

**EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DEL RÉGIMEN DE CAUDALES, PRECIPITACIÓN  
Y TENDENCIAS DE LOS INDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO  
CURUBITAL - CUNDINAMARCA**

**CARLOS MANUEL BLANCO BONILLA**

**3021221339**

**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**BOGOTÁ D.C.**

**2016**

**EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DEL RÉGIMEN DE CAUDALES, PRECIPITACIÓN  
Y TENDENCIAS DE LOS INDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO  
CURUBITAL - CUNDINAMARCA**

**Carlos Manuel Blanco Bonilla**

**3021221339**

**Trabajo de grado para optar el título de Ingeniería Civil**

**Asesor Disciplinar**

**M.I. Alberto Sánchez de la Calle**

**Asesor Metodológico**

**Msc. Bibiana Carolina Gómez Salgado**

**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**BOGOTÁ D.C.**

**2016**

## **AGRADECIMIENTOS**

Antes que nada, doy infinitas gracias a Dios y la Virgen por la oportunidad de aprender y hacer parte de la Universidad La Gran Colombia donde he vivido las mejores experiencias y me permitió conocer personas con inmensa sabiduría y conocimiento, agradezco a cada maestro que hizo parte de este proceso y me inculcaron a estudiar con esfuerzo y a leer con reflexión.

Retribuyo especialmente a los catedráticos Alberto Sánchez de la Calle, Carlos Valencia Monedero y Bibiana Carolina Gómez Salgado que hicieron parte de este proyecto de grado dado que sin su paciencia, enseñanza, dedicación y apoyo no hubiera sido posible llevar a cabo este trabajo de grado.

Adicionalmente mi gratitud a la empresa Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá (EAAB), el Instituto Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Pontificia Universidad Javeriana y a la empresa Biopolab por el acceso a la información recopilada de las estaciones meteorológicas y por los servicios expuestos a la investigación que fueron determinantes para el proyecto.

Finalmente, también agradezco a mi familia por el gran esfuerzo realizado día a día para hacer posible mi aprendizaje por medio de la confianza, acompañamiento, educación, valentía, amor para aprovechar todos los momentos y privilegios que nos ofrece la vida.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN .....	14
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	15
2. JUSTIFICACIÓN .....	17
3. OBJETIVOS.....	19
<u>3.1</u> OBJETIVO GENERAL .....	19
<u>3.2</u> OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	19
4. ANTECEDENTES.....	20
5. MARCO DE REFERENCIA .....	25
<u>5.1</u> MARCO CONCEPTUAL .....	25
5.1.1. CICLO HIDROLÓGICO.....	25
<u>5.1.2</u> CAUDAL .....	26
<u>5.1.3</u> CÁLCULO DE CAUDAL.....	27
<u>5.1.4</u> HIDROGRAMA .....	29
<u>5.1.5</u> ÁREA DE DRENAJE .....	30
<u>5.1.6</u> DIVISORIA .....	30
<u>5.1.7</u> PERÍMETRO.....	30
<u>5.1.8</u> LONGITUD.....	30
<u>5.1.9</u> FACTOR DE FORMA (KF).....	30
<u>5.1.10</u> ÍNDICE DE GRAVELIUS O COEFICIENTE DE COMPACIDAD (KC) ...	30
<u>5.1.11</u> DENSIDAD DE DRENAJE (DD).....	31
<u>5.1.12</u> PENDIENTE (S).....	31
<u>5.1.13</u> ESTIMACIÓN DE DATOS.....	31
<u>5.1.14</u> CONCENTRACIÓN.....	32
<u>5.1.15</u> CARGA .....	33
<u>5.1.16</u> PARÁMETROS FÍSICOS .....	33
<u>5.1.16.1</u> TURBIDEZ O TURBIEDAD .....	33
<u>5.1.16.2</u> COLOR .....	34
<u>5.1.16.3</u> OLOR Y SABOR .....	35
<u>5.1.16.4</u> TEMPERATURA .....	35
<u>5.1.16.5</u> MATERIA EN SUSPENSIÓN .....	35
<u>5.1.16.6</u> CONDUCTIVIDAD .....	36

__ 5.1.17 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS .....	36
__ 5.1.17.2 ACIDEZ .....	37
__ 5.1.17.6 DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO) .....	38
__ 5.1.18 CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS .....	38
__ 5.1.18.1 COLIFORMES TOTALES .....	38
__ 5.1.19 ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA) .....	39
__ 5.1.20 CURVA DE DURACIÓN O PERMANENCIA DE CAUDALES .....	44
__ 5.1.21 MÉTODO DE GUMBEL.....	45
__ 5.2 MARCO GEOGRÁFICO.....	49
__ 5.2.2 CLIMA .....	49
__ 5.2.3 VEGETACIÓN.....	50
__ 5.2.5 DESCRIPCIÓN DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE ESTUDIO.....	54
__ 5.3 MARCO LEGAL .....	57
6. DISEÑO METODOLÓGICO .....	62
__ 6.1 ENFOQUE METODOLÓGICO .....	62
__ 6.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	62
__ 6.3 DISEÑO MUESTRAL .....	63
__ 6.3.1 MUESTRA.....	63
__ 6.3.2 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	65
__ 6.4 FASES DE INVESTIGACIÓN.....	63
__ 6.5 MATERIALES Y EQUIPOS .....	71
7. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	79
__ 7.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL RÍO CURUBITAL.....	79
__ 7.1.1 ÁREA DE LA CUENCA .....	79
__ 7.1.2 LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (RÍO CURUBITAL) .....	82
__ 7.1.3 PERÍMETRO DE LA CUENCA.....	83
__ 7.1.4 FORMA DE LA CUENCA .....	83
__ 7.1.4.1 FACTOR DE FORMA.....	83
__ 7.1.5 DENSIDAD DE DRENAJE (DD).....	83
__ 7.1.6 PENDIENTE DE LA CUENCA.....	84
__ 7.1.7 PENDIENTE DEL RÍO PRINCIPAL .....	84
__ 7.1.8 CURVA HIPSOMÉTRICA.....	86

__7.2 REGÍMENES DE PRECIPITACIÓN .....	91
__7.3 RÉGIMEN DE CAUDALES .....	126
__7.3.1 ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD .....	148
__7.3.1.1 FRECUENCIA DE CAUDALES DEL RÍO CURUBITAL .....	155
__7.4 INDICES DE CALIDAD DEL AGUA .....	163
__7.4.1 DIAGNOSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS PUNTOS DE CAPTACIÓN .....	182
8. CONCLUSIONES .....	199
9. RECOMENDACIONES .....	201
10. ANEXOS .....	202

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Ciclo Hidrológico .....	26
Figura 2 Método área-velocidad.....	28
Figura 3 Método de las parábolas .....	28
Figura 4 Escala pH.....	37
Figura 5 Método grafico para determinar el porcentaje (%) de saturación de oxígeno disuelto.....	42
Figura 6 Tabla estandarizada para determinar el porcentaje (%) de saturación de oxígeno disuelto.....	43
Figura 7 Valores de cuartiles superiores de la distribución de Kolmogorov – Smirnov.....	48
Figura 8 Localización río Curubital .....	49
Figura 9 Estaciones meteorológicas .....	55
Figura 10 Características microbiológicas.....	58
Figura 11 Concentraciones permitidas de elementos y sustancias químicas .....	60
Figura 12 Puntos de muestreo en una sección trasversal de una corriente.....	65
Figura 13 Toma de muestras río Curubital .....	66
Figura 14 Oxímetro .....	75
Figura 15 Método Cuadrilla .....	79
Figura 16 Cálculo de Área por el software ArcMap 10.3 .....	80
Figura 17 Área de la cuenca Arcgis .....	81
Figura 18 Método software Arcgis - Perímetro .....	82
Figura 19 Calidad del agua del río Curubital para uso consumo humano.....	188
Figura 20 Calidad del agua río Curubital para uso fauna y flora .....	189
Figura 21 Calidad del agua río Curubital para uso agrícola.....	190
Figura 22 Calidad del agua del río Curubital para uso pecuario .....	191
Figura 23 Calidad del agua del río Curubital para uso piscicultura .....	192
Figura 24 Calidad del agua río Curubital uso industrial .....	193
Figura 25 Calidad del agua del río Curubital para uso estético .....	194
Figura 26 Calidad del agua para uso recreativo contacto primario .....	195
Figura 27 Calidad del agua para uso recreativo contacto secundario .....	196
Figura 28 Calidad del agua para uso enfriamiento .....	197

## LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1 Perfil Hidráulico río Curubital .....	85
Gráfica 2 Curva Hipsométrica .....	87
Gráfica 3 Curva de Frecuencia de Altitudes río Curubital .....	89
Gráfica 4 Correlación – enero .....	93
Gráfica 5 Correlación - febrero .....	95
Gráfica 6 Correlación - marzo .....	97
Gráfica 7 Correlación - abril .....	99
Gráfica 8 Correlación - mayo .....	101
Gráfica 9 Correlación - junio.....	103
Gráfica 10 Correlación - julio.....	105
Gráfica 11 Correlación - agosto.....	107
Gráfica 12 Correlación - septiembre.....	109
Gráfica 13 Correlación - octubre .....	111
Gráfica 14 Correlación - noviembre.....	113
Gráfica 15 Correlación - diciembre.....	115
Gráfica 16 Precipitación total mensual anual - El Hato.....	117
Gráfica 17 Precipitación total anual - El Hato .....	118
Gráfica 18 Precipitación total mensual anual - La Regadera .....	119
Gráfica 19 Precipitación total anual - La Regadera .....	120
Gráfica 20 Precipitación total mensual anual - Bocagrande .....	121
Gráfica 21 Precipitación total anual - Bocagrande.....	122
Gráfica 22 Precipitación total mensual anual - Pte. Australia .....	123
Gráfica 23 Precipitación total anual - Pte. Australia.....	124
Gráfica 24 Variación de la precipitación total anual de las estaciones estudiadas .....	125
Gráfica 25 Evaluación caudales medios mensuales estación La Toma río Chisacá .....	127
Gráfica 26 Caudales medios anuales estación La Toma río Chisacá.....	128
Gráfica 27 Evaluación caudales máximos mensuales estación La Toma río Chisacá.....	129
Gráfica 28 Caudales máximos anuales estación La Toma río Chisacá.....	130
Gráfica 29 Evaluación caudales mínimos mensuales estación La Toma río Chisacá .....	131
Gráfica 30 Caudales mínimos mensuales estación La Toma río Chisacá .....	132
Gráfica 31 Evaluación caudales medios mensuales estación Pte. Carretera río Chisacá.....	133
Gráfica 32 Caudales medios anuales estación Pte. Carretera río Chisacá.....	134
Gráfica 33 Evaluación caudales máximos mensuales estación Pte. Carretera río Chisacá.....	135
Gráfica 34 Caudales máximos anuales estación Pte. Carretera río Chisacá.....	136

Gráfica 35 Evaluación caudales mínimos mensuales estación Pte. Carretera río Chisacá.....	137
Gráfica 36 Caudales mínimos anuales estación Pte. Carretera río Chisacá.....	138
Gráfica 37 Evaluación caudales medios mensuales estación Pte. Australia río Curubital .....	139
Gráfica 38 Caudales medios anuales estación Pte. Australia río Curubital .....	140
Gráfica 39 Evaluación caudales máximos mensuales estación Pte. Australia río Curubital .....	141
Gráfica 40 Caudales máximos anuales estación Pte. Australia río Curubital.....	142
Gráfica 41 Evaluación caudales mínimos mensuales estación Pte. Australia río Curubital .....	143
Gráfica 42 Caudales mínimos anuales estación Pte. Australia río Curubital .....	144
Gráfica 43 Variación de los caudales medios en las estaciones estudiadas .....	145
Gráfica 44 Variación de los caudales mínimos en las estaciones estudiadas ....	146
Gráfica 45 Variación de los caudales máximos en las estaciones estudiadas....	147
Gráfica 46 Análisis de frecuencia de caudales para diferentes períodos de retorno .....	152
Gráfica 47 Diagrama de frecuencia de caudales máximos del río Curubital .....	156
Gráfica 48 Curva de duración de caudales máximos del río Curubital .....	157
Gráfica 49 Diagrama de frecuencia de caudales medios del río Curubital.....	159
Gráfica 50 Curva de duración de caudales medios del río Curubital .....	160
Gráfica 51 Diagrama de frecuencia de caudales mínimos del río Curubital.....	161
Gráfica 52 Curva de duración de caudales mínimos del río Curubital .....	162

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Índice de pH .....	41
Tabla 2 Índice de Turbidez .....	44
Tabla 3 Variable de Gumbal para un período de retorno.....	46
Tabla 4 Descripción estaciones meteorológicas.....	54
Tabla 5 Características Físicas .....	57
Tabla 6 Características Físicas .....	59
Tabla 7 Períodos de registros estaciones meteorológicas .....	63
Tabla 8 Localización toma de muestras .....	64
Tabla 9 Volumen de las muestras .....	64
Tabla 10 Variables .....	67
Tabla 11 Cálculo de Área.....	79
Tabla 12 Método Curvímetro – Perímetro .....	82
Tabla 13 Pendiente del cauce principal.....	84
Tabla 14 Curva Hipsométrica río Curubital.....	88
Tabla 15 Resultados Curva hipsométrica - Frecuencia de Altitudes.....	89
Tabla 16 Resumen - Características morfométricas.....	91
Tabla 17 Datos meteorológicos enero.....	92
Tabla 18 Correlación lineal enero estación Pte. Australia (1970 - 1985) .....	93
Tabla 19 Datos meteorológicos febrero.....	94
Tabla 20 Correlación lineal febrero estación Pte. Australia (1970 - 1985) .....	95
Tabla 21 Datos meteorológicos marzo.....	96
Tabla 22 Correlación lineal marzo estación Pte. Australia (1970 - 1985) .....	97
Tabla 23 Datos meteorológicos abril .....	98
Tabla 24 Correlación lineal abril estación Pte. Australia (1970 - 1985).....	99
Tabla 25 Datos meteorológicos mayo .....	100
Tabla 26 Correlación lineal mayo estación Pte. Australia (1970 - 1985).....	101
Tabla 27 Datos meteorológicos junio .....	102
Tabla 28 Correlación lineal junio estación Pte. Australia (1970 – 1985) .....	103
Tabla 29 Datos meteorológicos julio .....	104
Tabla 30 Correlación lineal julio estación Pte. Australia (1970 – 1985) .....	105
Tabla 31 Datos meteorológicos agosto .....	106
Tabla 32 Correlación lineal agosto estación Pte. Australia (1970 – 1985).....	107
Tabla 33 Datos meteorológicos septiembre .....	108
Tabla 34 Correlación lineal septiembre estación Pte. Australia (1970 – 1985) ...	109
Tabla 35 Datos meteorológicos octubre .....	110
Tabla 36 Correlación lineal octubre estación Pte. Australia (1970 – 1985).....	111
Tabla 37 Datos meteorológicos noviembre .....	112
Tabla 38 Correlación lineal noviembre estación Pte. Australia (1970 – 1985) ....	113
Tabla 39 Datos meteorológicos diciembre .....	114
Tabla 40 Correlación lineal diciembre estación Pte. Australia (1970 – 1985) .....	115
Tabla 41 Precipitación El Hato .....	116

Tabla 42 Precipitación La Regadera .....	119
Tabla 43 Precipitación Bocagrande.....	121
Tabla 44 Precipitación Pte. Australia.....	123
Tabla 45 Evaluación caudales medios mensuales estación La Toma río Chisacá .....	126
Tabla 46 Evaluación caudales máximos mensuales estación La Toma río Chisacá .....	129
Tabla 47 Evaluación caudales mínimos mensuales estación La Toma río Chisacá .....	131
Tabla 48 Evaluación caudales medios mensuales estación Pte. Carretera río Chisacá.....	133
Tabla 49 Evaluación caudales máximos mensuales estación Pte. Carretera río Chisacá.....	135
Tabla 50 Evaluación caudales mínimos mensuales estación Pte. Carretera río Chisacá.....	137
Tabla 51 Evaluación caudales medios mensuales estación Pte. Australia río Curubital .....	139
Tabla 52 Evaluación caudales máximos mensuales estación Pte. Australia río Curubital .....	141
Tabla 53 Evaluación caudales mínimos mensuales estación Pte. Australia río Curubital .....	143
Tabla 54 Datos registrados caudales máximos estación Pte. Australia.....	148
Tabla 55 Análisis de frecuencia para distintos períodos de retorno del río Curubital .....	151
Tabla 56 Prueba de bondad de ajuste Smirnov – Kolmogorov.....	153
Tabla 57 Frecuencia de caudales máximos río Curubital .....	156
Tabla 58 Curva de duración de caudales máximos del río Curubital .....	157
Tabla 59 Frecuencia de caudales medios río Curubital.....	158
Tabla 60 Curva de duración de caudales medios del río Curubital.....	159
Tabla 61 Frecuencia de caudales mínimos río Curubital.....	160
Tabla 62 Curva de duración de caudales mínimos del río Curubital.....	162
Tabla 63 Caudal punto de captación.....	163
Tabla 64 Parámetros Parte Alta .....	164
Tabla 65 Datos Solidos Suspendidos Totales .....	169
Tabla 66 Datos Solidos Suspendidos Totales .....	169
Tabla 67 Datos Solidos Suspendidos Totales .....	170
Tabla 68 Sólidos Disueltos totales calculados.....	171
Tabla 69 Parámetros Color y Turbidez.....	172
Tabla 70 Parámetros Coliformes Totales y DBO <sub>5</sub> .....	172
Tabla 71 Índices de Oxígeno Disuelto calculados .....	177
Tabla 72 Índice calculados de calidad del agua - Turbidez .....	179
Tabla 73 Variables y ponderados.....	180
Tabla 74 Promedio índices de calidad del agua río Curubital.....	180

Tabla 75 Calificación de la calidad del agua en corrientes superficiales según los valores que tome el ICA .....	181
Tabla 76 Resumen parámetros parte alta .....	183
Tabla 77 Resumen parámetros parte media .....	183
Tabla 78 Resumen parámetros parte baja .....	183
Tabla 79 Criterios generales de calidad del agua para los diferentes usos del agua .....	184
Tabla 80 Criterio de calificación del uso del río Curubital .....	185
Tabla 81 Calificación del uso del agua del río Curubital .....	186

## LISTADO DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1 Vertedero río Curubital .....	29
Fotografía 2 Tubímetro; Método nefelométrico .....	34
Fotografía 3 Colorímetro - Escala Hazen .....	34
Fotografía 4 Vegetación parte media río Curubital .....	50
Fotografía 5 Reforestación – Cajeto .....	51
Fotografía 6 Reforestación - Aliso .....	51
Fotografía 7 Reforestación - Arrayan .....	52
Fotografía 8 Depósitos coluvial río Curubital .....	53
Fotografía 9 Terrazas fluviales laderas río Curubital .....	53
Fotografía 11 Curvímetro .....	71
Fotografía 12 Envases de toma de muestras .....	72
Fotografía 13 Implementación de hoja milimetrada .....	72
Fotografía 14 Tubidímetro .....	73
Fotografía 15 Peachímetro .....	73
Fotografía 16 Conductímetro .....	74
Fotografía 17 Nevera de icopor portátil .....	74
Fotografía 18 Filtros .....	75
Fotografía 19 Horno Humboldt .....	76
Fotografía 20 Bomba de Vacío .....	76
Fotografía 21 Equipo de filtración .....	77
Fotografía 22 Gramera .....	78
Fotografía 23 Colorímetro - Escala Hazen .....	78
Fotografía 24 Toma de muestra - Parte Alta .....	164
Fotografía 25 Parte alta - Medición de parámetros .....	165
Fotografía 26 Toma de muestras - Parte Media .....	166
Fotografía 27 Parte media - Medición de parámetros .....	167
Fotografía 28 Toma de muestras - Parte Baja .....	168
Fotografía 29 Parte baja - Medición de parámetros .....	168
Fotografía 30 Heces de animal río Curubital .....	174

## INTRODUCCIÓN

La densidad de drenaje en Colombia es bastante amplia debido a su ubicación en el hemisferio ecuatorial que lo caracteriza por ser una zona lluviosa durante todo el año. Sin embargo, debido a esto la variabilidad en los factores climáticos son más perjudiciales, en los últimos años han dado origen a fenómenos naturales como crecidas súbitas y tiempos mayores de estiaje que generan alteraciones en los ciclos hidrológicos y aumenta la vulnerabilidad a las diferentes poblaciones. Colombia tiene la tasa más alta de desastres naturales en América Latina, a pesar de esto Colombia es un país que depende principalmente de sus aguas superficiales para suplir las necesidades de agua potable y actividades como la agricultura, producción pecuaria, la silvicultura, las actividades industriales y diferentes usos potenciales de este recurso hídrico. Para ello se ha formulado una metodología que pretende identificar el estado y el comportamiento histórico de una cuenca hidrográfica en este caso el río Curubital ubicado en la ciudad de Bogotá que colinda en la zona rural de la localidad de Usme y la localidad del Sumapaz.

En esta investigación fueron considerados características morfométricas, factores climáticos como precipitación y caudales de la cuenca e indicadores de calidad del agua. Estos factores están relacionados con la descripción física de la cuenca, su comportamiento ante un fenómeno de precipitación o caudal, regímenes de caudales y usos del recurso hídrico.

Si bien, la evolución de caudales, precipitación y calidad del agua esta vigorosamente relacionada con las variables de orden natural, igualmente depende de las características sociales que se den en la zona de estudio, a causa de los diferentes usos del agua y del suelo, están condicionados a desempeñar un papel vital en diversos sectores de la economía. La disponibilidad y calidad del agua está debidamente relacionada con algunos factores importantes como el aumento en la población, la industrialización y urbanización que perjudican su calidad. Para evaluar la contaminación del agua se implementa un índice de contaminación que minimiza en gran medida el volumen de datos y expresiones del estado de calidad del agua. Este índice se basa en el número de factores físico-químicos y bacteriológicos.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El río Curubital está ubicado fuera del perímetro urbano de Bogotá de la localidad de Usme y hace parte de la Unidad de Planeación Rural (UPR) de Bogotá Distrito Capital, también se localiza en el departamento de Cundinamarca a una altura aproximada de 3600 m.s.n.m, el río Curubital desagua al embalse La Regadera de donde se abastecen las Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) El Dorado y La Laguna.

La cuenca hidrográfica Curubital genera las descargas de agua al embalse La Regadera que tiene una capacidad de almacenar 3.8 millones de metro cúbicos (m<sup>3</sup>)<sup>1</sup> cuya capacidad en épocas de invierno no alcanza a almacenar el volumen de agua que aportan los ríos Curubital y Chisacá, lo que genera reboses en el embalse, y, en consecuencia, reboses al río Tunjuelo aumentando la vulnerabilidad a las localidades ubicadas aguas abajo; como por ejemplo “alarmas amarillas en el último año que provienen de descargas de los embalses de Chisacá y La Regadera”<sup>2</sup>. Además, se ha evidenciado que en los últimos años debido a los cambios climáticos las temporadas de verano e invierno varían de forma inesperada ocasionando que los niveles de caudales presenten variaciones a causa de la variabilidad en las precipitaciones, radiación solar, humedad entre otros.

También el incremento de las temperaturas a lo largo de los últimos cincuenta (50) años es atribuible a las actividades humanas, por lo cual “Colombia ha registrado unas alzas de cinco (5) °C y seis (6) °C en algunos departamentos del país. Cundinamarca es uno de los departamentos del país que presenta más vulnerabilidad por desabastecimiento de agua, debido a las condiciones secas que está generando el fenómeno del Niño en el país”<sup>3</sup>, dado que estos fenómenos originan alteraciones en los ecosistemas, ciclo hidrológico; el río Curubital está expuesto a presentar disminución o aumentó en sus caudales y un cambio en su calidad de agua a causa de estas variaciones, los cultivos transitorios que hay en la zona, uso de agroquímicos inadecuados, frecuentemente por negligencia o malas costumbres de trabajo, manejo inadecuado de residuos sólidos, así como la quema de estos, el sobre pastoreo, la construcción de edificaciones en zonas aledañas y deforestación en la última década; en efecto esto genera alteraciones en el caudal del río Curubital causando riesgos en las poblaciones aledañas y aquellas que se benefician de este cauce.

---

<sup>1</sup> TORRES QUINTERO, Ernesto, VELÁZQUEZ, Marly Carolina. Diagnóstico Ambiental de las Cuencas Hidrográficas de Embalses en Colombia, Análisis Hidrológico par el Embalse de La Regadera. 2009., Universidad Libre. Disponible en: [http://www.unilibre.edu.co/revistaavances/avances\\_10/r10\\_art10.pdf](http://www.unilibre.edu.co/revistaavances/avances_10/r10_art10.pdf)

<sup>2</sup> EL TIEMPO. Bogotá. 30 de junio del 2015. Disponible en: <http://www.eltiempo.com/bogota/lluvias-en-bogota-río-tunjuelo/16022597>

<sup>3</sup> EL TIEMPO. Bogotá. Enero del 2016. Disponible en: <http://m.eltiempo.com/bogota/fenomeno-del-nino-cause-desabastecimiento-de-agua-en-cundinamarca/16320077>

A causa del contexto anterior se propone responder la siguiente pregunta de investigación.

**¿Cuáles han sido las variabilidades de las precipitaciones, caudales (1970 – 2015) y los indicadores de la calidad del agua del río Curubital en el mes de octubre 2016?**

## 2. JUSTIFICACIÓN

Las eventualidades de los cambios climáticos que se han presentado en Colombia como el déficit de precipitaciones han causado la disminución de los caudales y racionamientos de agua para el consumo humano y energético del país; sin embargo, en temporadas invernales aumenta los niveles de los cauces creando alarmas de inundaciones. Por consiguiente, es importante identificar la variabilidad climática y el impacto sobre las cuencas hídricas; no obstante, el río Curubital es una fuente de abastecimiento para la ciudad de Bogotá y zonas aledañas, y generador de aguas abajo del río Tunjuelo. Por esta razón es importante conocer sus características hidráulicas e hidrológicas debido a que se han presentado eventualidades como inundaciones, alarmas de desbordamiento, deslizamiento y temporadas de estiaje que pueden alertar a la sociedad, por lo tanto, es posible predecir con estas características en que épocas del año se evidencian aumento o disminución en los caudales y cuales han sido los años más críticos y en efecto buscar alternativas de solución para mitigar estas eventualidades.

También es importante identificar la calidad del agua de los ríos dado que se puede establecer los proyectos de planeación de abastecimiento, estudios sobre la pesca, control estético, sistemas de riego, energía hidroeléctrica y otros usos. Puesto que el río Curubital hace parte del sistema de abastecimiento La Regadera, además es fuente de riego para las zonas aledañas, es notable determinar las características del agua visto que al usar este recurso en condiciones no óptimas puede ocasionar problemas de salud. Según “La Organización Mundial de la Salud (OMS), existen por lo menos 25 enfermedades que pueden ser provocadas por la contaminación del agua. En el caso de Colombia, las enfermedades más comunes por esta causa son hepatitis A, fiebre tifoidea/paratifoidea y enfermedad diarreica aguda, advierte el Instituto Nacional de Salud. Esta última cobró las vidas de 117 niños menores de 5 años en el 2013”<sup>4</sup>, razón por la cual es indispensable que en el río Curubital que tanto abastece zonas de riego y a ciudades aledañas se le debe tener una evaluación de la calidad del recurso hídrico para prevenir enfermedades entre otras. Además, el “Índice de Riesgo para el Consumo de Agua Potable (IRCA) en los acueductos veredales de Usme es de 49,86%, lo que significa que en general el agua proveniente de éstos no es apta para el consumo humano”<sup>5</sup>. Debido a lo anteriormente referenciado es considerable conocer el estado del río Curubital para que la población cuente con un recurso hídrico de alta calidad y del mismo modo analizar la contaminación a la que está expuesta el cauce para mitigar la propagación de enfermedades; además la información obtenida por la

---

<sup>4</sup> EL TIEMPO. 24, marzo. 2015. Disponible en: <http://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/agua-potable-en-colombia-/15445939>

<sup>5</sup> LEÓN GARCÍA, Juan Carlos. Plan Ambiental Local. Disponible en: <http://www.ambientebogota.gov.co/documents/10157/2883159/PAL+USME+2013-2016.pdf>. p. 15

investigación permitirá conocer el desarrollo de posibles eventos que puedan afectar a los habitantes, y brindar a las empresas competentes posibles alternativas de prevención.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

- Evaluar de forma estadística el comportamiento de las precipitaciones, caudales mínimos, medios y máximos (1970 – 2015) e indicadores de la calidad del agua del río Curubital en el mes de octubre 2016.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar los regímenes de precipitación y caudales del río, igualmente las tendencias de calidad del agua en diferentes períodos a partir de información secundaria obtenida por entidades públicas y/o privadas.
- Determinar los parámetros de calidad del agua como pH, temperatura, turbidez, conductividad, color, sólidos suspendidos totales, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno y coliformes totales.
- Analizar estadísticamente la variabilidad de la precipitación, caudales e indicadores de la calidad de agua del río Curubital.

#### 4. ANTECEDENTES

Para la presente investigación se realizó un análisis exhaustivo de la información encontrando antecedentes a nivel nacional, como por ejemplo, el “Diagnóstico Ambiental de las Cuencas Hidrográficas de Embalses en Colombia, Análisis Hidrológico para el Embalse de La Regadera”<sup>6</sup>, esta investigación hace referencia a las características ambientales sobre las cuencas hidrográficas que abastece el Embalse La Regadera, a partir de información hidrológica con el objetivo de analizar el comportamiento de los ríos afluentes al embalse identificando los volúmenes de precipitación comprendidos entre los años 1998 y 2008 debido a los principales fenómenos como las inundaciones, alteraciones del río debido a causas de acciones antrópicas y al crecimiento poblacional en lugares expuestos a esta anomalía. Con el propósito de hacer el análisis determinaron cuantificar parámetros morfológicos y morfométricos para llevar a cabo la descripción no sólo del embalse sino también de las cuencas particulares a este. Por otra parte, realizaron una recopilación de información meteorológica analizando la precipitación media anual en los años anteriormente mencionados y comparando con el último año (2008) donde obtuvieron como resultado que la época de aumento de lluvias estuvo entre los meses de abril a agosto, con un pico en el mes de mayo. Por consiguiente, mayo fue el mes donde evidenciaron mayores volúmenes de precipitación en toda la zona de las cuencas principales de afluentes del embalse La Regadera.

De acuerdo con la investigación se determina que debido al deterioro ambiental durante los últimos años las cuencas tributarias al embalse La Regadera también son vulnerables a estos cambios como el incremento de la erosión debido a la deforestación, el aumento de los sedimentos de los ríos causando la acumulación de estos en el fondo y así disminuyendo la vida útil del embalse. Además, el embalse se ha deteriorado debido a fuentes contaminadas como cultivos en las márgenes de los cauces, la presencia de animales semoviente y la tala indiscriminada en las áreas de influencia. Por lo tanto, esta información refleja la importancia de identificar no solo los regímenes de caudales si no determinar los factores de calidad de los ríos que desembocan al embalse La Regadera, de igual manera se puede evaluar la precipitación media multianual comprendiendo más años y determinando que períodos han presentado estados críticos.

Igualmente en el año 2011 elaboraron una investigación titulada Análisis de régimen de caudales y estudio de la calidad de agua del río y humedal Torca, con el objetivo de analizar el comportamiento de los caudales medios, máximos y la influencia de los agentes químicos en el estancamiento del agua del canal de

---

<sup>6</sup> TORRES QUINTERO, Ernesto y VELÁZQUEZ, Marly Carolina. Diagnóstico Ambiental de las Cuencas Hidrográficas de Embalses en Colombia, Análisis Hidrológico par el Embalse de La Regadera. 2009., Universidad Libre. Disponible en: [http://www.unilibre.edu.co/revistaavances/avances\\_10/r10\\_art10.pdf](http://www.unilibre.edu.co/revistaavances/avances_10/r10_art10.pdf)

Torca<sup>7</sup>, la investigación surgió debido a las eventualidades como los desbordamientos e inundaciones en la zona estudio por la presencia de altas precipitaciones, la falta de mantenimiento hacia el río Torca e indicadores que demuestran la baja calidad del agua. La metodología implementada fue de tipo descriptiva y analítica, asimismo la información para efectuar el análisis la recopilaron por medio de entidades, los datos seleccionados por el investigador fueron de estaciones pluviométricas para evaluar el caudal del río Torca y por medio de monitoreo de la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) estableció las irregularidades de sustancias contaminantes en el agua. Por último, el estudio identificó como caudales máximos los años 1991 y 1999, igualmente los caudales mínimos mensuales en dos temporadas del año (marzo- abril) (octubre–noviembre), además la calidad del agua presentó sustancias disueltas como cadmio y cobre de tipo industrial que pueden afectar la salubridad del ser humano debido a que esta sustancia si es ingerida elevadamente puede producir lesiones pulmonares, enfermedades renales entre otros. Con relación a la investigación por realizar se puede reflejar que debido a las acciones antrópicas los ríos pueden estar expuestos a cambiar su calidad y presentar sustancias toxicas que aumentan la vulnerabilidad al ser humano, además es evidente conocer los períodos de régimen de caudales para determinar los intervalos de tiempos que pueden presentar aumento o disminución en sus cauces y así predecir los comportamientos de los ríos. Asimismo, la metodología utilizada en la anterior investigación concuerda con la expuesta en esta investigación debido a que se busca conocer las características del lugar para establecer relaciones a los diferentes factores y variables, para así identificar las causas del problema.

