup>3</sup> /s)
120100	Río León	266.26	141.63	75.86
<b>Cuencas tributarias</b>				
120101	Río Grande	28.49	12.89	6.03
120102	Río Apartadó	8.96	3.88	1.61
120103	Río Vijagual	16.88	7.98	3.56
120104	Río Carepa	14.60	7.85	3.55
120105	Río Chigorodó	66.50	31.87	11.49
120106	Río Guapá	9.89	4.74	1.71
120107	Río Jurado	14.55	6.71	2.67
120108	Río La Fortuna	0.85	0.41	0.17
120109	Río Porroso	26.71	12.81	5.43
120110	Río Villarteaga	9.08	4.16	1.36
120111	Caño Malagón	26.71	12.25	4.01
<b>Cuencas abastecedoras</b>				
120101-01	Río Grande	5.56	2.34	0.97
120101-02	Quebrada El Salto	1.14	0.48	0.20
120102-01	Bocatoma Salsipuedes	9.57	4.16	1.30
120105-01	Río Chigorodó	30.71	14.71	5.83
120105-02	Quebrada La Cristalina	0.45	0.22	0.08
120105-03	Quebrada Los Cangrejos	0.59	0.28	0.10
120108-01	Brazo Sucio	3.11	1.34	0.41

En la Gráfica 46 se muestra la curva de duración para la cuenca del río León y en la Gráfica 45 el ciclo anual para año Normal, húmedo y seco. Para las demás cuencas se entregan los anexos

**Gráfica 45. Ciclo anual de caudales para año normal, seco y húmedo  
Estación 120100**

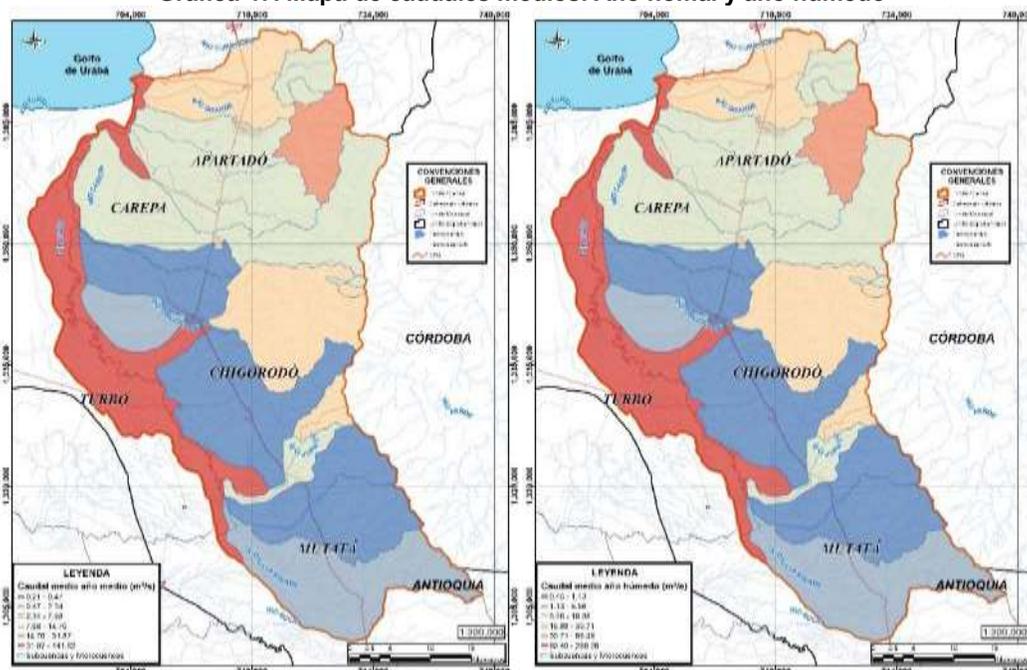


**Gráfica 46. Curva de duración de caudales diarios para el río Leon  
Subcuenca 120100**

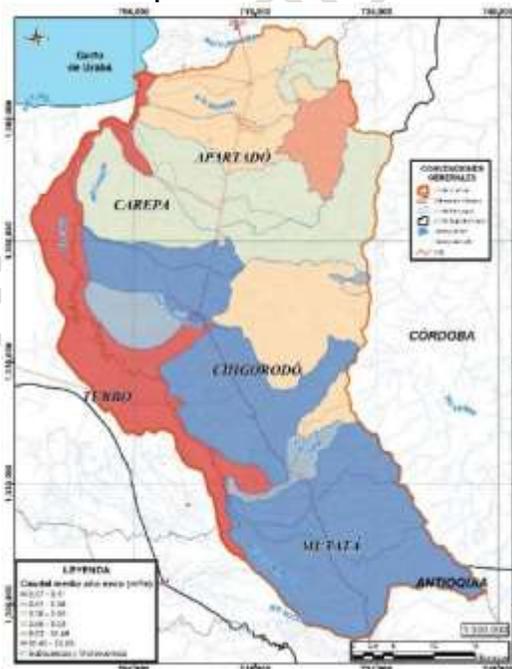


En la Gráfica 47 y Gráfica 48 se muestran los caudales para cada subcuenca y microcuenca abastecedora en periodos normal, húmedo y seco

Gráfica 47. Mapa de caudales medios. Año normal y año húmedo



Gráfica 48. Mapa de caudales medios. Año seco



### 1.7.6 Inventario de la infraestructura que afecta la oferta hídrica superficial

En la cuenca del Río León se realiza el aprovechamiento hídrico de manera legal (concesiones) e ilegal. Para la recolección de la información se realizó un levantamiento de información en campo donde se ubicaron las principales bocatomas ubicadas en la cuenca,

adicionalmente se partió de la base de datos de concesiones y documentos proporcionada por CORPOURABA, para ubicar en qué áreas de la zona en estudio se tienen concesiones, su magnitud y tipo de uso asociado, siendo los principales limitantes de esta información, el que no se hace mención al tipo de obra con la cual se capta (ni sus dimensiones particulares). En el caso de la base de datos de CORPOURABA, no se tienen las coordenadas de las captaciones, solo la fuente a la cual se encuentran asociadas las mismas.

Es importante mencionar las principales fuentes hídricas superficiales que abastecen las cabeceras urbanas de los municipios de Apartadó, Carepa, Chigorodó, Mutatá y Turbo, cabe destacar que los municipios de Turbo y Chigorodó poseen fuente alterna de abastecimiento de tipo subterráneo.

**Tabla 59. Fuentes hídricas que abastecen los municipios**

MUNICIPIO	CUENCA ABASTECEDORA	OFERTA (l/s)	AGUA DEMANDADA (l/s)	POBLACIÓN BENEFICIADA
Apartadó	Río Apartadó	1300	331	159.174
Carepa	Q. La Cristalina y La Pedregosa	341	93	44.216
Chigorodó	Río Chigorodó y pozo profundo	7000	142	68.385
Mutatá	Q. Sabaletas, La Daida	700	12	5.654
Turbo	Río Turbo y pozos profundos	700	136	65.307
<b>Tot al</b>			<b>117</b>	<b>342.736</b>

Fuente: Proyección DANE 2005 - 2020 y CORPOURABA

Como se menciona en el documento de Plan de Acción Institucional 2016 - 2019 de CORPOURABA en el área de la cuenca hasta el año 2016 se registran 310 concesiones vigentes, de las cuales el 20 % corresponde a agua superficial y el 80% a agua subterránea, la mayoría de estas son utilizadas para uso agrícola y pecuario, riego, doméstico e industrial.

Pese a los esfuerzos de la corporación por adelantar procesos de legalización de usuarios en el área de estudios se presenta un alto índice de ilegalidad, un ejemplo de esto es que para el caso de uso agrícola existen aproximadamente 140 captaciones ilegales en su mayoría de fuentes subterráneas, en especial para el uso doméstico se presentan un total de 10 captaciones ilegales. (CORPOURABA, 2016).

De acuerdo al documento de Plan de Acción Institucional 2016 - 2019 en cuanto al registro de usuarios del recurso hídrico, según el Decreto 303 de 2012, la zona cuenta con 411 usuarios, asociados todos a captaciones para uso de consumo humano, agrícola, industrial entre otros, en fuentes hídricas superficiales y superficiales discriminados por vertiente tal cual como se observa en la tabla siguiente.

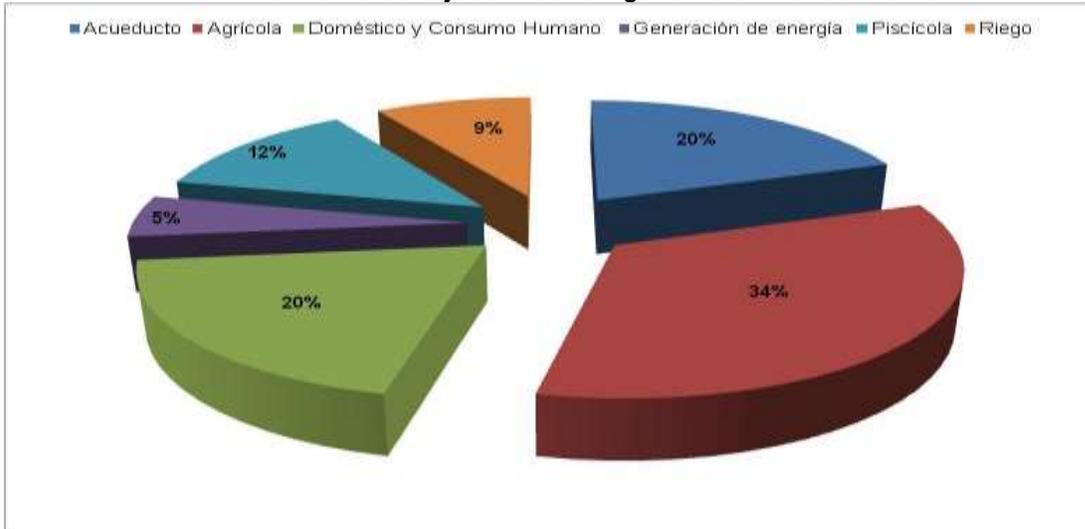
**Tabla 60. Usuarios del recurso hídrico registrados en la Territorial Centro**

TIPO CONCESIÓN	CUENCA	Nº CONCESIONES	PORCENTAJE
Superficiales	Río León (Carepa, Apartadó, Chigorodó)	44	11%
	Río Turbo, Río Grande y Currulao	37	9%
	Río Mutatá	15	4%
<b>Total</b>		<b>411</b>	<b>100</b>

Fuente: (CORPOURABA, 2016)

Dentro de la información secundaria revisada se encontró en la información entrega por la corporación que de las concesiones de agua otorgadas por CORPOURABA, el mayor porcentaje de uso del agua en la cuenca es agrícola, le sigue lo otorgado para acueductos, domésticos y consumo humano, y en un menor porcentaje concesiones para uso piscícola, riego y generación de energía como se evidencia en la siguiente gráfica.

**Gráfica 49. Porcentaje de usos del agua en la cuenca del Río León**



Fuente: (CORPOURABA, 2015)

De la revisión realizada a la información de las concesiones otorgadas (Tabla 61) en la cuenca se destacan aquellas concedidas para acueductos, como se observa a continuación:

**Tabla 61. Concesiones otorgadas CORPOURABA**

RAZON SOCIAL	RESOLUCION N°	MUNICIPIO	FUENTE DE CAPTACION	NOMBRE FUENTE	USO	Q. Otor. L/seg	TIEMPO BOMBEO/ Horas día
AGUAS DE URABA S.A. E.S.P.	001501	Carepa	Superficial	Quebrada La Pedregosa	Acueducto urbano	80	24
AGUAS DE URABA S.A. E.S.P.	001501	Carepa	Superficial	Quebrada La Cristalina	Acueducto urbano	56	24
OPTIMA S.A. E.S.P.	200-03-20-01-1694-2010	Turbo	Superficial	Q. El Salto	Acueducto	70,4	24
OPTIMA S.A. E.S.P.	200-03-20-01-1696-2010	Turbo	Superficial	Río Grande	Acueducto Veredal	40	24
AGUAS DE URABA S.A. E.S.P.	48102	Chigorodó	Superficial	Río Chigorodó	Acueducto urbano	140	24

Fuente: (CORPOURABA, 2015)

Adicionalmente con la información de BASE CAS 2014 suministrada por CORPOURABA se ubicaron las siguientes bocatomas (Tabla 62):

**Tabla 62. Bocatomas dentro de la Cuenca del Río León**

CUENCA	MUNICIPIO	N	W
Río Apartadó	Apartadó	7°51'20,8"	76°35'24,5"
Quebrada La Cristalina - Bocatoma Aguas de Urabá	Chigorodó	7°42'57,7"	76°31'52,5"
Quebrada Los Cangrejos - Bocatoma Aguas de Urabá	Chigorodó	7°42'9,6"	76°31'5,3"

En el levantamiento de información en campo (Tabla 63), se visitaron los municipios de Apartadó, Chigorodó, Carepa, Mutatá y Turbo, y se identificaron las siguientes estructuras:

**Tabla 63. Infraestructura identificada en Campo**

NOMBRE	PREDIO	COORDENADAS		ELEVACION msnm
		X	Y	
Bocatoma Campamento	Campamento	731.609	1.351.167	354
Bocatoma Mutatá	Caucheras	734.890	1.303.819	175
Bocatoma Cangrejo	El Cangrejo	730.655	1.344.298	480
Bocatoma El Cerro	El Cerro	733.450	1.349.872	793
Bocatoma El Petróleo	El Petróleo	726.060	1.366.470	204
Bocatoma Salsipuedes	Salsipuedes	722.559	1.361.077	96
Bocatoma La Cristalina	San Sebastián	730.360	1.344.552	320

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

La información de los caudales al ser información exclusiva de los acueductos, no puedo ser suministrada al momento de la visita.

## 1. Bocatoma Campamento

**Fotografía 1. Bocatoma Campamento**



Coordenadas: X: 731.609 – Y: 1.351.167

Bocatoma encargada de la captación superficial de parte del caudal para la distribución en esta vereda (Fotografía 1).

## 2. Bocatoma Mutatá

Fotografía 2. Bocatoma Mutatá



Coordenadas: X: 734.890 – Y:1.303.819

Bocatoma de tamaño pequeño que se encarga de la captación de agua para la distribución de esta (Fotografía 2).

## 3. Bocatoma Cangrejo

Fotografía 3. Bocatoma Cangrejo



Coordenadas: X: 730.655 – Y: 1.344.298

Bocatoma encargada de la captación superficial de parte del caudal de la Quebrada Cangrejo (Fotografía 3).

## 4. Bocatoma El Cerro

**Fotografía 4. Bocatoma El Cerro**



Coordenadas: X: 733.450 – Y: 1.349.872

Bocatoma de tamaño pequeño que se encarga de la captación de agua para la distribución de esta en la vereda el cerro (Fotografía 4).

#### **5. Bocatoma El Petróleo**

**Fotografía 5. Bocatoma El Petróleo**



Coordenadas: X: 726.060 – Y: 1.366.470

Bocatoma de tamaño pequeño que se encarga de la captación de agua para la distribución de esta en esta zona (Fotografía 5).

#### **6. Bocatoma Salsipuedes**

**Fotografía 6. Bocatoma Salsipuedes**



Coordenadas: X: 722.559 – Y: 1.361.077

Bocatoma de gran tamaño que se encarga de la captación de agua superficial. El caudal derivado de esta bocatoma es de 280 L/s (Fotografía 6).

## **7. Bocatoma La Cristalina**

**Fotografía 7. Bocatoma La Cristalina**



Coordenadas: X: 730.360 – Y: 1.344.552

Bocatoma encargada de la captación superficial de parte del caudal de la Quebrada La Cristalina (Fotografía 7).

## **8. Bocatoma El Salto**

**Fotografía 8. Bocatoma El Salto**



Coordenadas: X: 724.655 – Y: 1.370.197

Bocatoma de tamaño pequeño que se encarga de la captación de agua para la distribución de esta en esta zona (Fotografía 8).

### **1.7.7 Demandas potenciales de agua**

Para la determinación de las potenciales áreas para desarrollo agropecuario y población localizada en la cuenca, se partió de información primaria de campo, actualización cartográfica del área con planchas del IGAC del año 2014, restitución aerofotográfica del área del proyecto del año 2017, realizada para el proyecto del distrito de riego de Urabá, desarrollado por el consorcio CPT – Tragsatec.

La zona estudiada tiene un área bruta aproximada de 65.000 ha, se encuentra dentro de los siguientes límites geográficos, al norte la cuenca del Río Grande; al occidente y hacia el sur el corredor paralelo al cauce del Río León hasta el corregimiento de Barranquillita; al sur con la zona de cultivos entre la población de El Venado y la zona baja inundable del Río León; por el oriente con la carretera Panamericana, que viene de Medellín a Turbo coincidiendo con el pie de monte de la Serranía de Abibe. Las alturas varían entre las cotas 0 msnm y aproximadamente 1500 msnm.

En el área de estudio se encuentran las poblaciones de Chigorodó, Carepa y Apartadó, donde convergen comunidades étnicas, campesinas y urbanas que presentan altas densidades poblacionales, con gran presión de uso en actividades domésticas y agropecuarias.

#### **1.7.7.1 Agropecuaria**

##### Área

Actualmente el área una zona de tipo rural con ocupación de predios dedicados a las plantaciones agrícolas de banano y plátano principalmente y otros cultivos como cacao, palma, piña, así como la explotación ganadera. En la Tabla 64, se presentan las áreas brutas estimadas y el área neta que se podría desarrollar.

En desarrollo de este proyecto con base en el reconocimiento de la aerofotografía disponible del área del proyecto se logró establecer la distribución de áreas de explotación y a partir de éste se formuló un plan agropecuario para toda el área, que tiene una extensión de aproximadamente 65.000 hectáreas brutas y 56.000 hectáreas netas.

**Tabla 64. Cultivos en la zona**

<b>CULTIVO</b>	<b>AREA BRUTA ha</b>	<b>AREA NETA ha</b>
Banano/Plátano	46.000	40.000
Cacao	3.500	3.000
Palma	3.500	3.000
Pastos	12.000	10.000
<b>Total</b>	<b>65.000</b>	<b>56.000</b>

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

En el área se encuentran cinco (5) centros poblados con intenso movimiento económico jalonado por la producción agropecuaria de la zona.

Desde el punto de vista ambiental, en la zona del proyecto se identifican tres tipos de coberturas de suelo de acuerdo con la clasificación de Holdridge.

#### Clima:

Para la determinación de la precipitación efectiva para la zona, se tomaron los valores de la estación agroclimatológica de Unibán, localizada aproximadamente en la zona central, por lo cual se consideró como representativa para la determinación de los balances.

#### Factores para el balance

Precipitación para una excedencia del 80% (Estación Unibán).

Precipitación efectiva (factor de 0.80).

Evapotranspiración potencial (Estación Unibán).

Coefficiente de cultivo

- Banano y plátano: 1.1
- Pastos: 1.0
- Cacao: 1.0
- Palma africana: 1.0

Uso consuntivo

Eficiencia del sistema de riego.

Eficiencia general del sistema de riego: 0.60

Tomando como base la precipitación efectiva, y la evapotranspiración potencial, se calculó el uso consuntivo y se desarrolla el balance.

Para determinar al caudal decadal y el caudal máximo de diseño, se estableció una jornada de riego de 18 horas.

En la Gráfica 50, se presenta la distribución temporal de la precipitación registrada en la estación de Unibán, localizada aproximadamente en el centro del área y en la Tabla 65 se presentan los valores decadales de la precipitación registrada en la estación de Unibán.

En la Tabla 66, se presentan las demandas anuales de agua para cada uno de los cultivos y la demanda total, donde se observa que el requerimiento anual es de aproximadamente 333.1 Hm<sup>3</sup>.

En la Tabla 67, se presenta el caudal máximo, que corresponde a la tercera década del mes de enero.

En la Tabla 68 se presentan los módulos de riego estimados para una jornada de riego máxima de 18 horas.

Finalmente, en la Tabla 69, se presentan las demandas de agua decadales para cada uno de los cultivos, de acuerdo con la metodología planteada anteriormente.

El caudal máximo demandado es de 48.7 m<sup>3</sup>/s, que se presenta en la tercera década del mes de enero.