Por otro lado, los análisis llevados a cabo sobre cuencas hidrográficas principales del país son sugerentes a la investigación, como por ejemplo, el “Estudio de la Tendencias de los Caudales Medios del Río Magdalena comprendido entre 1964 y 2010”<sup>8</sup>, la cual para la ejecución del estudio el autor seleccionó una información sobre trece (13) estaciones meteorológicas que determinarían una confiabilidad y precisión en la investigación, y así analizar los registros de los caudales medios de cada estación, igualmente los valores anuales de caudales en un período de 47 años (1964 - 2010) para determinar en qué tiempo se presenta promedio de caudales máximos y mínimos. En efecto la variación del caudal en las estaciones estudiadas presentó un aumento en las precipitaciones, pero debido a las altas temperaturas en el cauce perjudica rápidamente el río, no solo el clima es un factor que afecte el río sino también las escorrentías superficiales y sub-

---

7 MONROY PERILLA, Norma Constanza, Análisis de Régimen de Caudales y Estudio de la Calidad de Agua del Río y Humedal Torca. Trabajo de grado Ingeniería Civil. Bogotá D.C. 2011.66 h.

<sup>8</sup> CORTEZ MALDONADO, Harold Mauricio, Estudio de la Tendencias de los Caudales Medios del Río Magdalena comprendido entre 1964 y 2010. Trabajo de grado ingeniería Civil. Bogotá D.C. 2013. 167 h.

superficiales dos procesos de aportes de caudal al río Magdalena en el cual estos factores se han deteriorado ampliamente por usos antrópicos. De esa manera se puede analizar el río Curubital proyectando los caudales a partir de las estaciones meteorológicas y realizando una evaluación precipitación-caudal (sus relaciones) con el fin de establecer el comportamiento hidrológico de la cuenca.

Hay que mencionar, además la importancia de tener en cuenta la calidad de los recursos hídricos debido a los diferentes usos, proyectos y necesidades del hombre. A causa de que los factores de la contaminación hídrica han aumentado generando efectos en la calidad del agua. Dado a lo anterior la Universidad de Los Andes y Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) han elaborado investigaciones como la “Calidad del recurso hídrico de Bogotá (2011-2012)”<sup>9</sup>, con el fin de conocer las características de los principales afluentes del río Bogotá, como lo son los ríos urbanos Tunjuelo, Fucha, Salitre y Torca por medio de monitoreo y toma de muestras para identificar los parámetros fisicoquímicos y microbiológico de cada uno de los ríos en diferentes tramos y evaluar la variabilidad de la calidad del agua en las zonas de estudio. Finalmente fue realizado un estado de los ríos determinando la calidad del recurso hídrico en cada tramo de estudio y una comparación con los resultados obtenidos de investigaciones similares en años anteriores. De tal manera el río Curubital contribuye sus aguas al río Tunjuelo estableciendo que la calidad del agua en la parte alta del río Tunjuelo tenga una similitud y se pueda relacionar las características fisicoquímicas de esta investigación, más aun la metodología usada permite ejecutar un análisis que genere exactitud a las características del río y así implementar un muestro verídico en el transcurso del cauce, estableciendo que parámetros en el agua presentan una variabilidad y en efecto identificar el índice de calidad de agua en la fuente superficial.

Hoy en día a nivel nacional se han presentado trabajos de suma importancia como los mencionados anteriormente para la formación de futuros ingenieros que permiten hacer una cuantificación respecto a fenómenos hidrológicos y de calidad de agua, sin embargo, internacionalmente se encuentran estudios como: “Umbral de régimen de flujo hidrológico e investigación de los efectos del cambio climático, el caso de la cuenca del río Brahmaputra Baja”<sup>10</sup>, ubicado en Asia, la investigación fue basada en elaborar una caracterización de los régimen de caudales en el ámbito ecológico y social identificando la magnitud, frecuencia,

---

<sup>9</sup> SALVADOR RODRIGUEZ, Manuel *et al.* Calidad del recurso hídrico de Bogotá (2011-2012) desde PORRAS, Lina, PEREZ HOYOS, Alma, RODRIGUEZ RUIZ, Lina María, MEDINA MUÑOZ, Sandra. Bogotá: Universidad de Los Andes, Secretaria Distrital de Ambiente, 2011. 268 p. ISBN:978-958-695-834-9

<sup>10</sup> GAIN, Animesh K *et al.* Thresholds of hydrologic flow regime of a river and investigation of climate change impact: The case of the Lower Brahmaputra river Basin. [En línea]. Dordrecht: Springer Science & Business Media, 2013. 14 p. Disponible en: <http://search.proquest.com.ugc.elogim.com:2048/docview/1423024275?accountid=50439>

duración, periodicidad y velocidades del flujo, en el período (1956-2004), para determinar la variabilidad, el impacto ambiental y como estas características pueden generar vulnerabilidad en los cauces y asimismo hacia la sociedad. Los métodos implementados se fundaron en cuantificar y analizar los caudales máximos para determinar los volúmenes de inundación en diferentes tiempos de retorno y los posibles efectos del cambio climático en el futuro debido al deshielo de los glaciares que aumentan el caudal del cauce. En cuanto a los resultados indicaron que para los próximos años se podrá generar un aumento en la vulnerabilidad social y ambiental debido a inundaciones originadas al cambio climático perjudicando las cosechas como el arroz, verduras y otras variedades de cultivos, produciendo cambios en el sistema que altere las adaptaciones de ciertas especies animales que viven en el río Brahmaputra. De esta manera la finalidad hacia la investigación a ejecutar es relacionar el comportamiento del flujo de agua en el río Curubital en diferentes períodos y examinar que variables pueden causar el deterioro o mejora en el cauce a partir de estudios estadísticos y como vincular en la realidad el cambio climático y las actividades antrópicas de manera semejante considerando las cuestiones de calidad del agua.

Además, en cuanto a la calidad del agua son varias las publicaciones internacionales sobre cuencas hidrográficas una de ellas realizada por Hefni Effendi<sup>11</sup>, donde se infiere el uso del índice de contaminación del agua para establecer la calidad del río Ciapus, río Cihideung y el lago ubicado en el campus de Dramaga - Indonesia, esto debido al uso de estos recursos para las diversas actividades económicas y sociales de la población. Este índice evalúa los aspectos físico-químicos y parámetros bacteriológicos con el fin de reducir al mínimo el volumen de datos en gran medida y aclara la condición del estado de la calidad del agua. Hay que mencionar que los investigadores implementaron cinco (5) lugares de monitoreo para determinar el índice de contaminación donde establecían cada aspecto y sus respectivos cálculos eran formulados en Excel. Estos resultados eran comparados con la normatividad del gobierno de Indonesia para identificar si estos ríos cumplían con las medidas estandarizadas y de igual modo describir que usos podían percibir la población de estas fuentes hídricas. Teniendo en cuenta los cinco lugares de monitoreo y la reglamentación concluyeron que el índice de contaminación para los ríos y el lago era de (0,728 a 0,892), indicando buena calidad del agua, especialmente para las actividades como pesca y cría de animales. Lo anterior puede hacer énfasis al estudio sobre el río Curubital en vista que este cauce presenta diferentes usos para las zonas aledañas como lo es la agricultura y generador de agua potable para la ciudad de Bogotá, de manera semejante es posible interpretar un índice de calidad para

---

<sup>11</sup> EFFENDI Hefni. River water quality preliminary rapid assessment using pollution index. [En línea].2015. Centre for Environmental Research. Bogor Agricultural University. Indonesia [citado 29 sept., 2016]. Disponible en [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

correlacionarlo con la normatividad nacional y comprobar en qué estado se encuentra la cuenca y que manejo se puede atribuir.

## 5. MARCO DE REFERENCIA

### 5.1 MARCO CONCEPTUAL

**5.1.1. Ciclo Hidrológico:** Es el conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido y gaseoso), como en su forma (agua superficial, agua subterránea, entre otras.). El ciclo hidrológico, es completamente irregular y es precisamente contra estas irregularidades que lucha el hombre<sup>12</sup>. Sin embargo, se puede observar que la cantidad total de agua permanece prácticamente en constante equilibrio debido a ser un ciclo y que está conformado por diferentes fases; algunas definiciones del ciclo hidrológico son<sup>13</sup>:

- **Evaporación:** Emisión de vapor de agua por una superficie libre a temperatura inferior a su punto de ebullición.
- **Transpiración:** Proceso por el cual el agua de la vegetación pasa a la atmósfera en forma de vapor.
- **Evapotranspiración:** Proceso por el cual el agua se evapora desde las superficies húmedas y se transpira desde las plantas
- **Precipitación:** Son todas las aguas meteóricas que caen en la superficie de la tierra, bajo la forma líquida o sólidas.
- **Infiltración:** Intercambio entre el agua que corre por la superficie y la que penetra en el suelo.
- **Filtración:** Movimiento y paso de agua que penetra dentro del suelo.
- **Escorrentía superficial:** Es aquella que proviene de la precipitación no infiltrada y que escurre sobre la superficie del suelo.
- **Escorrentía subterránea:** Es aquel que proviene del agua precipitada que se infiltra, una vez que el suelo se ha saturado.

---

<sup>12</sup> CHOW, Ven Te. Hidrología Aplicada. [en línea]. 8 p. [citado 19, abril., 2016]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/Ashleyxita/hidrologia-aplicada-ven-te-chow-mc-graw-hill-completo-ocioso>

<sup>13</sup> MONSALVE SÁENZ, Germán. Hidrología en la ingeniería. 2ª Ed. Bogotá: Escuela Colombiana de ingeniería. Enero. 1999. 21 p. ISBN: 958-95742-1-1

**Figura 1 Ciclo Hidrológico**



Fuente: [www.google.com/ciclohidrologico](http://www.google.com/ciclohidrologico) (19 abril., 2016)

**5.1.2 Caudal:** Es la cantidad de fluido que avanza en una unidad de tiempo o al volumen de agua que circula por el cauce de un río en un lugar y tiempo determinados. Se refiere fundamentalmente al volumen hidráulico de la escorrentía de una cuenca hidrográfica concentrada en el río principal de la misma. Estos pueden ser generados por precipitaciones que caen sobre su cuenca vertiente y las características propias de la cuenca<sup>14</sup>. Estudiar el caudal es de gran interés debido a que son requeridos para realizar obras de construcción hidráulicas como lo son proyectos de presas, abastecimiento, entre otros que permiten al ingeniero identificar y pronosticar eventualidades. Adicionalmente los caudales se pueden clasificar de la siguiente forma:

- **Caudal promedio diario (Qmd):** Son calculados a partir de la altura (h) leída en la escala de limnimétrica o de la registrada por un limnógrafo de una estación de aforo, considerada para el día, utilizando la curva de calibración. La altura promedio se determina de dos (2) lecturas diarias tomadas comúnmente en un intervalo de cada 12 horas.<sup>15</sup>

<sup>14</sup> SILVA, Gustavo. Hidrología básica. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia 1998 p.

<sup>15</sup> *Ibíd.*, p. 60

### Ecuación 1 Caudal promedio diario

$$Q_{md} = \frac{Fq(N1) + Fq(N2)}{2}$$

- **Caudal promedio mensual (Qmm):** El caudal medio mensual es el promedio de los 28,29,30 o 31 caudales medios diarios de un mes.<sup>16</sup>

### Ecuación 2 Caudal promedio mensual

$$Q_{mm} = \frac{\sum_{i=1}^M Q_{md}}{M}$$

Donde **M** es número de días del mes correspondiente.

- **Caudal promedio anuales o módulos (Qma):** El caudal medio anual es el promedio de los caudales medios mensuales.<sup>17</sup>

### Ecuación 3 Caudal promedio anual

$$Q_{ma} = \frac{\sum_{i=1}^{12} Q_{mm}}{12}$$

**5.1.3 Cálculo de caudal:** Existen varios métodos para determinar el caudal de un río, que está recorriendo por una sección, los métodos dependen particularmente por las condiciones del sitio dentro de los cuales se pueden mencionar:

- **Método del Molinete Hidrométrico:** Este método consiste en calcular la velocidad de cada vertical, usando el método uno, dos o tres puntos en cada sección transversal determinando el área existente en dos verticales consecutivas. Las sumas de los caudales de estos segmentos representan el caudal total.<sup>18</sup> (figura 2).

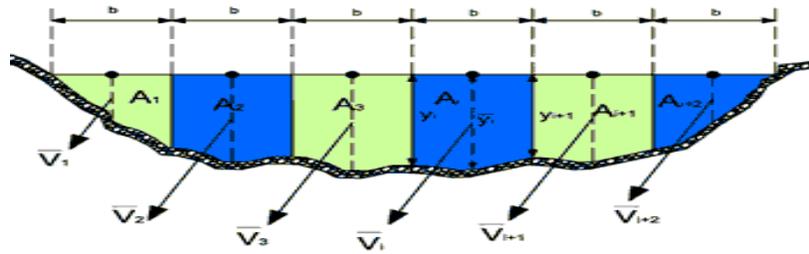
---

<sup>16</sup> *Ibíd.*, p. 60

<sup>17</sup> *Ibíd.*, p. 60

<sup>18</sup> INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES DE COLOMBIA [en línea]. Medición de caudal. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/012406/Cap11.pdf>

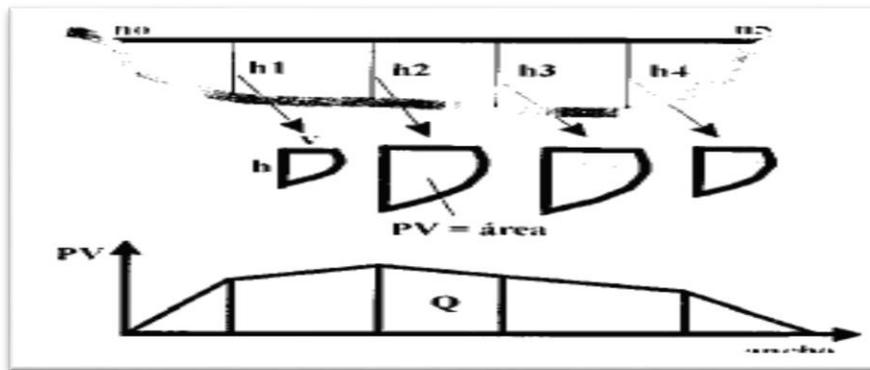
**Figura 2 Método área-velocidad**



Fuente: [www.ingenierocivilinfo.com](http://www.ingenierocivilinfo.com) (19 abril., 2016)

- **Método de las parábolas:** Este método consiste en trazar para cada vertical, la curva profundidad-velocidad, seguidamente calcular las áreas de las parábolas donde cada área calculada representa un caudal por unidad de ancho. Luego trazar la curva profundidad-velocidad vs ancho y finalmente calcular con un planímetro o balanza analítica el área de la curva anterior, la cual representa el caudal.<sup>19</sup> (figura 3)

**Figura 3 Método de las parábolas**



Fuente: VILLON BERJAN, Máximo. Hidrología

Estos métodos son solo algunos de los utilizados en campo, pero las mediciones del caudal de corrientes naturales no tienen la certeza debido a que el canal suele ser irregular y por lo tanto la relación entre el nivel del agua y caudal también presenta alteraciones, además estas corrientes son expuestas a fenómenos naturales que generan variabilidad. Es por esto que es posible obtener cálculos más verídicos cuando el caudal pasa a través de una sección o estructura con una determinada área como son los vertederos (fotografía 1).

<sup>19</sup> VILLON BERJAN, Máximo. Hidrología. 2<sup>ed</sup> Peru, Lima: MaxSoft. 2002. 216 p. Disponible en: <http://civilgeeks.com/2014/08/31/libro-de-hidrologia-maximo-villon/>

## Fotografía 1 Vertedero río Curubital

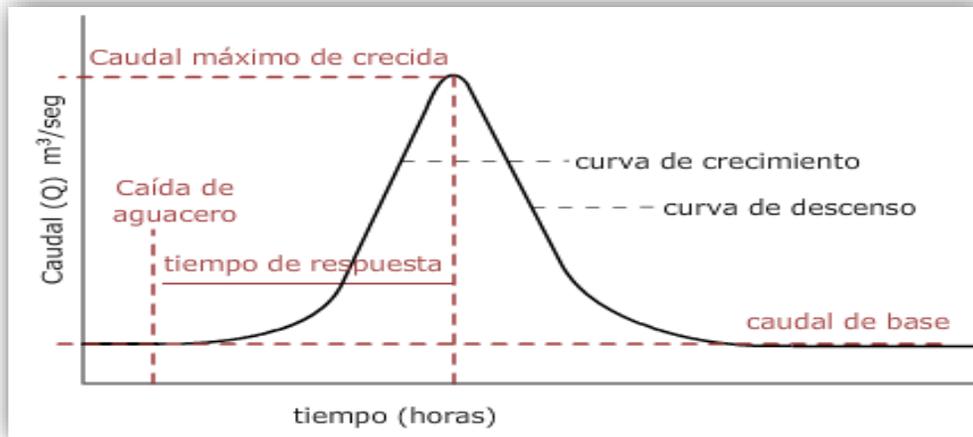


Fuente: Propia

**5.1.4 Hidrograma:** Es la representación gráfica o una tabla que muestra la tasa de flujo como función del tiempo en un lugar dado de la corriente. En efecto, el hidrograma es una expresión integral de las características fisiográficas y climáticas que rigen las relaciones entre la lluvia y la esorrentía de una cuenca de drenaje particular.<sup>20</sup>

Los hidrogramas presentan variabilidad a causa de las temporadas climáticas y cronológicas en el tiempo, las precipitaciones y el ciclo hidrológico que es evidenciado en las gráficas y como se observa en la (figura 4).

### Figura 4 Hidrograma



Fuente: <https://www.google.com.co/search?q=hidrograma/imagenes> (19, abril, 2016)

<sup>20</sup> CHOW, Ven Te. Hidrología Aplicada. [en línea]. 135 p. Disponible en: <http://es.slideshare.net/Ashleyxita/hidrologia-aplicada-ven-te-chow-mc-graw-hill-completo-ocioso>

Sin embargo, los caudales que puede transportar una corriente hidráulica están en función de sus características. Las características físicas dependen de la morfología, usos del suelo, tipos de suelo, geología, cobertura vegetal entre otros.

A continuación, se describen ciertas características geomorfológicas de una cuenca:

**5.1.5 Área de drenaje:** Es el área plana (proyección horizontal) incluida entre su divisoria topográfica<sup>21</sup>.

**5.1.6 Divisoria:** Es la línea que separa las precipitaciones que caen en hoyas inmediatamente vecinas, y que encaminan la escorrentía resultante para una u otra cuenca.

**5.1.7 Perímetro:** Corresponde la longitud de la línea divisoria que define los límites de la cuenca y depende de la superficie y forma de ésta.

**5.1.8 Longitud:** Es la distancia horizontal, medida a lo largo del cauce principal, entre el punto de salida de la cuenca y el límite definido para la cuenca.

**5.1.9 Factor de forma (Kf):** Expresa la relación, entre el ancho promedio de la cuenca y su longitud<sup>22</sup>.

#### **Ecuación 4 Factor de forma**

$$Kf = \frac{B}{L}$$

En donde

**B:** Ancho medio.

**L:** Longitud cauce principal.

**5.1.10 Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad (Kc):** Es la relación entre el perímetro de la hoya y la longitud de la circunferencia de un círculo de área igual a la de la hoya<sup>23</sup>:

#### **Ecuación 5 Índice de Gravelius**

$$Kc = \frac{0.28 * P}{A^{1/2}}$$

En donde

---

<sup>21</sup> MONSALVE SÁENZ, Germán. Hidrología en la ingeniería. 2ª Ed. Bogotá: Escuela Colombiana de ingeniería. Enero. 1999. 37 p. ISBN: 958-95742-1-1

<sup>22</sup>VILLON BERJAN, Máximo. Hidrología. Costa Rica. 39 p. Disponible en: <http://civilgeeks.com/2014/08/31/libro-de-hidrologia-maximo-villon/>

<sup>23</sup> MONSALVE SÁENZ, Germán. Op.Cit., p. 37

**P:** Perímetro de la hoya.  
**A:** Área de drenaje de la hoya.

**5.1.11 Densidad de drenaje (Dd):** Es la relación entre la longitud total de los cursos de agua de la cuenca y su área total<sup>24</sup>.

**Ecuación 6 Densidad de drenaje**

$$Dd = \frac{L}{A}$$

En donde

**L:** Longitud total de las corrientes de agua.  
**A:** Área total de la cuenca.

**5.1.12 Pendiente (S):** La pendiente de un tramo de río se considera como el desnivel entre los extremos del tramo dividido, por la longitud horizontal de dicho tramo.

**Ecuación 7 Pendiente**

$$S = \frac{H}{L}$$

Donde:

**S:** Pendiente de un tramo o río.  
**H:** Desnivel entre los extremos del cauce.  
**L:** Longitud horizontal del cauce.

**5.1.13 Estimación de datos:** Dado que el registro histórico de ciertas estaciones meteorológicas a nivel nacional no cuenta con todos los datos a causa de negligencia del operador o a la ausencia de equipos durante un determinado tiempo, esta información debe ser estimada para completar dichos registros. Hay diferentes métodos para concluir estos datos.

En general se puede utilizar la siguiente fórmula, siempre y cuando se conozca datos durante ese período en otras estaciones cercanas<sup>25</sup>.

**Ecuación 8 Estimación de datos faltantes**

$$Px = \frac{1}{n} \left[ \left( \frac{Nx}{N1} \right) P1 + \left( \frac{Nx}{N2} \right) P2 + \dots + \left( \frac{Nx}{Nn} \right) Pn \right]$$

En donde:

---

<sup>24</sup> Ibid., p. 39

<sup>25</sup> Ibid., p. 84

**Px:** Precipitación (faltante) de la estación en estudio “x” durante el período de tiempo por completar Perímetro de la hoya.

**n:** Número de estaciones pluviométricas con datos de registro continuos cercanas a la estación 2x”, la cual va a ser completada en su registro.

**Nx:** Precipitación media anual a nivel multianual de la estación “x”.

**N1 a Nn:** Precipitación media anual a nivel multianual de las estaciones de 1 a n.

**P1 a Pn:** Precipitación de las estaciones 1ª n durante el período de tiempo por completar.

Respecto a los estudios hidrológicos es evidente la importancia del comportamiento del agua en la naturaleza debido a que es el recurso más esencial para los seres humanos, pero también puede ser analizada a causa de las condiciones de cambio climático, disponibilidad y la calidad del mismo. Por lo tanto, es importante conocer las propiedades del agua en las corrientes hídricas dado a los diferentes usos (agricultura, recreación, industria, comercio, entre otras).

“Esta consideración nos conduce al concepto de que el agua en estado absolutamente puro es una condición en términos prácticos ideal y que la realidad es que en la mayoría de los casos tenemos presencia de cierta cantidad de sustancias valor límite desde el punto de vista de la norma depende de los usos para los cuales se destina”<sup>26</sup>.

Las aguas naturales, al estar en contacto con diferentes agentes (aire, suelo, vegetación, subsuelo, etc.), incorporan parte de los mismos por disolución o arrastre, e incluso, en el caso de ciertos gases, por intercambio.

**5.1.14 Concentración:** Expresa la cantidad de una sustancia contenida en el agua cuyo origen puede estar relacionado con determinada actividad. La concentración es la relación entre el peso observado de una sustancia y el volumen líquido que la contiene<sup>27</sup>.

#### **Ecuación 9 Concentración**

$$C = P/V$$

Dónde:

**C:** Concentración (mg/L, kg/m<sup>3</sup>, Lb/p<sup>3</sup>...)

**P:** Peso de la sustancia (gr, kg, Lb...)

---

<sup>26</sup> VALENCIA MONEDERO, Carlos Hernán. Aguas Residuales: Una Visión Integral. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2016. 192 p. ISBN 978-958-8972-09-1

<sup>27</sup> Ibíd., p. 28

**V:** Volumen (l, m<sup>3</sup>, p3...)

**5.1.15 Carga:** Es el resultado del producto de caudal por la concentración y expresa el flujo de la sustancia por unidad de tiempo<sup>28</sup>.

#### **Ecuación 10 Carga**

$$W = P/T$$

Dónde:

**W:** Carga (kg/día, mg/s...)

**T:** Tiempo

Con relación a lo anterior podemos concluir que ciertos factores ocasionan la degradación del agua y cambios en sus parámetros como:

**5.1.16 Parámetros Físicos:** Son aquellas que se pueden detectar con los sentidos, lo cual implica que tienen incidencia directa sobre las condiciones estáticas del agua. Las características físicas son:

**5.1.16.1 Turbidez o Turbiedad:** Es una expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua; en otras palabras, la turbiedad es la propiedad óptica de una sustancia que hace que la luz sea reemitida y no transmitida a través de la suspensión.<sup>29</sup>

Las principales causas de la turbidez son debido a la erosión causada por las corrientes, situación que aumenta notablemente en épocas de invierno, procesos de arrastre y también por vertimientos urbanos e industriales.

La turbiedad se expresa en unidades de turbiedad. Sin embargo, el método nefelométrico que es una técnica analítica basada en la dispersión de la luz por partículas en suspensión, que mide la intensidad de la luz dispersada a 90° grados cuando un rayo de luz pasa a través de una muestra de agua. El método de bujía Jackson es la producida al agregar 1 mg de sílice (SiO<sub>2</sub>), a un litro de agua destilada. Aunque el método nefelométrico es actualmente el más utilizado y se expresa en Unidades Nefelométrías de Turbidez (UNT).

Este parámetro se utiliza para establecer el grado de tratamiento requerido para una fuente de agua. Además, esta característica puede ser medible en el campo

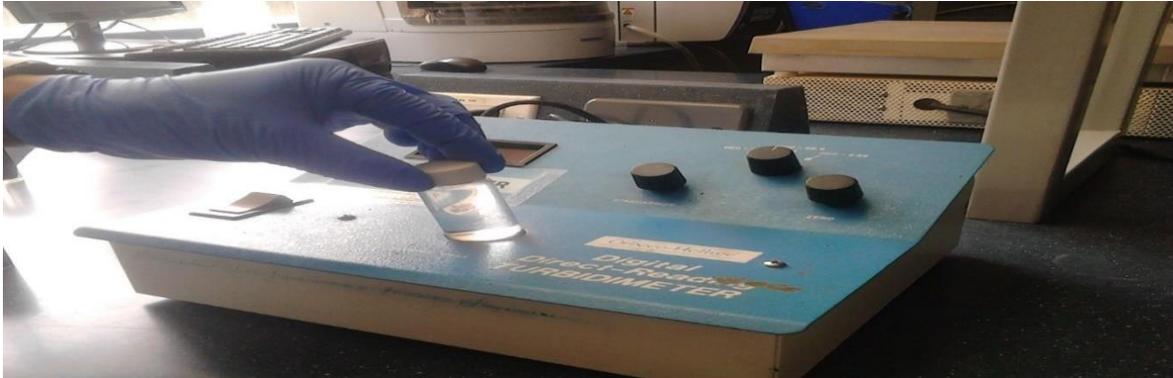
---

<sup>28</sup> *Ibíd.*, p. 28

<sup>29</sup> ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. *Calidad del agua*. 2<sup>da</sup> ed. Santa Fe de Bogotá. Escuela Colombiana de Ingeniería. 2005. 107 p. ISBN 958-8060-53-2.

debido a instrumentos tecnológicos como son los turbidímetros (Fotografía 2) que implementan el método nefelométrico anteriormente mencionado.

### Fotografía 2 Tubímetro; Método nefelométrico.



Fuente: Propia

**5.1.16.2 Color:** Las causas más comunes del agua son la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, madera, raíces, entre otros, en diferentes estados de descomposición, y la presencia de taninos, ácido húmico y algunos residuos industriales<sup>30</sup>. Los efectos del color en el agua producen molestias para el ser humano y la vida acuática, debido a la disminución de la transparencia que interviene en la barrera a la luz solar produciendo reducción de los procesos fotosintéticos.

Hay dos tipos de color en el agua: el color verdadero, que es el que se presenta cuando se ha eliminado la materia en suspensión, y el color aparente, que es el color que presenta el agua cruda.

La unidad de color es el color producido por un mg/L de platino, en forma de ion cloroplatinato. Sin embargo, existen métodos convencionales para analizar el color como la escala de Hazen como se observa en la fotografía 3, que consiste en una comparación de la muestra con agua destilada.

### Fotografía 3 Colorímetro - Escala Hazen



Fuente: Propia

<sup>30</sup> Ibid., p. 109

**5.1.16.3 Olor y Sabor:** El olor y el sabor están, en general íntimamente relacionados.

Muchas pueden ser las causas de olores y sabores en el agua, en general, los compuestos inorgánicos no producen olor, excepto el cloro, sulfuro de hidrogeno, amoniaco y derivados. En cambio, si suministra determinados sabores, sobre todos ácid

os, salados y en su caso metálicos. Los compuestos orgánicos suelen producir tanto sabores como olores.

Un procedimiento para determinar el olor consiste en diluir muestras del agua la muestra de agua analizar, a 200 mL, con agua destilada libre de olor, hasta encontrar la mayor dilución a la cual se alcanzó a percibir el olor. En general, el número detectable puede calcularse así<sup>31</sup>:

#### **Ecuación 11 Determinación de olor**

$$\text{OLOR} = \frac{A + B}{A}$$

Dónde:

**A:** mL de muestra

**B:** mL de agua libre de olor

**5.1.16.4 Temperatura:** Es una magnitud física que está relacionada con la sensación de calor o frío que se siente en contacto con ella. La temperatura es importante identificarla debido a que la variación de esta puede modificar parámetros en el agua, procesos de tratamiento y análisis de laboratorio.

La temperatura se mide con un termómetro. Las escalas más empleadas para medir esta magnitud son la escala de Celsius (o centígrados) y la escala Kelvin.

En la escala Celsius se asigna el valor 0 a la temperatura de congelación del agua y el valor 100 a la temperatura de ebullición del agua.

**5.1.16.5 Materia en suspensión:** Se clasifica toda la materia, excepto el agua contenida en los materiales líquidos, como materia sólida.

El material solido se puede clasificar de manera general en dos categorías, aquella porción que se puede retener en filtros de micro fibra de vidrio cuya porosidad es de 1,2 μ aproximadamente, que corresponde al material suspendido y aquella porción que pasa el filtro que se considera disuelto o coloidal<sup>32</sup>. La investigación tiene como finalidad determinar los sólidos suspendidos totales los cuales se calculan de la siguiente manera:

---

<sup>31</sup> *Ibíd.*, p. 110

<sup>32</sup> VALENCIA MONEDERO, Carlos Hernán. *Aguas Residuales: Una Visión Integral*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2016. 192 p. ISBN 978-958-8972-09-1

## Ecuación 12 Solidos Suspendidos Totales

$$\text{SST} = \frac{A - B}{V}^{33}$$

En donde:

**A:** Peso final del filtro con el residuo seco a 104°C, en (mg)

**B:** Peso inicial del filtro, en (mg)

**V:** Volumen de muestra filtrada, en (L)

**5.1.16.6 Conductividad:** La conductividad eléctrica es una medida de la concentración de sales disueltas en el agua, de soluciones acidas o de soluciones alcalinas. Este todo depende directamente de la temperatura del agua en la muestra e indica la capacidad de transmitir una corriente eléctrica, las unidades se expresan usualmente en micro Siemens por centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) o micromhos por centímetro ( $\mu\text{mho}/\text{cm}$ )<sup>34</sup>.

La forma más usual de medir la conductividad en aguas es mediante instrumentos comercial de lectura directa a 25°C con un error menor al 1%. Se debe agregar que la experiencia de ciertos autores como Romero expresa: “que el producto del valor de la conductividad en  $\mu\text{mho}/\text{cm}$  por un factor que oscila entre 0,55 y 0,7 es igual al contenido de solidos disueltos, en  $\text{mg}/\text{L}$ ”<sup>35</sup>.

## 5.1.17 Características químicas

**5.1.17.1 Potencial de Hidrogeno:** Es la concentración de iones de hidrógeno, es un parámetro importante de la calidad de las aguas, tanto para aguas naturales como para aguas residuales. Los medios habituales de expresar la concentración de iones de hidrógeno es el pH, que se define como el logaritmo negativo de la concentración de hidrogeno.

## Ecuación 13 Potencial de hidrogeno (pH)

$$\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+]$$
<sup>36</sup>

El rango de concentración adecuada para la existencia de más vida biológica es bastante estrecho y crítico (típicamente 6 a 9). El efluente de aguas residuales

---

<sup>33</sup> INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Sólidos suspendidos totales en agua secados a 103 – 105 °C. [En línea]. [citado 1 Octubre., 2016].