**Tabla 65. Precipitación decadal estación Unibán**

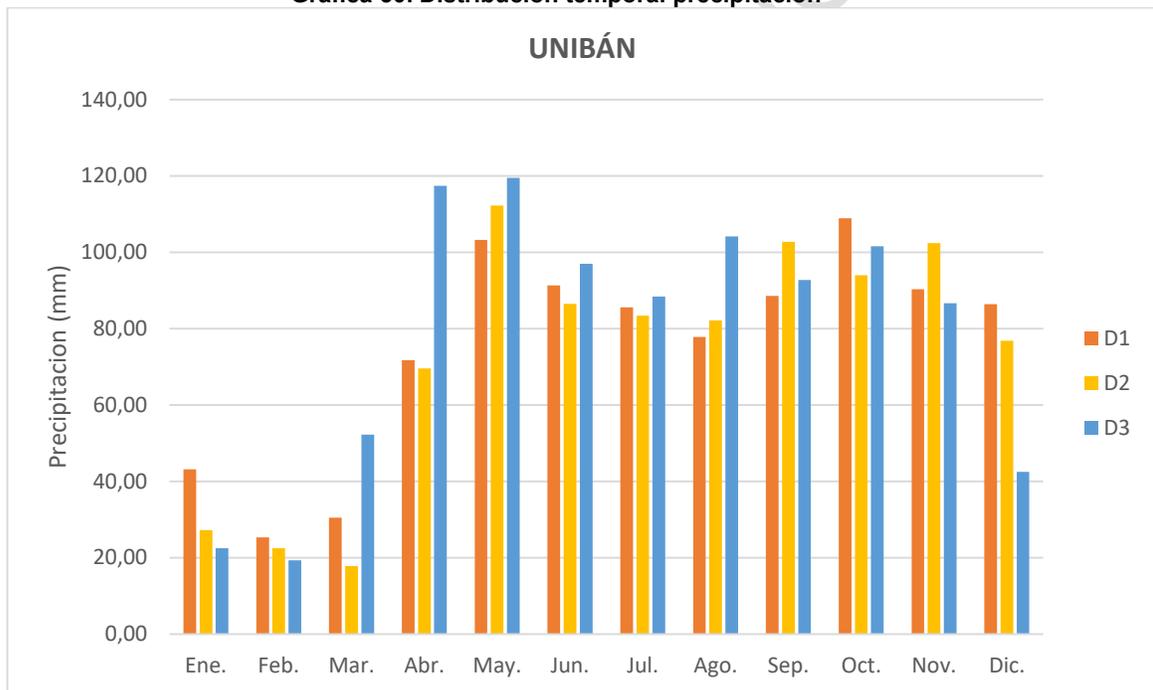
AÑO		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1977	D1	30,29	23,78	32,45	86,89	108,76	92,50	83,27	72,10	165,30	153,70	102,00	84,80
1977	D2	30,29	23,78	32,45	86,89	108,76	92,50	83,27	119,70	65,40	55,30	40,30	39,70
1977	D3	33,32	21,40	35,70	86,89	119,63	92,50	91,60	80,10	219,50	170,30	61,00	4,20
1978	D1	44,10	67,10	46,10	101,50	65,80	188,90	133,40	26,00	23,90	84,90	64,30	132,00
1978	D2	0,00	0,00	2,50	49,60	33,10	53,10	15,30	103,40	181,50	109,10	44,70	40,10
1978	D3	1,50	20,40	168,80	325,60	150,20	143,10	82,70	150,70	116,30	70,30	0,80	0,00
1979	D1	0,00	0,60	22,80	7,90	78,20	119,90	56,80	39,80	38,30	222,70	37,40	38,40
1979	D2	1,80	1,30	0,00	22,30	93,30	43,00	23,00	175,00	104,90	44,20	13,10	143,60
1979	D3	5,90	3,80	35,40	215,90	169,50	247,10	153,20	152,40	60,50	58,70	86,00	40,10
1980	D1	30,29	1,80	0,70	26,80	105,10	95,70	181,70	210,70	65,50	99,33	93,67	66,95
1980	D2	30,29	0,40	0,10	15,90	39,40	10,90	51,90	102,90	79,30	99,33	93,67	66,95
1980	D3	33,32	5,30	5,80	165,20	107,80	19,60	109,70	87,60	101,60	109,26	93,67	73,64
1981	D1	54,30	23,78	116,40	86,89	44,90	92,50	71,60	81,00	95,08	52,60	89,10	176,20
1981	D2	11,00	23,78	16,30	86,89	145,60	92,50	137,30	38,40	95,08	99,60	81,90	5,80
1981	D3	1,10	21,40	24,50	86,89	119,60	92,50	62,60	94,70	95,08	90,70	108,60	16,10
1982	D1	46,70	23,78	115,50	86,89	113,20	92,50	51,30	35,00	70,90	65,00	236,40	9,70
1982	D2	6,60	23,78	0,10	86,89	91,30	92,50	93,80	83,10	67,50	42,30	94,00	28,40
1982	D3	38,80	21,40	1,20	86,89	65,30	92,50	134,60	27,00	29,90	191,80	113,40	9,00
1983	D1	0,00	0,00	55,50	24,40	40,70	114,90	26,90	74,90	90,80	170,80	71,70	102,10
1983	D2	0,80	0,00	13,80	22,30	85,80	99,80	24,00	116,00	73,20	94,40	63,40	164,80
1983	D3	0,80	3,70	18,00	290,40	200,00	54,70	244,60	87,00	19,20	119,70	36,20	83,50
1984	D1	9,70	153,00	19,30	0,20	62,30	32,10	69,70	99,10	46,10	218,10	36,00	18,20
1984	D2	40,80	10,00	0,00	30,30	143,80	31,70	37,50	3,90	99,60	85,00	31,70	1,80
1984	D3	2,50	43,30	6,40	72,80	73,30	178,00	119,40	103,10	9,20	77,10	87,00	0,00
1985	D1	3,60	9,40	2,20	20,20	101,10	156,00	46,10	18,60	191,80	72,30	31,60	125,50
1985	D2	0,00	1,40	10,80	0,90	48,40	171,40	22,60	59,20	93,60	148,20	278,80	5,90
1985	D3	153,50	0,20	21,10	61,80	152,60	58,50	35,80	59,80	81,70	112,20	12,30	89,60
1986	D1	0,60	52,90	93,60	22,50	17,50	53,20	189,60	21,50	105,60	129,20	79,80	51,50
1986	D2	1,10	51,40	63,10	200,70	21,70	58,90	98,10	191,90	110,40	46,30	72,20	66,80
1986	D3	10,20	0,50	9,50	99,20	80,70	180,70	102,30	84,00	201,70	199,80	7,60	29,50
1987	D1	0,70	19,20	2,90	102,20	162,40	54,10	19,90	28,10	70,90	64,50	39,10	139,90
1987	D2	29,30	2,50	0,70	50,70	209,30	62,60	57,90	41,80	84,90	172,60	110,90	8,80
1987	D3	59,10	0,00	4,80	119,20	83,80	123,60	33,90	103,40	35,30	91,50	75,30	3,30
1988	D1	8,40	67,30	0,00	225,90	138,20	152,20	110,90	138,30	112,60	217,70	97,10	109,10
1988	D2	0,70	6,20	0,50	57,80	118,50	75,70	42,50	41,50	111,00	118,50	8,50	10,70



ANO		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2009	D3	27,10	74,60	144,30	142,40	70,90	97,50	91,30	116,60	74,60	146,10	126,70	57,30
2010	D1	0,00	1,50	71,90	13,20	129,50	59,70	27,30	91,20	119,40	15,50	96,10	279,60
2010	D2	0,00	0,60	50,50	33,10	59,80	163,10	65,50	92,90	125,00	90,20	147,40	343,10
2010	D3	0,60	6,30	91,30	50,50	46,20	87,20	109,70	184,40	63,60	59,50	245,30	32,10
2011	D1	137,00	8,50	120,20	238,60	74,70	52,20	242,00	39,70	51,70	75,70	17,50	136,00
2011	D2	79,30	52,20	30,60	100,50	46,90	14,20	70,30	54,10	71,90	68,80	92,40	30,00
2011	D3	43,00	56,70	22,50	59,00	131,10	61,90	73,60	209,20	105,00	34,80	110,30	57,90
2012	D1	114,70	16,20	0,50	147,40	128,70	69,00	34,40	110,10	43,90	131,80	164,00	54,70
2012	D2	9,30	1,60	8,20	87,50	154,10	59,90	95,70	110,50	79,20	57,50	106,70	55,80
2012	D3	7,50	3,30	21,80	139,00	161,00	60,10	100,70	57,50	101,60	91,30	64,70	66,50
2013	D1	0,00	51,80	67,40	3,40	42,10	78,60	104,50	77,90	177,40	78,90	123,60	77,70
2013	D2	0,00	6,00	95,30	70,20	234,80	63,50	26,80	37,30	133,10	96,90	51,30	137,70
2013	D3	0,90	19,50	78,80	173,30	66,00	101,60	119,10	185,20	29,80	101,50	100,50	39,40
2014	D1	70,50	8,10	29,00	0,90	204,30	71,30	64,50	50,20	94,30	11,40	215,10	218,10
2014	D2	0,30	8,50	1,70	6,50	241,90	115,30	124,00	33,30	67,20	57,80	39,10	19,10
2014	D3	26,10	2,00	40,60	96,50	201,00	18,60	87,80	134,50	23,30	199,00	34,00	0,00
2015	D1	0,00	31,40	1,30	49,90	6,00	75,60	34,70	24,20	157,80	90,00	135,10	40,30
2015	D2	51,00	7,80	38,60	40,70	38,70	33,00	63,70	120,70	36,00	94,80	68,40	127,30
2015	D3	2,10	0,50	18,60	48,30	175,10	27,20	76,70	180,30	163,20	102,70	107,80	0,00

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Gráfica 50. Distribución temporal precipitación



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Tabla 66. Demandas de agua anuales

CULTIVO	AREA ha	VOLUMEN ANUAL Hm <sup>3</sup>
Banano y plátano	40.000	245,3
Cacao y palma	6.000	32,1
Pastos	10.000	53,4
<b>Total</b>	<b>56.000</b>	<b>330,8</b>

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Tabla 67. Caudal máximo demandado

CULTIVO	ÁREA ha	CAUDAL m <sup>3</sup> /s
---------	---------	--------------------------

Banano y plátano	40.000	33,8
Cacao y palma	6.000	4,6
Pastos	10.000	7,7
<b>Total</b>	<b>56.000</b>	<b>46,1</b>

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

**Tabla 68. Módulos de riego**

CULTIVO	ÁREA ha	MODULO l/s/ha
Banano y plátano	40.000	0,85
Cacao y palma	6.000	0,77
Pastos	10.000	0,77
<b>Promedio</b>	<b>56.000</b>	<b>0,79</b>

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

**Tabla 69. Demandas de agua decadales (l/s)**

### Banano y plátano

40000	Enero			Febrero			Marzo			Abril		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Precipitación excedencia 80% (mm)	0,40	0,40	0,40	0,50	0,30	0,50	0,50	0,50	4,80	13,20	22,30	57,50
Precipitación efectiva (mm)	0,32	0,32	0,32	0,40	0,24	0,40	0,40	0,40	3,84	10,56	17,84	46,00
Evapotranspiración potencial (mm)	27,41	27,41	30,15	27,91	27,91	22,33	28,61	28,61	31,47	28,97	28,97	28,9
Coefficiente KC	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Uso consuntivo (mm)	30,15	30,15	33,17	30,71	30,71	24,56	31,47	31,47	34,62	31,86	31,86	31,86
<b>Demanda neta (mm)</b>	<b>-29,83</b>	<b>-29,83</b>	<b>-32,85</b>	<b>-30,31</b>	<b>-30,47</b>	<b>-24,16</b>	<b>-31,07</b>	<b>-31,07</b>	<b>-30,78</b>	<b>-21,30</b>	<b>-14,02</b>	<b>14,14</b>
Pérdidas C, D, A (%)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Demanda bruta (mm)	-49,72	-49,72	-54,75	-50,51	-50,78	-40,27	-51,79	-51,79	-51,30	-35,51	-23,37	23,56
Jornada de aplicación riego (horas)	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Volumen (m³/ha)	,23	497,23	547,48	505,09	507,76	402,74	517,89	517,89	513,01	355,07	233,73	235,60
Volumen total (m³)	19889000,3	19889000,3	21899233,6	20203644,7	20310311,3	16109582,4	20715469,4	20715469,4	20520349,7	14202629,9	9349296,5	
Caudal unitario l/s/ha	0,77	0,77	0,84	0,78	0,78	0,62	0,80	0,80	0,79	0,55	0,36	
Caudal total l/s	30692,9	30692,9	33795,1	31178,5	31343,1	24860,5	31968,3	31968,3	31667,2	21917,6	14427,9	

40000	Mayo			Junio			Julio			Agosto		
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Precipitación excedencia 80% (mm)	44,90	47,90	70,90	49,50	45,90	53,20	35,30	121,90	47,50	35,00	37,30	57,90
Precipitación efectiva (mm)	35,92	38,32	56,72	39,60	36,72	42,56	28,24	97,52	38,00	28,00	29,84	46,32
Evapotranspiración potencial (mm)	28,53	28,53	31,38	28,35	28,35	28,35	28,00	28,00	30,80	27,98	27,98	30,78
Coefficiente KC	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Uso consuntivo (mm)	31,38	31,38	34,52	31,19	31,19	31,19	30,80	30,80	33,88	30,78	30,78	33,86
<b>Demanda neta (mm)</b>	<b>4,54</b>	<b>6,94</b>	<b>22,20</b>	<b>8,41</b>	<b>5,53</b>	<b>11,37</b>	<b>-2,56</b>	<b>66,72</b>	<b>4,12</b>	<b>-2,78</b>	<b>-0,94</b>	<b>12,46</b>
Pérdidas C, D, A (%)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Demanda bruta (mm)	7,57	11,57	37,01	14,02	9,22	18,95	-4,27	111,19	6,86	-4,64	-1,57	20,77
Jornada de aplicación riego (horas)	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Volumen (m³/ha)	75,69	-115,69	-370,06	-140,22	-92,22	-189,55	42,73	-1111,93	-68,59	46,37	15,71	-207,66
Volumen total (m³)							1709352,5			1854917,0	628250,3	
Caudal unitario l/s/ha							0,07			0,07	0,02	

40000	Mayo			Junio			Julio			Agosto		
Parámetros	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Caudal total l/s							2637,9			2862,5		969,

40000	Septiembre			Octubre			Noviembre			Diciembre		
Parámetros	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Precipitación excedencia 80% (mm)	43,40	57,80	36,00	60,00	54,10	58,70	37,40	44,70	34,00	40,30	14,20	0,20
Precipitación efectiva (mm)	43,40	57,80	36,00	60,00	54,10	58,70	37,40	44,70	34,00	40,30	14,20	0,20
Evapotranspiración potencial (mm)	43,40	57,80	36,00	60,00	54,10	58,70	37,40	44,70	34,00	40,30	14,20	0,20
Coefficiente KC	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Uso consuntivo (mm)	30,35	30,35	30,35	29,83	29,83	32,81	29,76	29,76	29,76	30,06	30,06	33,06
Demanda neta (mm)	4,37	15,99	-1,55	18,17	13,45	14,15	0,16	6,00	-2,56	2,18	-18,70	-32,90
Pérdidas C, D, A (%)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Demanda bruta (mm)	7,29	26,49	-2,58	30,29	22,42	23,58	0,26	9,99	-4,27	3,64	-31,16	-54,84
Jornada de aplicación riego (horas)	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Volumen (m3/ha)	-72,87	-264,87	25,80	-302,89	-224,22	-235,84	-2,60	-99,93	42,74	-36,38	311,62	548,38
Volumen total (m3)			1031800,8						1709436,3		12464750,5	2193522
Caudal unitario l/s/h			0,04						0,07		0,48	0,85
Caudal total l/s			0,04						2638,0		19235,7	33850,7

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

## Pastos

40000	Enero			Febrero			Marzo			Abril		
Parámetros	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Precipitación excedencia 80% (mm)	0,40	0,40	0,40	0,50	0,30	0,50	0,50	0,50	4,80	13,20	22,30	57,50
Precipitación efectiva (mm)	0,32	0,32	0,32	0,40	0,24	0,40	0,40	0,40	3,84	10,56	17,84	46,00
Evapotranspiración potencial (mm)	27,41	27,41	30,15	27,91	27,91	22,33	28,61	28,61	31,47	28,97	28,97	28,97
Coefficiente KC	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Uso consuntivo (mm)	27,41	27,41	30,15	27,91	27,91	22,33	28,61	28,61	31,47	28,97	28,97	28,97
Demanda neta (mm)	-27,09	-27,09	-29,83	-27,51	-27,67	-21,93	-28,21	-28,21	-27,63	-18,41	-11,13	17,03
Pérdidas C, D, A (%)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Demanda bruta (mm)	-45,15	-45,15	-49,72	-45,86	-46,12	-36,55	-47,02	-47,02	-46,06	-30,68	-18,55	28,39
Jornada de aplicación riego (horas)	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Volumen (m3/ha)	451,54	451,54	497,23	458,57	461,23	365,52	470,20	470,20	460,55	306,79	185,45	-283,88
Volumen total (m3)	4515378,9	4515378,9	4972250,1	4585676,8	4612343,5	3655208,1	4702000,6	4702000,6	4605534,0	3067870,4	1854537,1	
Caudal unitario l/s/ha	0,70	0,70	0,77	0,71	0,71	0,56	0,73	0,73	0,71	0,47	0,29	
Caudal total l/s	6968,2	6968,2	7673,2	7076,7	7117,8	5640,8	7256,2	7256,2	7107,3	4734,4	2861,9	

40000	Mayo			Junio			Julio			Agosto		
Parámetros	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Precipitación excedencia 80% (mm)	44,90	47,90	70,90	49,50	45,90	53,20	35,30	121,90	47,50	35,00	37,30	57,90
Precipitación efectiva (mm)	35,92	38,32	56,72	39,60	36,72	42,56	28,24	97,52	38,00	28,00	29,84	46,32
Evapotranspiración potencial (mm)	28,53	28,53	31,38	28,35	28,35	28,35	28,00	28,00	30,80	27,98	27,98	30,78
Coefficiente KC	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Uso consuntivo (mm)	28,53	28,53	31,38	28,35	28,35	28,35	28,00	28,00	30,80	27,98	27,98	30,78
Demanda neta (mm)	7,39	9,79	25,34	11,25	8,37	14,21	0,24	69,52	7,20	0,02	1,86	15,54
Pérdidas C, D, A (%)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Demanda bruta (mm)	12,32	16,32	42,24	18,75	13,95	23,68	0,39	115,86	11,99	0,03	3,09	25,9
Jornada de aplicación riego (horas)	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Volumen (m3/ha)	-123,24	-163,24	-422,36	-187,47	-139,47	-236,80	-3,94	-1158,61	-119,93	-0,27	-30,93	-258,9
Volumen total (m3)												
Caudal unitario l/s/ha												
Caudal total l/s												

40000	Septiembre			Octubre			Noviembre			Diciembre		
Parámetros	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Precipitación excedencia 80% (mm)	43,40	57,80	36,00	60,00	54,10	58,70	37,40	44,70	34,00	40,30	14,20	0,20

Precipitación efectiva (mm)	34,72	46,24	28,80	48,00	43,28	46,96	29,92	35,76	27,20	32,24	11,36	0,16
Evapotranspiración potencial (mm)	27,59	27,59	27,59	27,12	27,12	29,83	27,06	27,06	27,06	27,32	27,32	30,06
Coefficiente KC	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Uso consuntivo (mm)	27,59	27,59	27,59	27,12	27,12	29,83	27,06	27,06	27,06	27,32	27,32	30,06
<b>Demanda neta (mm)</b>	<b>7,13</b>	<b>18,65</b>	<b>1,21</b>	<b>20,88</b>	<b>16,16</b>	<b>17,13</b>	<b>2,86</b>	<b>8,70</b>	<b>0,14</b>	<b>4,92</b>	<b>-15,96</b>	<b>-29,9</b>
Pérdidas C, D, A (%)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Demanda bruta (mm)	11,89	31,09	2,02	34,81	26,94	28,56	4,77	14,50	0,24	8,19	-26,61	-49,83
Jornada de aplicación riego (horas)	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Volumen (m³/ha)	-118,85	-310,85	-20,19	-348,08	-269,41	-285,56	-47,69	-145,03	-2,36	-81,92	266,08	498,29
Volumen total (m³)											2660776,6	4982854,3
Caudal unitario l/s/ha											0,41	0,77
Caudal total l/s											4106,1	7689,6

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

## Cacao y palma

6000	Enero			Febrero			Marzo			Abril		
Parámetros	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Precipitación excedencia 80% (mm)	0,40	0,40	0,40	0,50	0,30	0,50	0,50	0,50	4,80	13,20	22,30	57,50
Precipitación efectiva (mm)	0,32	0,32	0,32	0,40	0,24	0,40	0,40	0,40	3,84	10,56	17,84	46,00
Evapotranspiración potencial (mm)	27,41	27,41	30,15	27,91	27,91	22,33	28,61	28,61	31,47	28,97	28,97	28,97
Coefficiente KC	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Uso consuntivo (mm)	27,41	27,41	30,15	27,91	27,91	22,33	28,61	28,61	31,47	28,97	28,97	28,97
<b>Demanda neta (mm)</b>	<b>-27,09</b>	<b>-27,09</b>	<b>-29,83</b>	<b>-27,51</b>	<b>-27,67</b>	<b>-21,93</b>	<b>-28,21</b>	<b>-28,21</b>	<b>-27,63</b>	<b>-18,41</b>	<b>-11,13</b>	<b>17,03</b>
Pérdidas C, D, A (%)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Demanda bruta (mm)	-45,15	-45,15	-49,72	-45,86	-46,12	-36,55	-47,02	-47,02	-46,06	-30,68	-18,55	28,39
Jornada de aplicación riego (horas)	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Volumen (m³/ha)	451,54	451,54	497,23	458,57	461,23	365,52	470,20	470,20	460,55	306,79	185,45	-283,88
Volumen total (m³)	2709227,3	2709227,3	2983350,0	2751406,1	2767406,1	2193124,9	2821200,4	2821200,4	2763320,4	1840722,3	1112722,3	
Caudal unitario l/s/ha	0,70	0,70	0,77	0,71	0,71	0,56	0,73	0,73	0,71	0,47	0,29	
Caudal total l/s	4180,9	4180,9	4603,9	4246,0	4270,7	3384,5	4353,7	4353,7	4264,4	2840,6	1717,2	