<sup>34</sup> VALENCIA MONEDERO. Op. Cit., p. 37

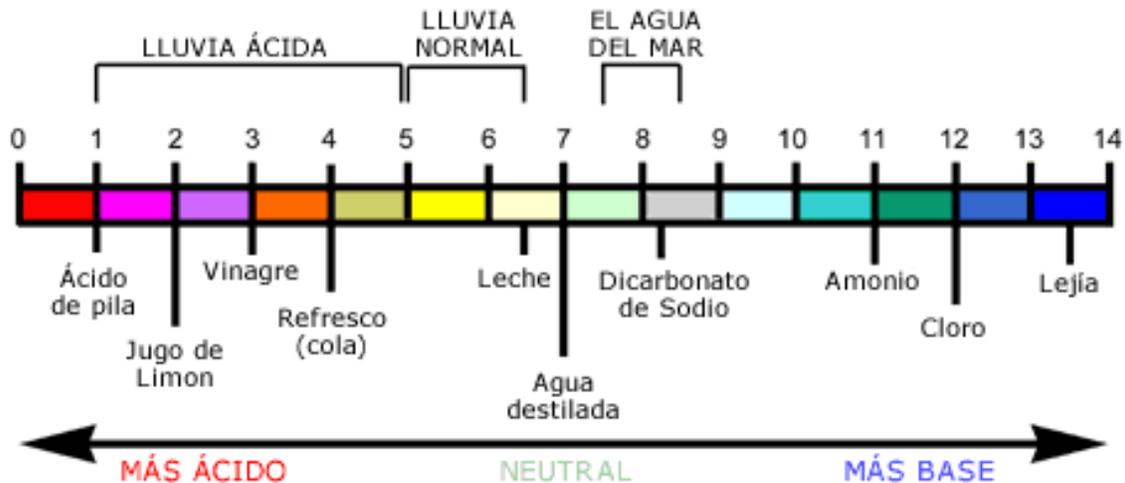
<sup>35</sup> ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Análisis Físico del Agua. Calidad del agua. 3ª ed. Santa Fe de Bogotá. Escuela Colombiana de Ingeniería. 2009. 105 p. ISBN 978-958-8060-83-5.

<sup>36</sup> AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, et al. Métodos normalizados: Para el análisis de aguas potables y residuales. 17 ed. España, Madrid: Díaz de Santos, 1989. ISBN; 84-7978-031-2

puede alterar la concentración en las aguas naturales. Para los efluentes tratados descargados al ambiente del intervalo de pH permisible por lo general varía de 6.5 a 8.5<sup>37</sup>.

El pH es una medida de la acidez o de la alcalinidad de una sustancia. La escala de pH tiene una escala con valores desde 1 hasta 14 en algunos casos también pueden ser menores que 1 o mayores que 14. Los números a partir del 0 al 7 en la escala indican las soluciones ácidas, y 7 a 14 indican soluciones alcalinas. Cuanto más ácida es una sustancia, más cercano su pH estará a 0; cuanto más alcalina es una sustancia, más cercano su pH estará a 14 y 7 como punto neutro.

**Figura 4 Escala pH**



Fuente: <http://www.quimicayalgomas.com/quimica-general/acidos-y-bases-ph-2/>  
(28 abril., 2016)

Una manera simple de determinarse si un material es un ácido o una base es utilizar papel de tornasol. El papel de tornasol es una tira de papel tratada que se vuelve color de rosa cuando está sumergida en una solución ácida, y azul cuando está sumergida en una solución alcalina. Hoy en día el método más exacto y comúnmente más usado para medir el pH es usando un medidor de pH (pH metro).

**5.1.17.2 Acidez:** La acidez de un agua puede definirse como su capacidad para neutralizar bases, como su capacidad para reaccionar con iones hidroxilo ( $\text{OH}^-$ ), como su capacidad para ceder protones o como la medida de su contenido total de sustancias ácidas<sup>38</sup>.

**5.1.17.3 Alcalinidad:** La alcalinidad de un agua puede definirse como su capacidad para neutralizar ácidos, como su capacidad para reaccionar con iones

<sup>37</sup> METCALFT & EDDY. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. California: Mc Graw Hill, 2004. 57 p. ISBN 007-124140-X

<sup>38</sup> ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Calidad del agua. 3ª ed. Santa Fe de Bogotá. Escuela Colombiana de Ingeniería. 2005. 119 p. ISBN 958-8060-53-2.

hidrogeno (H), como su capacidad para aceptar protones o como la medida de su contenido de sustancias alcalinas (OH<sup>-</sup>)<sup>39</sup>.

**5.1.17.4 Oxígeno Disuelto (OD):** Es la cantidad de oxígeno gaseoso disuelto (O<sub>2</sub>) en el agua. El oxígeno se introduce en el agua mediante difusión desde el aire que rodea la mezcla, por aireación y como un producto de desecho de la fotosíntesis. Este parámetro no solo consiente en identificar la contaminación en las aguas naturales sino también indica la vida de microorganismos, vegetal y animal, mientras más alto sean los niveles de oxígeno disuelto mejor será la calidad del agua superficial. La concentración de oxígeno disuelto está dada en miligramos sobre litro (mg/l).

**5.1.17.5 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** Es una técnica analítica comúnmente utilizada para cuantificar la cantidad de materia orgánica presente en las aguas; esta medida se basa en la cantidad de oxígeno consumido por microorganismos en la oxidación de la materia orgánica; el ensayo se realiza durante cinco días, período en el cual la muestra es incubada herméticamente y los resultados expresan la relación entre la cantidad de oxígeno disuelto inicial y la cantidad de oxígeno disuelto en los cinco días (DBO<sub>5</sub>)<sup>40</sup>. Se mide en miligramos de oxígeno por litro de agua (mgO<sub>2</sub>/l).

**5.1.17.6 Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Es una medida en la cual se determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo. La DQO ocurre por vía química y no por procesos biológicos, así que el ensayo de laboratorio utiliza un agente oxidante fuerte denominado dicromato de potasio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>).<sup>41</sup>

**5.1.18 Características microbiológicas:** Las características microbiológicas consisten en los microorganismos que se encuentran en el agua y pueden ser patógenas como son las bacterias, los hongos, los virus, las algas y algunos protozoos. Estos pueden ocasionar enfermedades que ponen en riesgo la salubridad del ser humano. Debido a las amplias características de microbios el alcance de la investigación consiste en determinar los coliformes totales.

**5.1.18.1 Coliformes Totales:** Son Bacterias gram negativas, no esporoformadoras, oxidasa negativa, con capacidad de crecimiento aeróbico y facultativamente anaeróbico en presencia de sales biliares, que a temperatura especificada de 35°C +/- 2°C causan fermentación de lactosa con producción de gas. Poseen la enzima B-galactosidasa<sup>42</sup>. Este análisis indica la contaminación

---

<sup>39</sup>Ibíd., p. 115

<sup>40</sup> VALENCIA MONEDERO, Carlos Hernán. Aguas Residuales: Una Visión Integral. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2016. 31 p. ISBN 978-958-8972-09-1

<sup>41</sup> Ibid., p. 31

<sup>42</sup> INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Determinación de escherichi coli y coliformes totales en agua por el método de filtración por membrana en agar chromocult [En línea].30, agosto,2007. Disponible en:

proveniente de las excretas de los humanos y animales, además, estas bacterias son asociadas frecuentemente a desechos vegetales o se encuentran en el suelo, por lo tanto, el grupo coliformes no debe ser considerado en general como un indicador de organismo de origen exclusivamente fecal.

Para la detección de estas bacterias existen dos métodos: 1) el método de los tubos múltiples que consiste en añadir diferentes cantidades de agua a tubos que contienen un medio de cultivo adecuado. Las bacterias presentes en el agua se producen y, a partir del número de tubos inoculados y del número de tubos con reacción positiva, puede determinarse estadísticamente el Número Más Probable (NMP) de bacterias presentes en la muestra. 2) Método de la membrana filtrante radica en utilizar un volumen determinado de agua a través de una membrana que retiene bacterias en su superficie. Luego, se incuba la membrana en un medio selectivo adecuado, permitiendo que las bacterias se reproduzcan y formen colonias. Se establece una relación directa entre el número de colonias contadas y el contenido bacteriológico de la muestra de agua que se está analizando<sup>43</sup>. El mecanismo de medida este último método está dado por Unidad Formadora de Colonia (UFC), en la cual se relaciona con unidad de volumen de la muestra a examinar.

**5.1.19 Índice de Calidad del Agua (ICA):** Es un valor numérico que califica la calidad del agua por medio de mediciones obtenidas de las características anteriormente mencionadas, los cuales tienen como propósito simplificar en una expresión numérica los impactos sobre cualquier fuente de agua. El IDEAM define el ICA como “un número (entre 0 y 1) que señala el grado de calidad de un cuerpo de agua, en términos del bienestar humano independiente de sus usos. Este número es una agregación de las condiciones físicas, químicas y en algunos casos microbiológicas del cuerpo de agua, el cual da indicios de los problemas de contaminación”<sup>44</sup>. Sin embargo, el ICA puede ser evaluado a partir de diferentes intervalos y así determinar el grado de contaminación ya sea el máximo o mínimo valor. Lo anterior quiere decir que este índice puede ser elaborado por el investigador o hacer referencia a uno ya elaborado para así cuantificar el estado de una fuente hídrica.

En cuanto a Colombia para evaluar el recurso hídrico se ha propuesto el Índice de Calidad del Agua en Corrientes Superficiales (ICACOSU) establecido por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia

---

<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Coliformes+totales+y+E.+coli+en+Agua+Filtraci%C3%B3n+por+Membrana.pdf/5414795c-370e-48ef-9818-ec54a0f01174>. [citado 29 abril,. 2016].

<sup>43</sup> ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. Guías para la calidad de agua potable: Control de la calidad del agua potable en sistemas de abastecimiento para pequeñas comunidades. [En línea]. Washington: Guidelines for drinking- water quality, 1988. 36 p. ISBN 92 4 154170 9. . [citado 18 agosto,. 2016]. Disponible en: [https://books.google.com.co/books?id=X9QgncMbnsYC&pg=PA30&dq=coliformes+totales&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjf\\_IS2sNbPAhUKNiYKHabkCPYQ6AEIJTAC#v=onepage&q=coliformes%20totales&f=false](https://books.google.com.co/books?id=X9QgncMbnsYC&pg=PA30&dq=coliformes+totales&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjf_IS2sNbPAhUKNiYKHabkCPYQ6AEIJTAC#v=onepage&q=coliformes%20totales&f=false).

<sup>44</sup> INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Indicadores Hídricos. [En línea]. [citado 24 agosto,. 2016]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/indicadores1>.

(IDEAM)<sup>45</sup>, el cual consiste en determinar la calidad a partir de diferentes conjuntos de variables para así realizar una curva funcional donde se represente la variación de la calidad del agua respecto a la magnitud de cada contaminante. La fórmula de cálculo del indicador es:

#### Ecuación 14 Índice de calidad del agua

$$ICA = \sum_{i=1}^m W_i * I_i^{46}$$

Dónde:

**W<sub>i</sub>**: Es el ponderado o peso relativo de cada uno de los términos considerados en la ecuación.

**I<sub>i</sub>**: Son los valores calculados de índice de calidad de cada variable que están entre cero y uno (0 y 1).

No obstante, el análisis y la formulación son basados en investigaciones elaboradas por Ramírez y Viña como “Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulaciones y aplicaciones”<sup>47</sup>, de donde se expone el proceso metodológico para las formulaciones de cuatro índices contaminantes por medio de correlaciones de parámetros característicos del agua, definiendo los siguientes índices de contaminación:

- Mineralización; los cuales se correlacionaron la conductividad, dureza, alcalinidad.
- Materia Orgánica; los cuales se correlacionaron la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Coliformes totales y Oxígeno.
- Sólidos Suspendidos, en el cual solo se tiene en cuenta la concentración de los sólidos suspendidos.
- Trófico; se determina por la concentración de fósforo.

Como se ha mencionado los índices de calidad están equitativamente determinados, en el cual cada característica tiene su ecuación. Las siguientes ecuaciones son referenciadas a las investigaciones realizadas por el IDEAM<sup>48</sup>, donde el índice de calidad está determinado en un rango de (0 a 1); en el cual 1 corresponde a una buena calidad y 0 es muy mala calidad. Hay que mencionar,

<sup>45</sup> INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Índice de calidad del agua en corrientes superficiales. [En línea]. [citado 24 agosto., 2016]. Disponible en: [http://www.ideam.gov.co/documents/24155/123679/083.21\\_HM\\_Indice\\_calidad\\_agua\\_3\\_FI.pdf/c0c6eca3-1a2b-484c-82f8-76536f62e2c7](http://www.ideam.gov.co/documents/24155/123679/083.21_HM_Indice_calidad_agua_3_FI.pdf/c0c6eca3-1a2b-484c-82f8-76536f62e2c7).

<sup>46</sup> *Ibíd.*, p. 3

<sup>47</sup> RAMÍREZ, A. RESTREPO, R. VIÑA, G. Cuatro Índices de Contaminación para Caracterización de Aguas Continentales. Formulaciones y Aplicaciones. [En línea]. Ciencia, Tecnología y Futuro. Diciembre, 1997. no. 3, [citado 30 sep., 2016]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/ctyf/v1n5/v1n5a08.pdf>

<sup>48</sup> INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Op. Cit., p 5-6.

además, que en el estudio de esta investigación el índice de calidad se encuentra también en el rango de (0 a 1) con la misma cualificación.

- Índice de calidad - Conductividad

**Ecuación 15 Índice de conductividad**

$$IC = 1 - 10^{[-3.26 + (1.34 \log_{10} * CE)]}$$

**CE:** Conductividad eléctrica medida en campo.

- Índice de calidad – Potencial de Hidrogeno

**Tabla 1 Índice de pH**

Intervalo pH	Índice de calidad	Ecuación índice pH
pH < 4	0.1	
4 ≤ pH ≤ 7		$I_{pH} = 0.02628419 * [e^{(pH * 0.520025)}]$
7 < pH ≤ 8	1	
8 < pH ≤ 11		$I_{pH} = 1 * e^{[(pH - 8) - 0.5187742]}$
pH > 11	0.1	

- Índice de calidad – Sólidos Suspendidos Totales

**Ecuación 16 Índice Sólidos Suspendidos Totales**

$$ISST = 1 - (-0.02 + 0.003 * SST)$$

**SST:** Sólidos Suspendidos Totales estimados.

- Índice de calidad – Sólidos Suspendidos Totales

**Ecuación 17 Índice Oxígeno Disuelto**

$$IOx = 1 - (1 - 0.01 * PSOD)$$

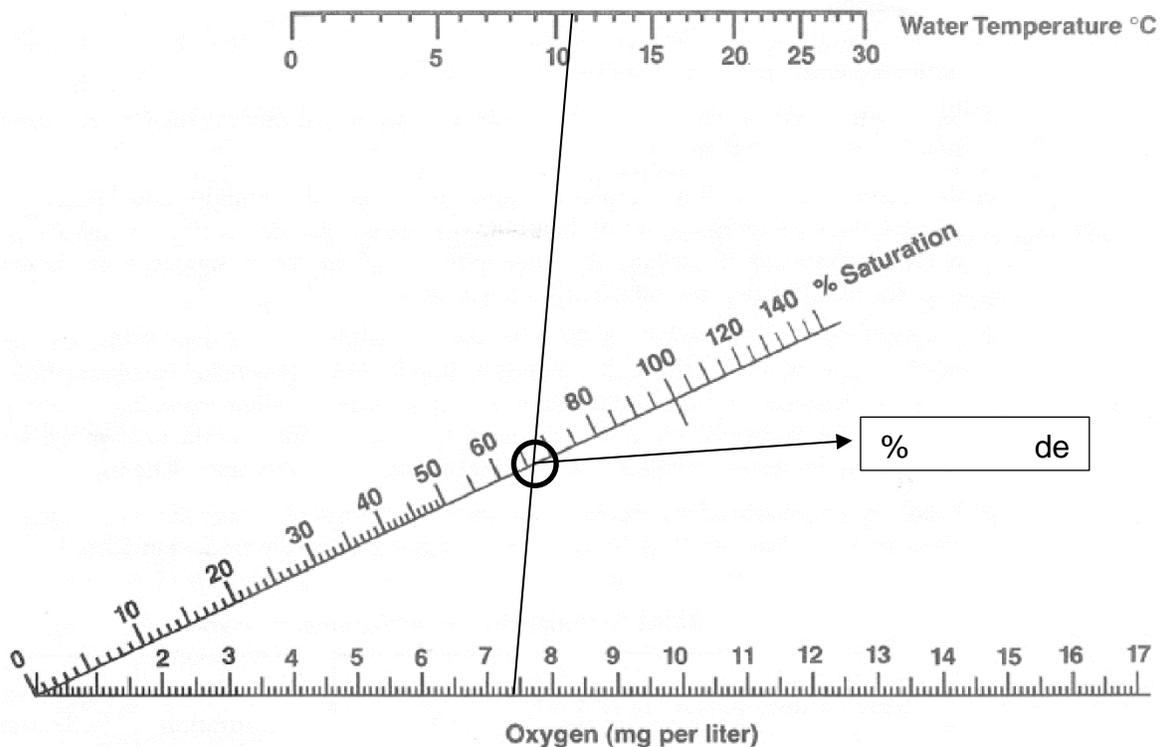
**Dónde:**

$PS_{OD}$  = Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto.

Para determinar el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto hay diferentes modalidades:

- **Método gráfico:** Consiste en trazar una línea uniendo el oxígeno disuelto medido en campo (mg/l) y la temperatura del agua en grados Celsius y donde la línea se intercepte con la gráfica del % de saturación corresponde a dicho valor. (figura 5)

**Figura 5 Método grafico para determinar el porcentaje (%) de saturación de oxígeno disuelto**



Fuente: <http://www2.sluh.org/bioweb/apbio/labs/apl12.htm> (26 septiembre., 2016)

- **Método estandarizado:** Se implementan tablas donde se obtiene la concentración de saturación de oxígeno en el agua, a partir de la temperatura y su altitud (figura 6), luego de obtener este resultado se implementa la siguiente fórmula para calcular el porcentaje de saturación de oxígeno:

### Ecuación 18 Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto

$$PSOD = \frac{OX}{Cp} * 100^{49}$$

Donde:

**OX:** Es el oxígeno disuelto medido en campo (mg/l).

**Cp:** Es la concentración de saturación del oxígeno (mg/l).

**Figura 6** Tabla estandarizada para determinar el porcentaje (%) de saturación de oxígeno disuelto

CONCENTRACIONES DE SATURACIÓN DE OXÍGENO EN AGUA				
Temperatura (°C)	Concentración (ppm)		Temperatura (°C)	Concentración (ppm)
10	11,3		21	9
11	11,1		22	8,8
12	10,8		23	8,7
13	10,6		24	8,5
14	10,4		25	8,4
15	10,2		26	8,2
16	10		27	8,1
17	9,7		28	7,9
18	9,5		29	7,8
19	9,4		30	7,6
20	9,2		31	7,4

**Fuente:** <http://www.miliarium.com/Paginas/Prontu/Tablas/Aguas/SaturacionOxigeno.htm> (01 octubre., 2016)

Por otro lado, las siguientes ecuaciones de índices de calidad son referenciadas a la investigación elaborada por Ramírez y Viña<sup>50</sup>, sin embargo, en esta investigación el cero (0) representa una buena calidad y uno (1) muy mala calidad. Los rangos y la calificación son determinados por el investigador para así identificar la señal de alerta o el estado correspondiente a la corriente superficial.

<sup>49</sup> INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Índice de calidad del agua en corrientes superficiales. [En línea]. [citado 24 agosto., 2016]. Disponible en: [http://www.ideam.gov.co/documents/24155/123679/083.21\\_HM\\_Indice\\_calidad\\_agua\\_3\\_FI.pdf/c0c6eca3-1a2b-484c-82f8-76536f62e2c7](http://www.ideam.gov.co/documents/24155/123679/083.21_HM_Indice_calidad_agua_3_FI.pdf/c0c6eca3-1a2b-484c-82f8-76536f62e2c7)

<sup>50</sup> RAMÍREZ, A. RESTREPO, R. VIÑA, G. Cuatro Índices de Contaminación para Caracterización de Aguas Continentales. Formulaciones y Aplicaciones. [En línea]. Ciencia, Tecnología y Futuro. Diciembre, 1997. no. 3, [citado 30 sep., 2016]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/ctyf/v1n5/v1n5a08.pdf>

- Índice de calidad – Demanda Bioquímica de Oxígeno

**Ecuación 19 Índice de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

$$IDBO = -0.05 + 0.70 \log_{10} DBO$$

**DBO:** Demanda Bioquímica de Oxígeno calculada.

- Índice de calidad - Coliformes Totales

**Ecuación 20 Índice de Coliformes Totales**

$$ICT = -1.44 + 0.56 \log_{10} CT$$

**CT:** Coliformes Totales evaluados.

Por otro lado, con base a la bibliografía se puede establecer un índice de turbidez<sup>51</sup> como se instruye en la siguiente tabla:

**Tabla 2 Índice de Turbidez**

<b>Turbidez (UNT)</b>	<b>Índice de calidad</b>
<5	100
<10	90
<15	80
<20	70
<25	60
<30	50
<40	40
<60	30
<80	20
≤100	10
>100	0

Fuente: SIERRA RAMIREZ, Carlos Alberto. Calidad del agua. p.158. 2001

**5.1.20 Curva de duración o permanencia de caudales:** “Es el resultado de un análisis de frecuencias de una serie histórica de caudales ya sean diarios, mensuales, anuales, entre otras. Esta curva es útil para identificar la potencialidad de utilización de una corriente de agua, donde se permite conocer con qué

<sup>51</sup> SIERRA RAMIREZ, Carlos Alberto. Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico. Medellín: Ediciones de la U, 2011. 460 p. ISBN: 978-958-8692-06-7

frecuencia ocurren caudales iguales o superiores a un valor determinado”<sup>52</sup>. La curva de duración es representativa del régimen de caudales medidos de la corriente y por lo tanto se puede pronosticar el comportamiento del régimen de unos caudales futuros. Además, con las curvas de duración se logra hacer una deducción de las características de una cuenca hidrográfica.

Como sea mencionado es probable estimar la frecuencia de ocurrencia o probabilidad de los caudales, sin embargo, se debe agregar que existen diversos métodos para ejecutar estos análisis de frecuencias y así identificar que evento es igualado o superado en un lapso del tiempo. El método implementado en la investigación fue el **MÉTODO DE GUMBEL**, el cual ha sido utilizado para representar el comportamiento de crecientes, hay que mencionar que solo es posible ejecutar este método para valores de caudales máximos.

### 5.1.21 Método de Gumbel

El método se determina por medio de la siguiente expresión:

#### Ecuación 21 Método de Gumbel

$$X = X_m + D_x^{53}$$

Donde:

**X:** Valor máximo (caudal o precipitación) para un período de retorno T.

**X<sub>m</sub>:** Media de la serie dada de valores máximos.

**D<sub>x</sub>:** Desviación respecto a la media, que se estima mediante el producto **(K\*S<sub>n</sub>-1)**.

El anterior método se esclarece en el documento citado.

#### Variable de Gumbel para el período de retorno<sup>54</sup>

$$Y_t = -Ln * Ln\left(\frac{T}{T-1}\right)$$

Reemplazando los valores para distintos períodos de retorno se obtiene los siguientes resultados de “Y<sub>t</sub>”:

---

<sup>52</sup> MONSALVE SÁENZ, Germán. Hidrología en la ingeniería. 2ª Ed. Bogotá: Escuela Colombiana de ingeniería. Enero. 1999. 138 p. ISBN: 958-95742-1-1

<sup>53</sup> UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID. Método de Gumbel [En línea]. [citado 12 nov. 2016]. Disponible en: <http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/climatologia-aplicada-a-la-ingenieria-y-medioambiente/contenidos/tema-7/METODO-DE-GUMBEL.pdf>

<sup>54</sup> Ibid., p.1

**Tabla 3 Variable de Gumbal para un período de retorno**

T (años)	Yt
2	0,3665
5	1,4999
10	2,2504
T (años)	Yt
25	3,1985
30	3,3843
50	3,9019
75	4,3108
100	4,6001
250	5,5195
500	6,2136

Fuente: Propia

**5.1.22 Prueba de bondad de ajuste de Smirnov – Kolmogorov:** Esta prueba se emplea a los métodos de distribución de probabilidad en hidrología, para aprobar o rechazar la hipótesis de los resultados obtenidos para diferentes períodos de retorno, también para verificar si una distribución se ajusta o no a una distribución esperada. Para la investigación se aplica la distribución teórica de frecuencias de Gumbel, debido a que fue el método implementado en la investigación.

La prueba de bondad se realiza de la siguiente manera:

1. Se analiza los valores de caudales máximos instantáneos en serie anual organizados de menor a mayor.
2. La ecuación de función acumulada de frecuencia calculada con la ecuación que se prueba en este caso, con Gumbel:

**Ecuación 22 Función de distribución acumulada método de Gumbel**

$$F(x) = e^{-e^{-a*(X-X_0)}}$$

Donde:

**e:** Base de los logaritmos neperianos

**a:**  $\frac{1}{0,78 S_n}$ , en el cual  $S_n$  es la desviación estándar.

**X<sub>0</sub>:**  $\bar{X} - \frac{0,577}{a}$ ,  $\bar{X}$  es el promedio de los caudales máximos registrados

**X:** Valor de caudal máximo instantáneo anual, ordenado de menor a mayor

3. Determinado  $F(x)$  se calcula la frecuencia acumulada absoluta teniendo en cuenta los posibles datos repetidos, para así calcular la frecuencia acumulada relativa.

4. Luego se hace la diferencia entre la función de distribución acumulada (ecuación 22) y la frecuencia acumulada relativa.
5. Después se identifica el valor máximo del paso 4 y se compara con los valores de cuartiles superiores de la distribución de Kolmogorov – Smirnov; para comprobar el ajuste del método.
6. Si el valor máximo (paso 4) es menor igual ( $\leq$ ) al valor de cuartiles superiores de la distribución de Kolmogorov – Smirnov la hipótesis se aprueba. El ajuste es bueno y los resultados de Gumbel se pueden aplicar a diseños y estudios. Pero si el valor máximo (paso 4) es mayor ( $>$ ) al valor de cuartiles superiores de la distribución de Kolmogorov – Smirnov la hipótesis se rechaza. El ajuste no es bueno y se debe probar otra distribución teórica de frecuencias para comprobar si ajusta bien, sino se logra una distribución que sea aprobada por la función de Smirnov – Kolmogorov se podría emplear una distribución empírica de frecuencias.

Los valores de cuartiles superiores de la distribución de Kolmogorov – Smirnov están dados por la siguiente imagen:

**Figura 7 Valores de cuartiles superiores de la distribución de Kolmogorov – Smirnov**

n	$1-\alpha$				
	0.8	0.85	0.9	0.95	0.99
1	0.900	0.925	0.950	0.975	0.995
2	0.684	0.726	0.776	0.842	0.929
3	0.565	0.597	0.642	0.708	0.828
4	0.494	0.525	0.564	0.624	0.733
5	0.446	0.474	0.510	0.565	0.669
6	0.410	0.436	0.470	0.521	0.618
7	0.381	0.405	0.438	0.486	0.577
8	0.358	0.381	0.411	0.457	0.543
9	0.339	0.360	0.388	0.432	0.514
10	0.322	0.342	0.368	0.410	0.490
11	0.307	0.326	0.352	0.391	0.468
12	0.295	0.313	0.338	0.375	0.450
13	0.284	0.302	0.325	0.361	0.433
14	0.274	0.292	0.314	0.349	0.418
15	0.266	0.283	0.304	0.338	0.404
16	0.258	0.274	0.295	0.328	0.392
17	0.250	0.266	0.286	0.318	0.381
18	0.244	0.259	0.278	0.309	0.371
19	0.237	0.252	0.272	0.301	0.363
20	0.231	0.246	0.264	0.294	0.356
25	0.21	0.22	0.24	0.27	0.32
30	0.19	0.20	0.22	0.24	0.29
35	0.18	0.19	0.21	0.23	0.27
Fórmula para una n mayor	$\frac{1.07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.14}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{n}}$

Fuente: Propia

n: Numero de datos registrados históricamente

1- $\alpha$ : Es el nivel de confianza adoptado

## 5.2 MARCO GEOGRÁFICO

**5.2.1 Localización y descripción:** El río Curubital se encuentra ubicada en la ciudad de Bogotá en el sector oriental de la cuenca del río Tunjuelo, además hace parte de la zona rural de la localidad de Usme, también se sitúa en la localidad del Sumapaz, la cuenca hidrográfica nace en las lagunas de Bocagrande y el Rincón aproximadamente a una coordenada geográfica 3700 m.s.n.m., y desemboca sus aguas al embalse La Regadera a los 3000 m.s.n.m., también abarca las veredas Arrayanes, Curubital, Curubital Bajo, El tabaco y una parte de la vereda El Destino y El Hato. “En promedio el río Curubital genera un caudal de 1,47 m<sup>3</sup>/s”<sup>55</sup>.

**Figura 8 Localización río Curubital**



Fuente: Propia & <http://www.sdp.gov.co/PortalSDP/OrdenamientoTerritorial>

**5.2.2 Clima:** “Corresponde a la región de páramo y subpáramo influenciado por la posición en la Cordillera Oriental y la presencia de masas de aire muy cálida

<sup>55</sup> Empresa de Acueducto y Alcantarillado Bogotá (EAAB). Monitoreo Limnológico del embalse La Regadera y Chisacá. Bogotá: Limnoquímica Ltda., 26, diciembre. 2000.

proveniente de la región Amazonense-Orinoquense, con una precipitación media anual superior a los 100 mm y una biotemperatura entre los 6°C y los 18°C y una altura sobre el nivel del mar que va desde los 3000 hasta los 3800”<sup>56</sup>.

**5.2.3 Vegetación:** Se presenta durante la cuenca muchos arbustos y árboles altos y bajos que proceden del bosque adyacente, entremezclados con la vegetación propia del páramo. En la parte alta se evidencio especies de pajonales, arbustos de paramo, la parte media estas características disminuyen comparadas con la parte alta predominando especímenes arbóreos y finalmente la parte baja se encuentra una zona adyacente al embalse reforestada, ratificando la información suministrada por la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá la cual informa que “tiene aproximadamente 38.1 ha desde la cota 3100 hasta la 3450 en la cual el tipo de cobertura es de bosque natural, cultivos y pastos”<sup>57</sup>. En las visitas de campo se encontró reforestación de ciertas especies vegetales:

#### **Fotografía 4 Vegetación parte media río Curubital**



**Fuente: Propia**

---

<sup>56</sup> Ibid., p. 150

<sup>57</sup> Ibid., p. 151

### Fotografía 5 Reforestación – Cajeto



Fuente. Propia

### Fotografía 6 Reforestación - Aliso



Fuente: Propia

## Fotografía 7 Reforestación - Arrayan



Fuente: Propia

**5.2.4 Geología y Suelos:** En esta zona predominan los suelos originados por arcillolitas y areniscas con alto grado de cenizas volcánicas y materia orgánica., además el área investigada pertenece al Macizo de Sumapaz donde afloran: rocas sedimentarias del paleozoico; la formación Batá de edad jurásica; rocas sedimentarias marinas del Cretácico; rocas terciarias de ambiente continental y depósitos cuaternarios de origen glaciar, fluvio glaciar o aluvial. Todo lo anterior enmarcado por una tectónica de pliegues con dirección norte-sur<sup>58</sup>. A lo largo del río Curubital se observaron depósitos fluviales formando, con material arenoso – arcillosos, gravas y bloques redondeados de composición homogénea.

---

<sup>58</sup> Empresa de Acueducto y Alcantarillado Bogotá (EAAB). Monitoreo Limnológico del embalse La Regadera y Chisacá. Bogotá: Limnoquímica Ltda., 26, diciembre. 2000.

**Fotografía 8 Depósitos coluvial río Curubital**



**Fuente: Propia**

**Fotografía 9 Terrazas fluviales laderas río Curubital**



**Fuente: Propia**

**5.2.5 Descripción de estaciones meteorológicas de estudio:** Para la presente investigación se recopiló información de las siguientes estaciones:

**Tabla 4 Descripción estaciones meteorológicas**

N°	Entidad	Tipo de Estación	Nombre Estación	Departamento	Cuenca	Sub Cuenca	Latitud	Longitud	Elevación m.s.n.m
20019	EAAB	PM	BOCAGRANDE - SALITRE	BOGOTÁ	RÍO BOGOTÁ	Q. LOS SALITRES	4° 20' 00"	74° 08' 00"	3475
20020	EAAB	PG	EL HATO	BOGOTÁ	RÍO BOGOTÁ	RÍO CHISACA	4° 23' 00"	74° 11' 00"	3150
20509	EAAB	PG	LA REGADERA	BOGOTÁ	RÍO BOGOTÁ	RÍO TUNJUELO	4° 24' 00"	74° 08' 00"	2960
20954	EAAB	LM	PTE CARRETERA-CHISACA	BOGOTÁ	RÍO BOGOTÁ	RÍO CHISACA	4° 23' 00"	74° 10' 00"	3500
20746	EAAB	LM	LA TOMA - CHISACA	BOGOTÁ	RÍO BOGOTÁ	RÍO CHISACA	4° 23' 00"	74° 11' 00"	3200
20725	EAAB	LM	PTE AUSTRALIA	BOGOTÁ	RÍO BOGOTÁ	RÍO CURUBITAL	4° 23' 00"	74° 08' 00"	3056
21201300	IDEAM	PM	AUSTRALIA	BOGOTÁ	RÍO BOGOTÁ	RÍO CURUBITAL	4° 23' 00"	74° 07' 00"	3050

Fuente: Propia

- Ubicación estaciones meteorológicas

Figura 9 Estaciones meteorológicas



Fuente: Propia

<b>Convenciones Estaciones Meteorológicas</b>	
●	Pte. Australia (LM)
●	Pte. Carretera (LM)
●	La Toma (LM)
◆	Bocagrande (PM)
◆	Australia (PM)
◆	La Regadera (PG)
◆	El Hato (PG)

### 5.3 MARCO LEGAL

Entidades nacionales como son Ministerio de Salud, Ministerio de Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda, Desarrollo Territorial, entre otras, establecen normas y resoluciones para garantizar la sostenibilidad de los recursos humanos, y el cuidado de la calidad de vida del ser humano.