6000	Mayo			Junio			Julio			Agosto		
Parámetros	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Precipitación excedencia 80% (mm)	44,90	47,90	70,90	49,50	45,90	53,20	35,30	121,90	47,50	35,00	37,30	57,90
Precipitación efectiva (mm)	35,92	38,32	56,72	39,60	36,72	42,56	28,24	97,52	38,00	28,00	29,84	46,32
Evapotranspiración potencial (mm)	28,53	28,53	31,38	28,35	28,35	28,35	28,00	28,00	30,80	27,98	27,98	30,78
Coefficiente KC	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Uso consuntivo (mm)	28,53	28,53	31,38	28,35	28,35	28,35	28,00	28,00	30,80	27,98	27,98	30,78
<b>Demanda neta (mm)</b>	<b>7,39</b>	<b>9,79</b>	<b>25,34</b>	<b>11,25</b>	<b>8,37</b>	<b>14,21</b>	<b>0,24</b>	<b>69,52</b>	<b>7,20</b>	<b>0,02</b>	<b>1,86</b>	<b>15,54</b>
Pérdidas C, D, A (%)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Demanda bruta (mm)	12,32	16,32	42,24	18,75	13,95	23,68	0,39	115,86	11,99	0,03	3,09	25,90
Jornada de aplicación riego (horas)	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Volumen (m³/ha)	-123,24	-163,24	-422,36	-187,47	-139,47	-236,80	-3,94	-1158,61	119,93	0,27	30,93	258,96
Volumen total (m³)												
Caudal unitario l/s/ha												
Caudal total l/s												

6000	Septiembre			Octubre			Noviembre			Diciembre		
Parámetros	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Precipitación excedencia 80% (mm)	43,40	57,80	36,00	60,00	54,10	58,70	37,40	44,70	34,00	40,30	14,20	0,20



6000	Septiembre			Octubre			Noviembre			Diciembre		
Precipitación efectiva (mm)	34,72	46,24	28,80	48,00	43,28	46,96	29,92	35,76	27,20	32,24	11,36	0,16
Evapotranspiración potencial (mm)	27,59	27,59	27,59	27,12	27,12	29,83	27,06	27,06	27,06	27,32	27,32	30,06
Coefficiente KC	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Uso consuntivo (mm)	27,59	27,59	27,59	27,12	27,12	29,83	27,06	27,06	27,06	27,32	27,32	30,06
<b>Demanda neta (mm)</b>	<b>7,13</b>	<b>18,65</b>	<b>1,21</b>	<b>20,88</b>	<b>16,16</b>	<b>17,13</b>	<b>2,86</b>	<b>8,70</b>	<b>0,14</b>	<b>4,92</b>	<b>-15,96</b>	<b>-29,9</b>
Pérdidas C, D, A (%)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Demanda bruta (mm)	11,89	31,09	2,02	34,81	26,94	28,56	4,77	14,50	0,24	8,19	-26,61	-49,83
Jornada de aplicación riego (horas)	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Volumen (m <sup>3</sup> /ha)	-118,85	-310,85	-20,19	-348,08	-269,41	-285,56	-47,69	-145,03	-2,36	-81,92	266,08	498,29
Volumen total (m <sup>3</sup> )											1596466,0	2989712,6
Caudal unitario l/s/ha											0,41	0,77
Caudal total l/s											2463,7	4613,8

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

### Conclusiones:

Se estimaron las demandas de agua para un área neta a regar de 56.000 ha.

De acuerdo con el plan de cultivos planteado (Banano, plátano, cacao, palma y pastos), se obtuvieron requerimientos de agua para riego en los meses de diciembre, correspondiente a las dos (2) últimas décadas, todo el mes de enero, todo el mes de febrero y todo el mes de marzo y finalmente, en las dos (2) primeras décadas del mes de abril, presentándose en esta última una demanda relativamente pequeña.

Adicionalmente y solo para el cultivo del banano y el plátano, se presentan demandas muy pequeñas, casi que insignificantes en la primera década del mes de julio, en la primera y segunda del mes de agosto, en la tercera de septiembre y en la tercera de noviembre.

Se puede decir que agua para riego se necesita durante trece décadas seguidas que van desde la segunda de diciembre a la segunda de abril.

Para el resto del año, no se obtuvieron requerimientos de agua para riego para los cultivos de pastos y cacao y plátano, y como se mencionó anteriormente, las intermedias para el banano son muy pequeñas y se podría decir casi que los valores precipitados superan con creces las necesidades de agua de los cultivos.

La mayor demanda se presenta en la tercera década del mes de enero, con un valor de 46.1 m<sup>3</sup>/s.

De acuerdo con lo anterior, es decir para un área neta a regar de 56.000 hectáreas, se tiene un módulo de riego de 0.82 l/s/ha. Discriminando para cada una de las cuencas tributarias se tendría la demanda para cada una, multiplicando el módulo por el área aprovechable de la cuenca, entre la carretera panamericana y el cauce del Río León.

En la Tabla 70, se presenta la demanda potencial discriminada por subcuenca.

**Tabla 70. Demanda potencial por subcuenca**

SUBCUENCA	ÁREA (Ha)	Demanda Agropecuaria (m <sup>3</sup> /s)
Grande	7151,1	5,86
Apartadó	4553,5	3,73
Vijagual	8341,1	6,84
Carepa	13348,2	10,95
Chigorodó	10228	8,39
Malagón	6691	5,49
Guapá	12558,4	10,30
Juradó	1148,9	0,94
La Fortuna	3340	2,74
Porroso	1836,9	1,51
Villarteaga	12225,9	10,03
<b>Total</b>	<b>81423,0</b>	<b>66,77</b>

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

### 1.7.7.2 Pecuaria

A partir de la información suministrada por el sistema de información geográfica (SIG) se determinaron las áreas dedicadas a pastos para ganadería. A través del módulo de riesgo determinado para pastos se obtuvieron las demandas de agua para esta actividad. En la Tabla 71 se presenta se presenta la demanda potencial discriminada por subcuenca.

**Tabla 71. Demanda Pecuaria por Subcuenca**

SUBCUENCA	ÁREA (Ha)	Demanda Pecuaria (m <sup>3</sup> /s)
Caño Malagón	1795,03	1382,18
Río Apartadó	79,26	61,03
Río Carepa	3244,75	2498,46
Río Chigorodó	2809,05	2162,97
Río Grande	185,60	142,91
Río Guapá	7399,54	5697,64
Río Juradó	725,62	558,72
Río La Fortuna	2121,50	1633,56
Río León	4593,23	3536,78
Río Porroso	935,44	720,29
Río Vijagual	1211,22	932,64
Río Villarteaga	6228,41	4795,87
<b>Total</b>	<b>31328,65</b>	<b>24123,06</b>

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

### 1.7.7.3 Doméstica

La proyección de población y la demanda de agua para el consumo humano de las poblaciones de Apartadó, Chigorodó y Carepa se hizo a partir de los datos de proyección de población del DANE del año 2017, aplicando una tasa geométrica promedio anual departamental fija igual a 2.8% durante un periodo de 30 años. El Reglamento Técnico de Agua y Saneamiento Básico, RAS - 2000, y la Resolución 2320 de Noviembre de 2009 del MAVDT establecen una demanda neta igual a 150 L/hab-d y demanda bruta con pérdidas del 25%, sin embargo, la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, CRA prevé un ajuste al consumo mínimo por usuario de 18 a 16 m<sup>3</sup>/mes-usuario en climas

cálidos, lo que considerando 5.5 hab/usuario significa una dotación neta entre 109 y 97 L/hab-día, por ello para la proyección del consumo del área se adoptó un valor de 110 L/hab-día con 25% de pérdidas. Con estos criterios se obtuvo un estimativo del requerimiento para agua de consumo humano.

En la Tabla 72 y Tabla 73, se presenta el estimativo.

**Tabla 72. Necesidades de agua para abastecimiento humano municipios Cabera Municipal**

MUNICIPIO	Población Cabecera Cuenca	DOTACION NETA (L/hab.dia)	DEMANDA DE AGUA L/s	
<b>Cabecera</b>	Apartadó	164.190	150	290
	Carepa	45.619	150	80
	Chigorodó	70.264	150	120
	Mutatá	0	-	-
	Turbo	0	-	-
<b>Total</b>	<b>280.073</b>	<b>-</b>	<b>490</b>	

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

**Tabla 73. Necesidades de agua para abastecimiento humano municipios Zona rural**

MUNICIPIO	Población Rural Cuenca	DOTACION NETA (L/hab.dia)	DEMANDA DE AGUA (L/s)	
<b>Zona rural</b>	Apartadó	16.969	150	30
	Carepa	13.046	150	20
	Chigorodó	9.868	150	20
	Mutatá	5.396	150	10
	Turbo	7.593	150	10
	<b>52.872</b>	<b>-</b>	<b>90</b>	

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Para el suministro de agua para el sector agropecuario, ninguna de las cuencas tributarias al Río León, es apta por el bajo caudal que presentan en la época de estiaje. En la actualidad parte del área cultivada en plátano y banano, se está regando con aguas subterráneas.

Para el abastecimiento doméstico, igualmente se tienen restricciones en el período de estiaje, a menos que se tomen directamente del Río León.

Las demandas industriales básicamente se basan en el lavado del plátano, y están incluidas en la demanda agropecuaria.

## 1.7.8 Índices y caudal ambiental

### 1.7.8.1 Índice de retención y regulación hídrica (IRH)

El Índice de retención y regulación Hídrica, de acuerdo con la definición del IDEAM (2010), “Evalúa la capacidad de la cuenca para mantener un régimen de caudales, producto de la interacción del sistema suelo – vegetación, con las condiciones climáticas y con las características físicas y morfométricas de la cuenca”.

La metodología dice que el IRH, se debe determinar a partir de la curva de duración de caudales, para la cual se estima el volumen existente para el caudal correspondiente al  $Q_{50}$ , por debajo de la curva de duración y el volumen total bajo la curva, de acuerdo con la siguiente expresión matemática:

$$IRH = V_{50} / V_T$$

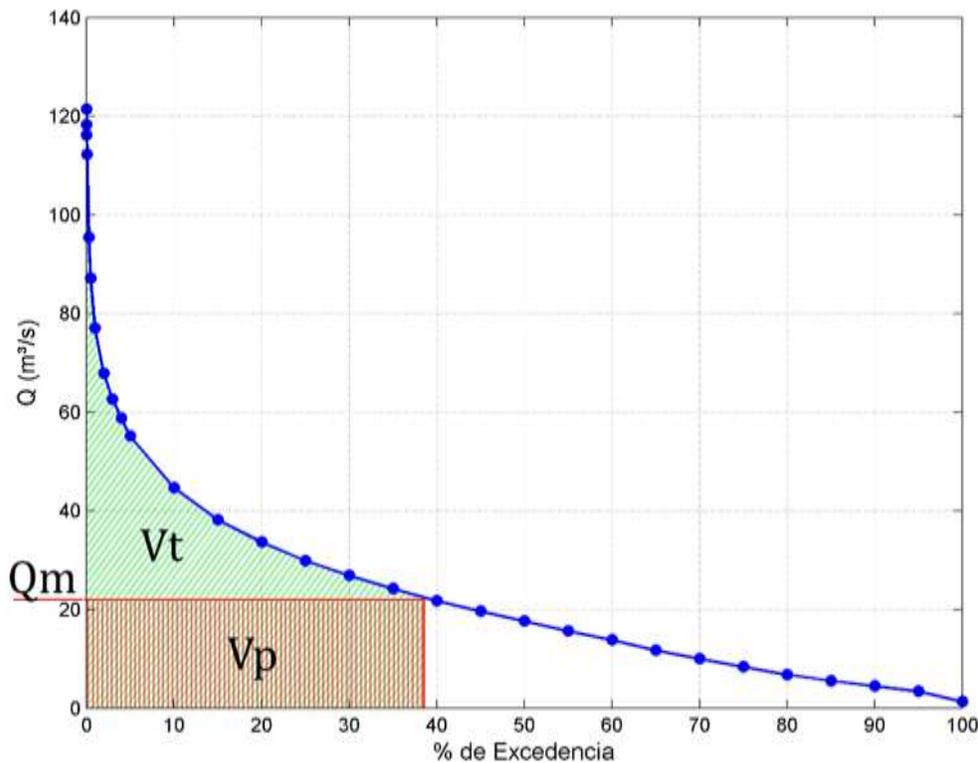
Donde:

$V_{50}$  = Volumen correspondiente al  $Q_{50}$

$V_T$  = Volumen total bajo la curva

En la

Gráfica 51. Definición del índice de regulación hídrica IRH



En la Tabla 74, se presentan los rangos de los valores definidos por el IDEAM, para calificar el indicador, entre regulación muy alta a regulación muy baja. En la Tabla 75, se presenta el índice calculado para cada una de las cuencas analizadas, indicando los valores de del VP y del VT

Tabla 74. Calificación del indicador

RANGO DE VALORES DEL INDICADOR	CALIFICACIÓN
>0.85	Muy alta
0.75-0.85	Alta

0.65-0.75	Moderada
0.50-0.65	Baja
<0.50	Muy baja

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

**Tabla 75. Índice de retención y regulación hídrica – IRH**

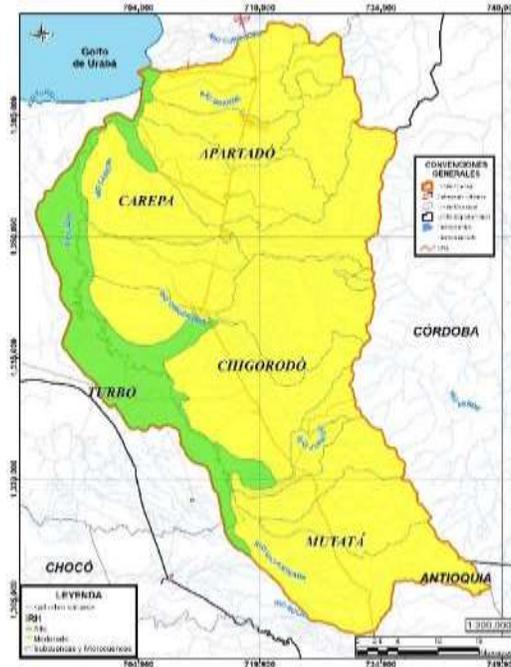
CÓDIGO	CUENCA	VT	VP	IRH	Calificación
120100	Río León	9415.13	7167.58	0.76	Alto
120101	Río Grande	818.92	594.15	0.73	Moderado
120102	Río Apartadó	240.52	167.72	0.70	Moderado
120103	Río Vijagual	495.94	352.63	0.71	Moderado
120104	Río Carepa	509.31	371.49	0.73	Moderado
120105	Río Chigorodó	2075.32	1469.76	0.71	Moderado
120107	Río Guapá	308.80	218.70	0.71	Moderado
120108	Río Jurado	439.44	306.24	0.70	Moderado
120109	Río La Fortuna	26.67	18.87	0.71	Moderado
120110	Río Porroso	838.32	593.18	0.71	Moderado
120111	Río Villarteaga	266.48	182.08	0.68	Moderado
120106	Caño Malagón	784.15	535.79	0.68	Moderado
<b>Cuencas abastecedoras</b>					
120101-01	Río Grande	147.57	103.60	0.70	Moderado
120101-02	Quebrada El Salto	30.15	21.16	0.70	Moderado
120102-01	Bocatoma Salsipuedes	263.47	179.67	0.68	Moderado
120105-01	Río Chigorodó	978.86	698.05	0.71	Moderado
120105-02	Quebrada La Cristalina	14.18	10.04	0.71	Moderado
120105-03	Quebrada Los Cangrejos	18.34	12.99	0.71	Moderado
120108-01	Brazo Sucio	88.88	59.68	0.67	Moderado

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

De acuerdo con la Tabla, se puede decir que la retención y regulación hídrica de las cuencas de tributarios del Río León, varían entre alta y moderada, siendo alta la del Río León y moderada la los ríos Chigorodó, Guapá, Juradó, La Fortuna, Porroso y Villarteaga, Grande, Apartadó, Río Vijagual y Río Carepa.

Respecto a las microcuencas y cuencas abastecedoras de acueductos municipales o veredales, se califican como moderadas todas las microcuencas. En la Gráfica 52 se muestran los resultados

Gráfica 52. IRH para la cuenca del río León



### 1.7.8.2 Caudal ambiental

El caudal ambiental se define como el volumen de agua necesario, desde aspectos de calidad, cantidad, duración y estacionalidad, para el sostenimiento de ecosistemas acuáticos y los sistemas productivos que dependen de estos (IDEAM & MinAmbiente, 2015). Para el cálculo de este caudal se proponen dos metodologías, la primera proveniente de la resolución Resolución 865 del año 2004 y la segunda propuesta por el Estudio Nacional del Agua (ENA, 2010). A continuación se exponen las dos metodologías:

Metodología 1: como primera aproximación al caudal ambiental puede adoptarse el valor máximo de caudal ecológico obtenido mediante la aplicación de los siguientes métodos:

- Mínimo histórico: a partir de curvas de duración de caudales medios diarios, propone como caudal mínimo ecológico el caudal promedio multianual que permanece el 97.5% del tiempo.
- Porcentaje de descuento: el IDEAM ha adoptado como caudal mínimo ecológico un valor aproximado del 25% del caudal medio mensual multianual más bajo de la corriente en estudio.
- Reducción por caudal ambiental: el caudal ecológico en esta aproximación corresponde al 25% del caudal medio multianual en condiciones de oferta media.

Metodología 2: El valor del caudal ambiental corresponde al Q85% de la curva de duración, este valor característico se aplica para un IRH superior a 0.7 (alta retención y regulación). Para valores de IRH inferiores a 0.7, se adopta el valor Q75% de la curva de duración de caudales medios diarios.

En este caso todos los IRH estimados tienen valores inferiores y superiores a 0.7 por tanto se tomará el Q75% o el Q85% según el caso.

Teniendo en cuenta que la guía técnica pide el cálculo del caudal ambiental para año normal y año seco se usa entonces el caudal medio de año normal y año seco y el régimen de caudales mensuales para año normal y año seco. En la se muestran los resultados del caudal ambiental y disponible para los años normal y seco

**Tabla 76. Caudales ambientales y disponibles**

CÓDIGO	FUENTE HIDRICA	CAUDAL AMBIENTAL NORMAL (m <sup>3</sup> /s)	CAUDAL AMBIENTAL SECO(m <sup>3</sup> /s)	CAUDAL DISPONIBLE NORMAL (m <sup>3</sup> /s)	CAUDAL DISPONIBLE SECO(m <sup>3</sup> /s)
120100	Río León	35.41	18.97	106.22	56.90
<b>Cuencas tributarias</b>					
120101	Río Grande	3.22	1.51	9.67	4.52
120102	Río Apartadó	0.72	0.40	3.16	1.21
120103	Río Vijagual	2.00	0.89	5.99	2.67
120104	Río Carepa	1.96	0.89	5.89	2.67
120105	Río Chigorodó	7.97	2.87	23.91	8.62
120107	Río Guapá	1.19	0.43	3.56	1.28
120108	Río Juradó	0.90	0.67	5.80	2.00
120109	Río La Fortuna	0.10	0.04	0.31	0.13
120110	Río Porroso	3.20	1.36	9.61	4.07
120111	Río Villarteaga	0.67	0.34	3.50	1.02
120106	Caño Malagón	1.96	1.00	10.29	3.00
<b>Cuencas Abastecedoras</b>					
120101-01	Río Grande	0.39	0.24	1.95	0.73
120101-02	Quebrada El Salto	0.08	0.05	0.40	0.15
120102-01	Bocatoma Salsipuedes	0.68	0.32	3.49	0.97
120105-01	Río Chigorodó	3.68	1.46	11.03	4.37
120105-02	Quebrada La Cristalina	0.05	0.02	0.16	0.06
120105-03	Quebrada Los Cangrejos	0.07	0.03	0.21	0.08
120108-01	Brazo Sucio	0.14	0.10	1.20	0.31

### 1.7.8.3 Índice de uso del agua (IUA)

Se define, de acuerdo con el IDEAM, como “Cantidad de agua utilizada por los diferentes sectores usuarios en un período determinado (anual, mensual) y unidad espacial de análisis (área, zona, subzona, etc.), en relación con la oferta hídrica superficial disponible para las mismas unidades de tiempo y espacio.

Es la relación porcentual de la demanda de agua, en relación a la oferta hídrica disponible. Se calcula con la siguiente metodología:

$$IUA = (D_H / O_H) * 100$$

Donde:

$D_H$  = Demanda hídrica sectorial

$O_H$  = Oferta hídrica superficial disponible\*

La oferta hídrica superficial disponible, corresponde al caudal medio anual o escorrentía media, menos la demanda ambiental.

$DH = \Sigma$  (Consumo doméstico, agrícola, industrial, servicios, energético, acuícola y no consumido)

En la Tabla 77, se presentan los rangos de fluctuación del indicador y la calificación correspondiente, que varía de muy alto a muy bajo y en la Tabla 78, el cálculo por microcuencas y subcuencas

Tabla 77. Índice de uso del agua

RANGO DE VALORES DEL INDICADOR	CALIFICACIÓN
>0.50	Muy alta
20 - 50	Alta
10-20	Moderada
1-10	Baja
<1	Muy baja

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Tabla 78. Estimación del IUA para año normal y seco

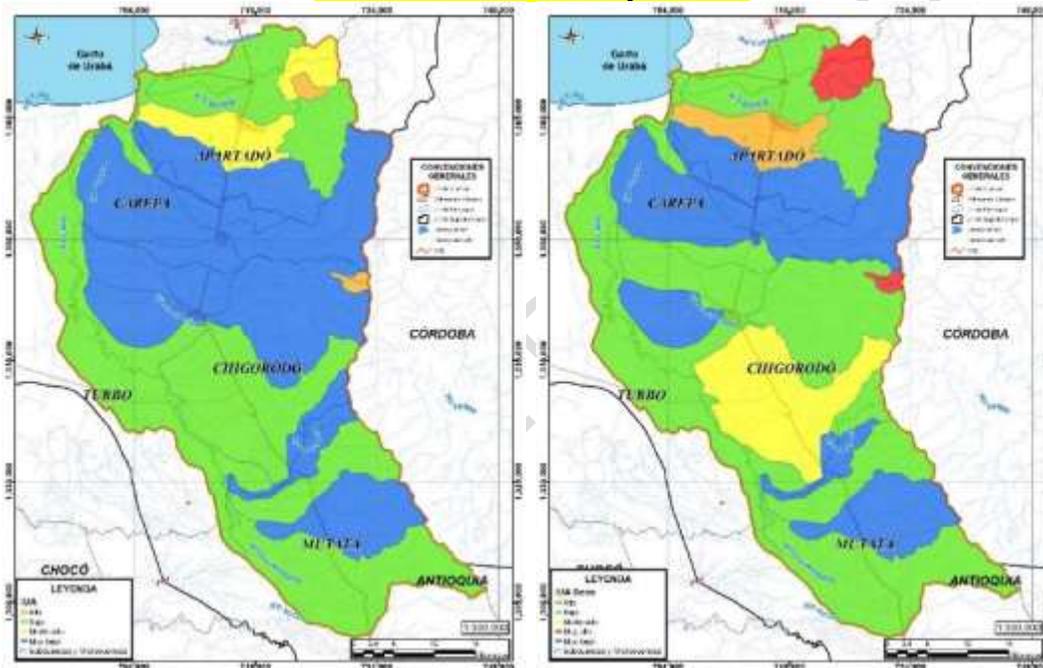
CÓDIGO	FUENTE HIDRICA	DEMANDA (m <sup>3</sup> /s)	CAUDAL DISPONIBLE NORMAL (m <sup>3</sup> /s)	CAUDAL DISPONIBLE SECO(m <sup>3</sup> /s)	IUA año normal	IUA año seco
120100	Río León	1,199	106.22	56.90	Bajo	Bajo
120101	Río Grande	0,144	9.67	4.52	Bajo	Bajo
120102	Río Apartadó	0,459	3.16	1.21	Moderado	Alto
120103	Río Vijagual	0,02	5.99	2.67	Muy bajo	Muy bajo
120104	Río Carepa	0,02	5.89	2.67	Muy bajo	Muy bajo
120105	Río Chigorodó	0,226	23.91	8.62	Muy bajo	Bajo
120107	Río Guapá	0,25	3.56	1.28	Bajo	Moderado
120108	Río Juradó	0,01	5.80	2.00	Muy bajo	Muy bajo
120109	Río La Fortuna	0,01	0.31	0.13	Bajo	Bajo
120110	Río Porroso	0,01	9.61	4.07	Muy bajo	Muy bajo
120111	Río Villarteaga	0,05	3.50	1.02	Bajo	Bajo
120106	Caño Malagón	0,01	10.29	3.00	Muy bajo	Muy bajo
120101-01	Río Grande	0,378	1.95	0.73	Moderado	Muy alto
120101-02	Quebrada El Salto	0,09	0.40	0.15	Alto	Muy alto
120102-01	Bocatoma Salsipuedes	0,06	3.49	0.97	Bajo	Bajo
120105-01	Río Chigorodó	0,08	11.03	4.37	Muy bajo	Bajo
120105-02	Quebrada La Cristalina	0,04	0.16	0.06	Alto	Muy alto

CÓDIGO	FUENTE HIDRICA	DEMANDA (m <sup>3</sup> /s)	CAUDAL DISPONIBLE NORMAL (m <sup>3</sup> /s)	CAUDAL DISPONIBLE SECO(m <sup>3</sup> /s)	IUA año normal	IUA año seco
120105-03	Quebrada Los Cangrejos	0,07	0.21	0.08	Alto	Muy alto
120108-01	Brazo Sucio	0,01	1.20	0.31	Muy bajo	Bajo

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Se puede observar que, para la mayoría de las cuencas, el índice varía entre bajo y muy bajo, pero para algunas de las cuencas abastecedoras se encuentra entre alto y muy alto, especialmente en aquellas en las que la cuenca es pequeña y por tanto no logra generar una oferta hídrica considerable como para cambiar la categoría del uso del agua. En la **Gráfica 53** se muestra el mapa de este indicador para cada subcuenca y microcuenca

**Gráfica 53. IUA año normal y año seco**



Tal y como se mencionó anteriormente las cuencas abastecedoras son las que mayor IUA presentan y en época de sequía la mayoría llega a valores muy altos lo que muestra que hay una gran presión sobre la cuenca y que pueden darse desabastecimientos en las mismas.

#### 1.7.8.4 Índice de vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico (IVH)

De acuerdo con el IDEAM, es el grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta para el abastecimiento de agua, que ante amenazas, como períodos largos de estiaje, podría generar riesgos de abastecimiento.

Para su determinación, se debe establecer la matriz de relación de rangos del Índice de Regulación Hídrica y del Índice de Uso del Agua.

En la Tabla 79, se presentan las matrices y el rango correspondiente al IVH y en la Tabla 79 las categorías.

**Tabla 79. Índice de vulnerabilidad hídrica**

IUA	IRH	IVH
Muy bajo	Alto	Muy bajo
Muy bajo	Moderado	Bajo
Muy bajo	Bajo	Medio
Muy bajo	Muy bajo	Medio
Bajo	Alto	Bajo
Bajo	Moderado	Bajo
Bajo	Bajo	Medio
Bajo	Muy bajo	Medio
Medio	Alto	Medio
Medio	Moderado	Medio
Medio	Bajo	Alto
Medio	Muy bajo	Alto
Alto	Alto	Medio
Alto	Moderado	Alto
Alto	Bajo	Alto
Alto	Muy bajo	Muy alto
Muy alto	Alto	Medio
Muy alto	Moderado	Alto
Muy alto	Bajo	Alto
Muy alto	Muy bajo	Muy alto

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

**Tabla 80. Índice de vulnerabilidad hídrica por cuenca y cuencas abastecedoras**

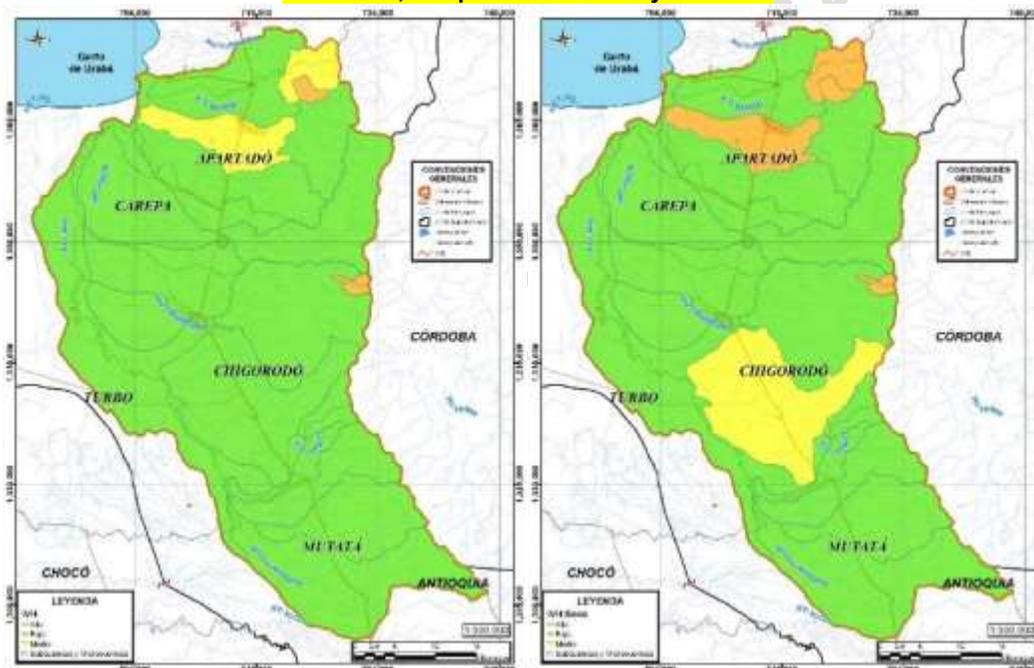
CÓDIGO	FUENTE HIDRICA	IRH	IUA Normal	IUA Seco	IVH Normal	IVH seco
120100	Río León	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
120101	Río Grande	Moderado	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
120102	Río Apartadó	Moderado	Moderado	Alto	Medio	Alto
120103	Río Vijagual	Moderado	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Bajo
120104	Río Carepa	Moderado	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Bajo
120105	Río Chigorodó	Moderado	Muy bajo	Bajo	Bajo	Bajo
120107	Río Guapá	Moderado	Bajo	Moderado	Bajo	Medio
120108	Río Juradó	Moderado	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Bajo
120109	Río La Fortuna	Moderado	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
120110	Río Porroso	Moderado	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Bajo
120111	Río Villarteaga	Moderado	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
120106	Caño Malagón	Moderado	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Bajo
120101-01	Río Apartadó (Salsipuedes)	Moderado	Moderado	Muy alto	Medio	Alto
120101-02	Río Chigorodó (Captación)	Moderado	Alto	Muy alto	Alto	Alto
120102-01	Quebrada La Cristalina	Moderado	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
120105-03	Quebrada La Pedregosa	Moderado	Muy bajo	Bajo	Bajo	Bajo

CÓDIGO	FUENTE HIDRICA	IRH	IUA Normal	IUA Seco	IVH Normal	IVH seco
120105-02	Río Grande Captación	Moderado	Alto	Muy alto	Alto	Alto
120105-01	Quebrada El Salto	Moderado	Alto	Muy alto	Alto	Alto
120108-01	Quebrada Brazo Sucio	Moderado	Muy bajo	Bajo	Bajo	Bajo

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

En la tabla se puede observar que todas las cuencas presentan un índice de Vulnerabilidad hídrica medio, incluidas algunas de las cuencas abastecedoras. Algunas de estas últimas presentan un Índice entre bajo y muy bajo, nuevamente los valores de las microcuencas más pequeñas son los que presentan mayores valores del indicador. En la Gráfica 54 se muestran los valores de IVH por subcuencas y microcuencas

Gráfica 54, IVH para año normal y año seco



A pesar de que el IUA muestre una alta presión sobre la cuenca, la regulación de caudales compensa esto garantizando el abastecimiento en las subcuencas y disminuyendo la vulnerabilidad por desabastecimiento a niveles bajos incluso en tiempos secos; la mayoría de zonas con vulnerabilidad media o alta corresponden a microcuencas abastecedoras en las cuales el IUA muestra valores altos generando IVH medios y altos. En ningún caso se presenta vulnerabilidad al desabastecimiento en categoría Muy Alto

## 1.7.9 Sedimentos

### 1.7.9.1 Río Chigorodó - La Cerrazón

A partir de la información registrada en la estación de La Cerrazón, sobre el Río Chigorodó, se establecieron los valores totales de transporte de sedimentos en suspensión nivel mensual y anual, para el período de registro de 1990 - 2014.

El régimen del transporte de sedimentos, es de tipo bimodal como es lógico, igual al que presentan los caudales medios. Los valores más altos se observan en los meses de Abril, Mayo y Junio en el primer semestre del año, siendo mayo el más alto, con un registro de 37.67 Kton. En el segundo se observan en los meses de Octubre, Noviembre y Diciembre, siendo Noviembre el más alto, con un registro de 33.27 Kton.

Los valores de transporte más bajos, se presentan en los meses de Enero, Febrero y Marzo en el primer semestre del año, siendo Febrero el mes con el valor más bajo, con un registro de 10.48 Kton. En el segundo, se observan en los meses de Julio, Agosto y Septiembre, observándose el más bajo en el mes de Julio, con un valor de 18.56 Kton.

El valor promedio anual es de 272.69 Kton. El valor máximo registrado es de 314.99 Kton, que se presentó en el año de 1990. El valor mínimo registrado, se presentó en el año 1991, con un valor de 143.45 Kton.

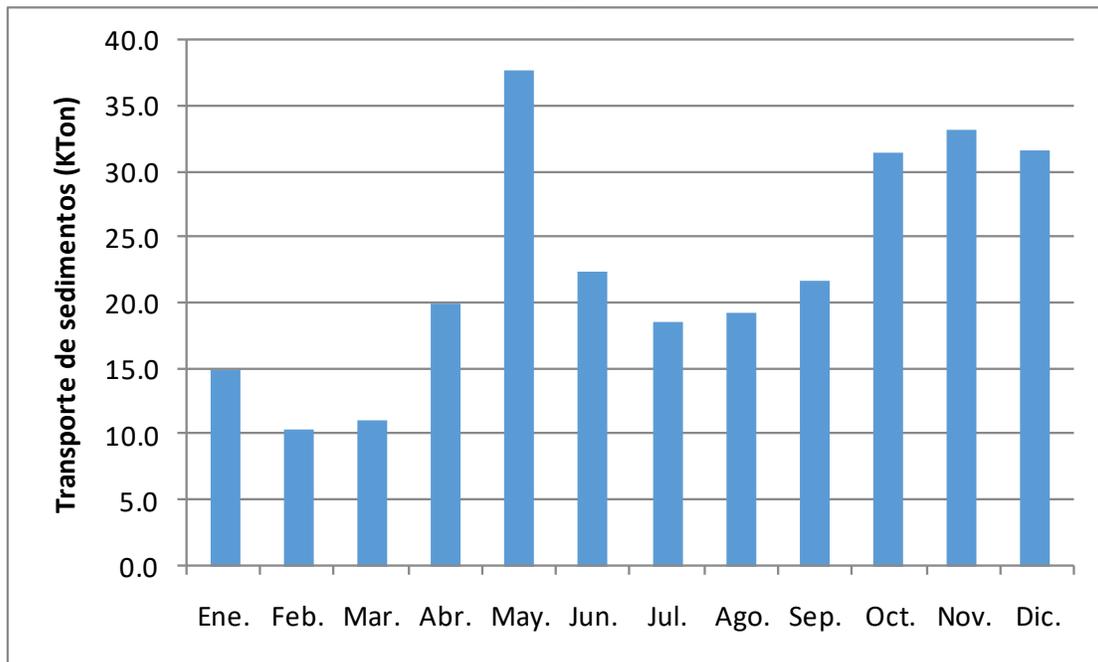
En la Gráfica 55, se presenta la distribución temporal del transporte y en la Tabla 81 los valores registrados y procesados por el IDEAM, a nivel mensual y anual. En la Gráfica 56, se presenta la distribución a nivel anual para la serie de registros.

**Tabla 81. Valores totales de transporte de sedimentos en suspensión (Kton) Río Chigorodó – La Cerrazón**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1990	7.94	3.64	7.13	16.77	54.90	17.13	18.14	30.32	19.92	62.50	57.39	18.72	314.49
1991	5.52	3.11	5.21	5.88	23.81	29.43	7.97	6.36	10.20	12.31	19.44	14.23	143.45
1992	15.04	10.48	11.14	20.07	37.67	22.40	18.56	24.68	26.10	31.55	33.27	31.59	282.53
1993	31.03	10.48	11.14	20.07	37.67	22.40	18.56	19.22	21.71	31.55	60.57	38.10	322.50
1994	8.71	10.48	11.14	14.73	33.39	20.67	13.30	16.24	33.30	31.55	40.26	57.26	291.02
1995	5.95	4.56	8.71	31.83	25.67	25.05	25.98	32.61	17.64	51.43	15.00	50.19	294.62
1996	19.50	17.84	11.35	20.07	60.42	22.40	18.56	19.81	27.36	20.68	20.37	31.59	289.94
1997													
1998													
1999													
2000	15.04	10.48	11.14	20.07	37.67	13.83	15.66	19.22	21.71	31.55	33.27	31.59	261.21
2001													
2002													
2003	15.04	10.48	11.14	20.07	37.67	22.40	18.56	19.22	21.71	31.55	33.27	51.74	292.84
2004	13.76	7.67	7.63	11.70	21.30	16.77	15.50	16.00	10.05	31.55	33.27	31.59	216.78
2005	15.04	10.48	11.14	20.07	37.67	22.40	18.56	19.22	21.71	31.55	33.27	11.19	252.29
2006	14.66	7.70	5.15	20.07	37.67	22.40	18.56	19.22	21.71	12.34	11.67	31.59	222.74
2007	15.04	10.48	5.05	10.83	37.67	22.40	18.79	17.58	21.71	16.99	33.27	8.93	218.72
2008	6.70	21.45	9.67	26.49	53.75	31.41	18.56	19.22	21.71	31.55	33.27	10.35	284.14
2009	18.69	11.28	17.92	27.45	46.13	16.53	23.47	13.45	19.65	31.55	33.27	31.59	290.98
2010	20.55	14.53	28.40	34.17	33.36	36.09	28.71	30.10	36.21	44.61	41.46	55.15	403.33
2011	20.74	11.26	11.14	20.07	37.67	17.10	18.14	12.96	21.71	31.55	33.27	31.59	267.18
2012	15.04	10.48	11.14	20.07	15.22	22.40	18.56	11.01	7.41	31.55	33.27	31.59	227.72
2013	15.04	10.48	11.14	21.66	37.67	22.40	18.56	18.76	31.02	31.55	33.27	31.59	283.12
2014	21.70	12.21	16.31	19.26	46.38	22.40	18.56	19.22	21.71	31.55	33.27	31.59	294.15
Media	15.04	10.48	11.14	20.07	37.67	22.40	18.56	19.22	21.71	31.55	33.27	31.59	272.69

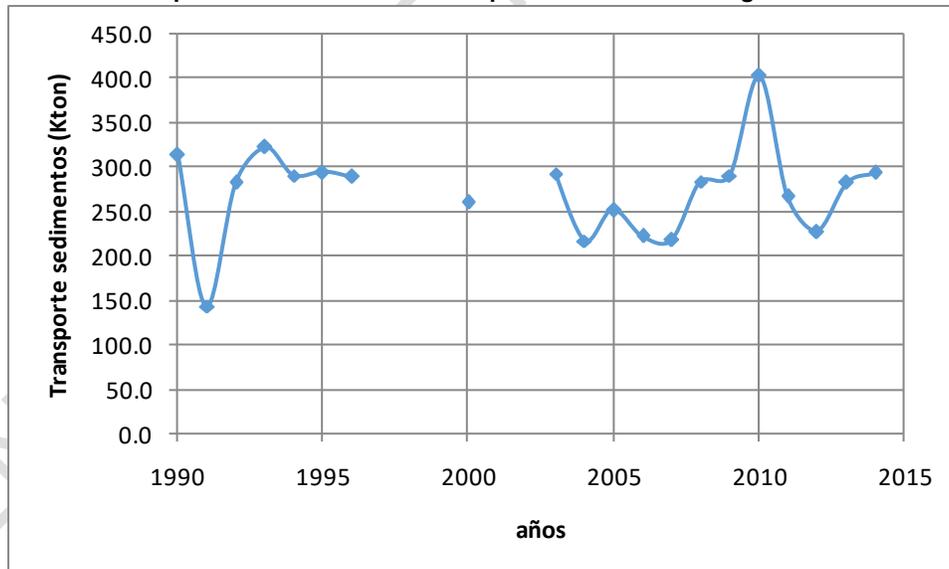
Fuente: IDEAM

**Gráfica 55. Distribución temporal del transporte de sedimentos en suspensión Río Chigorodó – La Cerrazón**



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

**Gráfica 56. Transporte de sedimentos en suspensión anual Río Chigorodó – La Cerrazón**



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

En la Gráfica se puede observar que en el año 2010 se presentó el valor máximo, superando las 400 KTon y en el año 1991 el valor mínimo, con un valor por debajo de las 150 KTon.

### 1.7.9.2 Río Chigorodó - Chigorodó

A partir de la información registrada en la estación de Chigorodó, sobre el Río Chigorodó, se establecieron los valores totales de transporte de sedimentos en suspensión a nivel mensual y anual, para el período de registro de 1978 - 2014.

El régimen del transporte de sedimentos, es de tipo bimodal como es lógico, igual al que presentan los caudales medios. Los valores más altos se observan en los meses de Abril, Mayo y Junio en el primer semestre del año, siendo Abril el más alto, con un registro de 30.69 KTon. En el segundo se observan en los meses de Octubre, Noviembre y Diciembre, siendo Octubre el más alto, con un registro de 19.70 KTon.

Los valores de transporte más bajos, se presentan en los meses de Enero, Febrero y Marzo en el primer semestre del año, siendo Enero el mes con el valor más bajo, con un registro de 5.30 KTon. En el segundo, se observan en los meses de Julio, Agosto y Septiembre, observándose el más bajo en el mes de Agosto, con un valor de 12.54 KTon.

El valor promedio anual es de 194.38 KTon. El valor máximo registrado es de 815.52 KTon, que se presentó en el 2013. El valor mínimo registrado, se presentó en el año 2010, con un valor de 19.76 KTon.