Como, por ejemplo, el **Decreto 1575 del 2007**<sup>59</sup> en el cual se establece el Sistema para la Protección Social y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano y la **Resolución 2115 del 2007**<sup>60</sup> la cual señala las características, instrumentos básicos y frecuencia del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Se hace referencia a la Resolución 2115 la cual especifica las características del agua que es de interés hacia la investigación, pero es importante identificar el Decreto 1575.

La Resolución 2115 en su capítulo II describe las características físicas y químicas del agua. En el cual las características físicas permisibles se detallan a continuación:

**Tabla 5 Características Físicas**

<b>Características Físicas</b>	<b>Expresadas como</b>	<b>Valor máximo aceptable</b>
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15
Olor y Sabor	Aceptable ó no Aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de Turbiedad (UNT)	2
Conductividad	µSiemens/cm	100

Fuente: Resolución 2115/2007

Una de las características químicas principal es el Potencial de Hidrógeno (pH) en el cual para el consumo humano debe estar en el intervalo de 6,5 y 9 pH. Sin embargo, en los artículos 5° y 6° se describe los elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos que tienen efecto adverso e implicaciones sobre la salud humana y económica.

<sup>59</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. Decreto 1575. 09, mayo. 2007. 14 p. [citado 05, mayo., 2016]. Disponible en: [http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2007/dec\\_1775\\_2007.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2007/dec_1775_2007.pdf)

<sup>60</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL et al. Resolución 2115. 22, junio. 2007. 23 p. [citado 05, mayo., 2016]. Disponible en: [http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaci%C3%B3n\\_del\\_agua/Resoluci%C3%B3n\\_2115.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaci%C3%B3n_del_agua/Resoluci%C3%B3n_2115.pdf)

También, el artículo 8° y 9° hacen referencia a características químicas relacionadas con los plaguicidas y otras sustancias utilizadas para la potabilización.

Las características microbiológicas están estipuladas en el capítulo III, en su artículo 11° se establece los valores máximos aceptables, los cuales son establecidos dependiendo la técnica utilizada.

**Figura 10 Características microbiológicas**

Técnicas utilizadas	Coliformes Totales	Escherichia coli
Filtración por membrana	0 UFC/100 cm <sup>3</sup>	0 UFC/100 cm <sup>3</sup>
Enzima Sustrato	< de 1 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>	< de 1 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>
Sustrato Definido	0 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>	0 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>
Presencia - Ausencia	Ausencia en 100 cm <sup>3</sup>	Ausencia en 100 cm <sup>3</sup>

Fuente: Resolución 2115/2007

En el capítulo IV informa sobre los instrumentos básicos para garantizar la calidad del agua para consumo humano, se evalúa el Índice de Riesgo de la Calidad para consumo humano (IRCA), el Índice de Riesgo Municipal por Abastecimiento de Agua para consumo humano (IRBAm) generando determinadas formulas y clasificación del nivel del riesgo para la salud o que varía de (0 a 100). En el capítulo V y VI se trata sobre los procesos básicos de control y vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en el cual está sujeto a la mínima frecuencia de muestras en un tiempo estipulado y la población prestadora del servicio, como sinopsis, en su artículo 21°, 24° y 25° se encuentran las características físicas y químicas, en el artículo 22° 26° y 27° característica microbiológicas. Finalmente, en el capítulo VII se informa sobre los plazos para adecuar los sistemas de suministro de agua para consumo que cumpla con las características ya estipuladas dependiendo la población atendida.

Por otro lado, la **Norma Técnica Colombiana (NTC) 813** tiene como objetivo establecer los requisitos físicos, químicos y microbiológicos que debe cumplir el agua potable proveniente de cualquier sistema de abastecimiento<sup>61</sup>.

El agua debe cumplir con las siguientes características físicas establecidas en la siguiente tabla:

<sup>61</sup>COLOMBIA. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Documentó: Agua, Agua Potable. Bogotá: ICONTEC. 10 p. [citado 13, mayo., 2016]. (NTC 813) Disponible en: [http://ingenieria.udea.edu.co/isa/normas\\_decretos/TEXTO%20NTC%20813%20AGUA%20POTABLE.pdf](http://ingenieria.udea.edu.co/isa/normas_decretos/TEXTO%20NTC%20813%20AGUA%20POTABLE.pdf)

**Tabla 6 Características Físicas**

<b>Requisitos</b>	<b>Valor</b>
Color, expresado en unidades de la escala Pt-Co	maximo15
Olor y Sabor	Inobjetable
Turbiedad, expresada en Unidades de Nefelométricas de Turbiedad (UNT).	Máximo 2
Sólidos totales, expresados en mg/dm <sup>3</sup> .	Máximo 200

**Fuente: Norma Técnica Colombiana (NTC 813)**

Como características químicas el agua potable debe cumplir con un intervalo de pH de 6,5 a 9,0, además el cloro residual libre en la red como mínimo 0,2 md/dm<sup>3</sup> y un máximo de 1,0 md/dm<sup>3</sup> y el cloro total como máximo una concentración de 1,2 mg/dm<sup>3</sup>.

Adicionalmente las concentraciones permitidas de elementos y sustancias químicas están establecidas en la figura 11.

**Figura 11 Concentraciones permitidas de elementos y sustancias químicas**

Sustancias	Expresada como	Valor permitido (mg/L)	
		mín	máx
Arsénico	As		0,05
Aluminio	Al		0,2
Bario	Ba		1,0
Boro	B		1,0
Cadmio	Cd		0,005
Cianuro	CN		0,1
Cinc	Zn		5,0
Cloruros	Cl		250,0
Cobre	Cu		1,0
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>		0,05
Dureza total	CaCO <sub>3</sub>	30	150
Fenoles	Fenol		0,001
Hierro total	Fe		0,3
Magnesio	Mg		36,0
Manganeso	Mn		0,1
Mercurio	Hg		0,001
Nitratos	NO <sub>3</sub>		45,0
Nitritos	NO <sub>2</sub>		0,01
Plomo	Pb		0,01
Plata	Ag		0,05
SAB	SAB		0,5
Selenio	Se		0,01
Sulfatos	SO <sub>4</sub>		250,0
Grasas y aceites			No detectable
<b>Productos Agroquímicos</b>			
Aldrín			0,001
Clordano			0,003
Carbaril			0,1
DDT			0,05
Diazinón			0,01
Dieldrín			0,001
Endrín			0,0005
Heptacloro			0,03
Lindano			0,005
Metoxicloro			0,1
Metilparatión			0,007
Paratión			0,035
Carbamatos			0,1
Toxafeno			0,005
Clorofenoxi	2,4D		0,1
	2,4,5T		0,002
	2,4,5TP		0,03
<b>Radiactividad</b>			
Radio 226-228			5PCi/dm <sup>3</sup>
Estroncio 90			2Ci/dm <sup>3</sup>

Fuente: Norma Técnica Colombiana 813

En el numeral 3.3 de la norma describe las características microbiológicas como principal propiedad se encuentra que las muestras examinadas en un mes, máximo 10% podrán mostrar presencia del grupo coliforme confirmado independientemente de la serie utilizada.<sup>62</sup>

<sup>62</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Op. Cit., p. 2

Además, el **Decreto 1594 de 1984**<sup>63</sup>, expedido por los Ministerios de Salud y de Desarrollo Económico, en su artículo 4, establece que los criterios de calidad del decreto se deben cumplir en todo el territorio nacional en la red de distribución de los sistemas de acueducto. Este decreto reglamenta los usos del agua y el manejo de los residuos líquidos estableciendo los criterios de calidad que son guías para ser utilizados como base de decisión en el ordenamiento, asignación de usos al recurso y determinación de las características del agua para cada uso. El capítulo III, en su artículo 29, define la destinación de los usos del agua como: Consumo humano y doméstico, Preservación de flora y fauna; agrícola; pecuario; recreativo; industrial y de transporte. El Capítulo IV, define los criterios de calidad para destinación del recurso, en su artículo 39 hace referencia de las características del agua para su consumo humano y doméstico. El capítulo V hace informe a las concesiones de agua para usuarios nuevos que requieran la autorización. En el capítulo VI se hace un conocimiento de los vertimientos de los residuos líquidos y sus prohibiciones, en su artículo 72 expone los cumplimientos mínimos que deberán tener los vertimientos a un cuerpo de agua, los capítulos VII, VIII, IX, X, XI se establecen los registros, permisos y procesos de vertimientos de agua. El capítulo XII y XIII se describe la tasa retributiva y sus respectivas ecuaciones, además los efectos hacia el medio ambiente. En el capítulo XIV informa sobre los métodos de análisis y de la toma de muestras, finalmente en el capítulo XV se detalla la vigilancia y control por parte de funcionarios de entidades delegadas para determinar si se está cumpliendo con las normatividades de vertimiento y si infringen en las medidas anteriormente mencionadas el capítulo XVI especifica las sanciones y los procedimientos.

Otro aspecto a tener en cuenta en la calidad del agua es el Manual de procesos Analíticos para Aguas y Efluentes realizado por entidades nacionales basada de la (Asociación Americana de Salud Pública, Métodos Estándar para el Examen de Aguas y Aguas Residuales). El manual hace referencia a la determinación de las características universales del agua, además en cada parámetro a establecer se describe la metodología, equipos y materiales, y el tipo de muestre y preservación para garantizar la exactitud de los resultados.

---

<sup>63</sup> COLOMBIA.MINISTERÍO DE AGRICULTURA. Decreto 1594 de 1984. Colombia: Junio 26. [citado 13, mayo., 2016]. Disponible en: <http://www.ins.gov.co:81/normatividad/Decretos/Forms/DispForm.aspx?ID=53>

## 6. DISEÑO METODOLÓGICO

### 6.1 ENFOQUE METODOLÓGICO

La metodología de esta investigación tuvo un enfoque **CUANTITATIVO**, debido a que la determinación por medio de métodos estadísticos establece la variabilidad de los caudales y la precipitación en diferentes períodos de tiempos y así poder analizar el aumento o disminución del río utilizando la información recopilada de entidades públicas o privadas que permiten obtener con precisión el logro de los objetivos propuestos, dada esta información y un reconocimiento del área de investigación, se interpretan estas mediciones en términos numéricos para correlacionar y observar la diferencia que ha presentado el río en diferentes ciclos para dar una visión mucho más profunda a las eventualidades que se han presentado en la zona de estudio. Además, para contemplar la investigación se realiza una explicación desde un aspecto objetivo, experimental y estadístico de la calidad del agua para evaluar y correlacionar la versatilidad con sus caudales donde se identifiquen que puntos presentan alteraciones y así formular algunas recomendaciones preliminares para mejorar el régimen de caudales del río y su calidad general.

### 6.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo y cumplimiento de los objetivos de esta investigación se estableció del tipo **EX-POS-FACTO** y **DESCRIPTIVA**, a causa que la investigación busca evaluar la variación de los caudales del río Curubital a partir de registros históricos que permiten interpretar cuales son los períodos que generan alteraciones en el cauce como la disminución de caudal o aumento de este, así mismo examinar las correlaciones con las precipitaciones ocurridas en la zona de estudio, de modo que esto permita aclarar las causas y efecto en la cuenca. Por otra parte, el estudio descriptivo permite analizar qué cambios ha presentado la calidad del agua en el río Curubital y como es el estado actual con respecto a las variaciones climáticas en el tiempo que permita aclarar que acciones pueden generar el deterioro de la cuenca hidrográfica.

En cuanto a los tipos de investigación del proyecto requieren un análisis estadístico que permitan aclarar las medidas de tendencia, variabilidad y correlaciones se desarrolla representaciones gráficas utilizando hojas de cálculo teniendo en cuenta la información recopilada de identidades públicas y/o privadas, y así pretender conocer los cambios en el transcurso del tiempo e investigar qué relaciones significativas se representan que conlleven a predecir eventualidades.

## 6.3 DISEÑO MUESTRAL

### 6.3.1 MUESTRA

Para la investigación propuesta los datos recopilados son por medio del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá D.C. (EAAB), el tamaño se determina teniendo en cuenta los registros de las estaciones meteorológicas de estudio (ver 5.2.5) y así poder cumplir la evaluación de régimen de caudales, sin embargo, la siguiente tabla representa los períodos de cada estación:

**Tabla 7 Períodos de registros estaciones meteorológicas**

N°	Tipo de Estación	Nombre Estación	PERÍODO	
20019	PM	BOCAGRANDE - SALITRE	ENERO 1963	DICIEMBRE 2015
20020	PG	EL HATO	SEPTIEMBRE 1941	AGOSTO 2016
20509	PG	LA REGADERA	ENERO 1970	MAYO 2016
21201300	PM	AUSTRALIA	ABRIL 1985	MARZO 2016
20954	LM	PTE CARRETERA-CHISACA	AGOSTO 1992	SEPTIEMBRE 2015
20746	LM	LA TOMA - CHISACA	ENERO 2006	ENERO 2016
20725	LM	PTE AUSTRALIA	ENERO 1971	ENERO 2016

Fuente: Propia

Además, el alcance de esta investigación permitió determinar los siguientes parámetros de calidad del agua en el mes de octubre del 2016:

- Temperatura
- Características organolépticas (Color, Olor, Sabor)
- Turbidez
- Potencial de Hidrogeno (pH)
- Solidos Suspendidos Totales
- Conductividad
- Oxígeno Disuelto (OD)
- Demanda química de oxígeno (DQO)
- Coliformes totales

Con respecto a la calidad del agua del río Curubital se llevó a cabo la toma de muestras los días cuatro (4), dieciocho (18) y veinticuatro (24) del mes de octubre

de 2016, elaborando la toma de muestras en tres (3) puntos diferentes del cauce para realizar el estudio del mismo (Figura 13).

**Tabla 8 Localización toma de muestras**

Muestra	Coordenada	
	Norte	Este
Parte Alta	971136.285	992952.381
Parte Media	973527.794	993172.937
Parte Baja	977364.083	992935.389

Fuente: Propia

Hay que mencionar que el volumen de la muestra se realiza teniendo en cuenta las normas estandarizadas, aunque los textos sugieren ciertos volúmenes que son permisibles debido a la experiencia y a la normatividad. En relación a esto hay parámetros que son preferiblemente tomados en campo lo que genera disminución en el volumen de la muestra. La siguiente tabla especifica la cantidad de volumen de agua que se analizó:

**Tabla 9 Volumen de las muestras**

Parámetro	Volumen (mL)	Cantidad	TOTAL (mL)
Sólidos Suspendidos Totales	500	9	4500
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	1000	9	9000
Coliformes totales	250	9	2250

Fuente: Propia

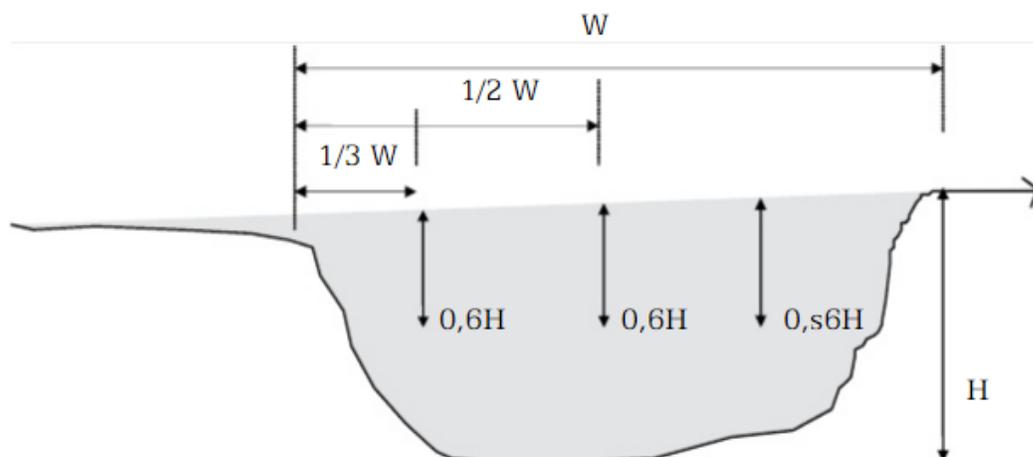
Cabe señalar que la toma de muestras en el río Curubital fueron recogidas bajo referencia bibliográfica como menciona Sierra;

El muestreo desde las riberas del río no es recomendable a no ser que no haya otra alternativa; en general, las muestras se deben tomar en tramos rectos preferiblemente en los puentes. Debe haber al menos una estación de muestreo localizada en las siguientes zonas :

- Zona de descomposición activa
- Punto mínimo de oxígeno disuelto
- Cambios bruscos en las características hidráulicas o geométricas de la corriente.

Con respecto a la profundidad a la cual se toma el agua, es aconsejable seguir los mismos criterios que se emplean en hidrología para medir la velocidad del agua, es decir, a  $0,2H$  y  $0,8H$ . del fondo. Si no se tiene sino presupuesto para una sola muestra, esta se debe tomar a  $0,6H$ . Cuando el río es ancho, profundo o no muy uniforme, las muestras se deben tomar como lo ilustra la figura 12<sup>64</sup>.

**Figura 12 Puntos de muestreo en una sección transversal de una corriente**



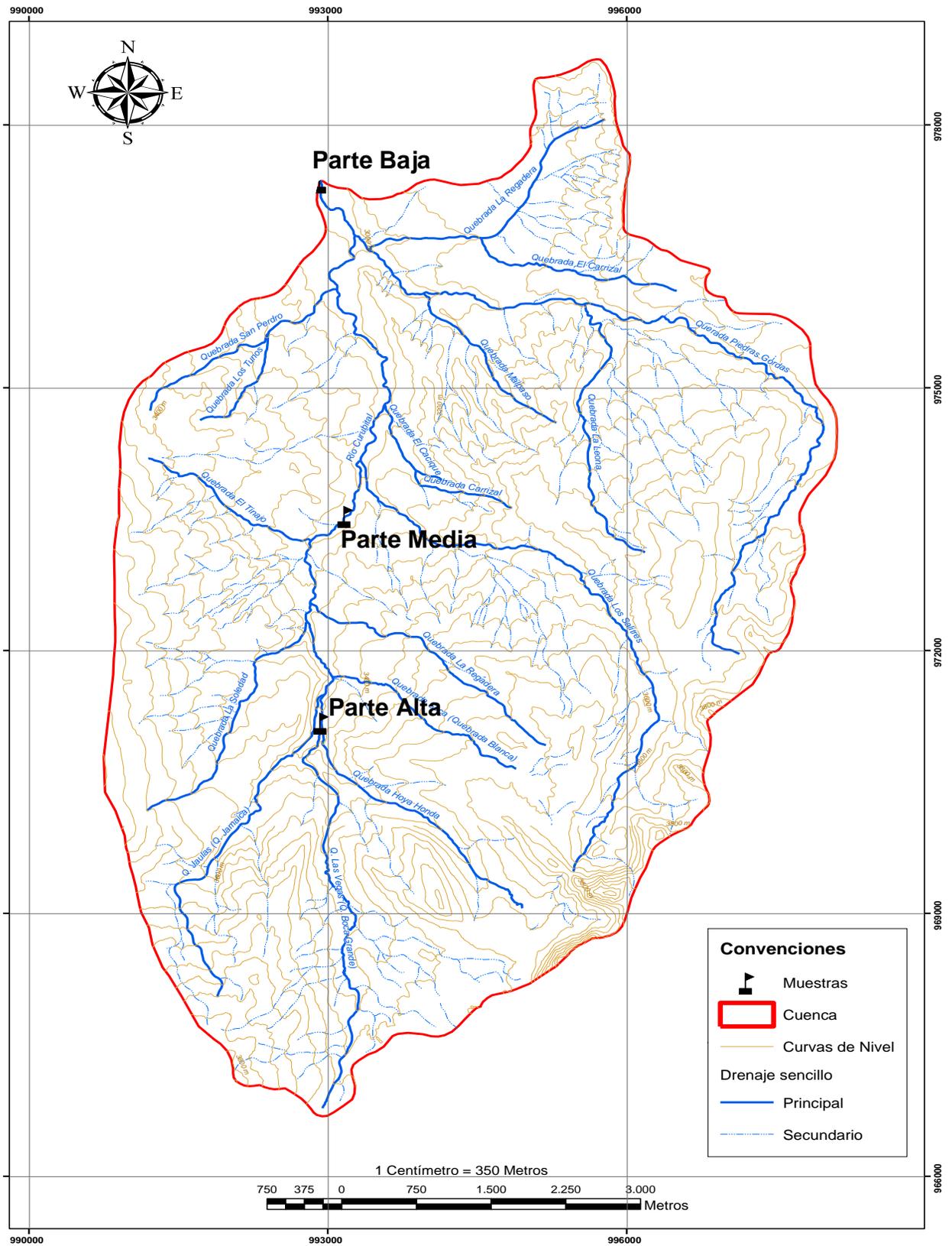
Fuente: SIERRA RÁMIREZ, Carlos Alberto. Calidad del Agua. 230 p.

### 6.3.2 Operacionalización de Variables

La tabla 10 expresa una síntesis de las variables que se determinaron en la investigación, el tipo de variable y sus determinadas unidades.

<sup>64</sup> SIERRA RÁMIREZ, Carlos Alberto. Calidad del Agua: Evaluación y Diagnostico. Universidad de Medellín. Medellín: Ediciones de la U, 2011. ISBN: 978-958-8692-06-7

**Figura 13 Toma de muestras río Curubital**



Fuente: Propia

**Tabla 10 Variables**

VARIABLE		INDICADOR	MEDICIÓN
<b>Independientes</b>	Tiempo	Intervalo de tiempo para realizar la evaluación.	Mensual Anual...
	Precipitación	Medida de la cantidad de agua que cae en la corteza terrestre.	mm
	Turbidez	Capacidad de transparencia en el agua.	UNT
	Color	Presencia de iones metálicos naturales entre otros.	UC
	pH	Concentración de iones de hidrógeno.	pH
	Temperatura	Medida del calor de las partículas en una sustancia.	°C
	Solidos suspendidos totales	Cantidad de solidos retenidos.	mg/L
	Oxígeno Disuelto	Contenido de oxígeno en el agua.	mg O <sub>2</sub> / L
	Demanda química de oxígeno	Cantidad de materia orgánica presente en el agua.	mg O <sub>2</sub> / L
	Coliformes Totales	Medida de bacterias de origen fecal y natural.	UFC
<b>Dependientes</b>	Caudal	Cantidad de agua máxima, media y mínima de la corriente superficial.	m <sup>3</sup> / s
	Índice de calidad	Cuantifica el estado de la calidad del agua.	Adimensional
<b>Intermedias</b>	Velocidad	Magnitud recorrida por el agua en unidad de tiempo.	m/s
	Escorrentía	Cantidad de agua proveniente de la precipitación que puede ser infiltrada y no infiltrada	m <sup>3</sup> / s; l/s ha
	Clima	Valores promedios de condiciones meteorológicas recogidos durante grandes períodos de tiempo.	-----

Fuente: Propia

## 6.4 Fases de Investigación

OBJETIVOS ESPECIFICOS	FASES	ACTIVIDADES
<p>1. Identificar los regímenes de caudales del río y las tendencias de calidad del agua en diferentes períodos a partir de información secundaria obtenida por entidades públicas y/o privadas.</p>	<p>Identificación de los caudales y tendencias de calidad del agua en el río Curubital.</p>	<p>A.1.1 Recopilación de información secundaria y primaria suministrada por la comunidad, Secretaría Distrital de Ambiente, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), Alcaldía Local de Usme y Corporación Autónoma regional de Cundinamarca (CAR), Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Instituto Geográfico Agustín Codazzi, obteniendo información del área de estudio como: geomorfología, usos del suelo, topografía, población, información de estaciones limnimétricas, pluviométricas, pluviográficas, climatológicas ordinarias, climatológica principal.</p> <p>A.1.2 Ilustrar la información primaria y secundaria para caracterizarla y conocer qué régimen de caudales puede presentar el río Curubital.</p>

<p>2.Determinar los parámetros de calidad del agua a partir de información primaria como pH, temperatura, turbidez, conductividad, color, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, oxígeno disuelto y coliformes totales</p>	<p>Determinación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del río.</p>	<p>A.2.1. Realizar la tomar muestras del río en la parte alta, media y baja, para conocer sus características fisicoquímicas y microbiológicas.</p> <p>A.2.2. Desarrollar los respectivos ensayos de laboratorio para conocer las propiedades del agua (pH, Temperatura, Color, Conductividad, DBO, SST, OD y Coliformes totales), para realizar un análisis general del cauce.</p> <p>A.2.3 Identificar las propiedades obtenidas del agua para conocer los factores contaminantes que están interviniendo en el río y como estos pueden afectar en la calidad del agua y cuáles podrían ser sus usos esenciales.</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>3. Analizar de forma estadística la variabilidad de los caudales y los indicadores de la calidad de agua del río Curubital.</p>	<p>Análisis estadístico de caudales e indicadores de calidad del agua.</p>	<p>A.3.1 Examinar la información recopilada primaria y secundaria por medio del software Excel y así llevar a cabo esta información a fórmulas estadísticas para analizar e identificar los regímenes de caudales y calidad del agua.</p> <p>A.3.2 Generar un índice de calidad a partir de los resultados obtenidos en campo y ensayos realizados en laboratorio con el fin de asociarlo con la normatividad para identificar que usos pueden ser adquiridos por el río Curubital.</p> <p>A.3.3 Analizar la inestabilidad del cauce donde se identifiquen los tiempos críticos y zonas vulnerables debido a la evaluación de regímenes de caudales y calidad de agua con el propósito de generar algunas recomendaciones preliminares con los resultados y estudios previos.</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: Propia

## 6.5 MATERIALES Y EQUIPOS

Para la ejecución de los objetivos se implementaron los siguientes materiales y equipos para determinar las características físicas del río Curubital y parámetros de la calidad del agua.

- **Curvimetro:** Este instrumento permite medir longitudes de líneas curvas. Fue implementado para determinar el perímetro de la cuenca, la longitud de las curvas de nivel y longitud de las corrientes de agua afluentes al río.

### Fotografía 10 Curvimetro



Fuente Propia

- **Envases (Polipropileno y Vidrio):** Estos fueron utilizados para la toma de muestras en el río, los recipientes de polipropileno se usaron para determinar la DBO, SST, COLOR, TURBIDEZ y el recipiente de vidrio para COLIFORMES TOTALES.

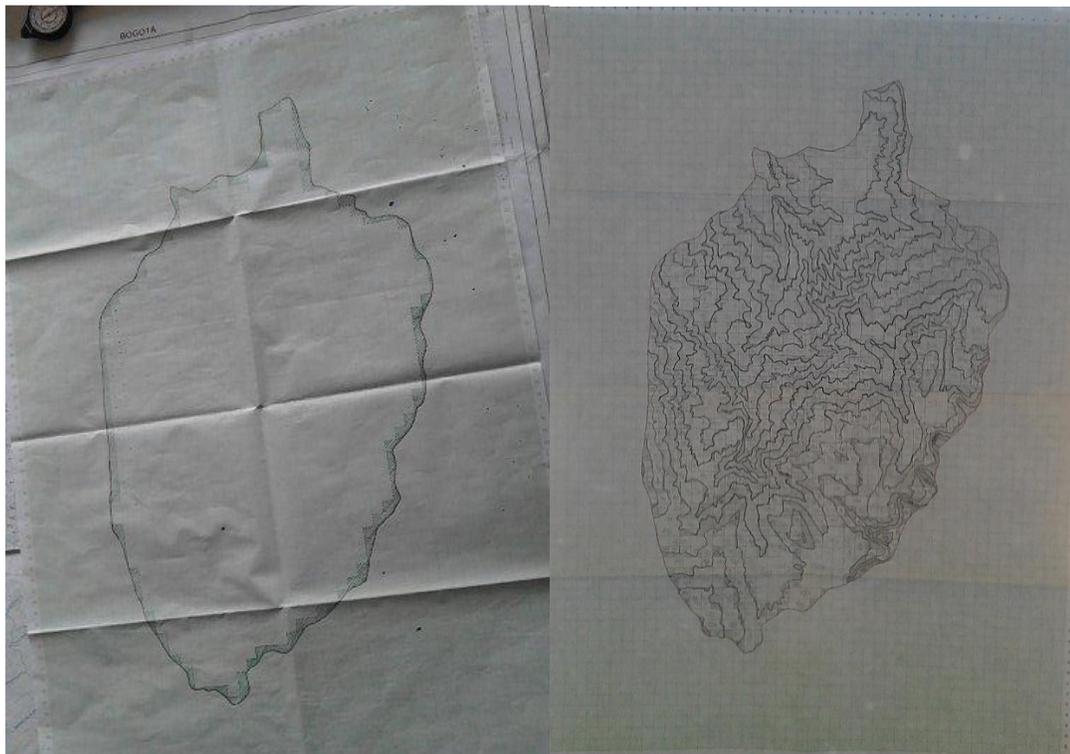
## Fotografía 11 Envases de toma de muestras



Fuente: Propia

- **Hoja Milimetrada:** Estas hojas se emplearon para determinar el área entre curvas de nivel y de la cuenca. Hay que mencionar que este método y el uso del curvímeter son métodos muy empíricos, pero pueden tener exactitud y precisión con un manejo adecuado.

## Fotografía 12 Implementación de hoja milimetrada



Fuente: Propia

- **Turbidímetro:** Se implementó para determinar la turbidez del agua efectuando el método nefelométrico. Marca Orbeco-Hellige 964 10 A, digital de lectura directa.

**Fotografía 13 Turbidímetro**



**Fuente: Propia**

- **Potenciometro o Peachimetro:** Cuantifica el pH que tiene el agua. Portatil, Marca Jenway 370, lectura directa.

**Fotografía 14 Peachimetro**



**Fuente Propia**

- **Conductímetro:** Mide la conductividad que está presente en el agua. Portátil, Marca Jenway 470, lectura directa.

**Fotografía 15 Conductímetro**



**Fuente: Propia**

- **Nevera Portátil:** Nevera de icopor para refrigerar las muestras a una temperatura de 2 - 4 °C, para conservar sus propiedades. (55x35x37 cm).

**Fotografía 16 Nevera de icopor portátil**



**Fuente: Propia**

- **Oxímetro:** Calcula el oxígeno disuelto en el agua. Portátil, Marca YSI DO200, lectura directa.

**Figura 14 Oxímetro**



Fuente:

<https://www.google.com.co/search?q=Oxímetro+Marca+YSI+DO200&imgsrc=H3s90FjLOUNCI M%A>  
(30, agosto, 2016)

- **Filtro:** Se implementaron los filtros para retener material suspendido con una porosidad de  $1,2 \mu$  y aproximadamente un peso que oscila en (0.201 gr – 0.212 gr). Marca Nasco WHIHL-PARK

**Fotografía 17 Filtros**



Fuente: Propia

- **Horno de laboratorio:** Se utilizó el horno para secar el residuo suspendido en los filtros a una temperatura aproximadamente de 104°C. Marca Humboldt.

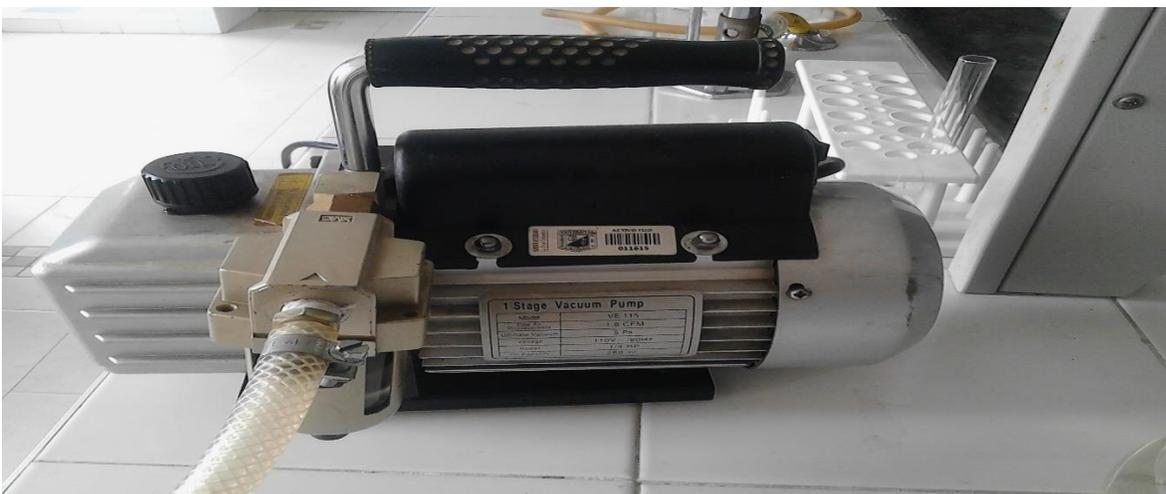
**Fotografía 18 Horno Humboldt**



**Fuente: Propia**

- **Bomba de Vacío:** Se empleó para minimizar el tiempo de filtrado de las muestras de agua. Modelo VE 115, voltaje 110 V – 60 Hz, poder de ¼ Hp.