En la Tabla 82, se presentan los valores registrados y procesados por el IDEAM, a nivel mensual y anual. En la Gráfica 57, se presenta la distribución temporal del transporte de sedimentos en suspensión y en la Gráfica 58 se presenta la distribución a nivel anual para la serie de registros.

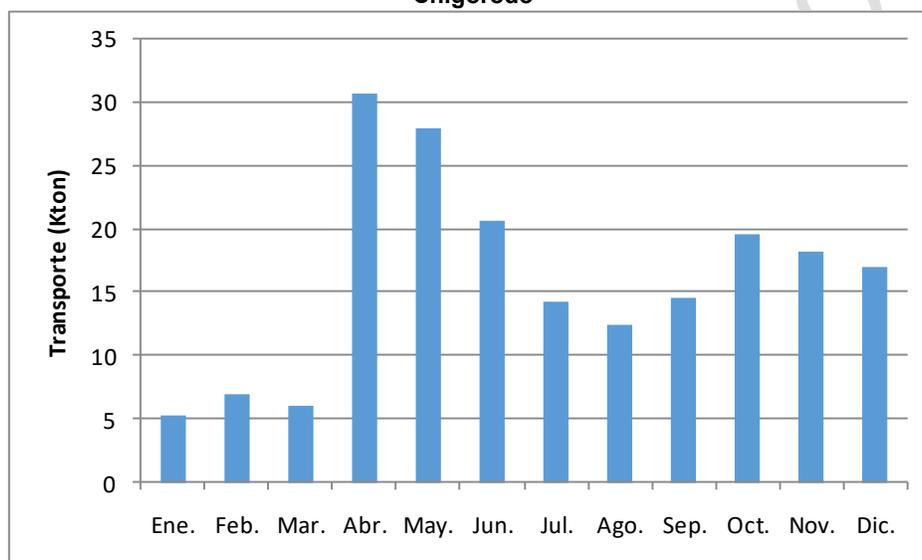
**Tabla 82. Valores totales de transporte de sedimentos en suspensión (KTON)**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1978	0.99	0.54	9.74	168.30	142.00	89.80	6.63	2.27	6.66	7.13	7.09	2.72	443.87
1979	0.10	0.02	0.01	5.32	22.60	31.91	21.66	46.53	132.60	27.84	2.08	17.03	307.70
1980	5.30	6.98	6.11	0.01	1.37	0.17	34.01	0.77	0.29	11.41	1.75	1.57	69.73
1981	0.67	0.72	35.37	51.40	34.56	28.35	0.75	0.66	15.12	4.92	3.82	2.90	179.24
1982	13.37	45.23	14.27	10.80	75.83	16.11	18.04	7.02	9.17	11.82	48.93	1.90	272.49
1983	0.17	0.16	0.45	2.91	14.18	11.66	27.68	18.96	32.40	148.40	72.45	87.17	416.59
1984	4.08	66.49	3.72	3.03	26.80	13.88	25.00	9.20	12.32	20.85	33.29	1.62	220.28
1985	4.99	2.05	1.10	3.27	8.68	12.21	1.24	10.70	14.04	7.75	7.98	11.24	85.25
1986	3.94	2.88	7.26	40.81	9.94	26.83	14.07	7.00	8.84	26.99	91.07	16.52	256.15
1987	2.48	1.89	1.20	14.99	26.53	18.27	27.78	18.50	6.19	31.23	10.03	17.03	176.12
1988	5.30	6.98	6.11	15.66	20.67	4.14	14.98	53.61	28.90	18.52	4.27	5.45	184.59
1989													
1990													
1991	5.30	6.98	6.11	30.69	137.40	180.70	14.34	12.54	14.60	14.35	22.79	5.34	451.15
1992	0.77	6.98	6.11	1.59	5.46	2.63	1.94	4.23	6.29	4.11	6.10	6.25	52.47
1993	4.56	4.10	2.10	7.23	29.83	18.88	10.71	3.27	7.84	20.89	33.39	17.36	160.15
1994	1.32	0.19	13.24	11.90	15.96	15.66	4.77	9.38	35.39	40.47	32.65	18.88	199.81
1995	6.30	2.60	8.70	127.80	116.80	103.60	37.50	21.00	22.50	25.20	28.70	160.60	661.30
1996	5.30	6.98	4.33	8.24	11.48	17.18	46.32	3.92	10.10	5.06	6.50	4.52	129.92
1997	4.10	6.98	4.07	4.14	5.49	4.00	4.30	6.14	6.12	6.41	6.06	4.80	62.60
1998	1.90	2.10	1.70	1.79	7.45	17.60	14.98	13.88	4.95	3.33	9.11	10.15	88.94
1999	35.22	3.09	3.25	29.50	8.29	9.02	8.28	16.41	12.94	16.51	12.23	7.18	161.92
2000	8.77	1.01	1.22	9.15	4.97	6.16	4.53	9.55	24.29	11.91	8.31	55.05	144.91
2001	2.36	1.46	1.16	0.82	2.74	1.66	2.58	6.34	2.35	4.74	4.88	4.22	35.31
2002	10.94	0.68	0.88	3.74	4.90	3.63	3.05	3.92	2.34	3.77	2.32	0.81	40.98
2003	1.32	0.23	0.16	30.69	4.00	2.87	3.59	3.45	5.60	8.36	3.92	5.68	69.86
2004	0.55	0.33	1.75	6.16	3.83	4.27	9.25	10.27	6.34	7.44	9.66	2.46	62.31

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2005	16.61	4.12	0.19	25.70	3.33	2.82	1.96	2.36	8.66	14.36	14.87	14.43	109.40
2006	3.11	27.80	27.94	30.83	104.20	0.97	37.67	9.06	6.39	5.81	5.57	0.85	260.19
2007	4.19	0.29	1.62	2.90	13.50	12.64	5.93	21.92	16.40	3.52	5.89	3.68	92.49
2008	0.56	9.55	2.74	30.43	34.01	27.43	14.24	6.15	7.24	55.60	22.80	2.18	212.92
2009	7.33	2.34	2.57	6.58	8.30	5.53	10.91	2.81	5.26	10.46	21.27	2.13	85.47
2010	6.37	0.19	0.66	1.27	1.25	3.00	1.24	1.10	1.12	0.92	1.59	1.06	19.76
2011	1.81	13.72	24.51	20.68	4.74	3.17	2.07	0.87	17.10	2.02	1.85	2.77	95.31
2012	0.81	1.43	1.32	6.11	2.65	0.87	1.38	1.70	0.96	19.70	18.31	17.03	72.26
2013	5.30	6.98	6.11	355.80	28.05	17.85	61.46	85.99	14.60	85.93	75.96	71.48	815.52
2014	9.27	0.34	6.11	3.97	40.08	9.91	7.00	7.55	5.22	1.59	3.35	12.09	106.49
Media	5.30	6.98	6.11	30.69	28.05	20.72	14.34	12.54	14.60	19.70	18.31	17.03	194.38

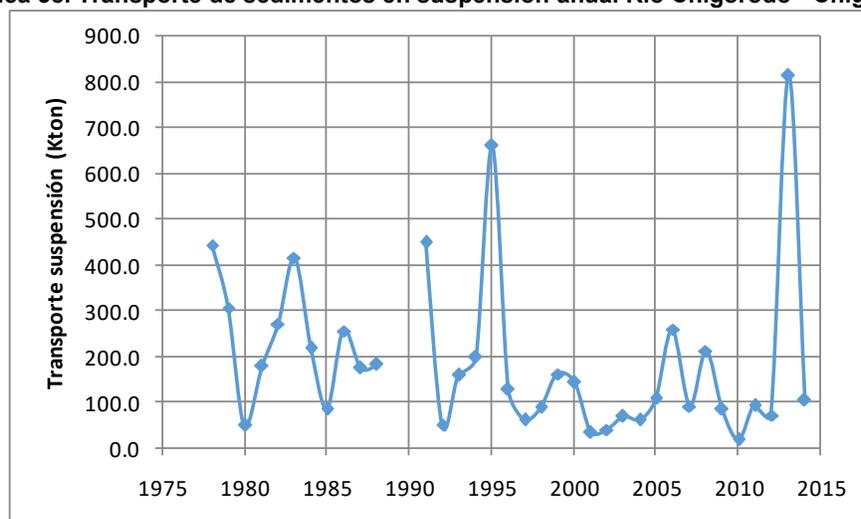
Fuente: IDEAM

**Gráfica 57. Distribución temporal del transporte de sedimentos en suspensión Río Chigorodó - Chigorodó**



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

**Gráfica 58. Transporte de sedimentos en suspensión anual Río Chigorodó - Chigorodó**



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

En la Gráfica se observa que en los años 1995 y 2014, se presentaron los valores más altos, que superaron el primero las 600 KTon y el segundo la 800 KTon.

### 1.7.9.3 Río Apartadó - Apartadó

A partir de la información registrada en la estación de Apartadó, sobre el Río Apartadó, se establecieron los valores totales de transporte de sedimentos en suspensión a nivel mensual y anual, para el período de registro de 1984 - 2012.

El régimen del transporte de sedimentos, es de tipo bimodal como es lógico, igual al que presentan los caudales medios. Los valores más altos se observan en los meses de Abril, Mayo y Junio en el primer semestre del año, siendo Mayo el más alto, con un registro de 6.06 KTon/día. En el segundo se observan en los meses de Octubre, Noviembre y Diciembre, siendo noviembre el más alto, con un registro de 6.61 KTon/día.

Los valores de transporte más bajos, se presentan en los meses de Enero, Febrero y Marzo en el primer semestre del año, siendo Febrero y Marzo los más bajos, con un registro de 1.07 KTon/día. En el segundo, se observan en los meses de Agosto y Septiembre, observándose el más bajo en el mes de Septiembre, con un valor de 2.34 KTon/día.

El valor promedio anual es de 44.5 KTon/día. El valor máximo registrado es de 131.34 KTon/día, que se presentó en el 1993. El valor mínimo registrado, se presentó en el año 2009, con un valor de 6.03 KTon/día.

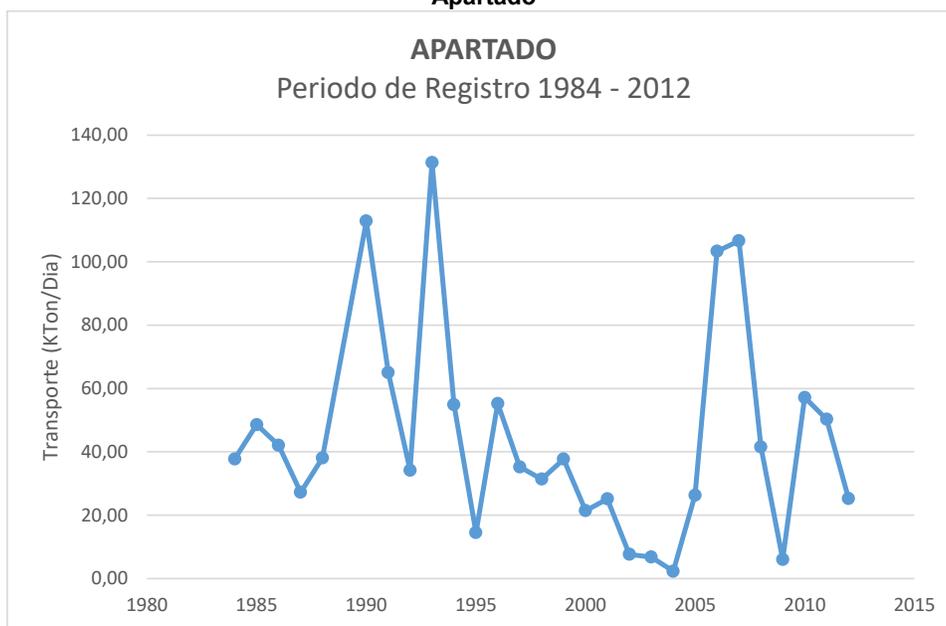
En la Tabla 83, se presentan los valores registrados y procesados por el IDEAM, a nivel mensual y anual. En la Gráfica 59, se presenta la distribución temporal del transporte de sedimentos en suspensión y en la Gráfica 60 se presenta la distribución a nivel anual para la serie de registros.

**Tabla 83. Valores totales de transporte de sedimentos en suspensión (KTon/día) Río Apartadó – Apartadó**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1984	3,85	4,85	1,39	0,22	0,32	XXX	6,56	3,49	3,58	4,00	8,91	0,60	37,75
1985	1,09	0,61	0,21	0,70	1,92	8,84	5,57	2,36	7,01	6,12	7,93	6,22	48,59
1986	0,48	1,05	0,48	5,04	2,69	1,48	5,10	0,61	1,89	16,37	6,41	0,45	42,03
1987	0,92	0,87	0,26	4,26	3,32	4,09	0,70	2,80	5,53	1,07	1,46	1,95	27,24
1988	0,15	0,18	0,08	0,54	4,56	5,36	3,74	14,75	3,85	3,69	1,17	XXX	38,06
1990	1,34	0,03	0,34	0,04	33,21	20,95	8,23	28,69	1,78	5,31	11,55	1,39	112,87
1991	0,40	0,13	0,01	0,01	0,03	10,91	4,79	2,96	4,62	7,54	31,60	2,05	65,03
1992	0,09	0,06	0,12	0,23	1,49	0,18	0,08	0,10	6,08	6,49	18,35	0,93	34,19
1993	6,79	0,61	1,82	8,85	30,85	6,49	4,83	0,47	3,36	44,91	12,43	9,93	131,34
1994	3,71	1,11	1,59	3,44	14,91	2,27	2,84	3,83	1,72	5,22	11,40	2,90	54,94
1995	0,16	0,10	0,10	0,35	1,38	3,21	1,32	1,72	0,91	0,45	0,73	4,05	14,48
1996	20,99	3,90	1,00	0,86	2,03	3,10	7,49	0,92	2,18	6,74	3,21	2,83	55,25
1997	0,52	4,04	0,09	0,18	8,46	4,89	4,02	1,48	0,16	3,63	6,24	1,56	35,26
1998	0,07	0,25	0,07	0,59	0,82	3,93	1,22	3,30	1,12	4,32	6,50	9,19	31,37
1999	2,51	1,00	4,75	4,79	1,14	5,27	3,05	4,10	0,49	8,80	0,50	1,33	37,73
2000	0,22	0,20	0,40	5,53	0,43	0,23	0,67	2,54	1,00	9,01	0,44	0,74	21,41
2001	0,19	0,02	0,11	0,08	0,99	0,63	1,12	0,83	0,14	1,36	4,63	15,04	25,13
2002	1,17	0,02	0,01	0,51	0,54	0,87	0,39	0,21	0,57	0,40	0,25	2,68	7,63
2003	0,01	0,00	0,00	1,84	0,14	1,87	0,10	0,05	2,11	0,16	0,03	0,46	6,77
2004	0,05	XXX	0,01	XXX	0,20	0,34	XXX	0,40	0,77	0,20	0,37	XXX	
2005	XXX	XXX	XXX	1,66	3,20	8,19	2,52	1,45	3,19	6,11	XXX	XXX	
2006	XXX	XXX	6,22	3,85	16,57	21,45	27,54	7,74	1,63	5,92	7,69	4,71	103,32
2007	0,60	0,26	0,23	14,59	15,21	13,51	6,06	10,66	4,80	5,53	24,50	10,68	106,63
2008	3,13	5,61	0,72	4,37	13,52	4,90	2,99	2,67	1,09	1,11	1,14	0,31	41,54
2009	0,50	XXX	0,18	0,73	1,20	0,46	0,41	0,76	0,44	0,23	0,65	0,46	6,03
2010	0,08	0,03	4,31	0,64	0,54	3,80	1,29	2,49	3,03	1,58	1,90	37,49	57,17
2011	8,30	0,51	3,28	8,40	8,05	0,86	4,44	3,21	XXX	4,42	6,99	1,84	50,27
2012	1,41	0,13	XXX	12,27	4,74	0,80	0,57	0,89	0,22	2,70	1,53	XXX	25,25
MEDIA	2,26	1,07	1,07	3,13	6,16	5,14	3,99	3,77	2,34	5,83	6,61	4,99	44,50
MAX	20,99	5,61	6,22	14,59	33,21	21,45	27,54	28,69	7,01	44,91	31,60	37,49	44,91
MIN	0,01	0,00	0,00	0,01	0,03	0,18	0,08	0,05	0,14	0,16	0,03	0,31	0,00

Fuente: IDEAM

**Gráfica 59. Distribución temporal del transporte de sedimentos en suspensión Río Apartadó – Apartadó**



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

**Gráfica 60. Transporte de sedimentos en suspensión anual Río Apartadó - Apartadó**

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

En la Gráfica se observa que, en el año 1993, se presentó el valor más alto, que superó las 130 Kton/día.

#### 1.7.9.4 Río León - Barranquillita

A partir de la información registrada en la estación de Barranquillita, sobre el Río León, se establecieron los valores totales de transporte de sedimentos en suspensión a nivel mensual y anual, para el período de registro de 1978 - 2014.

El régimen del transporte de sedimentos, es de tipo bimodal como es lógico, igual al que presentan los caudales medios. Los valores más altos se observan en los meses de Mayo y Junio en el primer semestre del año, siendo junio el más alto, con un registro de 78.91 KTon/día. En el segundo se observan en los meses de Octubre y Noviembre, siendo Octubre el más alto, con un registro de 101.51 KTon/día.

Los valores de transporte más bajos, se presentan en los meses de Enero, Febrero y Marzo en el primer semestre del año, siendo Marzo el más bajo, con un registro de 5.73 KTon/día. En el segundo, se observan en el mes de Diciembre, con un valor de 62.53 KTon/día.

El valor promedio anual es de 670.26 KTon/día. El valor máximo registrado es de 1631.10 KTon/día, que se presentó en el 1994. El valor mínimo registrado, se presentó en el año 2012, con un valor de 139.99 KTon/día.

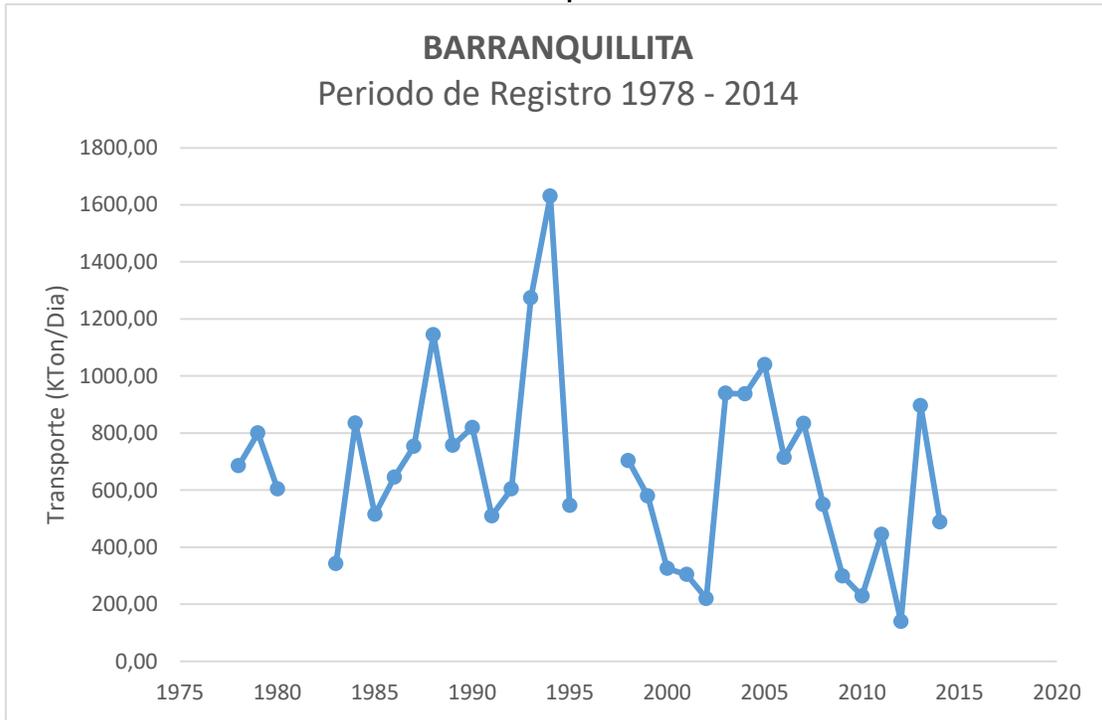
En la Tabla 84, se presentan los valores registrados y procesados por el IDEAM, a nivel mensual y anual. En la Gráfica 61, se presenta la distribución temporal del transporte de sedimentos en suspensión y en la Gráfica 62 se presenta la distribución a nivel anual para la serie de registros.

**Tabla 84. Valores totales de transporte de sedimentos en suspensión (KTon/día) Río León – Barranquillita**

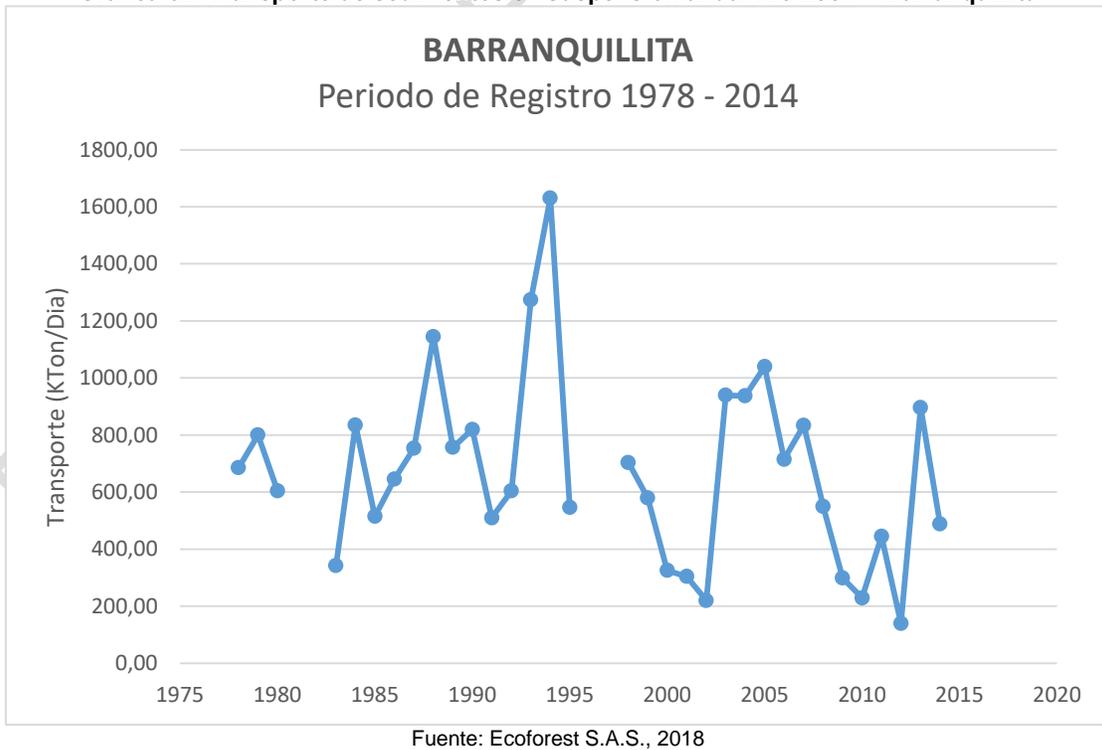
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1978	3,88	1,51	3,65	139,20	95,65	151,20	40,05	18,21	68,83	51,69	66,61	44,92	685,39
1979	3,09	1,88	0,79	55,90	49,82	113,90	178,40	126,80	63,10	113,50	54,15	38,69	800,02
1980	15,44	2,25	1,05	3,79	13,60	68,18	84,48	76,80	80,16	156,30	89,92	12,95	604,92
1981	XXX	XXX	16,02	48,84	110,70	81,85	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	
1982	48,56	15,43	0,53	6,94	86,27	90,52	53,26	XXX	XXX	XXX	XXX	8,55	
1983	8,41	0,14	1,45	2,05	11,54	20,18	21,23	24,39	23,63	59,33	49,56	120,70	342,61
1984	XXX	XXX	XXX	4,97	35,94	36,44	42,74	104,30	81,55	199,90	279,80	49,57	835,21
1985	XXX	XXX	XXX	XXX	33,86	42,08	42,77	95,22	58,83	111,20	93,44	37,48	514,88
1986	6,65	4,38	5,83	26,17	30,10	75,67	60,36	13,06	39,75	112,50	134,00	137,10	645,57
1987	5,22	5,35	4,23	20,13	81,53	55,75	274,80	67,80	105,20	XXX	31,96	102,30	754,27
1988	7,92	6,50	2,03	48,67	124,90	87,28	99,13	210,90	159,70	246,70	110,30	41,08	1145,11
1989	27,03	7,33	6,39	4,72	12,06	91,97	127,40	99,03	78,19	115,20	120,50	66,99	756,82
1990	30,00	5,01	5,99	11,42	107,70	125,90	63,21	76,08	65,06	148,80	136,80	43,76	819,73
1991	31,67	3,71	7,96	6,24	68,12	51,32	35,96	46,39	79,72	80,57	73,47	25,09	510,21
1992	4,36	3,83	1,68	6,88	67,88	52,38	65,68	80,32	81,39	84,47	67,89	87,61	604,37
1993	39,64	9,09	4,29	9,06	417,30	176,90	126,00	35,09	79,64	146,80	131,00	98,88	1273,68
1994	24,00	8,30	8,80	22,20	420,20	145,70	111,00	157,50	140,00	263,20	287,20	43,00	1631,10
1995	2,40	1,00	1,50	33,60	79,60	69,30	119,50	95,50	55,60	35,00	21,80	31,80	546,60
1996	18,86	28,74	XXX	XXX	116,40	49,13	35,49	56,81	XXX	XXX	XXX	XXX	
1997	XXX	XXX	7,52	2,65	61,65	176,40	159,00	XXX	XXX	161,90	137,80	28,22	
1998	3,40	2,40	2,00	4,20	20,40	120,30	65,00	188,50	113,20	65,80	47,60	70,90	703,70
1999	29,30	6,60	8,90	12,40	44,80	24,00	24,70	122,40	56,00	106,70	67,40	76,40	579,60
2000	24,75	4,85	1,98	14,54	75,39	41,71	24,80	18,78	28,52	17,34	46,94	25,83	325,43
2001	7,73	19,26	3,08	2,32	20,96	32,64	95,55	9,74	16,58	23,20	23,45	49,73	304,24
2002	25,26	1,17	1,32	12,06	18,71	36,24	29,30	26,75	12,77	25,01	24,18	7,75	220,52
2003	0,93	0,92	0,40	25,16	72,65	53,60	89,82	48,59	67,83	123,90	116,90	339,10	939,80
2004	3,71	1,52	0,90	42,43	79,54	135,70	74,60	59,11	438,10	33,30	42,77	25,53	937,22
2005	41,49	16,67	7,38	55,68	82,98	183,40	127,00	57,26	67,38	183,20	141,60	76,05	1040,09
2006	23,13	13,76	4,75	32,69	105,40	66,04	59,91	34,95	75,04	62,67	139,20	97,25	714,79
2007	9,68	9,78	8,90	103,90	147,30	90,04	73,77	66,93	56,84	126,40	79,96	60,60	834,10
2008	6,19	13,98	19,72	10,70	80,53	41,42	45,55	51,83	69,70	118,00	66,42	25,79	549,83
2009	9,20	1,98	1,38	8,89	19,54	27,66	42,50	19,61	17,87	70,82	67,66	12,01	299,12
2010	0,56	0,35	4,10	11,19	19,02	18,13	7,82	21,22	33,53	39,66	46,79	26,61	228,98
2011	25,68	6,55	16,79	22,79	7,19	35,42	23,55	16,78	73,57	83,16	33,28	100,70	445,46
2012	5,12	1,20	1,38	7,40	9,22	13,68	7,26	16,11	10,62	30,24	28,65	9,11	139,99
2013	6,12	18,07	29,86	28,27	15,35	130,60	36,91	111,60	192,60	118,70	117,00	91,73	896,81
2014	14,30	11,35	2,20	2,87	29,23	107,10	28,75	34,60	44,00	34,79	104,40	74,78	488,37
MEDIA	15,57	7,12	5,73	24,31	77,65	78,91	72,15	67,32	79,83	101,51	90,60	62,53	670,26
MAX	48,56	28,74	29,86	139,20	420,20	183,40	274,80	210,90	438,10	263,20	287,20	339,10	1631,10
MIN	0,56	0,14	0,40	2,05	7,19	13,68	7,26	9,74	10,62	17,34	21,80	7,75	139,99

Fuente IDEAM

**Gráfica 61. Distribución temporal del transporte de sedimentos en suspensión Río León – Barranquillita**



**Gráfica 62. Transporte de sedimentos en suspensión anual Río León – Barranquillita**



En la Gráfica se observa que en el año 1994, se presentó el valor más alto, que superó las 1.600 Kton/día.

### 1.7.9.5 Río Carepa - Carepa

A partir de la información registrada en la estación de Carepa, sobre el Río Carepa, se establecieron los valores totales de transporte de sedimentos en suspensión a nivel mensual y anual, para el período de registro de 1978 - 2011.

El régimen del transporte de sedimentos, es de tipo bimodal como es lógico, igual al que presentan los caudales medios. Los valores más altos se observan en el mes de Mayo, en el primer semestre del año, con un registro de 38.09 KTon/día. En el segundo se observan en el mes de Octubre, con un registro de 25.93 KTon/día.

Los valores de transporte más bajos, se presentan en los meses de Enero, Febrero y Marzo en el primer semestre del año, siendo febrero el más bajo, con un registro de 1.99 KTon/día. En el segundo, se observan en el mes de Agosto, con un valor de 11.95 KTon/día.

El valor promedio anual es de 165.07 KTon/día. El valor máximo registrado es de 946.82 KTon/día, que se presentó en el 1982. El valor mínimo registrado, se presentó en el año 1995, con un valor de 5.04 KTon/día.

En la Tabla 85, se presentan los valores registrados y procesados por el IDEAM, a nivel mensual y anual. En la Gráfica 63, se presenta la distribución temporal del transporte de sedimentos en suspensión y en la Gráfica 64 se presenta la distribución a nivel anual para la serie de registros.

**Tabla 85. Valores totales de transporte de sedimentos en suspensión (KTon/día) Río Carepa – Carepa**

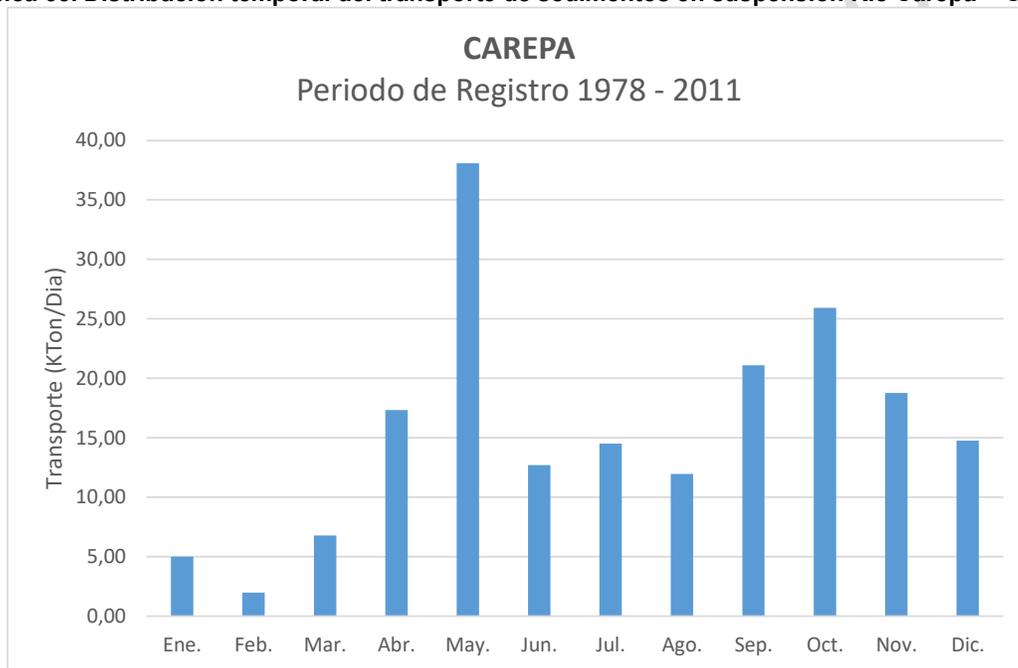
ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1978	XXX	XXX	6,61	53,50	120,70	33,73	3,47	11,27	14,85	95,70	17,62	1,80	
1979	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	9,28	XXX	10,94	
1980	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	14,00	1,23	1,97	7,14	1,83	3,03	
1981	4,37	2,85	21,30	20,56	26,76	38,91	5,93	16,44	19,00	45,81	9,76	5,55	217,22
1982	57,82	32,80	89,69	166,70	283,00	9,69	92,06	37,58	47,98	94,68	33,88	0,60	946,48
1983	0,06	0,05	0,13	XXX	7,86	13,55	2,83	3,46	1,38	36,24	13,34	75,00	153,90
1984	XXX	XXX	0,35	43,00	XXX	XXX	XXX	7,77	7,91	0,60	7,85	0,19	67,66
1985	0,00	0,00	0,06	0,00	0,13	3,39	0,02	0,08	3,74	XXX	XXX	0,04	
1986	0,03	0,07	XXX	XXX	1,52	XXX	XXX	37,58	318,60	1,06	14,81	2,74	
1988	XXX	XXX	XXX	XXX	31,49	5,21	31,75	39,99	2,17	59,82	7,03	5,29	
1990	0,91	0,06	0,33	12,08	37,15	19,31	2,17	34,27	42,34	52,56	47,64	2,50	251,32
1991	1,05	0,22	7,69	0,87	6,45	12,34	47,67	38,44	33,63	75,62	49,30	3,19	276,49
1992	0,23	0,04	0,03	1,17	7,51	3,19	1,42	4,53	4,29	12,37	5,98	21,25	62,01
1993	9,84	0,82	4,06	15,75	43,74	5,74	6,33	0,51	4,28	28,35	4,61	1,36	125,39
1994	0,08	1,24	2,65	0,08	1,01	1,00	33,46	1,06	2,35	29,55	11,19	0,17	83,84
1995	0,01	0,00	0,00	1,29	0,33	XXX	1,75	0,44	0,39	0,72	0,03	0,08	5,04
1996	0,08	2,78	0,97	1,58	3,55	6,48	4,82	0,51	1,89	33,05	84,80	3,77	144,28
1997	0,98	XXX	0,41	1,37	3,45	3,41	4,22	4,04	4,23	3,16	7,03	5,28	37,58
1998	0,84	0,77	0,69	0,93	3,14	2,21	1,43	1,75	1,18	0,56	0,60	0,63	14,71
1999	0,53	1,50	0,39	0,88	2,64	0,53	0,35	0,60	0,62	3,52	6,14	3,94	21,64
2000	0,39	0,31	1,59	59,05	19,13	1,35	0,57	0,19	0,84	0,29	0,32	0,19	84,23
2001	0,15	XXX	XXX	0,07	9,08	6,35	24,45	22,27	1,89	3,68	61,20	95,19	224,33
2002	5,32	0,38	0,09	0,62	35,33	12,89	21,86	9,75	5,00	13,49	8,97	11,18	124,88

2003	0,08	0,04	0,08	16,23	12,90	11,27	9,98	5,02	36,29	23,19	0,46	1,09	116,65
2004	0,87	0,51	0,69	3,28	2,88	12,39	6,11	3,86	1,82	0,86	4,10	2,27	39,63
2005	2,18	1,00	1,04	1,26	5,84	8,15	3,31	3,67	6,97	49,00	13,81	16,93	113,16
2006	12,27	0,15	2,45	12,15	32,56	9,45	9,75	4,71	2,35	11,10	16,83	2,03	115,79
2007	0,26	0,14	0,36	13,55	109,80	71,36	7,70	12,31	37,09	19,73	31,96	10,00	314,26
2008	XXX	XXX	XXX	1,27	148,70	14,30	11,78	3,17	6,00	46,93	XXX	5,68	
2009	6,67	1,14	3,07	7,17	17,77	13,39	44,65	12,13	2,14	8,02	43,27	0,72	160,13
2010	0,07	0,10	1,97	3,91	7,16	6,60	6,38	7,03	29,72	11,74	21,27	165,10	261,05
2011	25,08	0,76	29,72	29,59	122,90	17,02	20,43	44,71	10,69	XXX	XXX	XXX	

MEDIA	5,01	1,99	6,79	17,33	38,09	12,71	14,51	11,95	21,08	25,93	18,77	14,77	165,07
MAX	57,82	32,80	89,69	166,70	283,00	71,36	92,06	44,71	318,60	95,70	84,80	165,10	946,48
MIN	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,53	0,02	0,08	0,39	0,29	0,03	0,04	5,04

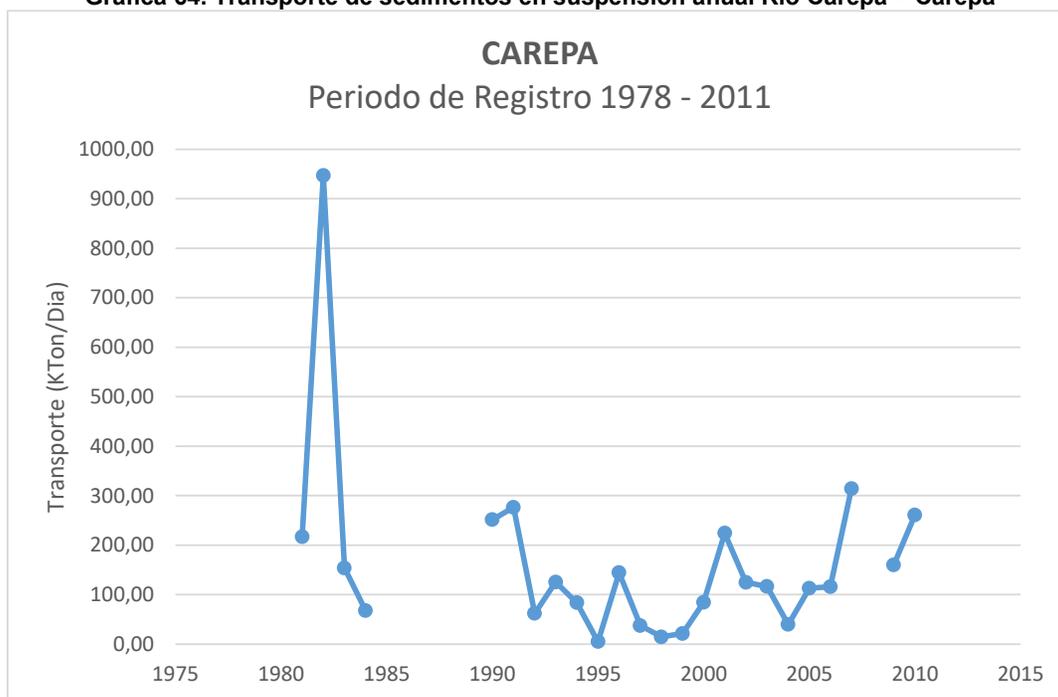
Fuente IDEAM

**Gráfica 63. Distribución temporal del transporte de sedimentos en suspensión Río Carepa – Carepa**



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

**Gráfica 64. Transporte de sedimentos en suspensión anual Río Carepa – Carepa**



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

En la Gráfica se observa que en el año 1982, se presentó el valor más alto, que superó las 940 Kton/día.

### 1.7.9.6 Río Zungo - Puente Carretera

A partir de la información registrada en la estación de Puente Carretera, sobre el Río Zungo, se establecieron los valores totales de transporte de sedimentos en suspensión a nivel mensual y anual, para el período de registro de 1978 - 2011.

El régimen del transporte de sedimentos, es de tipo bimodal como es lógico, igual al que presentan los caudales medios. Los valores más altos se observan en el mes de Mayo, en el primer semestre del año, con un registro de 1.97 KTon/día. En el segundo se observan en los meses de Octubre y Noviembre, con registros de 2.74 y 2.95 KTon/día respectivamente.

Los valores de transporte más bajos, se presentan en los meses de Enero, Febrero y Marzo en el primer semestre del año, siendo Marzo el más bajo, con un registro de 0.65 KTon/día. En el segundo, se observan en el mes de Agosto, con un valor de 1.35 KTon/día.

El valor promedio anual es de 17.43 KTon/día. El valor máximo registrado es de 77.30 KTon/día, que se presentó en el 1993. El valor mínimo registrado, se presentó en el año 2004, con un valor de 2.50 KTon/día.

En la Tabla 86, se presentan los valores registrados y procesados por el IDEAM, a nivel mensual y anual. En la Gráfica 65, se presenta la distribución temporal del transporte de

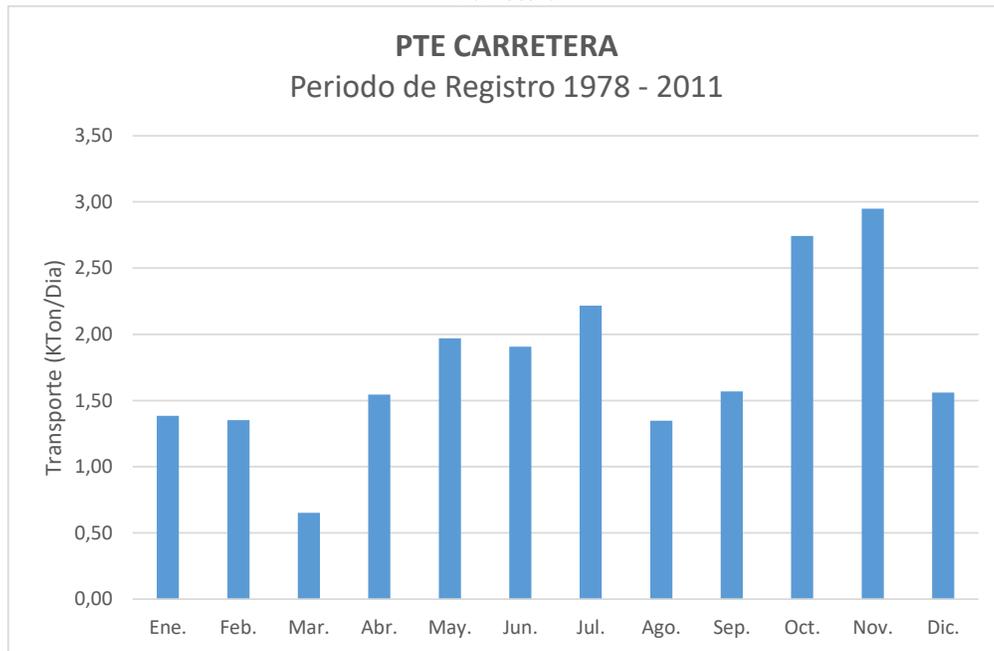
sedimentos en suspensión y en la Gráfica 66 se presenta la distribución a nivel anual para la serie de registros.