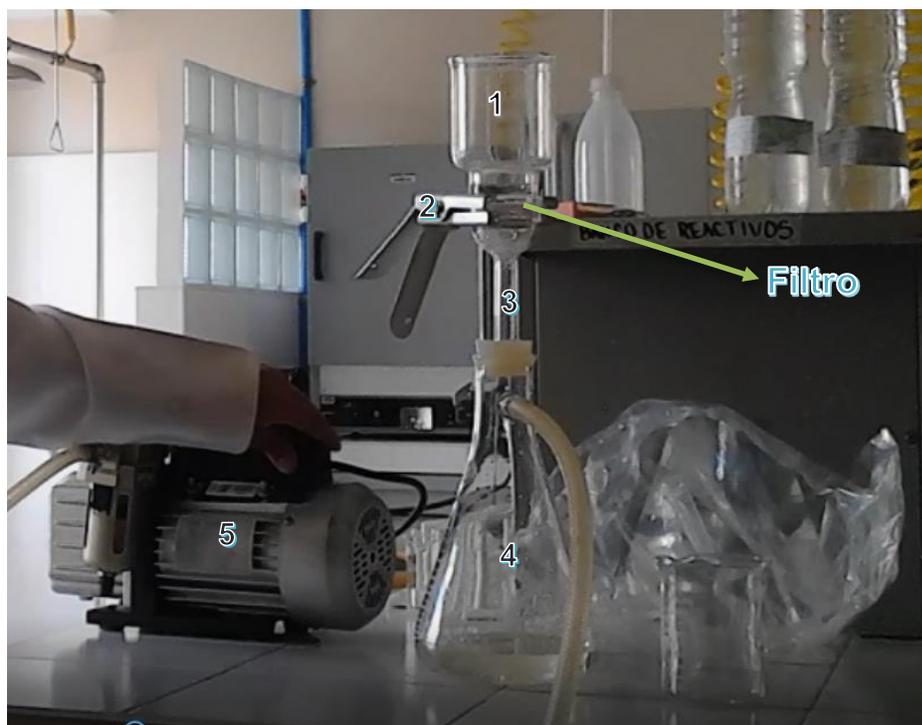
**Fotografía 19 Bomba de Vacío**



**Fuente: Propia**

- Equipo Completo para filtración:

Fotografía 20 Equipo de filtración



Fuente: Propia

Convenciones
1. Embudo de vidrio
2. Gancho Largo
3. Vidrio de Base
4. Matraz Kitasato
5. Bomba de Vacío

- **Gramera digital laboratorio:** Se manejó para conocer el peso de los filtros antes y después del filtrado. Marca Ohaus con un porcentaje de error 0,001%.

**Fotografía 21 Gramera**



**Fuente: Propia**

- **Color Test:** Se usó para determinar el color contenida, este instrumento se basa en la escala de Hazen. Marca NACH, Unidades de Platino Cobalto (UPC).

**Fotografía 22 Colorímetro - Escala Hazen**



**Fuente: Propia**

## 7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 7.1 Características Físicas del río Curubital

**7.1.1 Área de la cuenca:** Para determinar el área de la cuenca se implementó el método de la cuadrilla. La figura 14 y la tabla 10 representa los cálculos obtenidos a partir del método realizado.

**Figura 15 Método Cuadrilla**



Fuente: Propia

**Tabla 11 Cálculo de Área**

Método de cuadrilla			
Área cuadrícula Km <sup>2</sup>	N° de cuadrícula	N° de cuadrícula exterior	Factor parcial
0,0494	1007	159	0,75
<b>Área de drenaje (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>55,64</b>		

Fuente: Propia

$$\text{Área río Curubital: } 0,0494\text{Km}^2 * (1007 + (159 * 0,75)) = 55,63675 \text{ Km}^2$$

Esta área calculada se puede clasificar como una cuenca pequeña con respecto al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y otras fuentes bibliográficas. Esto nos representa que el escurrimiento superficial no es tan extenso, debido a que la acumulación de volumen escurrido es menor. También responde a las lluvias de fuerte intensidad y pequeña duración en la cual las características físicas como tipo de suelo, vegetación son de suma importancia.

Adicionalmente se analizó el área con el software ArcMap 10.3 para corroborar el resultado obtenido por medio del método de la cuadrilla como se observa en las siguientes figuras.

**Figura 16 Cálculo de Área por el software ArcMap 10.3**

The screenshot shows the 'Table' window in ArcMap 10.3. The table is titled 'Cuenca' and contains one record. The columns are FID, Shape \*, Id, and Area km2. The values for the record are 0, Polygon, 0, and 56,626026 respectively.

FID	Shape *	Id	Area km2
0	Polygon	0	56,626026

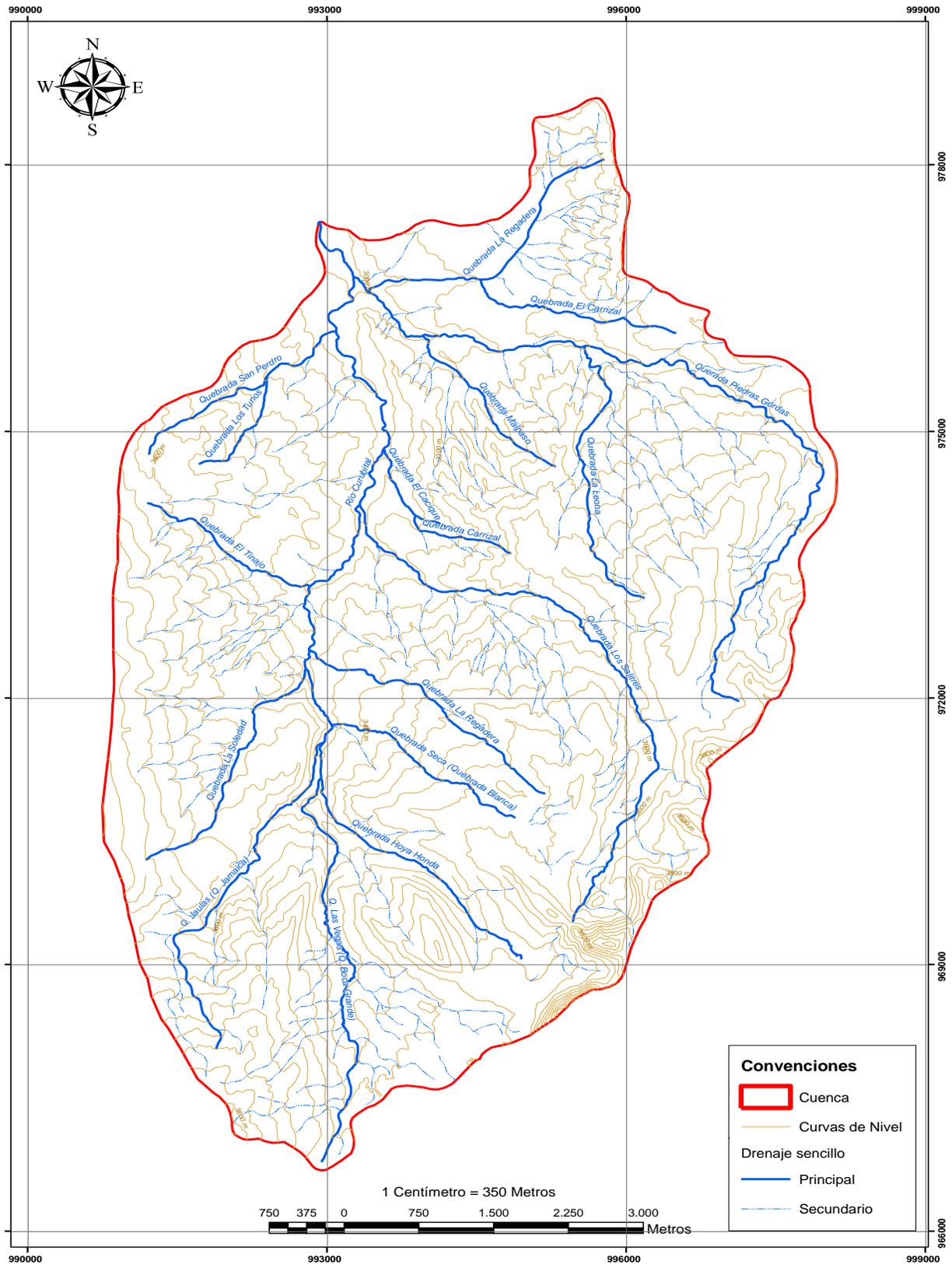
Fuente: Propia

El porcentaje de error considerando el software como valor teórico y el valor experimental por el método de cuadrilla tenemos:

$$\%E = \frac{56.63\text{Km} - 55.64\text{Km}}{56.63\text{Km}} * 100 = 1.75\%$$

Considerando el software ArcMap 10.3 como valor real comparado con los métodos prácticos como lo es del curvímetero y la cuadrícula hay un error porcentual bajo que permite la confiabilidad de los diferentes métodos y software.

**Figura 17 Área de la cuenca Arcgis**



**7.1.2 Longitud del Cauce Principal (río Curubital):** La determinación de la longitud se realizó por medio del instrumento curvímetero. Se obtuvo una longitud de **13.25 Km**

**7.1.3 Perímetro de la cuenca:** El cálculo del perímetro fue hallado con el curvímetero.

Para obtener un valor con mayor precisión y exactitud se elaboraron medidas reiterativas obteniendo los siguientes valores (tabla 12).

**Tabla 12 Método Curvímetero – Perímetro**

Medida Curvímetero	Dato Registrado Km
1	32,5
2	32,25
3	32,2
4	32
5	32,25
6	32,25
7	32,45
8	32,45
9	32,25
10	32,25
<b>Total</b>	<b>32,285</b>

Fuente: Propia

**Figura 18 Método software Arcgis - Perímetro**

The screenshot shows the 'Table' window in ArcGIS. The title bar reads 'Table'. Below the title bar is a toolbar with icons for table operations. The main area of the window is titled 'Cuenca' and displays a table with the following data:

FID	Shape *	Id	Perimetro km
0	Polygon	0	32,753528

Fuente Propia

El perímetro está totalmente relacionado con la línea divisoria que corresponde al límite que hay de la cuenca de estudio con otras cuencas hidrográficas, la línea se realiza con referencia al relieve terrestre de la zona de estudio donde escurren las aguas que caen sobre la superficie. El perímetro tiene una proporcionalidad con la forma de la cuenca. Para el río Curubital por método del curvímetro fue de **32.285 Km** y el conseguido por el software ArcMap 10.3 fue de **32.75 Km**.

$$\%E = \frac{32.75Km - 32.285Km}{32.75 Km} * 100 = 1.44\%$$

**7.1.4 Forma de la Cuenca:** La forma de la cuenca incide en la relación al tiempo de concentración, es decir, el tiempo necesario que recorre la red de drenaje desde la cabecera del río hasta la desembocadura del mismo.

**7.1.4.1 Factor de Forma:**

$$Kf = \frac{8,375 km}{14,2 km}$$

$$Kf = 0,59$$

Este factor de forma calculado hace referencia que la cuenca esta menos sujeta a crecidas, es decir, no tiene cambios bruscos de nivel de agua sino además el desplazamiento de la corriente puede evaluarse como uniforme.

**7.1.4.2 Coeficiente de compacidad (Kc):**

$$Kc = \frac{0.28 * 37,285km}{(55,64 km^2)^{1/2}}$$

$$Kc = 1.4$$

Este coeficiente permite analizar que la cuenca es de forma alargada, a su vez reduce las probabilidades de que sea cubierta en su totalidad por una tempestad, lo que afecta el tipo de respuesta que se presenta en el río Curubital, asimismo el tiempo de concentración será mayor a comparación de una cuenca con un coeficiente de compacidad más cercano a 1.

**7.1.5 Densidad de drenaje (Dd):** La longitud de las cuencas se calcularon a partir del curvímetro para corroborar la ecuación 6.

$$Dd = \frac{181,300 \text{ km}}{55,64 \text{ km}^2}$$

$$Dd = 3,26$$

El valor evaluado nos representa que el río tiene continuamente concentraciones y evacuación de las aguas, en vista de que su densidad de drenaje es alta, teniendo en cuenta que para cuencas con una densidad de 0.5 es pobre y 3.5 es excepcionalmente bien drenada.

#### 7.1.6 Pendiente de la cuenca:

$$S = \frac{0,05 \text{ km} * 292,300 \text{ km}}{55,64 \text{ Km}^2} * 100$$

$$S\% = 26,267$$

La pendiente de 26% determinó que el cálculo de índice de peligro de avenidas súbitas es considerable debido al tiempo de respuesta de la cuenca, porque son impredecibles y el cambio en los niveles del escurrimiento es rápido a causa de la velocidad del flujo que puede recorrer varios kilómetros en un menor tiempo y así generar una fuerza de arrastre mayor de los sólidos en el transcurso del río.

**7.1.7 Pendiente del río principal:** Se estableció la pendiente a partir de la longitud del cauce en el intervalo de cada cota de nivel, además se pudo definir una pendiente media del cauce, la siguiente tabla instruye como se calcularon:

**Tabla 13 Pendiente del cauce principal**

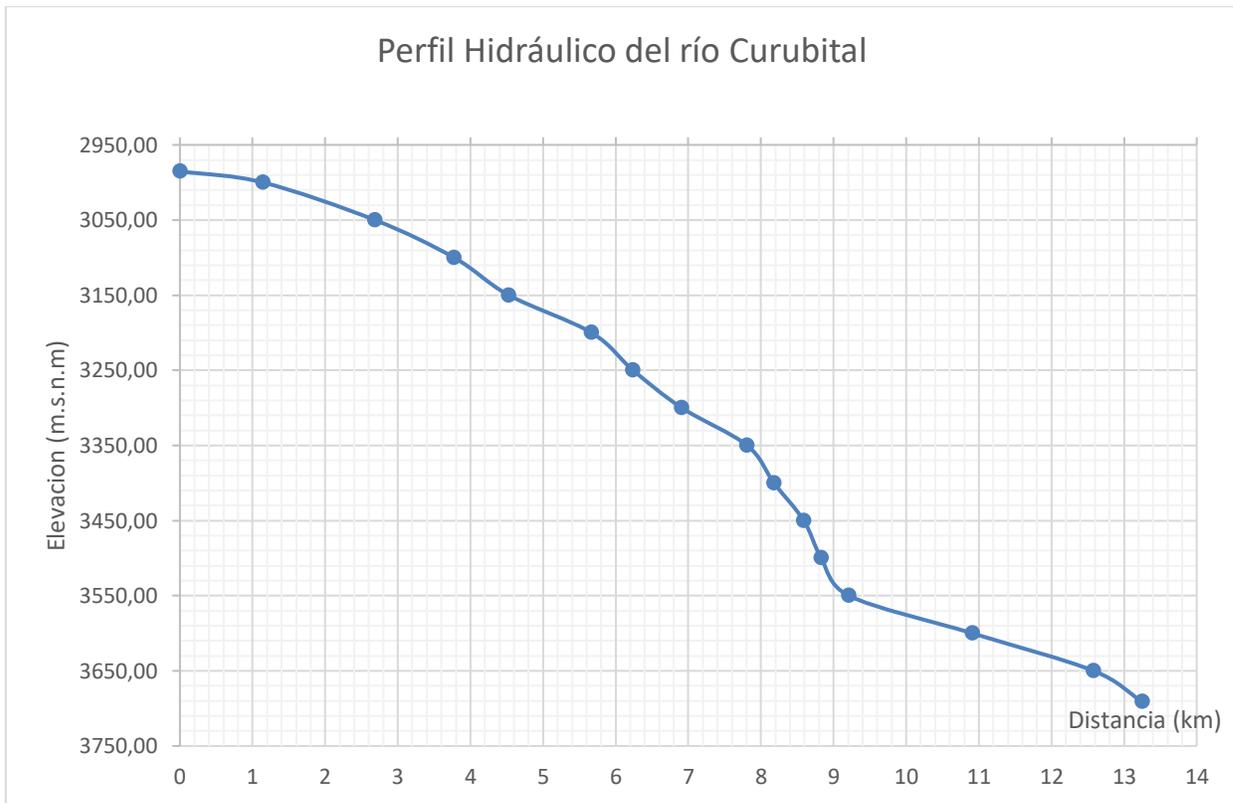
Cota (m.s.n.m)	Distancia del cauce (km)	Distancia Acumulada (km)	Pendiente S (m/m)	L / S <sup>0,5</sup>
2985,13	0	0	0	0
3000	1,143	1,143	0,01301	10021,87
3050	1,542	2,685	0,01862	11299,82
3100	1,09	3,775	0,01325	9471,09
3150	0,753	4,528	0,01104	7165,775
3200	1,14	5,668	0,00882	12137,65
3250	0,572	6,24	0,00801	6390,036
3300	0,67	6,91	0,00724	7876,419
3350	0,9	7,81	0,00640	11248,2
3400	0,37	8,18	0,00611	4732,53
3450	0,41	8,59	0,00582	5373,972
3500	0,24	8,83	0,00566	3189,382

**Continuación Tabla 13**

<b>3550</b>	0,38	9,21	0,00543	5157,371
<b>3600</b>	1,7	10,91	0,00458	25111,71
<b>3650</b>	1,67	12,58	0,00397	26489,38
<b>3691,11</b>	0,67	13,25	0,00310	12028,43
<b>∑</b>	<b>13,25</b>			<b>157693,6</b>

Fuente: Propia

**Gráfica 1 Perfil Hidráulico río Curubital**



Fuente: Propia

Con respecto a los planos topográficos del área de estudio se cuenta con una cota de nivel en la desembocadura del río de 2985,13 y la del nacedero a 3691,11 (m.s.n.m), por lo que la equidistancia entre curvas de nivel es de aproximadamente 705.98 m.s.n.m. La longitud del cauce principal es de 13,25 Km, es decir, 13250 m. Sustituyendo estos valores en la ecuación 7 se obtuvo:

$$S = \frac{705,98 \text{ m}}{13250 \text{ m}} = 0,053$$

La pendiente en porcentaje del cauce es de 5,3%, en efecto es una pendiente para cuencas hidrográficas suave lo que conlleva a evaluar que el potencial para erosionar es bajo, las velocidades del flujo son moderadas y las avenidas súbitas pueden ser considerables, pero auto controladas que permiten la estabilización del cauce.

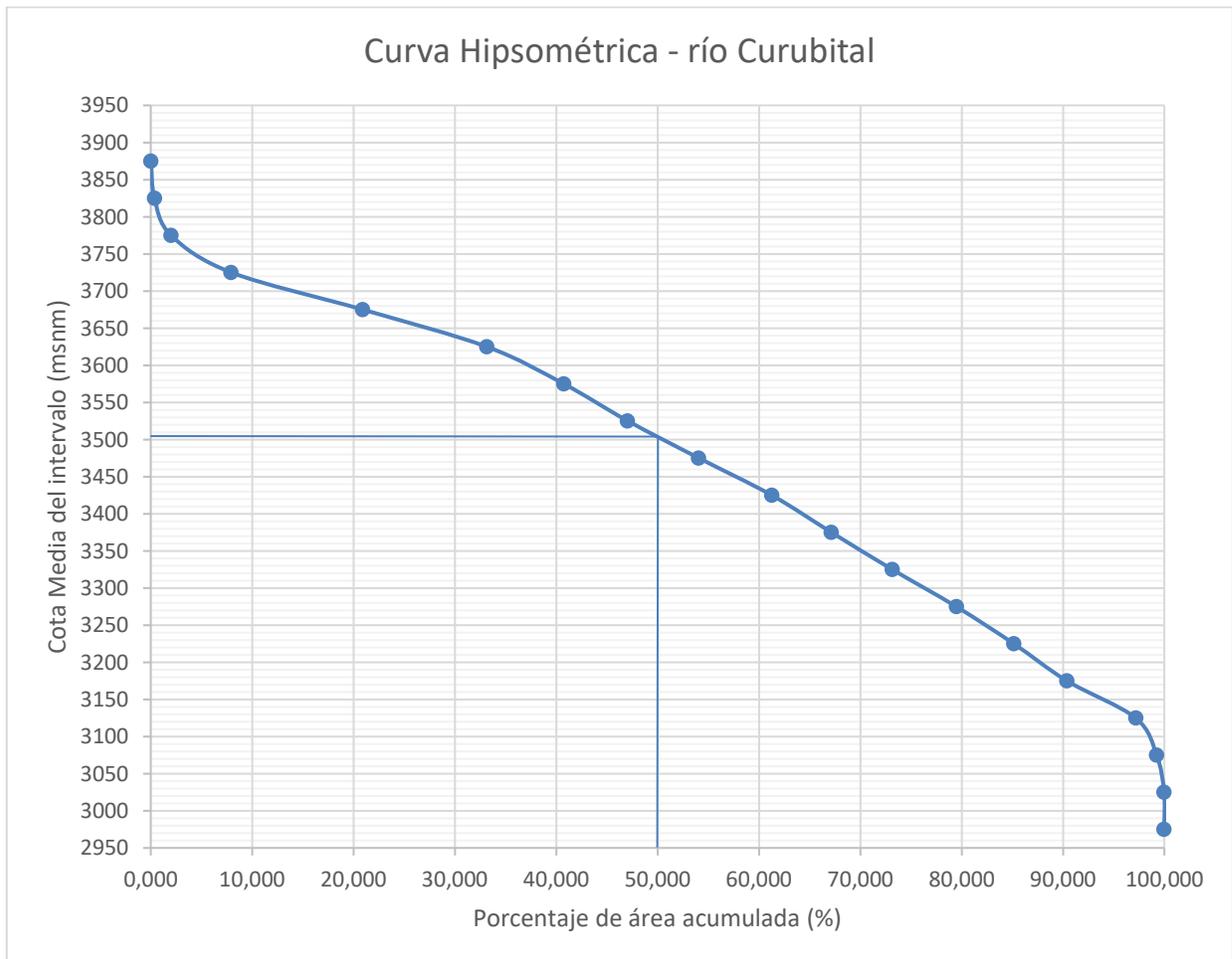
La tabla 12 establece la pendiente que tiene el cauce con respecto a su distancia, sin embargo, se puede definir una pendiente media:

$$S_m = \left( \frac{13250 \text{ m}}{157693,6 \text{ m}} \right)^2 = 0,00706$$

Al respecto de la gráfica 1 se pueden detallar 3 tipos de pendientes; la primera pendiente se encuentra en el intervalo donde desemboca el río a una altitud de 2985,13 generando un trayecto de 4,528 km que conlleva a la cota 3150 (m.s.n.m), con una pendiente moderada presentando un coeficiente de escurrimiento prudente; luego desde el kilómetro 4,529 hasta el kilómetro 9,21 se evidencian un aumento en las pendientes provocando así un aumento en las velocidades y en el coeficiente de escurrimiento, finalmente a una elevación de 3550 (m.s.n.m) hasta el nacimiento del río aproximadamente 3691,11 (m.s.n.m), la pendiente vuelve a disminuir similarmente a donde desemboca el río Curubital.

**7.1.8 Curva Hipsométrica:** Representa el relieve de la cuenca del río Curubital y una relación entre el valor de la cota con el porcentaje del área acumulada. Se graficó la curva hipsométrica para determinar cómo es el estado actual del río. Como se observa en la tabla 14 el porcentaje de área acumulada más significativo se presentó a una altitud de 3650 a 3700 m.s.n.m., y las áreas de menor acumulación se encuentran en la desembocadura y nacimiento del río. Además, en la gráfica 2 comparada con las curvas hipsométricas según Strahler (1964), la curva hipsométrica del río Curubital se encuentra en una etapa de madurez y equilibrio, originando una actividad erosiva media. Así mismo se representó la gráfica 3 la cual presenta la distribución en porcentaje, de las superficies ocupadas por diferentes altitudes.

## Gráfica 2 Curva Hipsométrica



**Fuete Propia**

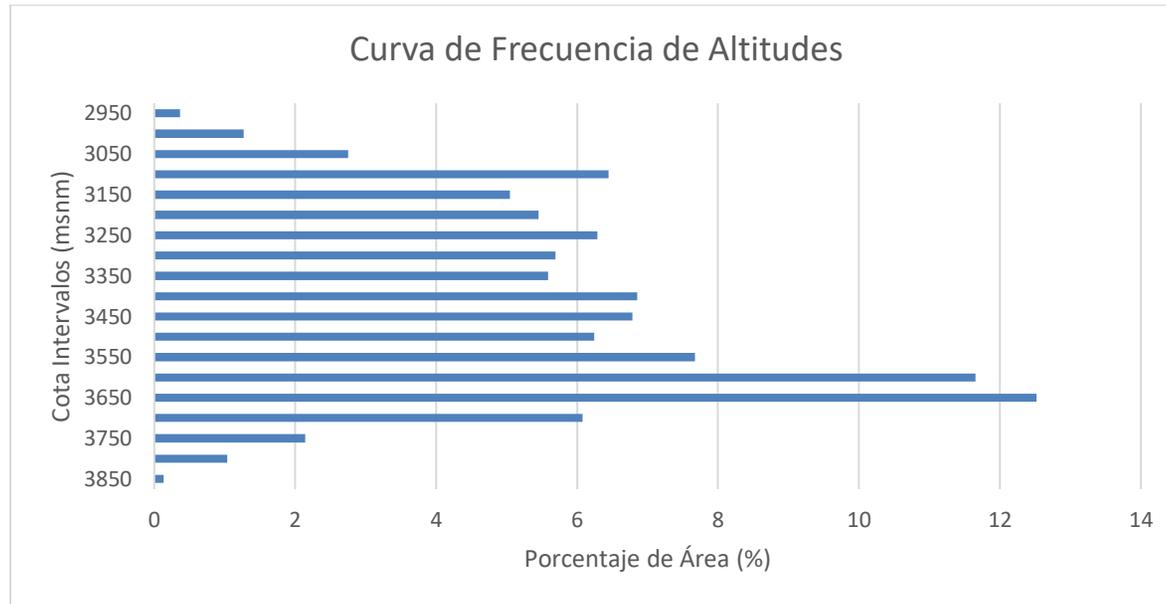
En la investigación se obtuvieron, la elevación mediana que corresponde al 50% del área acumulada de la curva hipsométrica, la altitud media (tabla 11) que corresponde a la sumatoria de la cota media del intervalo por el área (columna 7) dividida la sumatoria del área (columna 3) y la altitud más frecuente a partir de la gráfica 3.

**Tabla 14 Curva Hipsométrica río Curubital**

(1) Cotas Intervalo (msnm)		(2) Cota Media del intervalo (msnm)	(3) Área (km <sup>2</sup> )	(4) Área Acumulada (km <sup>2</sup> )	(5) Porcentaje de Área (%)	(6) Porcentaje Acumulado (%)	(7) Cota Media del intervalo * Área
3900	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
3850	3900	3875	0,006	0,006	0,010	0,010	22,281
3800	3850	3825	0,198	0,204	0,356	0,367	758,294
3750	3800	3775	0,910	1,114	1,637	2,004	3436,941
3700	3750	3725	3,301	4,416	5,935	7,939	12296,437
3650	3700	3675	7,215	11,630	12,972	20,912	26514,823
3600	3650	3625	6,807	18,437	12,238	33,150	24673,605
3550	3600	3575	4,227	22,664	7,600	40,749	15110,370
3500	3550	3525	3,510	26,174	6,311	47,060	12373,162
3450	3500	3475	3,903	30,077	7,017	54,078	13562,199
3400	3450	3425	4,002	34,079	7,196	61,274	13707,233
3350	3400	3375	3,270	37,349	5,880	67,153	11036,644
3300	3350	3325	3,340	40,689	6,006	73,159	11105,889
3250	3300	3275	3,516	44,205	6,322	79,481	11515,559
3200	3250	3225	3,157	47,362	5,676	85,157	10181,299
3150	3200	3175	2,911	50,273	5,233	90,390	9240,875
3100	3150	3125	3,773	54,046	6,784	97,174	11790,762
3050	3100	3075	1,154	55,199	2,074	99,248	3547,180
3000	3050	3025	0,408	55,607	0,733	99,981	1232,841
2950	3000	2975	0,011	55,617	0,019	100,000	31,267
<b>Σ</b>		-----	<b>55,61722502</b>	-----	-----	-----	<b>192137,6595</b>

Fuente: Propia

**Gráfica 3 Curva de Frecuencia de Altitudes río Curubital**



Fuente Propia

**Tabla 15 Resultados Curva hipsométrica - Frecuencia de Altitudes**

<b>Altitud media<sup>1</sup></b>	3454,643043
<b>Altitud Mediana<sup>2</sup></b>	3506,333333
<b>Altitud más Frecuente<sup>3</sup></b>	3650-3700

Fuente Propia

<sup>1</sup> Calculado Tabla curva Hipsométrica ( $\sum$  Cota Media del intervalo \* Área /  $\sum$  Área Km<sup>2</sup>)

<sup>2</sup> Calculado a partir de la gráfica curva hipsométrica (Porcentaje acumulado 50%)

<sup>3</sup> Obtenido en la gráfica curva de frecuencias de altitudes

**7.1.8 Tiempo de Concentración:** Corresponde al tiempo de flujo desde el punto más alejado del río hasta la salida de la misma. Para la cuenca hidrográfica Curubital se calculó por medio de las fórmulas de Heras, Pilgrim & McDermot, Kirpich y Ven Te Chow.

- Heras

$$T_c = 0,3 * \left( \frac{13,25 \text{ km}}{0,0532816^{0,25}} \right)^{0,75} = 3,61 \text{ horas o } 217 \text{ min}$$

- Pilgrim y McDermot

$$T_c = 0,76 * (55,617 \text{ km}^2)^{0,38} = 3,5 \text{ horas o } 210 \text{ min}$$

- Kirpiech

$$T_c = 0,0663 * \left( \frac{13,25 \text{ km}}{0,00706^{0,5}} \right)^{0,77} = 3,3 \text{ horas o } 195 \text{ min}$$

- Ven Te Chow

$$T_c = 0,096 * \left( \frac{13250}{0,00706^{0,5}} \right)^{0,64} = 203,6 \text{ min o } 3,39 \text{ horas}$$

El tiempo de concentración del río Curubital es aproximadamente de 206 min equivalente a 3,4 horas.

Es necesario recalcar que la red de drenaje del río Curubital es de tipo dendrítico, la cual se caracteriza por arroyos tributarios que se unen a la corriente con ángulos agudos, se puede determinar que se encuentra en un suelo homogéneo de textura fina, rocas sedimentarias blandas, antiguas llanuras costeras, permeabilidad baja, entre otras.

Las anteriores características se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 16 Resumen - Características morfométricas**

<b>Características Morfométricas</b>	
Área de drenaje (Km <sup>2</sup> )	55,64
Red de drenaje	Dendrítico
Perímetro (Km)	37,285
Longitud Cauce principal (Km)	13,250
Ancho de la Cuenca (Km)	8,375
Longitud Axial (Km)	14,200
Factor de Forma	0,590
Índice de Gravelius	1,400
Longitud Total de las Corrientes de agua (Km)	181,300
Densidad de drenaje (Km/Km <sup>2</sup> )	3,260
Equidistancia de cotas (Km)	0,050
Longitud Curvas de Nivel (Km)	292,300
Pendiente de la cuenca	26%
Pendiente cauce principal	5,33%
Tiempo de concentración	3,4 horas

Fuente: Propia

**7.2 Regímenes de Precipitación:** Para la determinación de las precipitaciones en la zona de estudio se recopiló información sobre las estaciones meteorológicas mencionadas en la (tabla 4). Para evaluar las estaciones pluviográficas y pluviométricas se analizaron los tiempos de cada estación con el fin de realizar una evaluación en un intervalo de tiempo considerable, considerando la tabla 7 se determinó un análisis desde el año 1970 a 2015, sin embargo, la estación **Pte. Australia** solo cuenta con datos desde 1985 lo que con llevo a pronosticar el período faltante, realizando una correlación lineal como expone Spiegel<sup>65</sup>, a partir de otras estaciones.

Teniendo en cuenta que las demás estaciones se encuentran relativamente cerca, tienen una altitud similar y cuentan con datos históricos verídicos, por consiguiente, se puede implementar el método de correlación lineal para cada mes y su respectivo año. De la zona de estudio, con el fin de completar los datos faltantes en la estación **Pte. Australia**.