**Tabla 86. Valores totales de transporte de sedimentos en suspensión (KTon/día) Río Zungo – Puente Carretera**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1978	0,02	0,02	0,30	4,80	4,03	12,07	2,19	2,24	5,34	14,98	6,49	1,14	53,64
1979	0,05	XXX	XXX	XXX	3,82	4,69	5,49	6,19	1,83	5,61	1,20	3,00	31,88
1980	0,27	0,00	0,00	0,07	1,80	0,29	4,11	1,86	0,84	1,49	1,44	7,74	19,90
1981	0,36	0,23	2,76	1,21	1,32	1,37	0,36	0,52	1,90	1,93	3,45	1,57	16,96
1982	0,75	3,15	0,61	1,11	7,98	1,65	4,91	1,36	3,21	2,13	2,88	0,23	29,96
1983	0,03	0,21	0,09	0,37	1,69	1,25	0,84	2,94	0,19	0,69	8,88	8,74	25,91
1984	0,09	1,16	0,00	0,00	0,41	0,28	0,32	1,67	1,08	0,32	1,54	0,00	6,87
1985	0,04	0,03	0,02	0,09	0,33	0,70	0,71	0,75	2,91	1,10	10,17	1,17	18,01
1986	0,04	0,03	0,02	2,61	0,28	1,08	4,64	0,47	12,39	1,81	1,24	0,76	25,37
1987	0,10	0,03	0,05	0,21	2,24	0,44	0,11	0,16	0,41	0,48	0,40	0,57	5,20
1988	0,22	0,28	0,22	3,29	3,44	2,07	1,98	0,72	0,62	1,25	0,68	0,79	15,56
1989	1,22	0,23	XXX	XXX	0,28	1,88	1,45	XXX	1,24	0,48	1,44	0,24	
1990	0,32	0,06	0,22	0,03	2,62	3,78	3,66	XXX	0,13	3,96	2,12	0,40	17,31
1991	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	1,15	0,48	1,65	5,32	10,26	8,62	3,78	
1992	0,19	0,17	0,19	0,36	0,36	2,36	0,19	2,67	0,67	8,70	5,46	3,09	24,40
1993	6,34	0,17	8,47	10,58	13,55	4,44	14,76	1,23	1,79	10,04	3,71	2,21	77,30
1994	0,33	0,17	0,19	12,32	2,02	3,14	7,18	XXX	XXX	XXX	12,22	2,65	
1995	0,16	0,32	0,11	0,30	1,00	2,44	1,60	0,69	1,37	0,49	XXX	XXX	8,46
1996	28,58	31,57	4,30	2,65	2,90	2,29	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	
1997	XXX	XXX	0,09	0,45	0,98	3,12	6,66	1,97	0,32	5,50	0,11	0,05	19,25
1998	0,00	0,00	0,02	0,04	0,29	1,91	0,50	3,35	0,26	0,23	3,87	1,70	12,15
2000	0,24	0,21	0,18	0,59	0,72	0,50	0,44	0,68	0,93	1,71	0,41	1,03	7,63
2001	0,33	0,14	0,17	0,14	0,55	0,46	0,59	0,48	0,35	0,67	0,59	0,39	4,84
2002	0,38	0,10	0,06	0,32	0,79	0,50	0,72	0,48	0,59	0,62	0,51	1,41	6,48
2003	0,21	0,13	0,12	0,50	1,01	1,20	0,32	0,55	0,94	0,22	0,51	0,38	6,11
2004	0,12	0,09	0,09	0,16	0,24	0,66	0,33	XXX	0,21	0,22	0,20	0,17	2,50
2005	0,36	0,16	0,16	0,30	0,51	0,67	0,44	0,51	0,28	0,37	XXX	XXX	3,77
2006	0,23	0,07	0,05	0,11	XXX	0,30	XXX	0,23	0,17	XXX	0,12	0,11	
2007	XXX	0,06	0,04	XXX	XXX	XXX	0,20	0,32	0,17	XXX	XXX	0,13	
2008	0,09	0,20	0,02	0,14	0,32	0,41	0,57	XXX	0,17	0,44	XXX	0,21	2,57
2009	0,30	0,16	0,25	0,23	0,29	0,20	0,21	0,27	0,19	0,28	0,10	0,02	2,50
2010	0,09	0,04	0,10	0,27	1,34	1,81	0,50	1,09	1,26	0,82	1,27	XXX	8,59
2011	0,09	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	
MEDIA	1,38	1,35	0,65	1,54	1,97	1,91	2,22	1,35	1,57	2,74	2,95	1,56	17,43
MAX	28,58	31,57	8,47	12,32	13,55	12,07	14,76	6,19	12,39	14,98	12,22	8,74	77,30
MIN	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	0,20	0,11	0,16	0,13	0,22	0,10	0,00	2,50

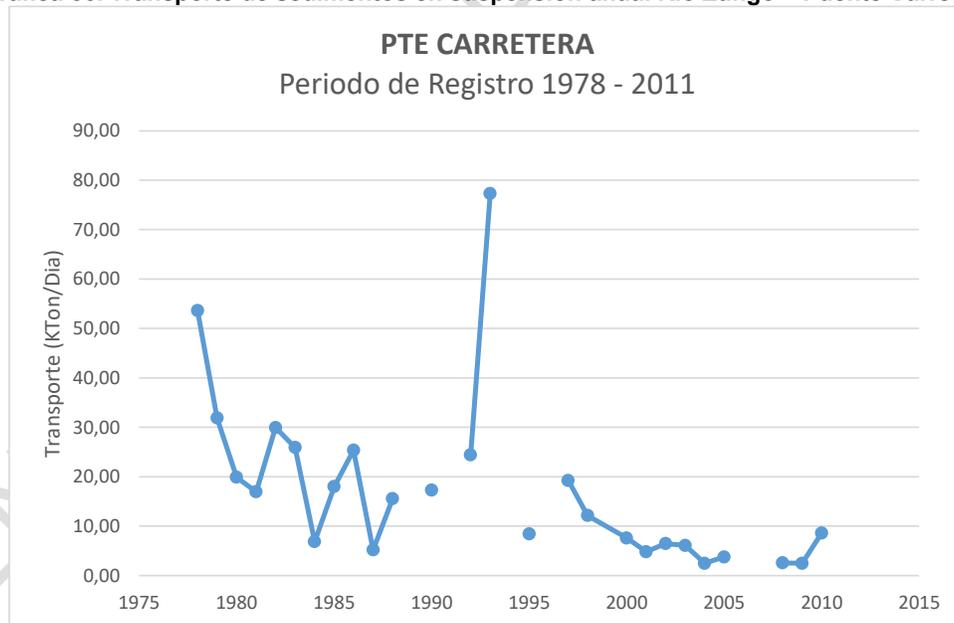
Fuente IDEAM

**Gráfica 65. Distribución temporal del transporte de sedimentos en suspensión Río Zungo – Puente Carretera**



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

**Gráfica 66. Transporte de sedimentos en suspensión anual Río Zungo – Puente Carretera**



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

En la Gráfica se observa que en el año 1993, se presentó el valor más alto, que superó las 75 Kton/día.

### 1.7.9.7 Río León - Villarteaga

A partir de la información registrada en la estación de Villarteaga, sobre el Río León, se establecieron los valores totales de transporte de sedimentos en suspensión a nivel mensual y anual, para el período de registro de 1978 - 2011.

El régimen del transporte de sedimentos, es de tipo bimodal como es lógico, igual al que presentan los caudales medios. Los valores más altos se observan en el mes de Junio, en el primer semestre del año, con un registro de 7.47 KTon/día. En el segundo se observan en el mes de Septiembre, con registro de 11.78 KTon/día.

Los valores de transporte más bajos, se presentan en los meses de Enero, Febrero y Marzo en el primer semestre del año, siendo Febrero el más bajo, con un registro de 0.88 KTon/día. En el segundo, se observan en el mes de Julio, con un valor de 6.19 KTon/día.

El valor promedio anual es de 74.47 KTon/día. El valor máximo registrado es de 215.16 KTon/día, que se presentó en el 2005. El valor mínimo registrado, se presentó en el año 2012, con un valor de 23.45 KTon/día.

En la Tabla 87, se presentan los valores registrados y procesados por el IDEAM, a nivel mensual y anual. En la Gráfica 67, se presenta la distribución temporal del transporte de sedimentos en suspensión y en la Gráfica 68 se presenta la distribución a nivel anual para la serie de registros.

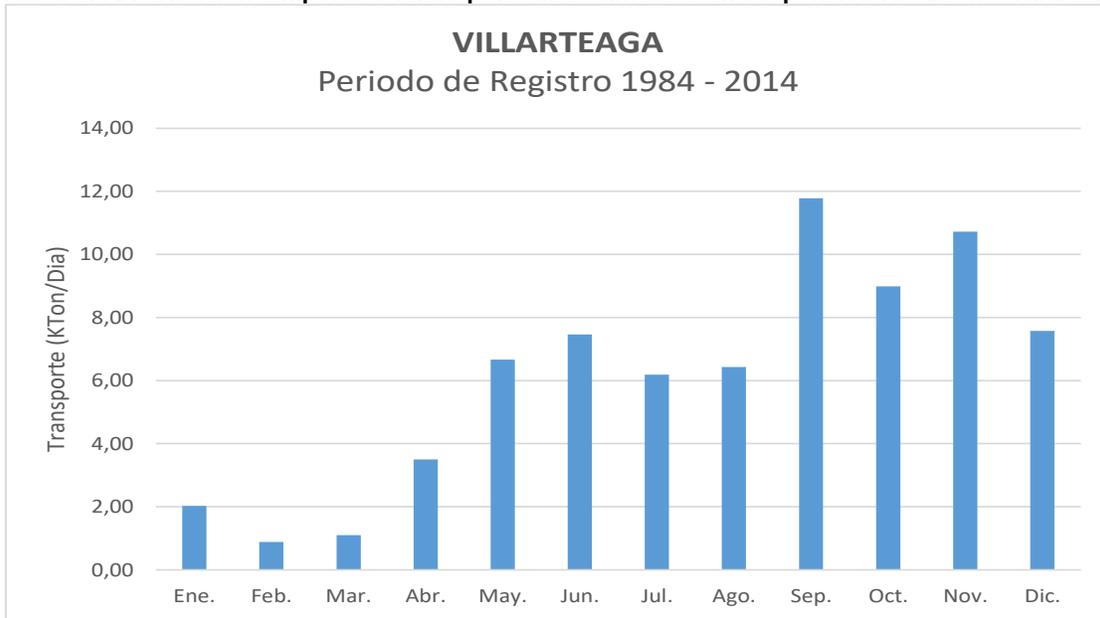
**Tabla 87. Valores totales de transporte de sedimentos en suspensión (KTon/día) Río León – Villarteaga**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1994	1,90	0,50	XXX	10,29	2,50	8,61	5,61	11,16	41,90	10,19	11,85	1,29	105,80
1995	0,44	0,28	0,30	2,02	4,98	2,92	3,71	4,69	47,73	5,86	5,49	6,07	84,49
1996	2,02	1,72	1,25	1,28	10,41	11,74	3,70	XXX	6,54	11,79	5,64	3,17	59,26
1997	2,86	2,73	0,83	0,57	1,14	8,36	3,15	1,64	2,15	5,73	XXX	1,16	30,31
1998	0,44	0,29	0,21	0,29	2,11	6,51	8,66	9,98	12,96	5,99	9,61	7,40	64,44
2000	0,82	0,45	0,32	0,71	3,60	3,58	2,84	4,15	6,91	1,67	6,33	2,23	33,60
2001	0,71	0,71	0,55	0,40	2,76	2,16	2,05	2,63	2,38	1,80	4,79	3,23	24,17
2002	1,31	0,31	XXX	4,41	3,80	6,94	16,37	5,45	3,54	10,70	11,79	3,59	68,21
2003	0,39	0,21	0,20	0,44	1,37	1,33	3,07	4,86	2,72	6,21	3,31	3,48	27,61
2004	XXX	XXX	XXX	XXX	5,20	4,74	XXX	XXX	XXX	12,88	11,64	1,71	
2005	2,90	0,59	3,00	2,81	18,29	18,71	16,77	17,90	26,73	26,32	34,20	46,94	215,16
2006	XXX	XXX	XXX	8,98	16,24	7,34	4,22	5,26	5,94	7,84	16,13	13,96	
2007	6,13	1,01	1,59	11,92	20,27	24,59	12,31	11,76	13,21	14,81	18,06	6,24	141,89
2008	1,75	2,28	1,62	6,51	11,49	12,67	9,24	9,02	9,98	15,93	15,90	17,61	113,99
2009	5,28	1,44	1,83	1,58	5,63	4,26	8,54	5,73	5,38	5,48	11,06	3,50	59,70
2010	0,67	0,59	1,64	5,40	6,27	6,75	5,49	7,19	9,30	10,84	10,89	XXX	65,02
2011	2,99	0,73	XXX	XXX	5,15	5,97	3,11	3,73	5,97	5,46	4,60	XXX	
2012	0,87	0,28	XXX	0,96	2,22	2,93	2,65	2,09	1,83	4,11	3,46	2,05	23,45
2013	XXX	XXX	XXX	3,48	4,02	4,15	4,07	5,88	6,80	7,14	8,24	5,14	
2014	3,00	0,90	0,95	0,99	5,84	5,07	2,06	2,63	XXX	XXX	XXX	XXX	

MEDIA	2,03	0,88	1,10	3,50	6,66	7,47	6,19	6,43	11,78	8,99	10,72	7,58	74,47
MAX	6,13	2,73	3,00	11,92	20,27	24,59	16,77	17,90	47,73	26,32	34,20	46,94	215,16
MIN	0,39	0,21	0,20	0,29	1,14	1,33	2,05	1,64	1,83	1,67	3,31	1,16	23,45

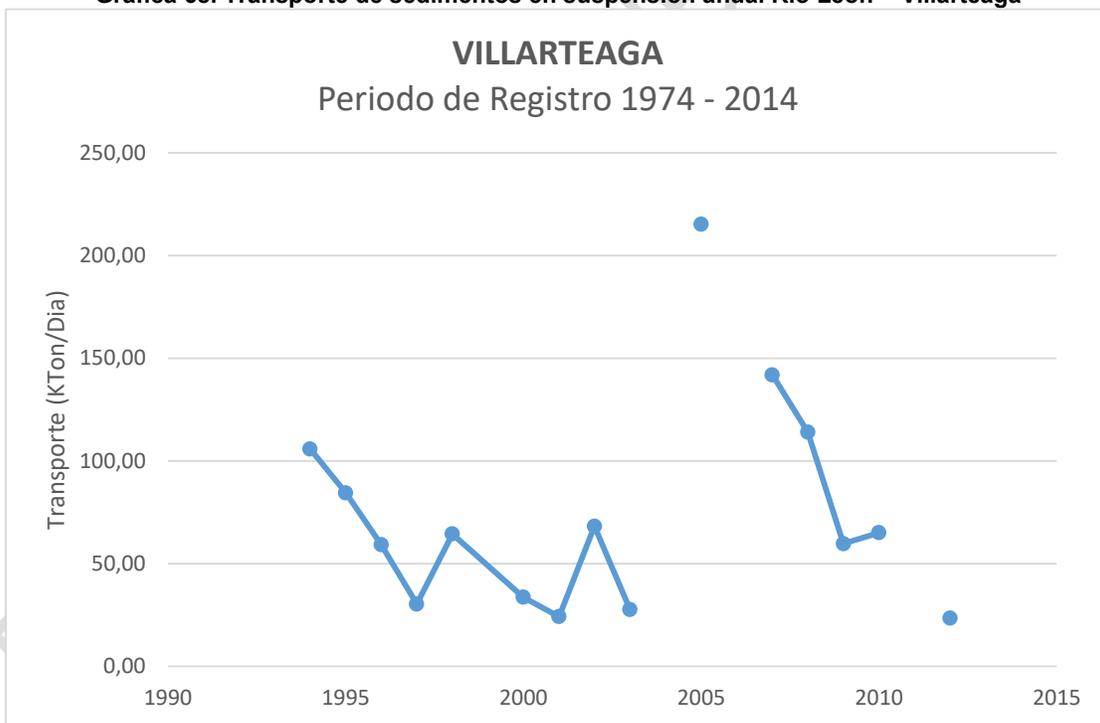
Fuente IDEAM

**Gráfica 67. Distribución temporal del transporte de sedimentos en suspensión Río León – Villarteaga**



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

**Gráfica 68. Transporte de sedimentos en suspensión anual Río León – Villarteaga**



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

En la Gráfica se observa que en el año 1993, se presentó el valor más alto, que superó las 75 Kton/día.

### 1.7.10 Caracterización de ecosistemas lenticos

## Humedales

En Colombia se aprobó la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas, suscrita en la ciudad de Ramsar en 1971, mediante Ley 357 de 1997, adoptando la definición de estos humedales que trae la Convención por medio de esta Ley, a saber: “son humedales las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros” (CORPOURABA, 2008).

Este ecosistema es de particular importancia para Colombia puesto que se relaciona con una amplia variedad de hábitats interiores, costeros y marinos que comparten ciertas características. Generalmente se los identifica como áreas que se inundan temporalmente o donde el nivel freático aflora en la superficie o en suelos de baja permeabilidad cubiertos por agua poco profunda. Todos los humedales comparten una propiedad primordial; el agua, quien juega un rol fundamental en el ecosistema y en la determinación de la estructura y las funciones ecológicas del humedal.

Esta predominancia del agua determina que los humedales tengan características diferentes de los ecosistemas terrestres, una de ellas es que suelen presentar una gran variabilidad tanto en el tiempo como en el espacio. Esto tiene efectos muy importantes sobre la diversidad biológica que habita en los humedales que debe desarrollar adaptaciones para sobrevivir a estos cambios que pueden llegar a ser muy extremos, por ejemplo, ciclos hidrológicos de gran amplitud con períodos de gran sequía y períodos de gran inundación.

Las funciones ecológicas que desarrollan los humedales favorecen la mitigación de las inundaciones y de la erosión costera. Además, a través de la retención, transformación y/o remoción de sedimentos, nutrientes y contaminantes juegan un papel fundamental en los ciclos de la materia y en la calidad de las aguas (CORPOURABA, 2006).

Los humedales generalmente sustentan una importante diversidad biológica y en muchos casos constituyen hábitats críticos para especies seriamente amenazadas. Asimismo, dada su alta productividad, pueden albergar poblaciones muy numerosas.

### Humedales Asociados a la Cuenca del Río León

Los humedales constituyen una de las más importantes características de la geografía de Urabá por su papel en el mantenimiento del sistema ambiental, puesto que desempeñan funciones de control de inundaciones, recarga y descarga de acuíferos, control de la erosión, retención de sedimentos y de nutrientes, exportación de biomasa, estabilización de microclimas, transporte por agua, recreación y turismo.

Los humedales asociados a la cuenca del Río León, se localizan en un relieve de planicie aluvial que posibilita la acumulación de aguas lluvias y de aguas provenientes del desbordamiento del Río León, el cual recibe a los ríos Chigorodó y Carepa, que descienden de la zona de recarga en la Serranía de Abibe, transportando altos caudales durante las épocas invernales. La planicie aluvial está modelada sobre rocas sedimentarias que posibilitan acumulación de aguas en algunos estratos o capas y condiciones de impermeabilidad en otros, facilitando los encharcamientos superficiales.

El complejo asociado al Río León y la Ciénaga de Tumaradó corresponde a un humedal continental, que hace parte de los Humedales boscosos de agua dulce de acuerdo al sistema de clasificación propuesto en la Convención de Ramsar. De manera particular, la formación de humedales en la planicie del Río León está relacionada a la sinuosidad propia de su régimen meándrico, cuya forma serpenteada posibilita la formación de islotes.

Los humedales de la cuenca del Río León presentan características de índole natural como inducida. El de índole natural, presenta su diversidad como una de las finalidades más importantes a la conservación del sitio y al uso sostenible de sus recursos biológicos, dada la presencia de nichos especialmente importantes para la fauna y la ictiofauna, permitiendo el mantenimiento de la funcionalidad ecosistémica, estas áreas corresponden a la zona de manglar, panganales mixtos y sitios con vegetación arbórea mixta.

En el caso de las características de índole inducida, se hace referencia a sitios alterados por la construcción de diques y posterior transformación de la vegetación natural a pastos para el establecimiento de sistemas de producción pecuaria altamente ineficientes dadas las limitaciones físicas, motivo por el cual son abandonadas con lo que se provoca la presencia de diferentes periodos de disturbios naturales y por consiguiente ecotonos con dominio de unas pocas especies vegetales, alterando la diversidad ecológica, en especial por la reducción en el tamaño de los hábitats naturales; adicionalmente la excesiva carga de sedimentos que transporta el Río León y su deposición sobre sus márgenes igualmente provoca la presencia de especies que se vuelven dominantes y simplifican el paisaje y la beta diversidad (Universidad de Antioquia, 2014).