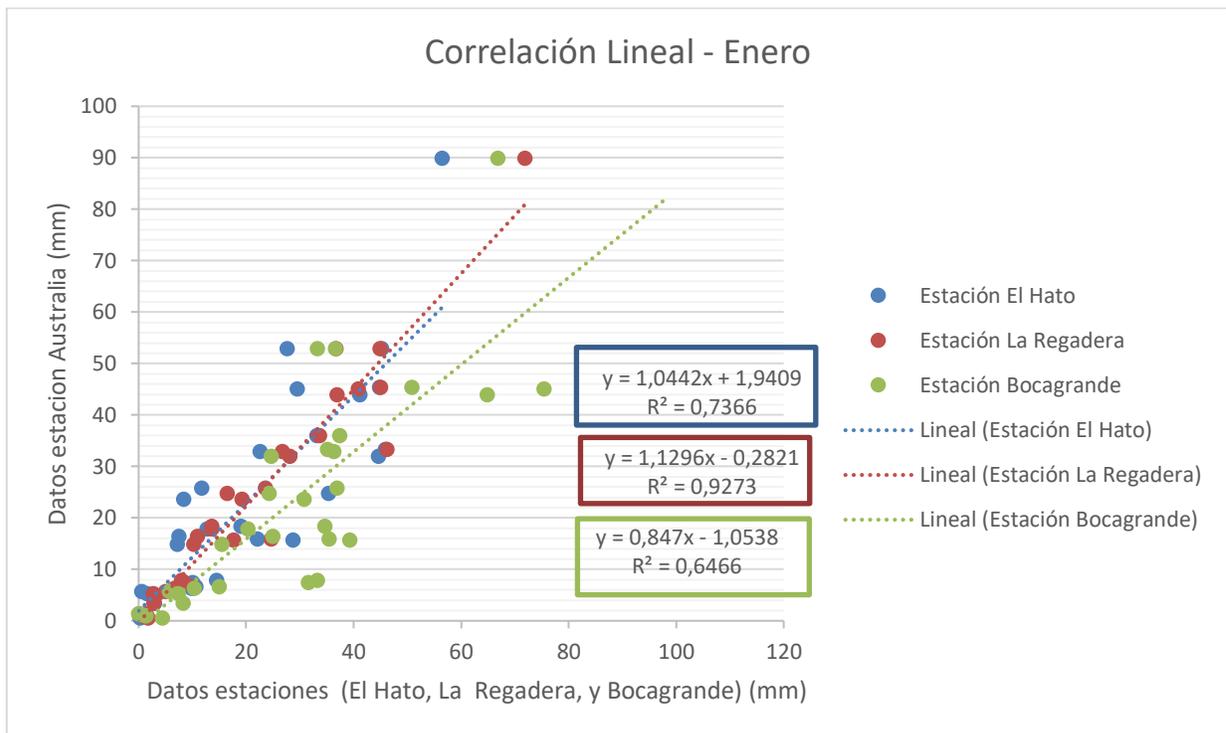
<sup>65</sup> SPIEGEL, Murray. Estadística. 2<sup>da</sup> Ed. Madrid: Mc Graw Hill, 1997. 546 p. ISBN 0-07-060234-4

**Tabla 17 Datos meteorológicos enero**

<b>Año</b>	<b>Estación El Hato (mm)</b>	<b>Estación La Regadera (mm)</b>	<b>Estación Bocagrande (mm)</b>	<b>Estación Australia (mm)</b>
1970	20,7	40,8	61,6	
1971	44,1	48,9	44,7	
1972	39	66,9	97,5	
1973	4,9	11,4	18,4	
1974	37	34,5	35	
1975	10,4	10	17,6	
1976	10,6	18	33,5	
1977	0	0	0	
1978	5,9	9,9	39,1	
1979	9,5	9	15	
1980	11,9	14,9	27,9	
1981	9,8	26,5	10	
1982	27,8	22	40,5	
1983	15,7	23,4	36	
1984	27,4	22	72,6	
1985	10,8	3,7	10	
1986	10,7	10,2	15	6,5
1987	10,1	8,5	31,6	7,4
1988	0,6	5	5,7	5,6
1989	7,5	11	25	16,3
1990	29,5	40,9	75,4	45
1991	1,6	2,8	7,4	5,2
1992	12,7	13,6	20,3	17,8
1993	33,2	33,7	37,4	35,9
1994	22,1	24,7	35,5	15,8
1995	7,2	10,3	15,5	14,8
1996	45,9	46,2	35,2	33,2
1997	44,8	45	50,9	45,3
1998	3	2,9	8,3	3,3
1999	41,2	36,9	64,9	43,9
2000	22,6	26,8	36,3	32,8
2001	1,2	1,5	0,7	1,1
2002	8,4	19,3	30,8	23,5
2003	1	0,9	1,4	0,9
2004	14,5	8	33,3	7,8
2005	19,1	13,6	34,7	18,3
2006	45,2	44,9	36,6	52,8
2007	0,1	1,3	0	1,3
2008	35,4	16,5	24,3	24,7
2009	56,5	71,9	66,9	89,8
2010	0,3	1,8	4,5	0,5
2011	27,7	36,7	33,3	52,8
2012	44,6	28,1	24,7	31,9
2013	9,9	6,7	10,4	6,2
2014	28,7	17,7	39,3	15,6
2015	11,8	23,6	36,9	25,7

Fuente: propia

**Gráfica 4 Correlación – enero**



Fuente: Propia

**Tabla 18 Correlación lineal enero estación Pte. Australia (1970 - 1985)**

Año	X (mm)	Y (mm)
1970	40,8	45,80558
1971	48,9	54,95534
1972	66,9	75,28814
1973	11,4	12,59534
1974	34,5	38,6891
1975	10	11,0139
1976	18	20,0507
1977	0	0
1978	9,9	10,90094
1979	9	9,8843
1980	14,9	16,54894
1981	26,5	29,6523
1982	22	24,5691
1983	23,4	26,15054
1984	22	24,5691
1985	3,7	3,89742

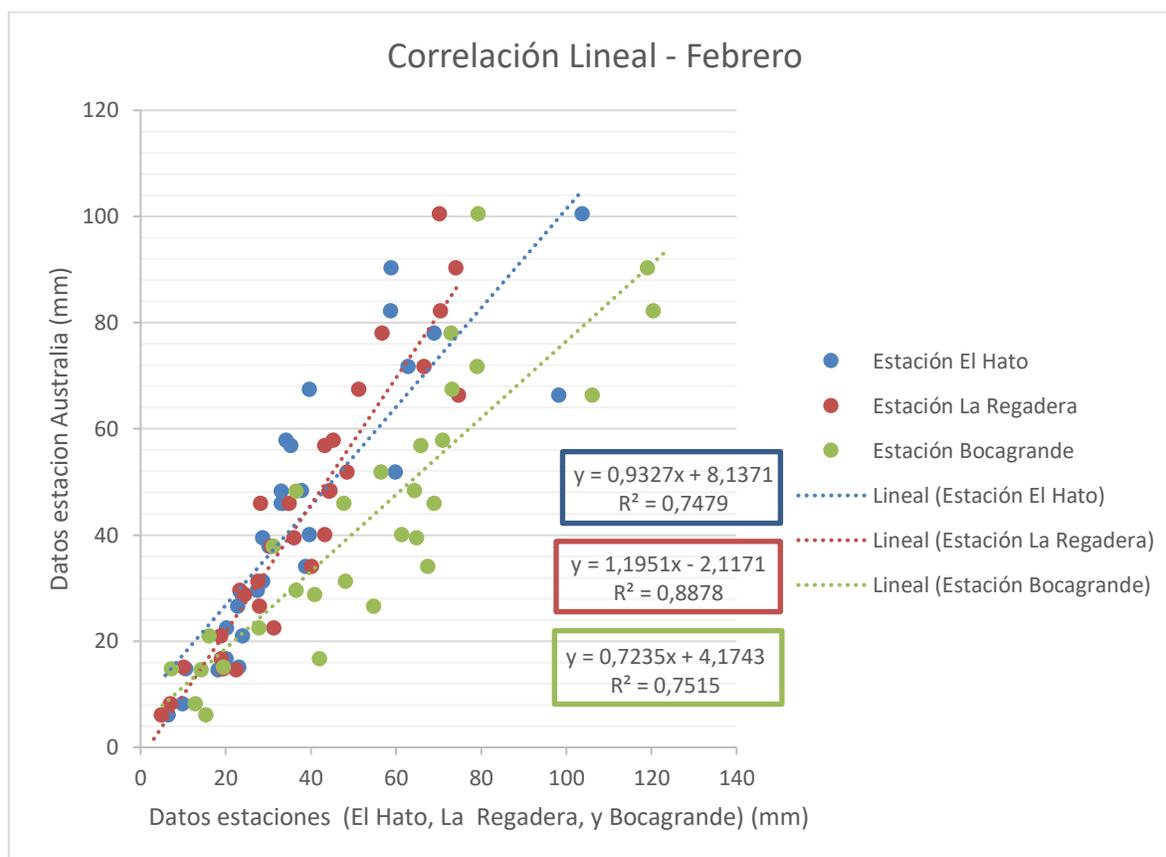
Fuente: Propia

**Tabla 19 Datos meteorológicos febrero**

<b>Año</b>	<b>Estación El Hato (mm)</b>	<b>Estación La Regadera (mm)</b>	<b>Estación Bocagrande (mm)</b>	<b>Estación Australia (mm)</b>
1970	23,5	56,5	68,8	
1971	30,6	32,6	67,9	
1972	28,5	27,9	40,8	
1973	5,8	3,1	5,1	
1974	36	35,9	60,2	
1975	53,3	42,4	51,5	
1976	44,5	18,5	28,5	
1977	22,9	31,3	52	
1978	31,7	29,5	40,1	
1979	7	9	10,5	
1980	41	49,5	82,4	
1981	20,3	22,1	60,7	
1982	61,7	43,4	76	
1983	60,4	73,4	123,7	
1984	59,3	68,4	119,7	
1985	8,6	10,8	37,5	
1986	103,7	70,2	79,3	100,5
1987	33,5	34,9	68,9	45,9
1988	20,2	31,3	27,8	22,5
1989	39,6	51,2	73,2	67,4
1990	33	44,3	36,5	48,2
1991	20,1	18,9	42	16,7
1992	30,2	30,7	31,2	37,9
1993	23,9	18,8	16,1	21
1994	33	28,2	47,7	45,9
1995	18,2	22,4	14,2	14,6
1996	58,7	70,4	120,4	82,2
1997	35,3	43,3	65,9	56,8
1998	23,8	24,4	40,9	28,8
1999	58,8	74,1	119,1	90,3
2000	62,8	66,6	79	71,7
2001	34,2	45,3	70,9	57,8
2002	6,5	4,9	15,4	6,1
2003	9,8	7	12,9	8,2
2004	59,9	48,5	56,5	51,8
2005	39,6	43,3	61,3	40,1
2006	10,6	19,4	7,3	14,8
2007	22,8	27,9	54,7	26,6
2008	38,8	40,2	67,5	34,1
2009	27,4	23,3	36,6	29,6
2010	37,8	44,5	64,3	48,3
2011	69	56,8	73	78
2012	28,7	36	64,8	39,5
2013	98,2	74,7	106,1	66,3
2014	23,1	10,1	19,4	15,1
2015	28,7	27,6	48,1	31,3

Fuente: Propia

## Gráfica 5 Correlación - febrero



Fuente Propia

**Tabla 20 Correlación lineal febrero estación Pte. Australia (1970 - 1985)**

Año	X (mm)	Y (mm)
1970	56,5	65,40605
1971	32,6	36,84316
1972	27,9	31,22619
1973	3,1	1,58771
1974	35,9	40,78699
1975	42,4	48,55514
1976	18,5	19,99225
1977	31,3	35,28953
1978	29,5	33,13835
1979	9	8,6388
1980	49,5	57,04035
1981	22,1	24,29461
1982	43,4	49,75024
1983	73,4	85,60324
1984	68,4	79,62774
1985	10,8	10,78998

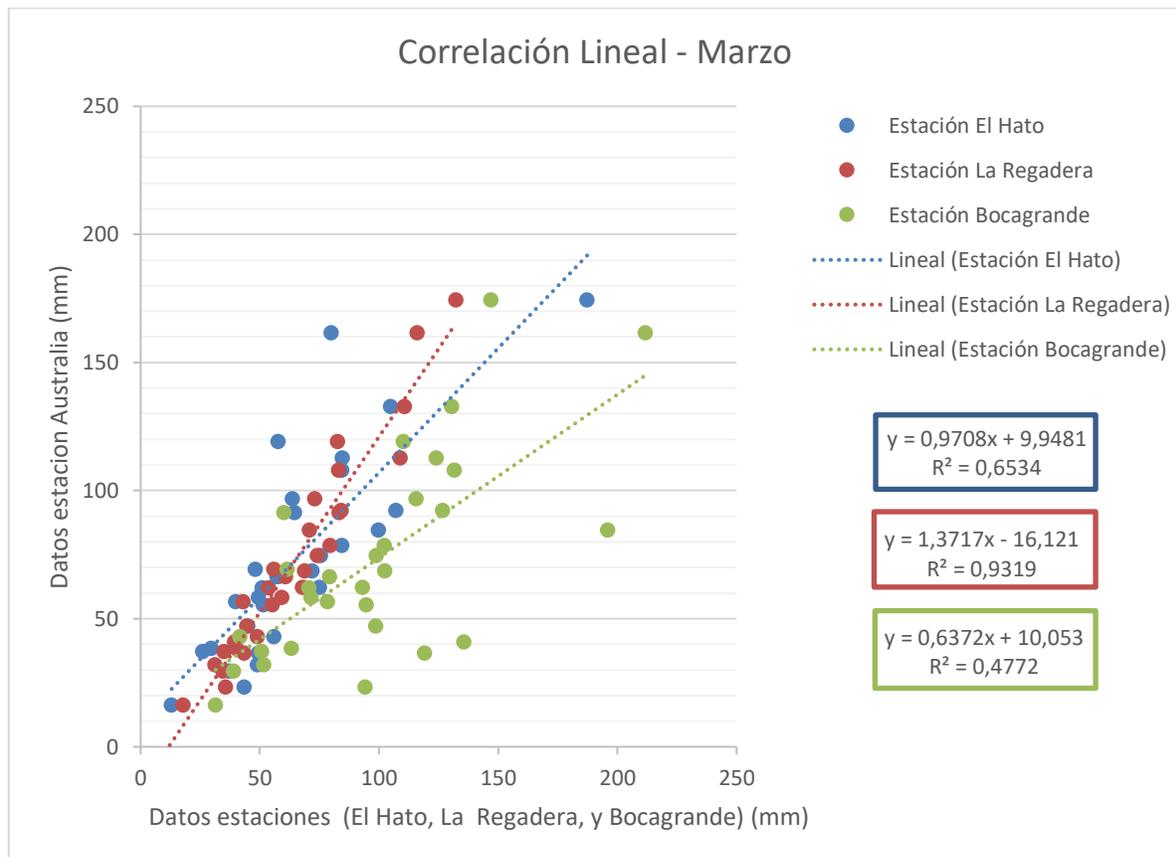
Fuente: Propia

**Tabla 21 Datos meteorológicos marzo**

<b>Año</b>	<b>Estación El Hato (mm)</b>	<b>Estación La Regadera (mm)</b>	<b>Estación Bocagrande (mm)</b>	<b>Estación Australia (mm)</b>
1970	34,8	54,2	99,1	
1971	48,7	88,1	103,1	
1972	46,5	68	97,5	
1973	23,6	22,1	37,5	
1974	19,5	39	59,8	
1975	57,4	68,9	72	
1976	72,4	62,8	98,5	
1977	20	23,6	49,7	
1978	52,7	43,3	87,7	
1979	44	43,6	106,3	
1980	30,2	33,8	60,1	
1981	17	12,2	36,8	
1982	56,2	52,1	87	
1983	62,8	68,3	108,9	
1984	29,3	15,8	36	
1985	34,1	18,4	52,5	
1986	99,7	70,8	195,9	84,6
1987	37,3	34,5	38,9	29,5
1988	13	17,9	31,4	16,3
1989	79,9	116	211,7	161,5
1990	84,6	108,9	124	112,7
1991	64,5	83,3	60,1	91,3
1992	29,7	40,1	63,3	38,4
1993	57,6	82,7	110,3	119,1
1994	84,5	79,6	102,3	78,6
1995	39,9	39,4	135,6	40,9
1996	107	84,2	126,8	92,2
1997	55,8	49	41,6	43
1998	51,4	55,2	94,6	55,3
1999	48,2	55,8	61,4	69,3
2000	75,5	74,2	98,9	74,6
2001	72	68,9	102,4	68,6
2002	44,9	44,6	98,6	47,1
2003	57,3	60,9	79,2	66,4
2004	49,5	59,3	71,4	58,3
2005	26,1	34,9	50,7	37,1
2006	84,5	83	131,5	107,9
2007	49	31,1	51,6	31,9
2008	51,1	53,7	70,5	61,9
2009	63,7	73	115,6	96,7
2010	39,9	43	78,3	56,6
2011	187,3	132,2	146,9	174,4
2012	104,8	110,6	130,4	132,7
2013	75,1	68	93,1	62,2
2014	43,5	35,6	94,3	23,3
2015	49,5	43,4	119,1	36,5

Fuente: Propia

## Gráfica 6 Correlación - marzo



Fuente: Propia

**Tabla 22 Correlación lineal marzo estación Pte. Australia (1970 - 1985)**

Año	X (mm)	Y (mm)
1970	54,2	58,22514
1971	88,1	104,72577
1972	68	77,1546
1973	22,1	14,19357
1974	39	37,3753
1975	68,9	78,38913
1976	62,8	70,02176
1977	23,6	16,25112
1978	43,3	43,27361
1979	43,6	43,68512
1980	33,8	30,24246
1981	12,2	0,61374
1982	52,1	55,34457
1983	68,3	77,56611
1984	15,8	5,55186
1985	18,4	9,11828

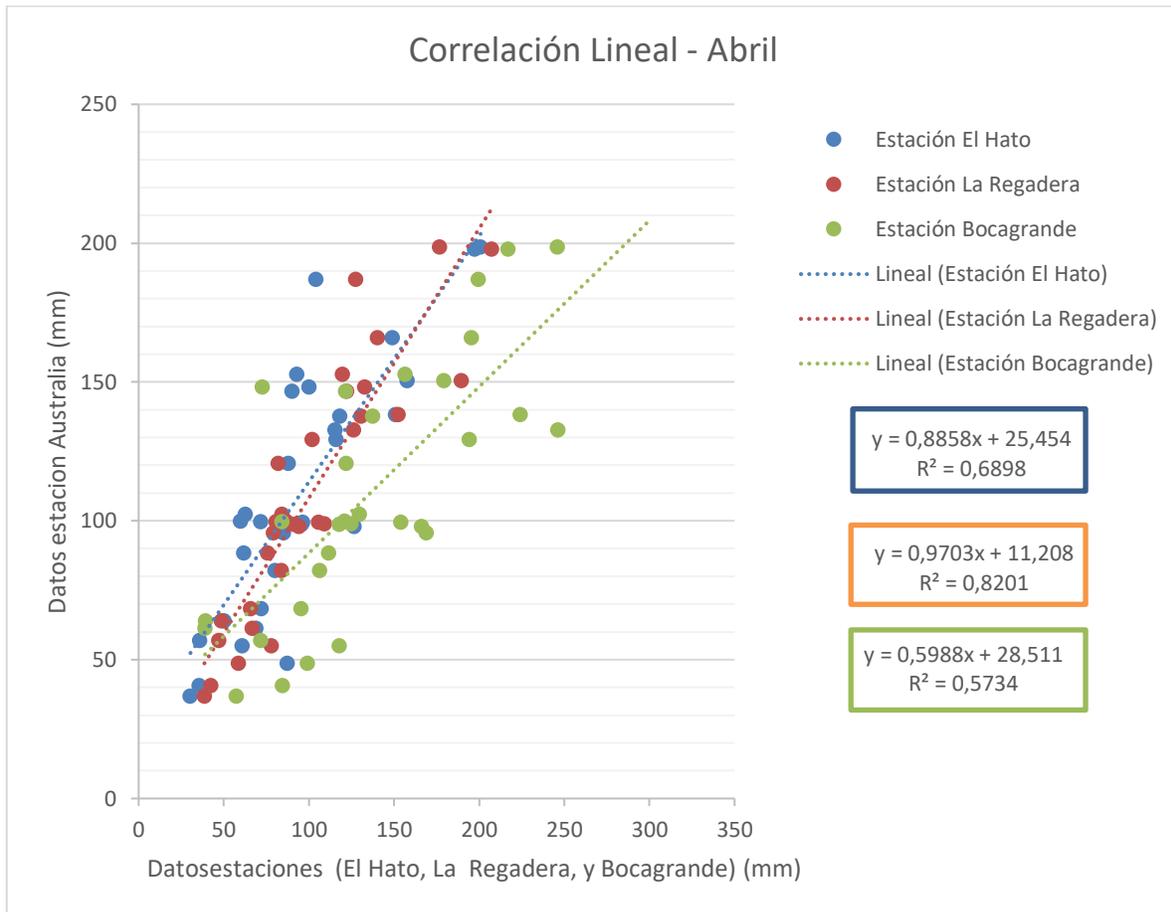
Fuente: Propia

**Tabla 23 Datos meteorológicos abril**

<b>Año</b>	<b>Estación El Hato (mm)</b>	<b>Estación La Regadera (mm)</b>	<b>Estación Bocagrande (mm)</b>	<b>Estación Australia (mm)</b>
1970	62,5	98,2	116,1	
1971	87,5	118,8	158	
1972	77	125,4	161,9	
1973	47,5	60,2	83,2	
1974	81,9	103,4	139,7	
1975	51,6	57,6	77,1	
1976	104,9	175,1	180	
1977	52,8	68,9	130	
1978	101,1	105,5	142,3	
1979	126,1	129,1	230,8	
1980	56,6	83,7	192,2	
1981	117,2	140,9	158,1	
1982	175,6	156,2	299,4	
1983	127,4	143,6	242,6	
1984	61,4	80,3	145,5	
1985	87,2	58,6	99	48,6
1986	69	66,7	39	61,2
1987	71,6	80,7	84,3	99,7
1988	50,3	48,5	39,2	63,9
1989	30,4	38,6	57,4	36,9
1990	100	132,7	72,6	148,1
1991	86	109	124,8	98,8
1992	93	119,7	156,6	152,7
1993	104,1	127,4	199,4	186,9
1994	87,9	82	121,8	120,7
1995	80,1	83,8	106,4	82
1996	60,9	78	118	55
1997	71,9	65,8	95,3	68,3
1998	35,8	47	71,8	56,9
1999	116,1	102,1	194,3	129,2
2000	60	86,8	121,1	99,8
2001	35,5	42,5	84,4	40,6
2002	95,6	91,2	118	98,6
2003	157,6	189,4	179,1	150,5
2004	126,7	94,2	166,2	97,9
2005	115,5	126,3	246,4	132,6
2006	149,1	140,3	195,5	165,9
2007	118,1	130,5	137,6	137,6
2008	90,1	122,2	121,6	146,6
2009	62,7	84,3	129,6	102,4
2010	197,3	207,4	217,1	197,8
2011	200,8	176,9	246,1	198,5
2012	150,8	152,3	224	138,3
2013	85,1	79,3	168,9	95,7
2014	96,3	105,7	154,1	99,5
2015	61,6	75,7	111,5	88,4

Fuente: Propia

### Gráfica 7 Correlación - abril



Fuente: Propia

Tabla 24 Correlación lineal abril estación Pte. Australia (1970 - 1985)

Año	X (mm)	Y(mm)
1970	98,2	106,49146
1971	118,8	126,47964
1972	125,4	132,88362
1973	60,2	69,62006
1974	103,4	111,53702
1975	57,6	67,09728
1976	175,1	181,10753
1977	68,9	78,06167
1978	105,5	113,57465
1979	129,1	136,47373
1980	83,7	92,42211
1981	140,9	147,92327
1982	156,2	162,76886
1983	143,6	150,54308
1984	80,3	89,12309

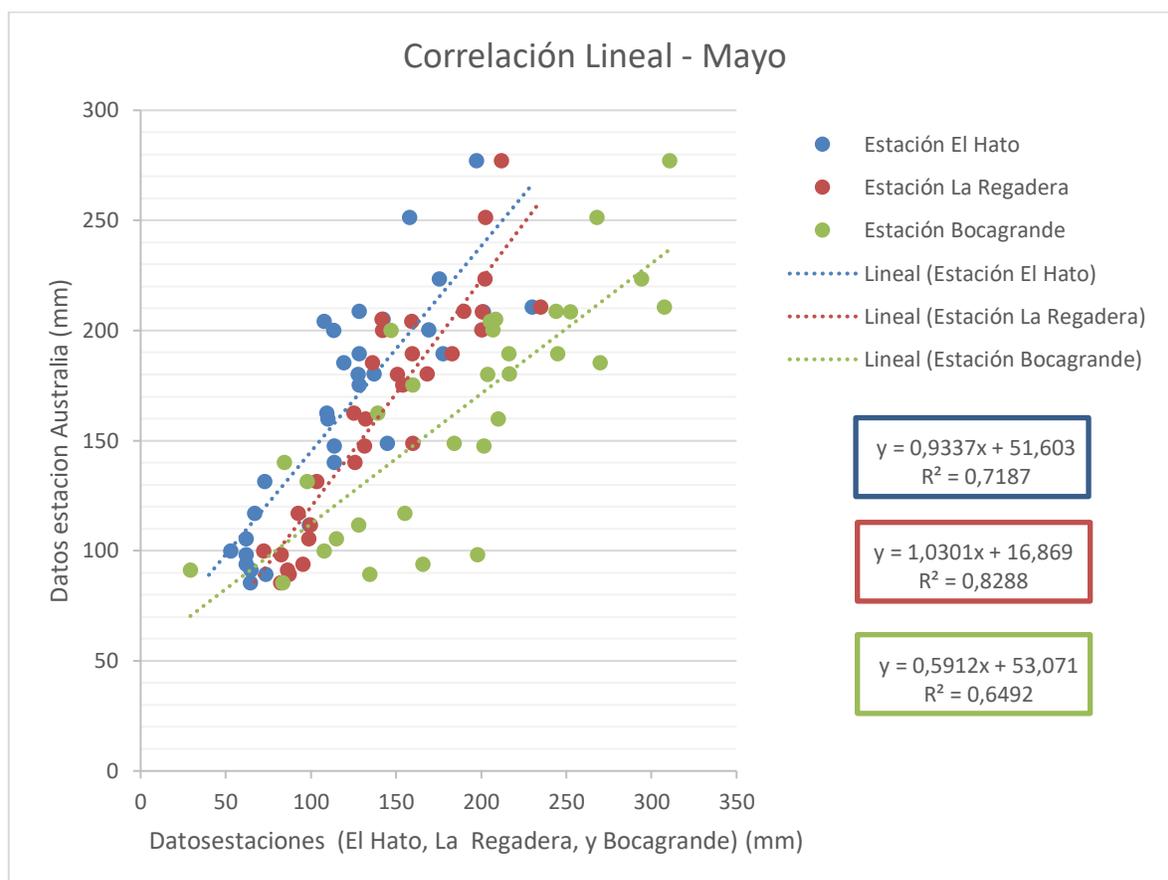
Fuente: Propia

**Tabla 25 Datos meteorológicos mayo**

Año	Estación El Hato (mm)	Estación La Regadera (mm)	Estación Bocagrande (mm)	Estación Australia (mm)
1970	94,7	170,5	174,2	
1971	124,4	162	163,9	
1972	100,7	155,9	227,5	
1973	61,3	110,3	184,7	
1974	106	139,9	241	
1975	145,7	183,7	275,2	
1976	120,7	150,7	228	
1977	40,1	67	86,2	
1978	96,3	130,5	175,9	
1979	99,2	109,6	152,4	
1980	57,1	96,5	140,5	
1981	163,4	171,2	226,4	
1982	101,1	127,9	153,7	
1983	75,6	96,5	183	
1984	75,2	94,3	169,4	
1985	128,4	154	160	175,1
1986	65	86,5	29,2	91,1
1987	113,8	126	84,5	140,1
1988	62,2	98,7	115,1	105,3
1989	142,4	141,7	208,4	205,1
1990	108	159,2	205,3	204
1991	113,5	142,3	147,2	200
1992	52,9	72,2	107,9	99,9
1993	128,3	190	244,1	208,7
1994	158	202,5	268,2	251,4
1995	144,9	159,8	184,2	148,8
1996	137,3	168,3	216,7	180,3
1997	73,6	87,4	134,6	89,1
1998	175,5	202,2	294,2	223,4
1999	62	95,5	166	93,8
2000	197,3	211,9	310,9	277,1
2001	109,9	132,1	210,1	159,8
2002	128,4	183	216,2	189,3
2003	67,1	92,5	155,3	117
2004	127,7	151	203,8	180,1
2005	230,1	235,1	307,6	210,7
2006	177,8	159,6	245	189,4
2007	73	103,4	98	131,3
2008	201,5	200,7	252,5	208,4
2009	64,4	82,3	83,5	85,3
2010	169,4	200,4	207,1	200,3
2011	113,9	131,6	201,7	147,6
2012	109,5	125,4	139,5	162,5
2013	119,4	136,3	270,1	185,2
2014	99	99,7	128	111,5
2015	62	82,7	197,8	98,1

Fuente: Propia

## Gráfica 8 Correlación - mayo



Fuente: Propia

**Tabla 26 Correlación lineal mayo estación Pte. Australia (1970 - 1985)**

Año	X (mm)	Y (mm)
1970	170,5	192,50105
1971	162	183,7452
1972	155,9	177,46159
1973	110,3	130,48903
1974	139,9	160,97999
1975	183,7	206,09837
1976	150,7	172,10507
1977	67	85,8857
1978	130,5	151,29705
1979	109,6	129,76796
1980	96,5	116,27365
1981	171,2	193,22212
1982	127,9	148,61879
1983	96,5	116,27365
1984	94,3	114,00743

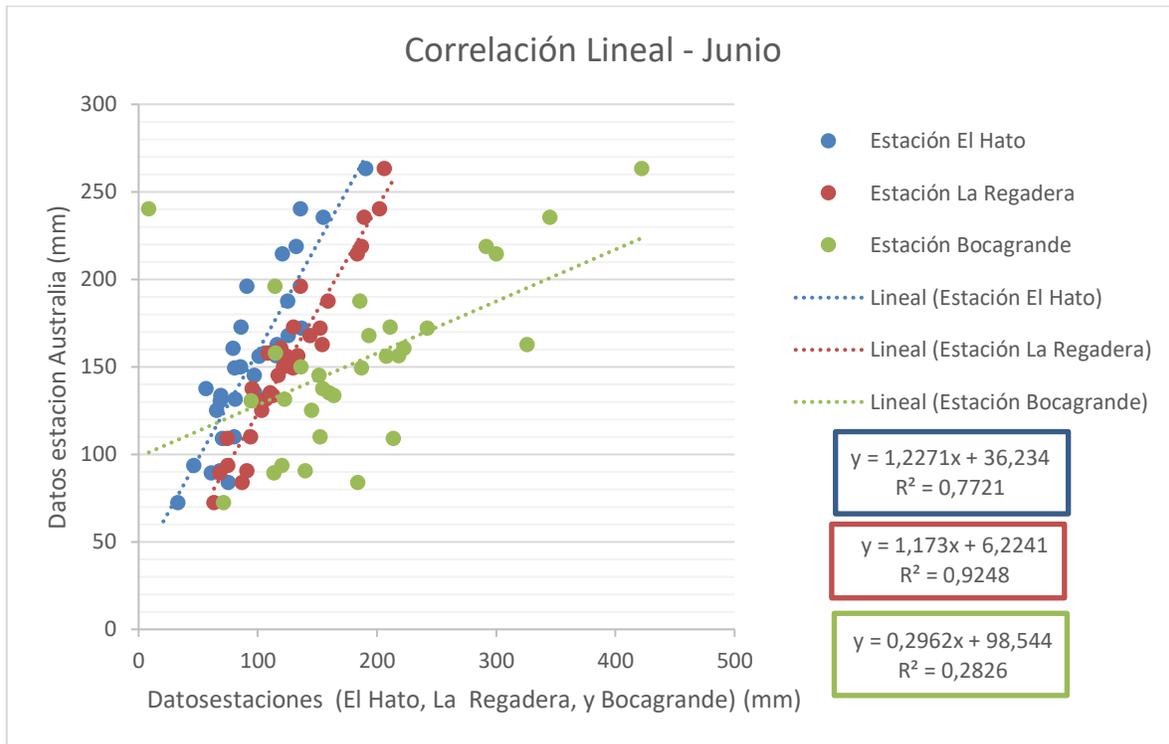
Fuente: Propia

**Tabla 27 Datos meteorológicos junio**

<b>Año</b>	<b>Estación El Hato (mm)</b>	<b>Estación La Regadera (mm)</b>	<b>Estación Bocagrande (mm)</b>	<b>Estación Australia (mm)</b>
1970	99,2	161	270,9	
1971	98,1	162,5	244,9	
1972	73,1	136,4	193,5	
1973	90,5	135	197,8	
1974	82,8	96,9	155	
1975	127,2	174,2	262,2	
1976	114,6	171,7	295,8	
1977	59,7	110,1	170,5	
1978	125,7	162,5	283	
1979	73,6	160,1	249	
1980	170,9	214	323,8	
1981	20,7	90,8	157,5	
1982	32	151,1	82,3	
1983	60,1	83,1	199	
1984	149,5	168,1	304,2	
1985	68,4	103,5	94,5	130,6
1986	135,7	202,1	8,5	240,1
1987	32,8	63,2	71,5	72,4
1988	105,9	108,8	114,8	157,7
1989	90,9	135,8	114,6	196,1
1990	69	112,7	163,8	133,6
1991	56,8	95,2	154,5	137,6
1992	46,5	74,7	120,4	93,4
1993	85,9	130,2	211,2	172,5
1994	79,3	119,4	222,8	160,4
1995	85,5	121,6	136,3	150
1996	81	106,9	122,4	131,3
1997	68	91	140	90,5
1998	115,5	133,7	218,4	156,3
1999	80,6	129,8	187,1	149,3
2000	65,5	103,5	145,1	125,2
2001	101,2	124,4	207,9	156,1
2002	155,2	189,1	345,2	235,4
2003	97,5	110,6	159,8	135,1
2004	120,9	183,3	300	214,6
2005	80,4	94	152,1	109,9
2006	125,4	143,8	193,4	167,7
2007	132,5	187,1	291,6	218,6
2008	136,8	152,4	242,4	172,1
2009	97,3	117,1	151,5	145,2
2010	125	158,8	185,8	187,6
2011	75,5	86,8	183,8	84
2012	70,6	74,5	213,8	109,1
2013	61,1	68,3	113,7	89,2
2014	190,7	206,4	422	263,3
2015	116,1	154,1	325,8	162,5

Fuente: Propia

### Gráfica 9 Correlación - junio



Fuente: Propia

Tabla 28 Correlación lineal junio estación Pte. Australia (1970 – 1985)

Año	X (mm)	Y (mm)
1970	161	195,0771
1971	162,5	196,8366
1972	136,4	166,2213
1973	135	164,5791
1974	96,9	119,8878
1975	174,2	210,5607
1976	171,7	207,6282
1977	110,1	135,3714
1978	162,5	196,8366
1979	160,1	194,0214
1980	214	257,2461
1981	90,8	112,7325
1982	151,1	183,4644
1983	83,1	103,7004
1984	168,1	203,4054

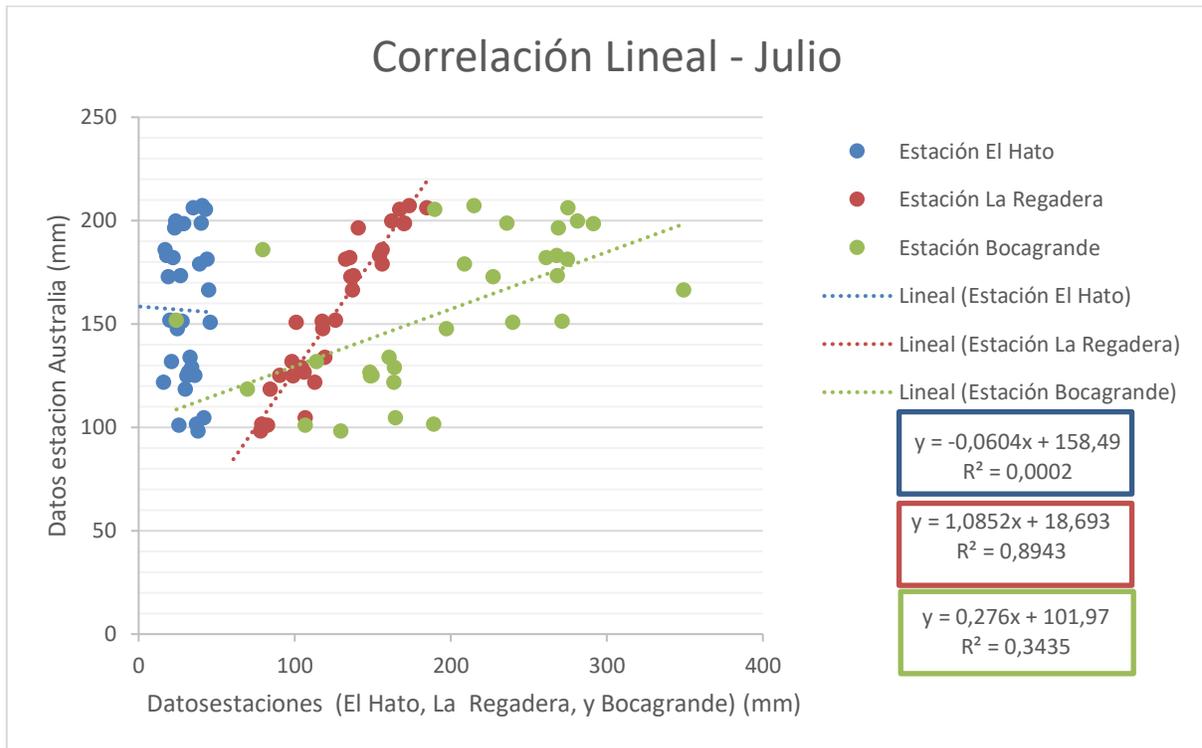
Fuente: Propia

**Tabla 29 Datos meteorológicos julio**

<b>Año</b>	<b>Estación El Hato (mm)</b>	<b>Estación La Regadera (mm)</b>	<b>Estación Bocagrande (mm)</b>	<b>Estación Australia (mm)</b>
1970	69,5	106,3	129,4	
1971	84,2	156,4	266,2	
1972	67,3	128,2	218,5	
1973	56,2	118,4	200,5	
1974	131,6	140,8	269,2	
1975	76,8	121,6	240,5	
1976	97,4	180,5	309,5	
1977	85,5	125,1	244,5	
1978	57	90,5	175,5	
1979	27,7	60,7	119,5	
1980	35,5	73,6	154,1	
1981	58,4	61,2	158,9	
1982	96,4	149,7	334,6	
1983	97,5	147,2	323,7	
1984	67,7	104,9	224,5	
1985	66,7	112,8	163,5	121,7
1986	80,6	156	79,5	186
1987	102,5	154,6	268	183,1
1988	99,9	136,2	227,1	172,8
1989	77,2	126,3	24,2	151,8
1990	63,7	98,3	114	131,9
1991	92,9	135,4	261,2	182,1
1992	93,2	140,9	269,2	196,4
1993	126,7	162,3	281,3	199,8
1994	79,5	117,9	197,4	147,8
1995	50	82,8	106,9	101,1
1996	116,4	137,7	268,5	173,4
1997	64,6	117,6	271,5	151,3
1998	133,9	170,1	291,4	198,5
1999	52,8	84,3	69,7	118,4
2000	61,8	99	148,5	124,9
2001	82,4	106,3	148,2	126,7
2002	88,4	119,3	160,7	133,9
2003	81,0	104,6	164	128,9
2004	139,4	184,7	275,1	206,1
2005	66,7	90,6	149,7	125,2
2006	61,9	79	189,1	101,4
2007	67,5	78,2	129,5	98,3
2008	124,4	156,2	208,9	179
2009	107,5	170,3	236	198,8
2010	155,5	173,6	215	207,1
2011	78	106,9	164,6	104,7
2012	143,7	167,4	189,9	205,5
2013	137,1	132,5	274,9	181,3
2014	114,5	137,2	349,2	166,5
2015	93,8	101	239,8	150,7

Fuente: Propia

**Gráfica 10 Correlación - julio**



Fuente: Propia

**Tabla 30 Correlación lineal julio estación Pte. Australia (1970 – 1985)**

Año	X (mm)	Y (mm)
1970	106,3	134,04976
1971	156,4	188,41828
1972	128,2	157,81564
1973	118,4	147,18068
1974	140,8	171,48916
1975	121,6	150,65332
1976	180,5	214,5716
1977	125,1	154,45152
1978	90,5	116,9036
1979	60,7	84,56464
1980	73,6	98,56372
1981	61,2	85,10724
1982	149,7	181,14744
1983	147,2	178,43444
1984	104,9	132,53048

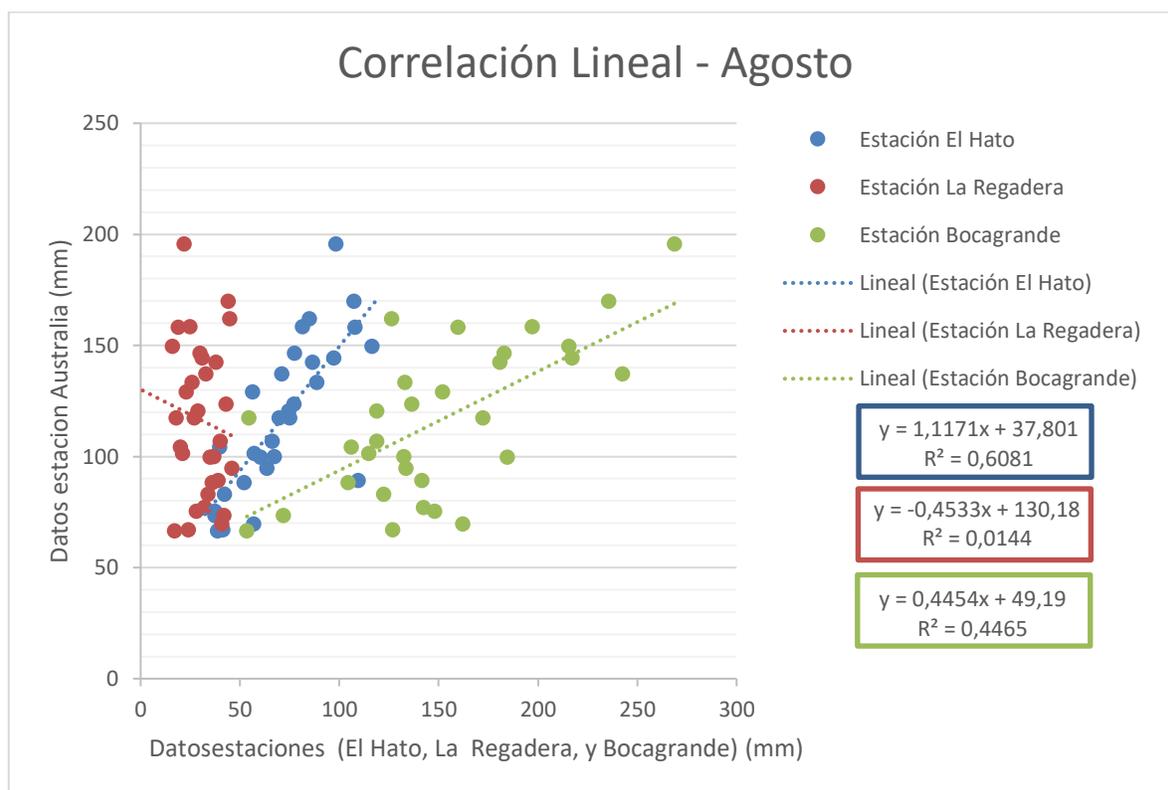
Fuente: Propia

**Tabla 31 Datos meteorológicos agosto**

Año	Estación El Hato (mm)	Estación La Regadera (mm)	Estación Bocagrande (mm)	Estación Australia (mm)
1970	84,1	106,4	159,1	
1971	79,5	129,5	201,1	
1972	43,9	106,7	198,9	
1973	119,8	180,1	212,7	
1974	76,1	111,7	158,5	
1975	106	152,1	259	
1976	50,8	88	168,1	
1977	69	92,3	142,6	
1978	55,8	92	184,8	
1979	73	103,2	193	
1980	62	97,8	155,5	
1981	50,3	65,9	138,7	
1982	70,8	131,7	228,7	
1983	59,4	93,8	190,8	
1984	115,2	140,7	228	
1985	116,4	117,7	215,5	149,5
1986	38,8	91,7	53,5	66,5
1987	69,8	96,9	54,6	117,2
1988	108	104,4i	159,9	158,1
1989	39,7	87,8	106,2	104,2
1990	57,1	82,5	114,8	101,4
1991	98,4	156,5	268,9	195,6
1992	56,4	109,6	152,1	128,9
1993	41,5	82,6	127	67
1994	81,4	104	197,2	158,3
1995	88,6	113	133,2	133,4
1996	75,2	114	172,3	117,3
1997	37,5	71,8	148,1	75,4
1998	74,5	100,4	119	120,3
1999	77,6	112,3	183,1	146,5
2000	97,4	123,4	217,3	144,3
2001	32,4	60,7	142,3	77
2002	71	107	242,6	137,2
2003	42,3	55,1	122,5	83
2004	60,3	81,1	184,6	99,6
2005	52	60,7	104,6	88,2
2006	67,4	78,9	132,6	100
2007	86,5	112,6	180,9	142,4
2008	109,6	110,4	141,6	89,2
2009	66,4	77,2	118,9	106,8
2010	57	62,4	162,2	69,5
2011	37,3	60,2	71,9	73,4
2012	77,1	104,3	136,5	123,5
2013	107,5	146	235,7	169,8
2014	85,1	100,1	126,5	161,9
2015	63,6	80,5	133,5	94,7

Fuente: Propia

**Gráfica 11 Correlación - agosto**



Fuente: Propia

**Tabla 32 Correlación lineal agosto estación Pte. Australia (1970 – 1985)**

Año	X(mm)	Y(mm)
1970	84,1	131,74911
1971	79,5	126,61045
1972	43,9	86,84169
1973	119,8	171,62958
1974	76,1	122,81231
1975	106	156,2136
1976	50,8	94,54968
1977	69	114,8809
1978	55,8	100,13518
1979	73	119,3493
1980	62	107,0612
1981	50,3	93,99113
1982	70,8	116,89168
1983	59,4	104,15674
1984	115,2	166,49092

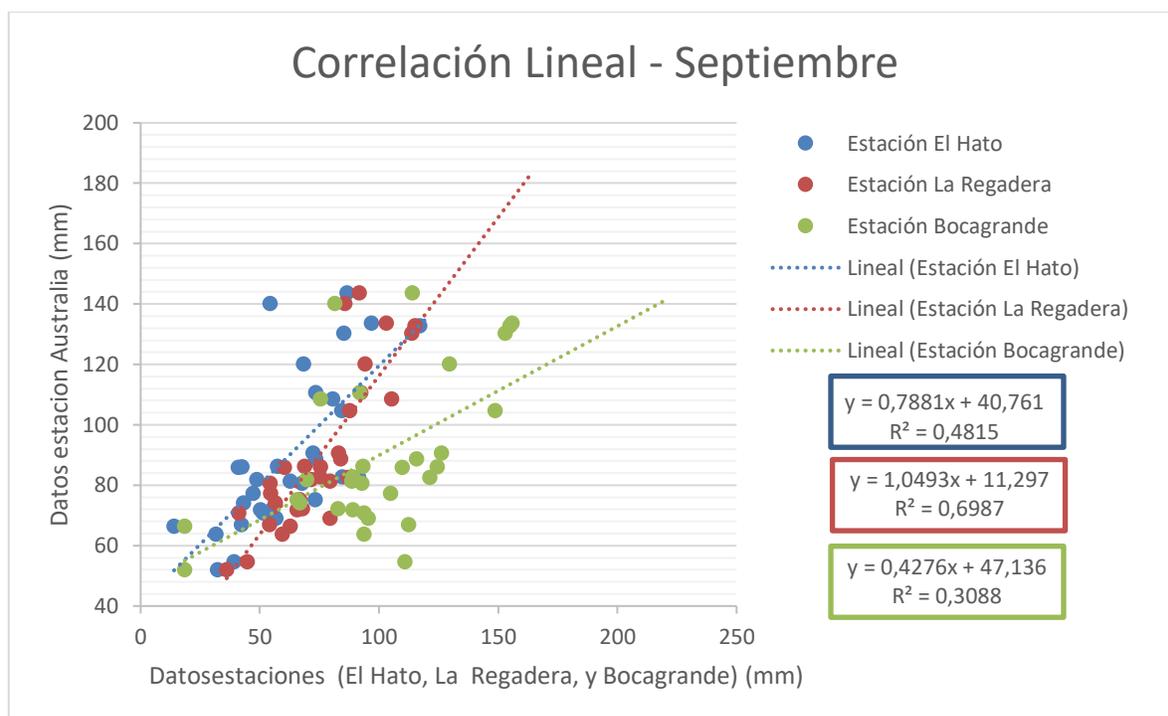
Fuente: Propia

**Tabla 33 Datos meteorológicos septiembre**

<b>Año</b>	<b>Estación El Hato (mm)</b>	<b>Estación La Regadera (mm)</b>	<b>Estación Bocagrande (mm)</b>	<b>Estación Australia (mm)</b>
1970	63,8	108,6	131,1	
1971	63,5	95,6	148	
1972	31	62,1	88,1	
1973	120,7	163,3	221,7	
1974	62,8	69,3	116,9	
1975	78,3	109,4	175,5	
1976	69,8	73,5	114,5	
1977	68,8	99,4	174,3	
1978	50	69,5	157,4	
1979	57,3	84,5	116,3	
1980	48,2	72,1	139,8	
1981	48,8	90,8	146,9	
1982	55,8	62,7	126,2	
1983	60,2	80,4	195,6	
1984	71	81,6	166,6	
1985	84,5	87,8	148,8	104,5
1986	14	62,8	18,5	66,3
1987	67,8	54,3	92,9	80,5
1988	86,6	91,7	114,1	143,5
1989	73,5	92,4	91,9	110,5
1990	32,2	36,1	18,6	51,8
1991	54,4	85,7	81,5	140,1
1992	73,5	83,9	115,8	88,6
1993	91,6	87,1	121,3	82,4
1994	47,2	54,5	104,9	77,1
1995	48,7	71,4	69,6	81,7
1996	84,6	75,3	89,1	82,6
1997	31,7	59,4	93,7	63,7
1998	43,3	56,6	66,9	74,1
1999	117,2	115,1	154,9	132,7
2000	96,9	103,1	155,9	133,6
2001	85,4	113,8	152,9	130,2
2002	62,7	79,4	88,7	81,3
2003	72,4	83	126,2	90,5
2004	80,6	105,4	75,5	108,5
2005	55,4	68	82,9	72,1
2006	51,5	41,2	93,8	70,7
2007	39,3	44,7	110,8	54,5
2008	57,4	68,9	93,2	86,1
2009	40,9	60,3	109,8	85,8
2010	73,2	66,9	65,7	75,1
2011	68,3	94,3	129,6	120,1
2012	42,6	75,4	124,5	86
2013	42,4	54,2	112,5	66,8
2014	56,8	79,5	95,5	69
2015	50,4	65,6	89	71,8

Fuente: Propia

**Gráfica 12 Correlación - septiembre**



Fuente: Propia

**Tabla 34 Correlación lineal septiembre estación Pte. Australia (1970 – 1985)**

Año	X (mm)	Y (mm)
1970	108,6	125,25098
1971	95,6	111,61008
1972	62,1	76,45853
1973	163,3	182,64769
1974	69,3	84,01349
1975	109,4	126,09042
1976	73,5	88,42055
1977	99,4	115,59742
1978	69,5	84,22335
1979	84,5	99,96285
1980	72,1	86,95153
1981	90,8	106,57344
1982	62,7	77,08811
1983	80,4	95,66072
1984	81,6	96,91988

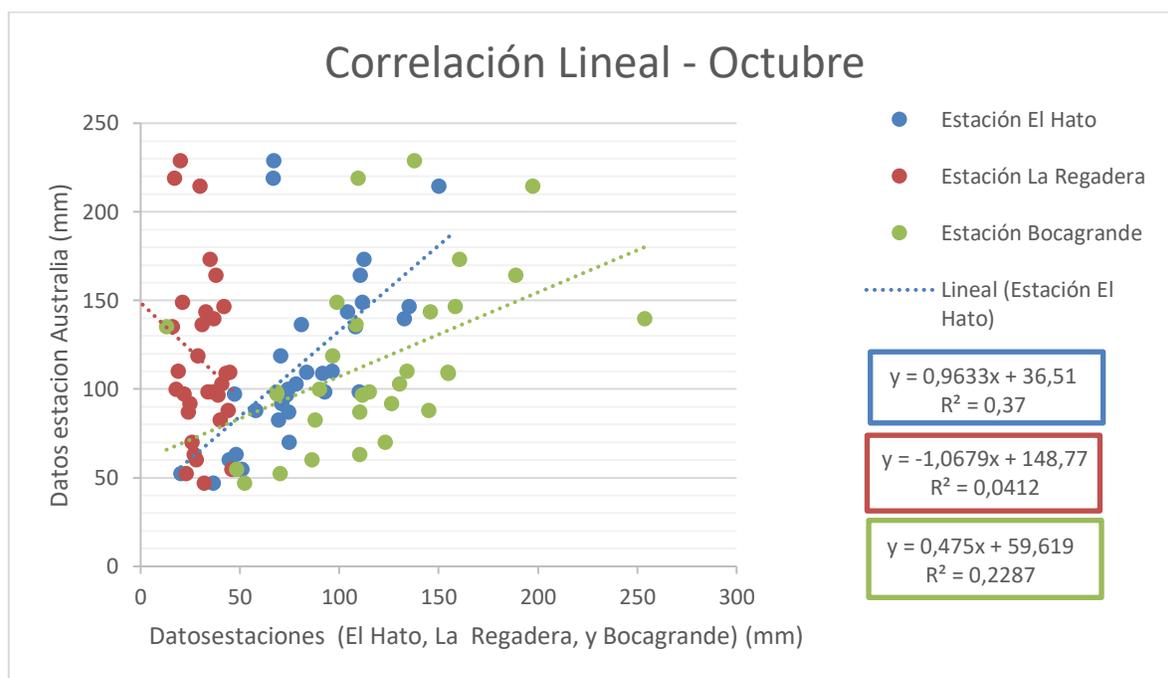
Fuente: Propia

**Tabla 35 Datos meteorológicos octubre**

<b>Año</b>	<b>Estación El Hato (mm)</b>	<b>Estación La Regadera (mm)</b>	<b>Estación Bocagrande (mm)</b>	<b>Estación Australia (mm)</b>
1970	140	191,2	210,8	
1971	47,9	63,3	94,2	
1972	56,5	92,3	94,7	
1973	61,5	75,3	109,3	
1974	73,9	75,8i	105,6	
1975	123,3	131,8	154,5	
1976	156,4	147,3	177	
1977	82	96,8	99,2	
1978	75,2	72,2	116,9	
1979	153,6	142,2	201,3	
1980	74,3	119,2	129,9	
1981	78,4	85,5	133	
1982	92	159,3	76,6	
1983	65,1	66	140,1	
1984	32,5	58,5	110,8	
1985	108,3	115,4	13	135,2
1986	66,9	190,8	109,5	218,8
1987	74,4	84,6	90,1	99,8
1988	96,4	113,6	134,1	110
1989	67,1	93,1	137,8	228,9
1990	111,8	108,2	98,8	148,8
1991	47,4	66,3	68,6	97,2
1992	20,2	42,7	70,4	52,4
1993	74,6	86,3	110,3	87,1
1994	71,1	92,1	126,5	91,8
1995	74,7	62,1	123,3	69,8
1996	48,2	61,7	110,3	63
1997	44,7	51,7	86,3	60,2
1998	70,6	81,7	96,8	118,6
1999	150,1	177,3	197,4	214,4
2000	81	127,6	108,6	136,4
2001	36,5	43,7	52,3	47
2002	104,2	125,3	145,8	143,6
2003	110	119	115,1	98,4
2004	112,5	143,8	160,7	173,2
2005	92,8	95,9	68,5	98,3
2006	132,9	128,9	253,7	139,5
2007	110,5	145	188,8	164,1
2008	73,5	93,7	111,6	96,6
2009	69,4	62,8	88	82,6
2010	78,2	101,1	130,4	102,9
2011	135,1	144,4	158,4	146,4
2012	91,6	83,5	154,9	108,8
2013	57,9	80,5	145,2	87,9
2014	83,7	93,5	154,6	109,4
2015	51	54	48,3	54,6

Fuente: Propia

**Gráfica 13 Correlación - octubre**



Fuente: Propia

**Tabla 36 Correlación lineal octubre estación Pte. Australia (1970 – 1985)**

Año	X (mm)	Y (mm)
1970	140	171,372
1971	47,9	82,65207
1972	56,5	90,93645
1973	61,5	95,75295
1974	73,9	107,69787
1975	123,3	155,28489
1976	156,4	187,17012
1977	82	115,5006
1978	75,2	108,95016
1979	153,6	184,47288
1980	74,3	108,08319
1981	78,4	112,03272
1982	92	125,1336
1983	65,1	99,22083
1984	32,5	67,81725

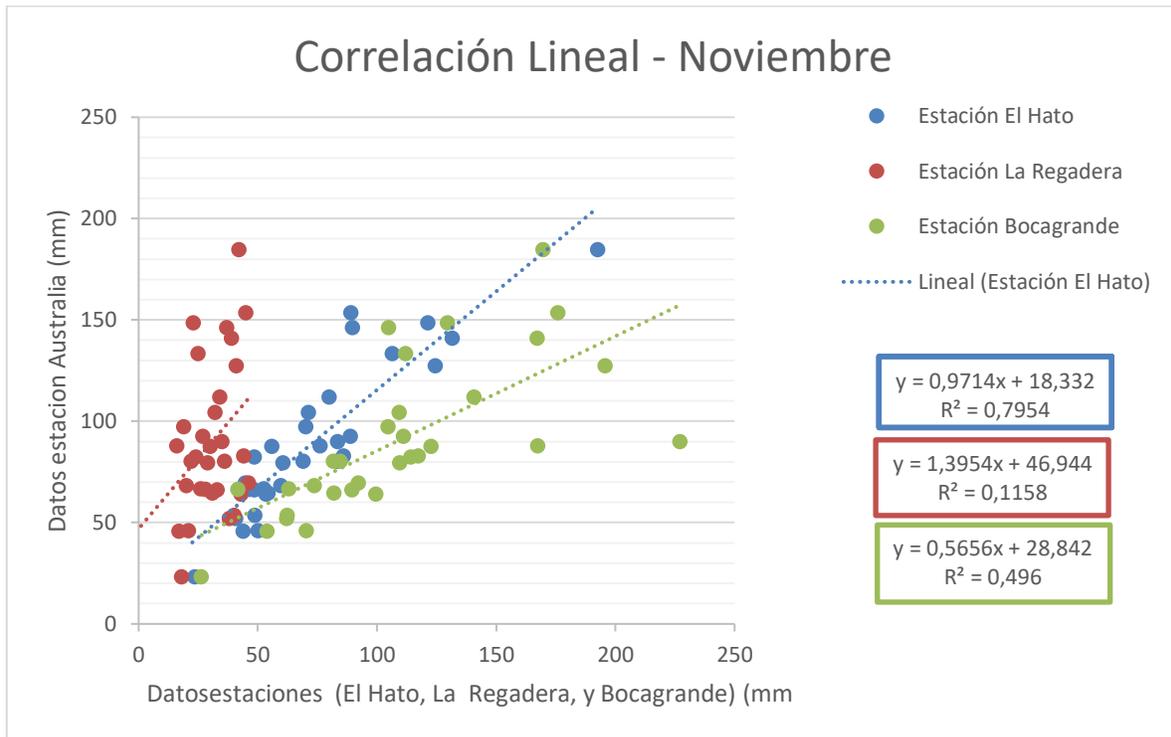
Fuente: Propia

**Tabla 37 Datos meteorológicos noviembre**

<b>Año</b>	<b>Estación El Hato (mm)</b>	<b>Estación La Regadera (mm)</b>	<b>Estación Bocagrande (mm)</b>	<b>Estación Australia (mm)</b>
1970	57,8	55,5	106,1	
1971	69,5	77,6	111,5	
1972	60	86,7	93,7	
1973	95	104,5	147,8	
1974	82	101,7	157,2	
1975	72,7	81,6	79	
1976	55,6	63,8	162,5	
1977	100,5	105,4	137,1	
1978	22,5	14	47	
1979	120,9	117,6	152,9	
1980	41	46,1	68	
1981	78,5	93,5	133,2	
1982	46,2	46,3	62,5	
1983	25,2	40,2	80,5	
1984	57,2	99,8	186	
1985	76,1	101,0i	167,5	87,7
1986	43,8	75,9	54	45,7
1987	23,7	22,9	26,4	23,1
1988	70,2	81,8	104,6	97,1
1989	59,6	71,9	73,7	68,2
1990	50,1	44,7	70,4	45,8
1991	83,4	62,1	84,7	80,3
1992	121,4	145,5	129,6	148,6
1993	48,5	73,7	114,2	82,4
1994	106,4	102,6	112,1	133,4
1995	52,5	51,9	63	66,5
1996	88,9	101,9	111,1	92,6
1997	44,4	49,7	41,6	66,2
1998	60,6	69,8	109,5	79,5
1999	55,8	78,9	122,7	87,6
2000	54,3	61,5	82	64,5
2001	71,2	87,5	109,4	104,4
2002	48,6	59,5	89,5	66
2003	80	108	140,8	111,8
2004	83,4	99,5	227,1	89,9
2005	69	72,8	81,8	80,2
2006	89,8	136,5	104,9	146,2
2007	40,8	43	62,2	52
2008	131,7	113,5	167,3	141
2009	48,7	43,3	62,4	53,6
2010	124,4	117,3	195,7	127,4
2011	192,7	159,4	169,6	184,5
2012	53,5	46,1	99,6	64
2013	86	82,7	117,3	82,8
2014	89,1	113,6	176	153,6
2015	44,8	53,7	92,2	69,6

Fuente: Propia

**Gráfica 14 Correlación - noviembre**



Fuente: Propia

**Tabla 38 Correlación lineal noviembre estación Pte. Australia (1970 – 1985)**

Año	X (mm)	Y (mm)
1970	57,8	74,47892
1971	69,5	85,8443
1972	60	76,616
1973	95	110,615
1974	82	97,9868
1975	72,7	88,95278
1976	55,6	72,34184
1977	100,5	115,9577
1978	22,5	40,1885
1979	120,9	135,77426
1980	41	58,1594
1981	78,5	94,5869
1982	46,2	63,21068
1983	25,2	42,81128
1984	57,2	73,89608

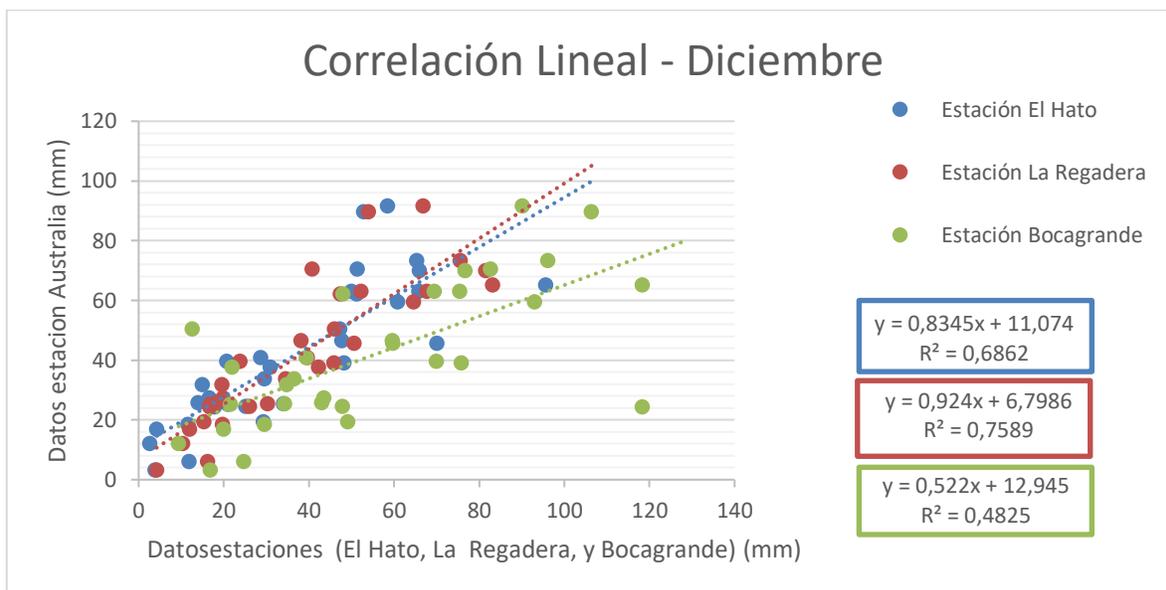
Fuente: Propia

**Tabla 39 Datos meteorológicos diciembre**

<b>Año</b>	<b>Estación El Hato (mm)</b>	<b>Estación La Regadera (mm)</b>	<b>Estación Bocagrande (mm)</b>	<b>Estación Australia (mm)</b>
1970	3	16,5	33,6	
1971	33	48,8	67,1	
1972	13,6	26,9	35,1	
1973	49	64,3	58,7	
1974	10,8	8,3	14,2	
1975	106,6	106,6	127,5	
1976	15,3	22,6	18,5	
1977	25,3	31,3	51,4	
1978	15,3	17,7	64,3	
1979	41,1	41,7	65,8	
1980	31,5	41,4	41,9	
1981	35,8	46,6	78,4	
1982	38,4	40,9	65,4	
1983	47,7	56,1	78,1	
1984	15,8	20,7	93,5	
1985	20,7	23,8	70	39,6
1986	11,6	19,7	29,5	18,5
1987	30,9	42,3	22	37,6
1988	47,3	46	12,6	50,5
1989	29,3	15,3	49,1	19,3
1990	51,2	47,4	48	62,1
1991	34,1	30,3	34,3	25,4
1992	21	16,9	21,6	25,2
1993	4,3	12	20	16,9
1994	15	19,6	34,8	31,7
1995	50	52,3	69,5	63,1
1996	65,4	75,6	96,1	73,3
1997	3,9	4,2	16,9	3,2
1998	65,9	67,7	75,4	63
1999	16,6	19,8	43,5	27,4
2000	60,8	64,6	93	59,5
2001	48,2	45,9	75,8	39,1
2002	29,6	34,5	36,5	33,7
2003	28,7	39,7	39,4	40,9
2004	25,2	26,1	47,9	24,5
2005	14	18,3	43	25,7
2006	17,9	16,7	118,3	24,4
2007	58,5	66,9	90,2	91,6
2008	47,7	38,2	59,6	46,5
2009	2,6	10,4	9,4	12,1
2010	95,7	83,2	118,3	65,1
2011	66	81,6	76,7	69,9
2012	51,4	40,8	82,7	70,5
2013	70,1	50,6	59,7	45,7
2014	52,9	54	106,3	89,6
2015	11,8	16,2	24,7	6

Fuente: Propia

**Gráfica 15 Correlación - diciembre**



Fuente: Propia

**Tabla 40 Correlación lineal diciembre estación Pte. Australia (1970 – 1985)**

Año	X (mm)	Y (mm)
1970	16,5	22,0446
1971	48,8	51,8898
1972	26,9	31,6542
1973	64,3	66,2118
1974	8,3	14,4678
1975	106,6	105,297
1976	22,6	27,681
1977	31,3	35,7198
1978	17,7	23,1534
1979	41,7	45,3294
1980	41,4	45,0522
1981	46,6	49,857
1982	40,9	44,5902
1983	56,1	58,635
1984	20,7	25,9254

Fuente: Propia

Las anteriores gráficas y tablas de correlación evidencian que las estaciones poseen una relación. Sin embargo, la estación La Regadera es la que tiene mejor correlación debido a que la desviación de datos es menor que las demás estaciones, cabe mencionar que para los meses (agosto, octubre y noviembre) la estación El Hato fue quien tuvo mejor similitud a los datos de la estación Pte. Australia, observando que octubre es el mes más irregular entre las estaciones dado que su coeficiente de correlación es bajo como lo ilustra la gráfica 13 con un valor de 0,37 mientras que los demás meses se encuentran con un coeficiente superior a 0,6.