## Usos Actuales

Diversas actividades humanas requieren de los recursos naturales provistos por los humedales y dependen por lo tanto del mantenimiento de sus condiciones ecológicas. Dichas actividades incluyen la pesca, la agricultura, la actividad forestal, el manejo de vida silvestre, el pastoreo, el transporte, la recreación y el turismo. Uno de los aspectos fundamentales por los que en los últimos años se ha volcado mayor atención en la conservación de los humedales es su importancia para el abastecimiento de agua dulce con fines domésticos, agrícolas o industriales. La obtención de agua dulce se evidencia como uno de los problemas ambientales más importantes de los próximos años; dado que la existencia de agua limpia está relacionada con el mantenimiento de ecosistemas sanos, la conservación y el uso sustentable de los humedales se vuelve una necesidad impostergable.

### 1.7.11 Necesidades de información

En la cuenca del Río León se encontraban instaladas hasta el año 2011 – 2012, ocho estaciones hidrométricas tipo Limnigráfico (LM) o limnimétrico (LG), operadas por el IDEAM, que registraban los niveles medios, máximos y mínimos, los caudales medios, máximos y mínimos y el transporte de sedimentos. Estas eran las estaciones de Río Zungo Puente – Carretera, Río Grande – Grande, Río Apartadó – Apartadó, Río Carepa – Carepa, Río Chigorodó – La Cerrazón, Río Chigorodó – Chigorodó, Río León - Villarteaga y finalmente Río León - Barranquillita, localizadas la mayoría de ellas en las cercanías de la carretera Panamericana, que facilitaba su mantenimiento y operación.

En la actualidad solo se encuentran instaladas las estaciones de Río Zungo – Puente Carretera y Río León - Barranquillita, de estas parece que la del Río Zungo no la están operando porque solo entregaron información hasta el año 2011.

De acuerdo con lo anterior, se deben reinstalar las estaciones y celebrar un convenio con el IDEAM, para su reinstalación, puesta en funcionamiento, mantenimiento y operación.

Por otro lado, las cuencas de los ríos Guapá, La Fortuna, Juradó y Porroso, nunca se han monitoreado, ni han tenido estación hidrométrica, por lo cual se deben incluir en el convenio con el IDEAM, para su instalación, operación y mantenimiento. La operación debe incluir la realización de aforos periódicos líquidos y sólidos, establecer la curva de gastos de cada estación y procesar la información. Se deben instalar equipos automáticos para la medición de los niveles y equipos de transmisión de los datos recolectados.

A continuación se presenta un registro fotográfico (Fotografía 9 a la Fotografía 14) de lo que queda de las estaciones hidrométricas.

**Fotografía 9. Río Zungo – Puente Carretera**



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Estación hidrométrica ubicada sobre el Puente del Río Zungo (al frente de Unibán) en la vía principal pavimentada que va de Carepa a Apartadó.

Coordenadas E: 1.047.323 - N: 1.357.045

**Fotografía 10. Estación Río León - Barranquillita**



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Estación hidrométrica ubicada en el puente sobre el Río León en el Corregimiento Barranquillita, que está a 10 kms de la vía principal pavimentada que va de Chigorodó a Mutatá y que se conoce como la Panamericana o Lomas Aisladas.

Coordenada E: 1.040.441 - N: 1.329.051

**Fotografía 11. Estación Río Grande - Grande**





Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Esta estación estaba ubicada en el puente sobre el Río Grande, la quitaron por motivos de la obra del puente y no la han vuelto a instalar.

Coordenada E: 1.050.341 - N: 1.368.414

Fotografía 12. Estación Río Carepa - Carepa



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Estación hidrométrica sobre el Río Carepa, en la vía principal pavimentada. El encargado de cuidarla dijo que los funcionarios del IDEAM la levantaron y que recibió instrucción que quitara el letrero porque ya no seguía funcionando.

Coordenada E: 1.046.250 - N: 1.350.273

**Fotografía 13. Estación Río Chigorodó - Chigorodó**



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Puente sobre el Río Chigorodó. Se preguntó y se verificó aguas arriba y aguas abajo sobre la estación hidrométrica pero no se encontró

En el puente colgante sobre el Río Chigorodó a dos cuadras del parque principal se encontró una regla

Coordenada E: 1.043.415 - N: 1.340.269

**Fotografía 14. Estación Río León - Villarteaga**



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

En el puente sobre el Río Villarteaga en la vía principal de Chigorodó A Mutatá no se encontró estación. Se hicieron recorridos sin resultados y los habitantes dicen que hace

mucho tiempo una creciente se la llevo.

idad de beneficio de animales y beneficio de café, por lo que no incorpora otros sectores, como es el caso del sector bananero.

En este sentido se enmarca dentro de cada sector establecido en el IACAL, lo que corresponde a la cuenca del río León, para análisis de carga contaminante.

**Cargas contaminantes sector doméstico:** Se incluyen todas las cargas contaminantes generadas principalmente por los cascos urbanos, centros poblados y usuarios objeto de cobro de tasa retributiva que reportan cargas contaminantes, tal es el caso de centros educativos, centros de recreación, instituciones oficiales; para cada subcuenca se describen las cargas contaminantes reportadas y estas a su vez, son el insumo para el cálculo del IACAL. Dentro de la principal información para la estimación de carga contaminante se encuentra la reportada por las empresas prestadoras de servicios de alcantarillado en los PSMV.

**Cargas contaminantes sector industrial:** Hace referencia a las actividades que produzcan o transformen materias primas, que encuentren catalogadas en La Clasificación Internacional Industrial Uniforme (CIIU). De acuerdo con la caracterización socioeconómica del POMCA del río León, el análisis de la industria, el comercio y los servicios en la cuenca de Río León está contemplado en el Censo Nacional Agropecuario (CNA) de 2014, donde identificaron las Unidades de Producción Agropecuaria (UPA) y las Unidades de Producción no Agropecuaria (UPNA). Dentro de la categoría de industria sólo se reportan 5 en el UPA y 10 UPNA, sin embargo relacionados con la transformación de servicios agropecuarios se registran 44 en el UPA y 10 UPNA.

El análisis de la agricultura en la cuenca Río León está discriminado en el número de hectáreas de área sembrada y la producción medida en toneladas, referente a los 18 productos sembrados en los municipios de Apartadó, Carepa, Chigorodó, Mutatá y Turbo. En total, la cuenca cuenta con 75.606 ha sembradas donde se produjo 1.320.165 Toneladas. El municipio con mayor número de hectáreas sembradas es Turbo con 36.726, seguido de Carepa con 14.199. Como se ha resaltado a lo largo del documento, de las principales actividades económicas de la cuenca, se **encuentra los cultivos de banano y platano, sin embargo se desarrollan entre otros, arroz, cacao, maíz**, sin embargo a la fecha sólo se tienen usuarios objeto de tasa retributiva del sector bananero, por consiguiente se cuenta con información de cargas contaminantes.

Todas las cargas contaminantes del sector bananero, se incluyeron para el cálculo del IACAL, dentro de la categoría industrial, en vista de que la metodología del indicador, no contempla específicamente carga contaminante del sector bananero.

**Cargas contaminantes actividad beneficio de café:** En vista de que por las condiciones altitudinales y climáticas de la cuenca, este cultivo no tiene un desarrollo significativo, además no existen usuarios objeto de cobro de tasa retributiva en esta actividad, no se contempla en el análisis de cargas contaminantes y del cálculo del IACAL.

**Cargas contaminantes actividad sacrificio de animales:** Dentro de la cuenca del río León, no existen centrales de beneficio animal, según información suministrada por CORPOURABÁ, la central de sacrificio metropolitano, no hace parte de la cuenca, por lo

consiguiente no se incluye en el análisis de cargas contaminantes, ni en el cálculo del IACAL.

Bajo este contexto, se describen las cargas contaminantes para cada subcuenca y por cada sector, dichas cargas contaminantes son las utilizadas para el cálculo del IACAL.

EN ETAPA DE PUBLICACIÓN

## 2 BIBLIOGRAFÍA

- Allan, J. *Stream Ecology Structure and Function of Running Waters*. Londres: Chapman & Hall, 1995. p. 388.
- Auboin, J. et. al. (1982). Middle America Trench upper slope. Initial Reports of the Deep-Sea Drilling Project 67: 143-192.
- Ball, M. et. al. (1969). Atlantic Opening and the Origin of the Caribbean. *Nature*, vol. 223, No 5202, p. 167-168, fig. 1-2.
- Barragán, R. et. al (2008). Código estratigráfico norteamericano: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 117, xvi + 48 p., 2 tablas, 11 figuras.
- Bates, R.L. & Jackson, J.A. (1984). *Dictionary of Geological Terms*. Anchor Press, New York, 571 pp.
- Carvajal, J.H. (2012). Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia. Bogotá.
- Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá - CORPOURABA (1988). Estudio de factibilidad presa de aprovechamiento múltiple sobre el río Chigorodó. Sodeic Ltda. Ingenieros consultores e interventores. Anexo A Climatología y Anexo B Hidrología.
- Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá - CORPOURABA (2012). Plan de Gestión Ambiental Regional 2012 - 2024 Versión 02. Tomado de: <http://corpouraba.gov.co/sites/default/files/R-PG-01PGARAPROBADO.pdf>
- Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá - CORPOURABA & Universidad de Antioquia (2014): Convenio interadministrativo de cooperación 136 de 2013. Escala 1:300.000. Betancur, T., Palacio, P., Gómez, A., Duque, J., Cardona, A., Ossa, J., Posada, J., García, D.
- Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá - CORPOURABA & Universidad de Antioquia (2014). Actualización del Modelo Hidrogeológico conceptual del Sistema Acuífero del Urabá Antioqueño.
- Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá - CORPOURABA & Universidad de Antioquia (2014). Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos: Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá. Medellín, 28 p.
- Chow Ven Te (1964). *Handbook of applied hydrology (a compendium of water-resources technology)*. Nueva York, McGraw-Hill.
- Chow, VenTe (1988). *Handbook of Applied Hydrology*.
- Chow Ven Te, Maidment David R., Mays Larry W. (1994). *Hidrología aplicada*. Editorial Mc Graw Hill. Bogotá.
- Dahmen, E.R. & Hall, M.J. (1990). Screening of hydrological data: Test for stationarity and relative consistency. *Internat. Inst. for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, ILRI pubn.* No. 49, 58 pp.

- De Porta, J. (1974). Léxico estratigráfico Internacional. América Latina – Colombia. Volumen V, Fascículo 4b. Unión Internacional de Ciencias Geológicas. Centro Nacional de la Investigación Científica, Paris.
- Dearman, W.R. (1974). Weathering classification in the characterization of rock for engineering purposes in British practice. Bulletin International Assoc. of Engineering Geology.
- Deere, D.U. & Patton, F.D. (1971). Slope stability in residual soils. Proceedings of the fourth Panamerican Conference on Soil mechanics and Foundation Engineering. San Juan de Puerto Rico.
- Donnelly, T.W. (1989). Geologic history of the Caribbean and Central America. In: BALLY, A. W. & PALMER, A. R. (eds.). The geology of North America. Boulder: Geological Society of America, 1989, 299-321.
- Duque-Caro, H. (1990). The Choco Block in the northwestern corner of South America: Structural, tectonostratigraphy and paleogeographic implications. Journal of South American Earth Sciences. Vol. 3, No. 1.
- Elderton W. P. (1953). Frequency curves and correlation, Harren, New York.
- Eslava, J., V. López & G. Olaya (1986c). Los climas de Colombia (Sistema de Caldas - Lang). *Atmósfera* 7:41- 77. Bogotá.
- Eslava, J. (1992). Perfil altitudinal de la temperatura del aire en Colombia. *Geofis. Colomb.* 1:37-52. Acad. Colomb. Cienc. Geofis., Bogotá.
- Foster, S.S.D. (1987): Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. Vulnerability of Soil and Groundwater to pollutants. TNO Committee on Hydrological Research Information nº38, Ed. by W. Van Duijvenbooden and H.G. Van Waegenigh, The Hague: 69-86.
- Foster S. & Hirata, R. (1988). Groundwater pollution risk evaluation assessment: a methodology using available data. WHO-PAHO/HPE-CEPIS, technical manual; Lima, Peru.
- Frisch, W. et. Al (1992). Origin of the Central American ophiolites: Evidence from paleomagnetic results: Geological Society of America Bulletin, 104, 1301–1314.
- García, J.; & Maza, J. Morfología de ríos. Capítulo 11 del manual de ingeniería de ríos. Instituto de Ingeniería UNAM.
- Garzon, F. (2012). Modelamiento estructural de la zona límite entre la microplaca de Panamá y el bloque norandino a partir de la interpretación de imágenes de radar, cartografía geológica, anomalías de campos potenciales y líneas sísmicas. Tesis de Maestría en Ciencias – Geofísica. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C.
- Geotec (1997): Geología de los Cinturones Sinú - San Jacinto - Planchas 50 Puerto Escondido, 51 Lórica, 59 Mulatos, 60 Canalete, 61 Montería, 69 Necoclí, 70 San Pedro de Urabá, 71 Planeta Rica, 79 Turbo, 80 Tierralta. Escala 1:100.000. Bogotá D. C.
- Hermelin, M. (1987). Bases de geología ambiental. Universidad Nacional de Colombia (seccional Medellín). Medellín.

- Hill A.R. 1996. Nitrate removal in stream riparian zones. *J. Environ. Qual* 25:743-755.
- Ibáñez, D., Castro, E., Duque, T., & Villa, O. (2005). Estudio de microzonificación sísmica de Santiago de Cali. Bogotá.
- INCODER (2006). Proyecto de Adecuación de tierras Urabá, Identificación y análisis de alternativas de suministro de agua, Informe principal, Consultoría S. A.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM (2006). Índice de disponibilidad hídrica (IDH). Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - Oficina del Servicio de Pronóstico y Alertas.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. (2010) Estudio Nacional de Agua. Bogotá D.C., 2011.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. (2013) Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia, Bogotá D.C. Colombia. Publicación aprobada por el Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM, noviembre de 2013. Bogotá D.C., Colombia.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. (2014) Estudio Nacional de Agua. Bogotá D.C., 2015. 496 p.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. (2017) Atlas interactivo – Climatológico. Tomado de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>
- Instituto de Investigación e Información Geocientífica Minero Ambiental y Nuclear - INGEOMINAS (1988). Mapa geológico de Colombia a escala 1: 1500000. Bogotá.
- Instituto de Investigación e Información Geocientífica Minero Ambiental y Nuclear - INGEOMINAS (1995). Evaluación del agua subterránea en la región de Urabá, Departamento de Antioquia. Bogotá D. C.
- Instituto de Investigación e Información Geocientífica Minero Ambiental y Nuclear - INGEOMINAS (2003). Geología de los Cinturones Sinú – San Jacinto 50 Puerto Escondido, 51 Lorica, 59 Mulatos, 60 Canalete, 61 Montería, 69 Necoclí, 70 San Pedro de Urabá, 71 Planeta Rica, 79 Turbo, 80 Tierralta. Bogotá.
- Instituto de Investigación e Información Geocientífica Minero Ambiental y Nuclear - INGEOMINAS (2004). Geología de los Cinturones del Sinú, San Jacinto y borde Occidental del Valle Inferior del Magdalena Caribe Colombiano. Escala 1:300.000. Bogotá.
- James, K.H. (2005). Arguments for and against the Pacific origin of the Caribbean Plate and arguments for an in-situ origin. *Caribbean Journal of Earth Science*, 39, 47-67.
- James, K.H. (2006). Arguments for and against the Pacific origin of the Caribbean Plate: discussion, finding for an interAmerican origin, *Geologica Acta*, 4(1-2), 279–302.
- Jaramillo Rojas C. C. Molina F M. Betancur T. 2011. Índices de escasez y de calidad del agua para la priorización de cuerpos de agua en los planes de ordenación del recurso hídrico. Aplicación en la jurisdicción de CORANTIOQUIA. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 10, No. 19, pp. 33-46. Medellín, Colombia.

- Keller, E. A. & Pinter, N. (1996). Active tectonics: Earthquakes uplift and landscapes, Prentice Hall, New Jersey. 362 p.
- Kirpich, ZP (1940). Time of concentration of small agricultural watersheds. Civil Engineering, Vol. 10, Junio. P 362.
- Klitgord, K. D. & Schouten, H. (1986). Plate kinematics of the central Atlantic. En: Vogt PR, Tucholke BE (eds) The geology of North America, Vol. M. The Western North Atlantic region. Geological Society of America, Boulder. 351-378.
- Linsley, K. & Paulhus (1975). Hydrology for engineers.
- Maidment D. (1992). Handbook of Hydrology, Capítulo 18.
- Mann, P. (1999). Caribbean Sedimentary Basins: Classification and Tectonic setting from Jurassic to Present. In: Mann, P. (Ed.) Caribbean Basins, Sedimentary Basins of the World, Volume 4. 3 – 31.
- Mejía, O. (2016). El fenómeno de El Niño, tema de la primera jornada técnica de la cátedra del agua. Tomado de <http://cta.org.co/actualidad/del-cta/item/275-jornada-tecnica-de-la-catedra-del-agua-2016>
- Meschede, M. & Frisch, W. (1988). The Evolution of the Caribbean Plate and its Relation to plate Motion Vector: Geometric Constraint for an Inter-American Origin.
- Ministerio del Medio Ambiente - MAVDT, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia - IDEAM y Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Mineroambiental y Nuclear – INGEOMINAS, Coralina y CVC (2002). Formulación de proyectos de protección integrada de aguas subterráneas – Guía Metodológica
- Monsalve G. (1995). Hidrología en la Ingeniería. Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá.
- Montealegre, J. (2014). Actualización del componente meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia, como insumo para el Atlas Climatológico. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.
- Organización Meteorológica Mundial – OMM (2011) Guía de prácticas hidrológicas. Ginebra, Suiza.
- Pindell, J. & Barrett, S. (1990). Geological evolution of the Caribbean region: a plate tectonic perspective. En: Dengo, G. and Case, J.E. (Eds.) The Geology of North America, Vol H, The Caribbean Region.
- Pindell, J. et. al. (2005). Plate-kinematics and crustal dynamics of circum-Caribbean arccontinent interactions. En: Ave-Lallemant y Sisson (eds), 2005, Geological Society of America Special Paper 394, 7-52.
- Pindell, J. & Kennan, L. (2009). Tectonic evolution of the Gulf of Mexico, Caribbean and northern South America in the mantle reference frame: an update.
- Quijano, J. E. (2014). Parámetros morfométricos, geomorfológicos y correlación estructural en cinco cuencas hidrográficas de la Cuenca Amagá.
- Rihl H. (1967) Introducción to the atmosphere.

Roldán G. 2009. Desarrollo de la limnología en Colombia: cuatro décadas de avances progresivos. *Actualidades Biológicas* vol. 31 (91): 227-237. Medellín Colombia.

ROLDÁN, G. & J. RAMÍREZ. 2008. *Fundamentos de limnología Neotropical*. 2a. Ed. Medellín (Colombia): Editorial Universidad de Antioquia, Universidad Católica de Oriente y Academia Colombiana de Ciencias– ACCEFYN.

Ross, M. I. & Scotese, C. R. (1988). A hierarchical tectonic model of the Gulf of Mexico and Caribbean region. *Artículo: Tectonophysics*, 155: 139-168

Schumm, S. (1963). A Tentative Classification of Alluvial River Channels.: an examination of similarities and differences among some graet plains rivers.

Schumm, S.A. (1963). Sinuosity of alluvial rivers on the Great Plains: *Geol, Soc. America Bull.*, v. 74, p 1089-1100.

Schumm, S. & Khan, H. (1972). *Experimental Study of Channel Patterns*. Department of Geology and Engineering research center, Colorado State University. Fort Collins, Colorado.

Servicio Geológico Colombiano – SGC. (2011). Documento metodológico para la elaboración del mapa geomorfológico, para la generación el mapa nacional de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000. Bogotá, 86p.

Strahler, A.N. (1964). *Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks*. New York.

Sykes, L.R. et. al. (1982). Motion Caribbean plate during last 7 million years and implications for earlier Cenozoic movements. *Journal of Geophysical Research*, 87(B13): 10656-10676.

Taboada, A. et. al (2000). Geodynamics of the northerm Andes: Subductions and intracontinental deformation (Colombia). *Tectonics* 19. Issn: 0278-7407.

Temez, J.R. (1978 y 1989). *Calculo hidrometereologico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. M. O. P. U. dirección General de Carreteras. Madrid.

Terry, M. E. (1952). Some Rank order tests which área most powerful against specific parametric alternatives. *Annals of Mathematical Statistics*, 23, 346-366.

Vannote, R.L., G.W. Minshall, K.W. Cummins, J.R. Sedell & C.E. Cushing, 1980. The river cohtinum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37: 130-137

Vargas, M. & Diaz-Granados, M. (1997). *Curvas sintéticas de Intensidad – Duración – Frecuencia para Colombia*. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Los Andes. Bogotá.

Villegas, P. (2017) Análisis morfométrico de una Cuenca. Tomado de: <http://www.aguaysig.com/2013/10/analisis-morfometrico-de-una-cuenca.html>

Villegas, P. P. & Vivas, A. (2008): *Hidrogeología del Acuífero del Eje Bananero de Urabá*. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá CORPOURABA. Apartadó, Antioquia.

Villota, H. (1991). *Geomorfología aplicada a levantamiento edafológicas y zonificación física de tierras*. IGAC, 211p.

Wald, A. & Wolfowitz, J. (1943). An exact test for randomness in the non-parametric case base don serial correlation. Annual Mathematical Statistics, 14, 378-388.

Yue, S. et. al. (2002b). The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. Hydrological Processes, 16, 1807-1829.

EN ETAPA DE PUBLICACIÓN