Una vez obtenida estas correlaciones y completados los datos de la estación Pte. Australia se puede realizar la evaluación para un tiempo de 45 años (1970 – 2015) de todas las estaciones de estudio. En el anexo # 1 se encuentra la información de las estaciones pluviográficas y pluviométricas (El Hato, La Regadera, Bocagrande y Australia).

Para la evaluación de régimen de lluvias se analizó cada una de las estaciones correspondientes a la precipitación total mensual en unidad de milímetros, con su respectivo registro histórico.

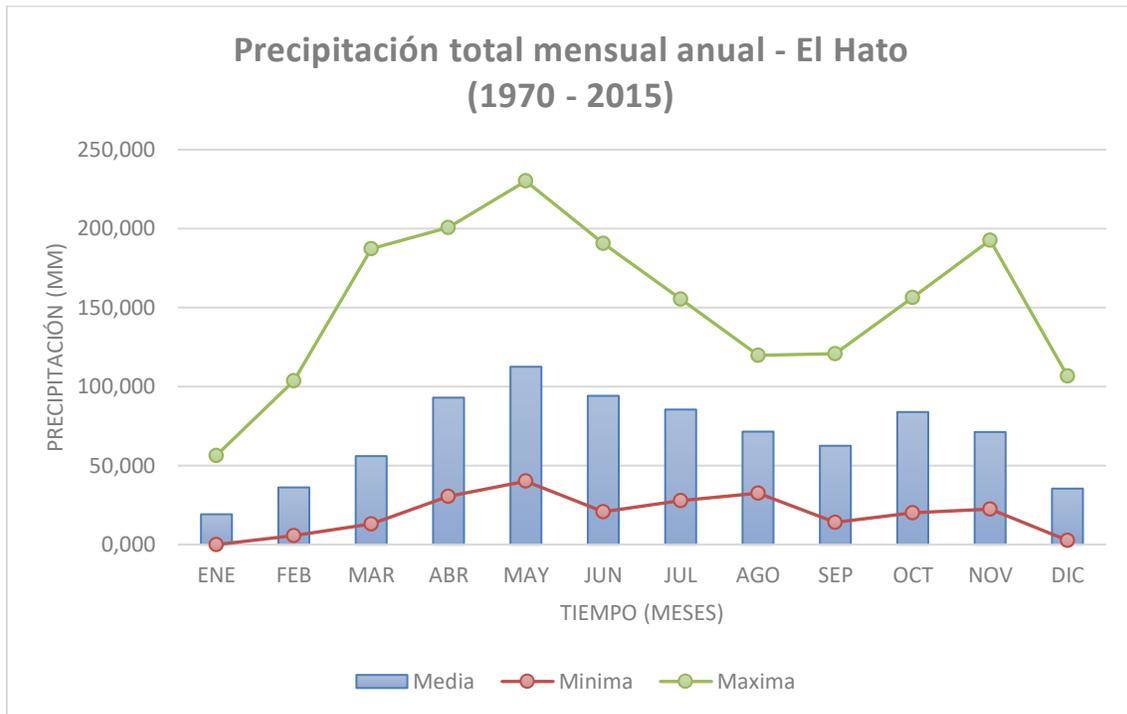
- **Estación pluviográfica El Hato:** Los valores representados en la gráfica 16 se evidencia 3 intervalos de tiempo, en el cual los valores máximos de precipitación se presentan en los meses abril, mayo, junio y julio notando que en el mes de mayo se registra la precipitación máxima con un valor de (230,1 mm); los meses de agosto, septiembre, la lluvia disminuye, pero en octubre esta vuelve aumentar superando el mes de julio y desde el mes de noviembre inicia un descenso en las precipitaciones hasta febrero, teniendo la mínima precipitación en el mes de enero. También se analiza que el comportamiento grafico es unimodal desde enero hasta agosto teniendo una transición a bimodal de septiembre a diciembre.

**Tabla 41 Precipitación El Hato**

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>Máxima</b>	56,5	103,7	187,3	200,8	230,1	190,7	155,5	119,8	120,7	156,4	192,7	106,6
<b>Media</b>	19,19	36,2	56,0	93,0	112,596	94,16	85,48	71,51	62,54	83,91	71,26	35,45
<b>Mínima</b>	0	5,8	13	30,4	40,1	20,7	27,7	32,4	14	20,2	22,5	2,6

Fuente: Propia

**Gráfica 16 Precipitación total mensual anual - El Hato**

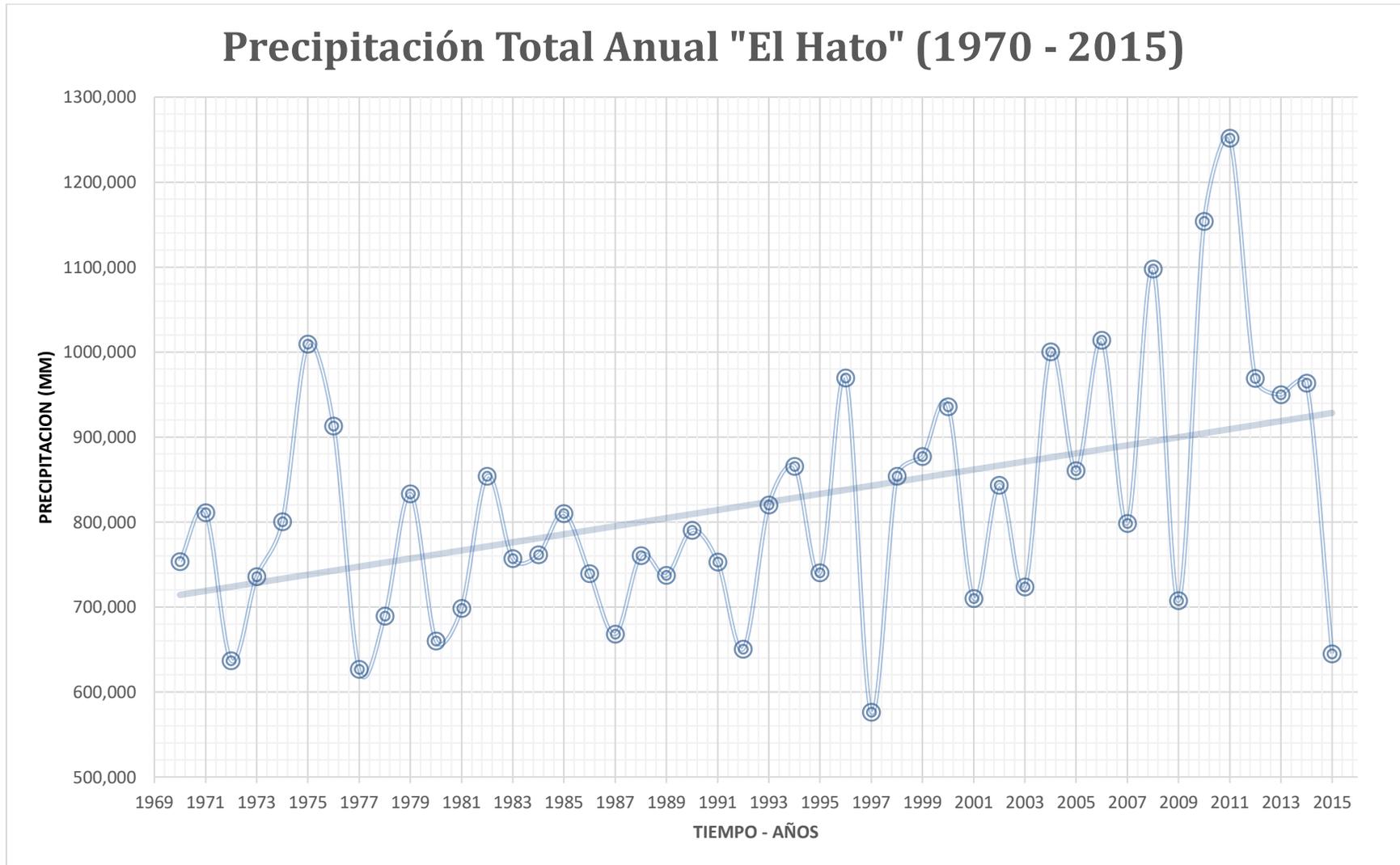


**Fuente: Propia**

Además, el valor anual durante los 45 años representado en la gráfica 17 se considera que las precipitaciones en el transcurso del tiempo han aumentado, indicando que en año 2011 se originó la mayor precipitación con un volumen de (1267,8 mm) y en el año 1997 la menor precipitación con un valor de (576,2 mm), esto se encuentra asociado a los efectos climáticos como anuncia la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres Las Américas (EIRD)<sup>66</sup>, la cual informa que el fenómeno de El Niño en 1997-1998 afectó significativamente a países sur americanos como Colombia, Venezuela y el antiplano de Bolivia.

<sup>66</sup> ESTRATEGIA INTERNACIONAL PARA LA REDUCCIÓN DE DESASTRES NATURALES. El impacto del fenómeno de El Niño de 1997-1998 en la Comunidad Andina de Naciones [En línea], [citado 20 oct., 2016]. Disponible en: [http://www.eird.org/esp/revista/No1\\_2001/pagina22.htm](http://www.eird.org/esp/revista/No1_2001/pagina22.htm)

Gráfica 17 Precipitación total anual - El Hato



Fuente: Propia

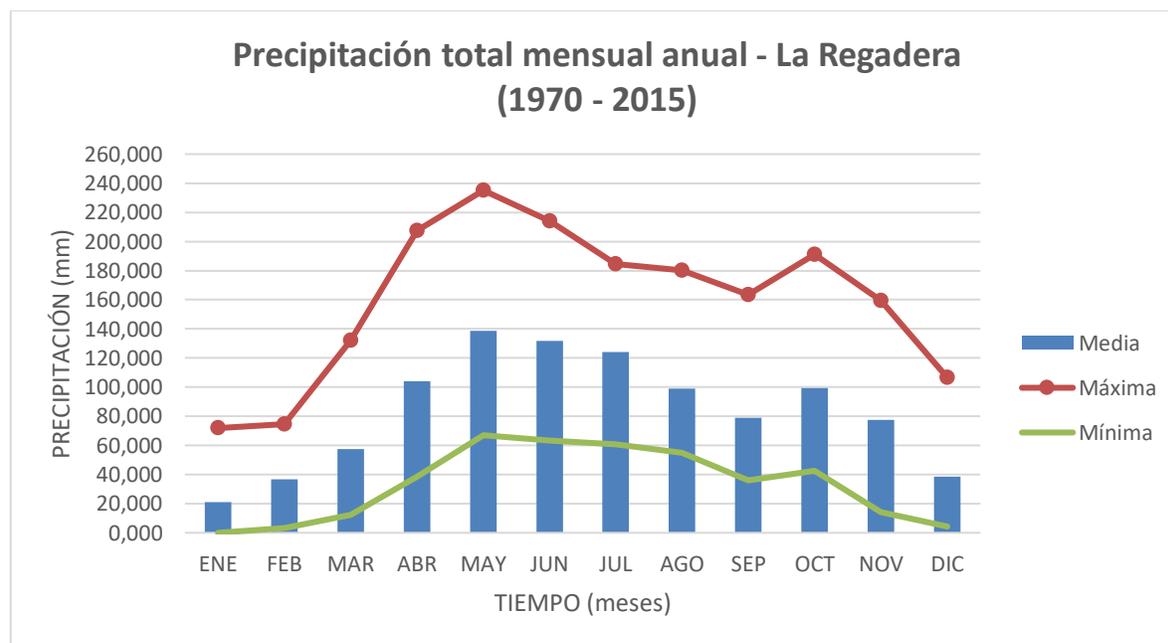
- **Estación pluviográfica La Regadera:** La estación presenta los mayores volúmenes de precipitación se encuentran en los meses abril, mayo, junio, julio y agosto siendo de igual manera que la estación El Hato el mes más lluvioso mayo con una precipitación máxima de (235,1 mm); en el mes de septiembre disminuye, pero en octubre vuelve a presentar un aumento superior al de agosto, sin embargo, una vez culminado el mes de octubre las precipitaciones comienzan a disminuir alcanzando los valores mínimos de precipitación en la etapa de diciembre hasta febrero. (Ver gráfica 18)

**Tabla 42 Precipitación La Regadera**

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>Máxima</b>	71,9	74,7	132,2	207,4	235,1	214	184,7	180,1	163,3	191,2	159,4	106,6
<b>Media</b>	21,2	36,8	57,6	104,2	138,71	131,7	124,0	98,9	79,1	99,3	77,5	38,5
<b>Mínima</b>	0	3,1	12,2	38,6	67	63,2	60,7	55,1	36,1	42,7	14	4,2

Fuente: Propia

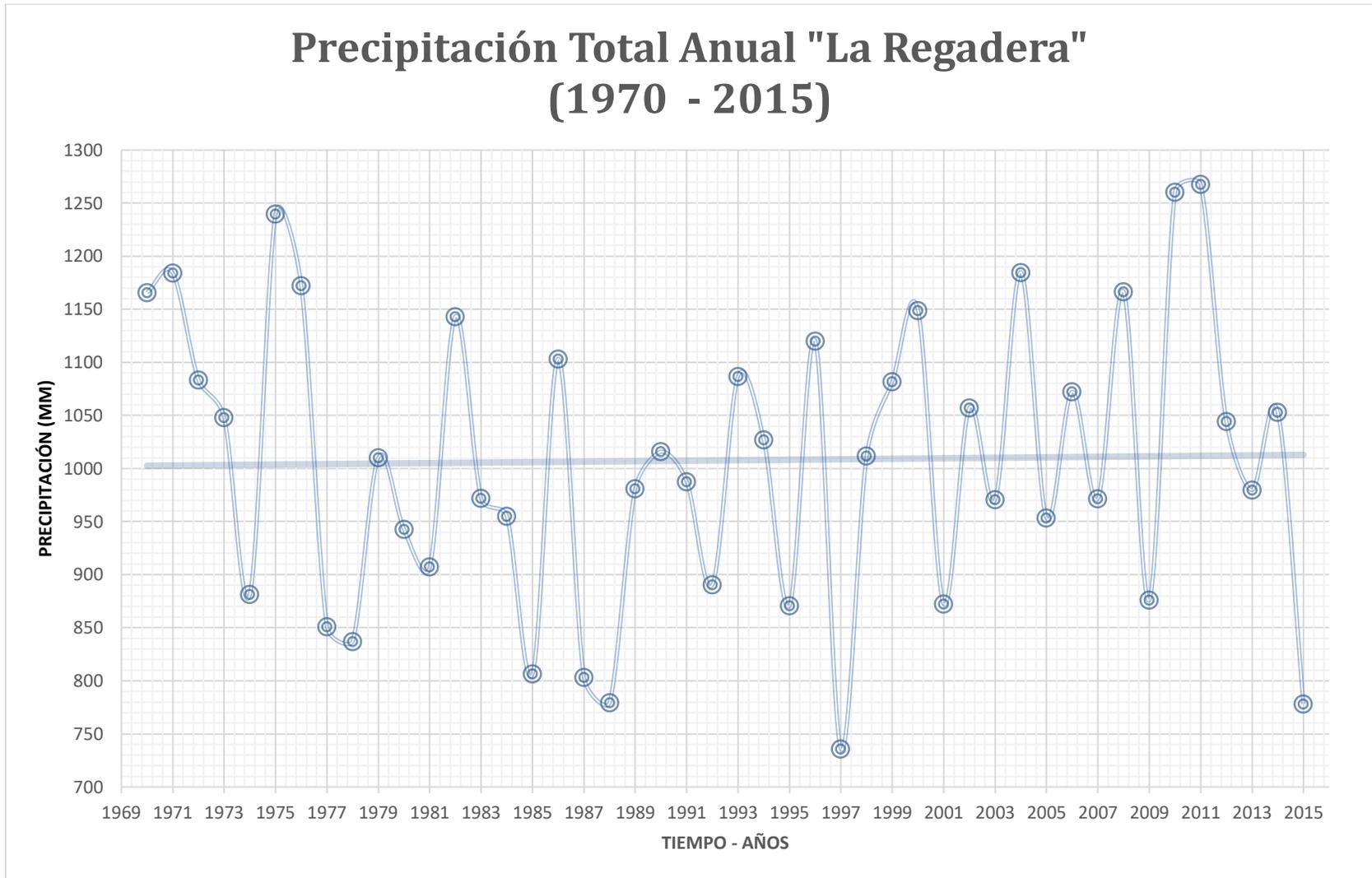
**Gráfica 18 Precipitación total mensual anual - La Regadera**



Fuente: Propia

La precipitación total anual de la estación La Regadera presenta un aumento menos notable que la estación El Hato, de manera semejante el año 1997 se presenta un déficit en las precipitaciones con una magnitud de 735.9 mm y los años 2010 y 2011 donde se han generado las mayores épocas de lluvia con valores 1260,4 y 1267,8 mm. (Gráfica 19)

Gráfica 19 Precipitación total anual - La Regadera



Fuente: Propia

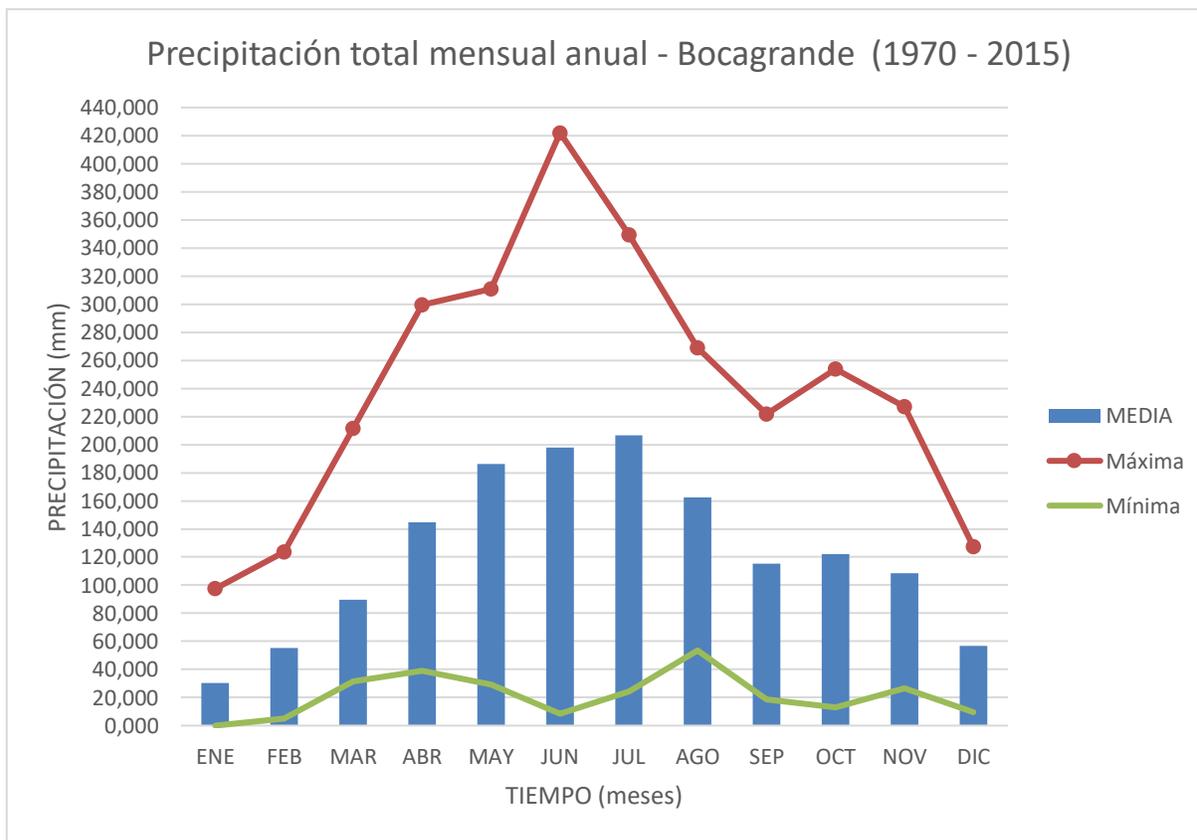
- Estación pluviométrica Bocagrande:** Para esta estación se presenta una lluvia ascendente en los meses abril, mayo, junio, julio y agosto, siendo junio el mes del año donde se ocasionan las máximas precipitaciones con una dimensión de 422 mm, comparada con las otras estaciones esta aproximadamente duplica la cantidad de lluvia máxima; en los meses septiembre octubre y noviembre se muestra unas lluvias mensuales similares. En el período de diciembre hasta febrero se evidencian las menores precipitaciones del año, siendo enero el mes de menor magnitud con un volumen máximo de 97,5 mm. (Ver gráfica 20).

**Tabla 43 Precipitación Bocagrande**

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>Máxima</b>	97,5	123,7	211,7	299,4	310,9	422	349,2	268,9	221,7	253,7	227,1	127,5
<b>Media</b>	30,47	55,36	89,63	144,74	186,41	197,91	206,64	162,59	115,39	122,00	108,60	56,92
<b>Mínima</b>	0	5,1	31,4	39	29,2	8,5	24,2	53,5	18,5	13	26,4	9,4

Fuente: Propia

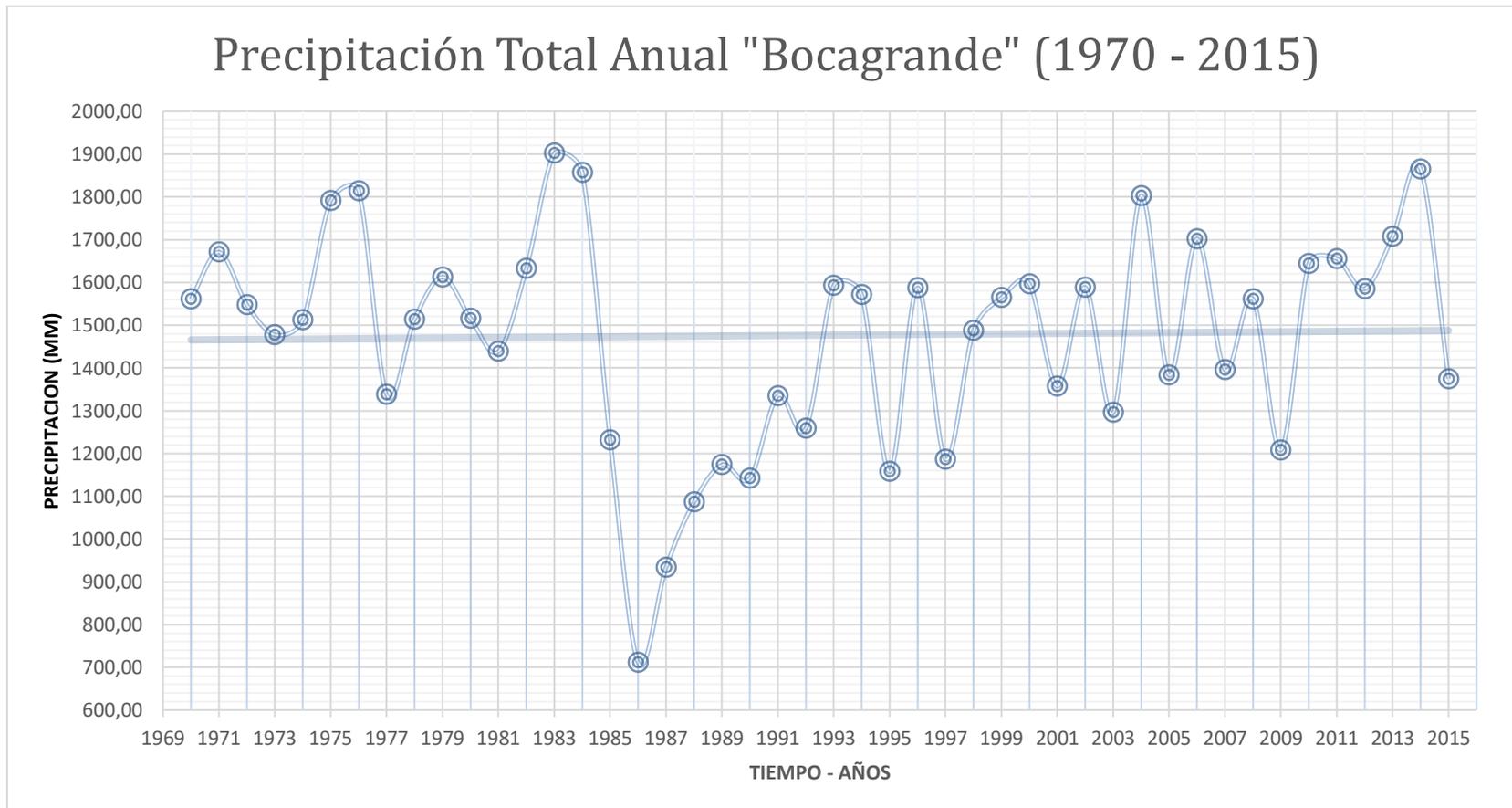
**Gráfica 20 Precipitación total mensual anual - Bocagrande**



Fuente: Propia

La precipitación total anual en la estación Bocagrande como se ilustra la gráfica 21 las precipitaciones durante los 45 años sean conservado, presentándose en el año 1986 la menor precipitación anual con una magnitud de 711,40 mm, y una máxima precipitaciones en el año 1983 con un volumen de 1902 mm, igualmente en los últimos dos años se observa una disminución bastante prolongada debido al último fenómeno El Niño registrado a finales del año 2015 (cita 3).

**Gráfica 21 Precipitación total anual - Bocagrande**



Fuente: Propia

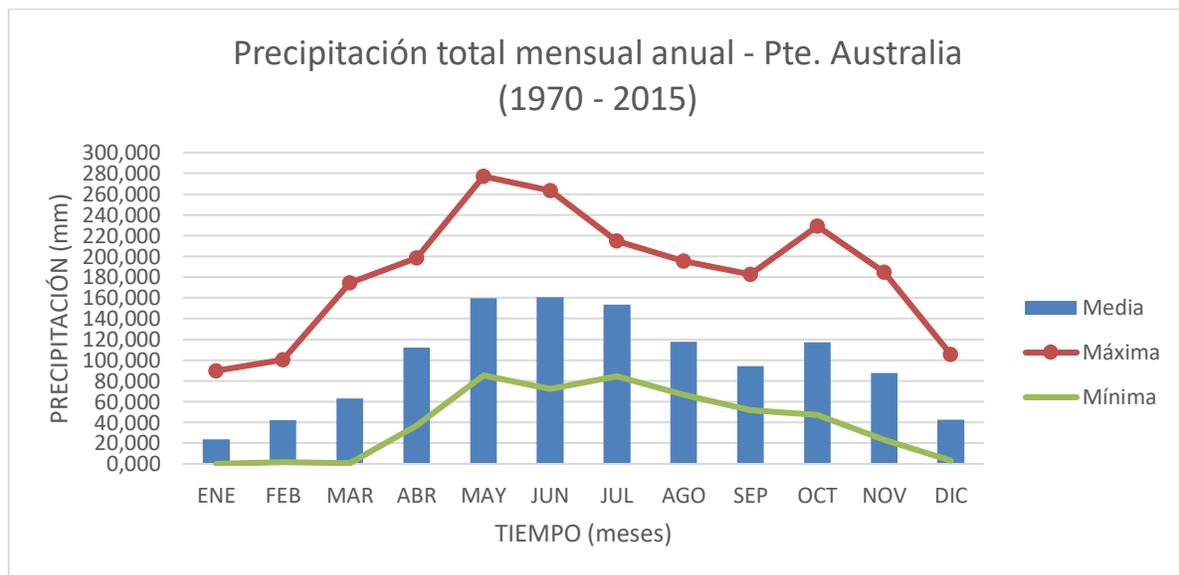
- **Estación pluviométrica Pte. Australia:** El comportamiento dinámico de las precipitaciones la gráfica 22 aclara que los meses de mayores lluvias se originan en los meses de abril, mayo, junio, julio y agosto, donde el mes de mayo se presentan las máximas precipitaciones con una medida de 277,1 mm; durante el mes septiembre la precipitación reduce y estas vuelven a incrementar en el mes de octubre; el mes de noviembre disminuyen con respecto a octubre y terminado este mes se da inicio a un período de diciembre a febrero donde las precipitaciones disminuyen notablemente.

**Tabla 44 Precipitación Pte. Australia**

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>Máximo</b>	89,8	100,5	174,4	198,5	277,1	263,3	214,6	195,6	182,6	228,9	184,5	105,3
<b>Media</b>	23,6	41,9	62,8	112,3	159,7	160,8	153,3	117,7	94,3	117,3	87,6	42,4
<b>Mínimo</b>	0,0	1,6	0,6	36,9	85,3	72,4	84,6	66,5	51,8	47,0	23,1	3,2

Fuente: Propia

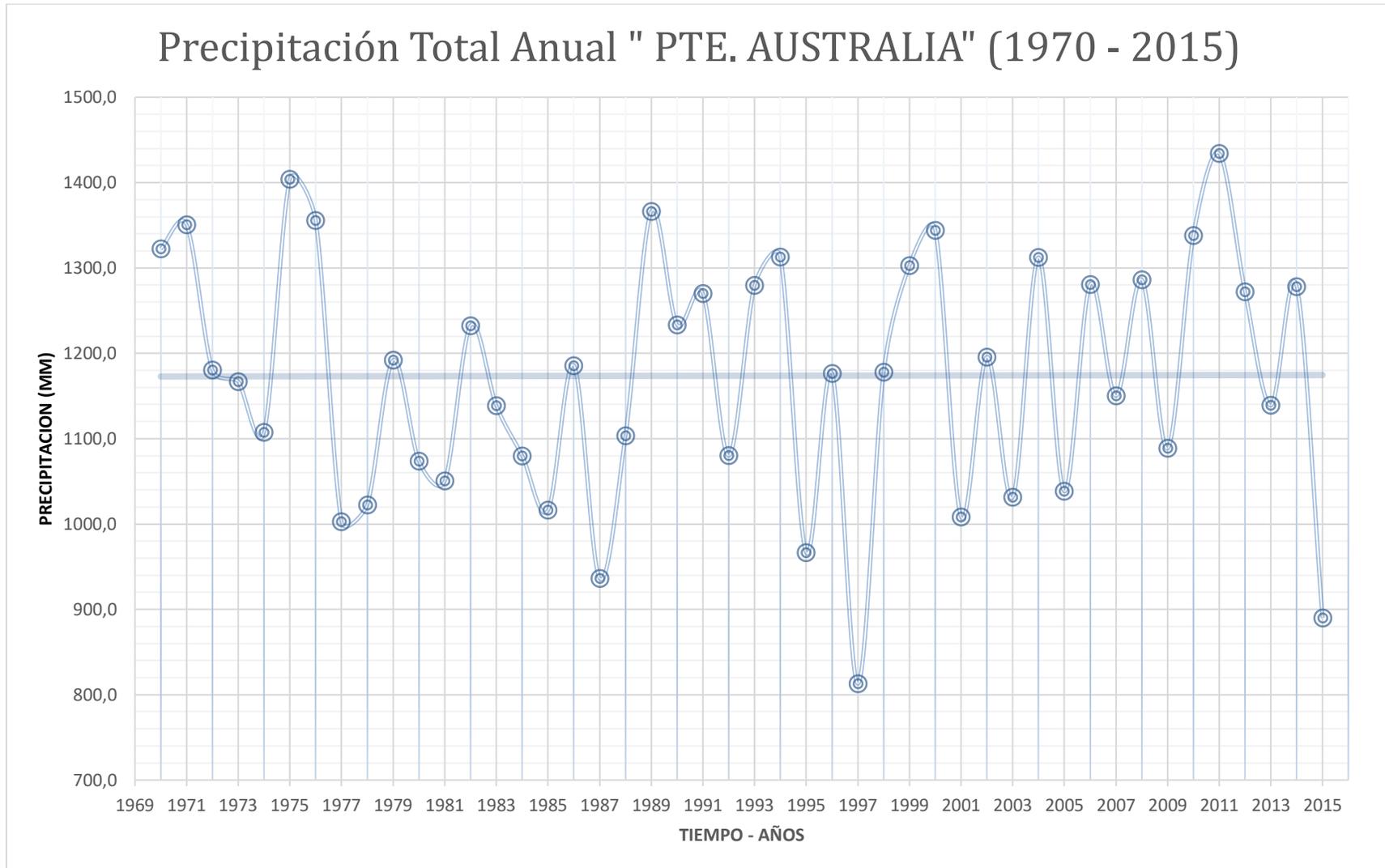
**Gráfica 22 Precipitación total mensual anual - Pte. Australia**



Fuente: Propia

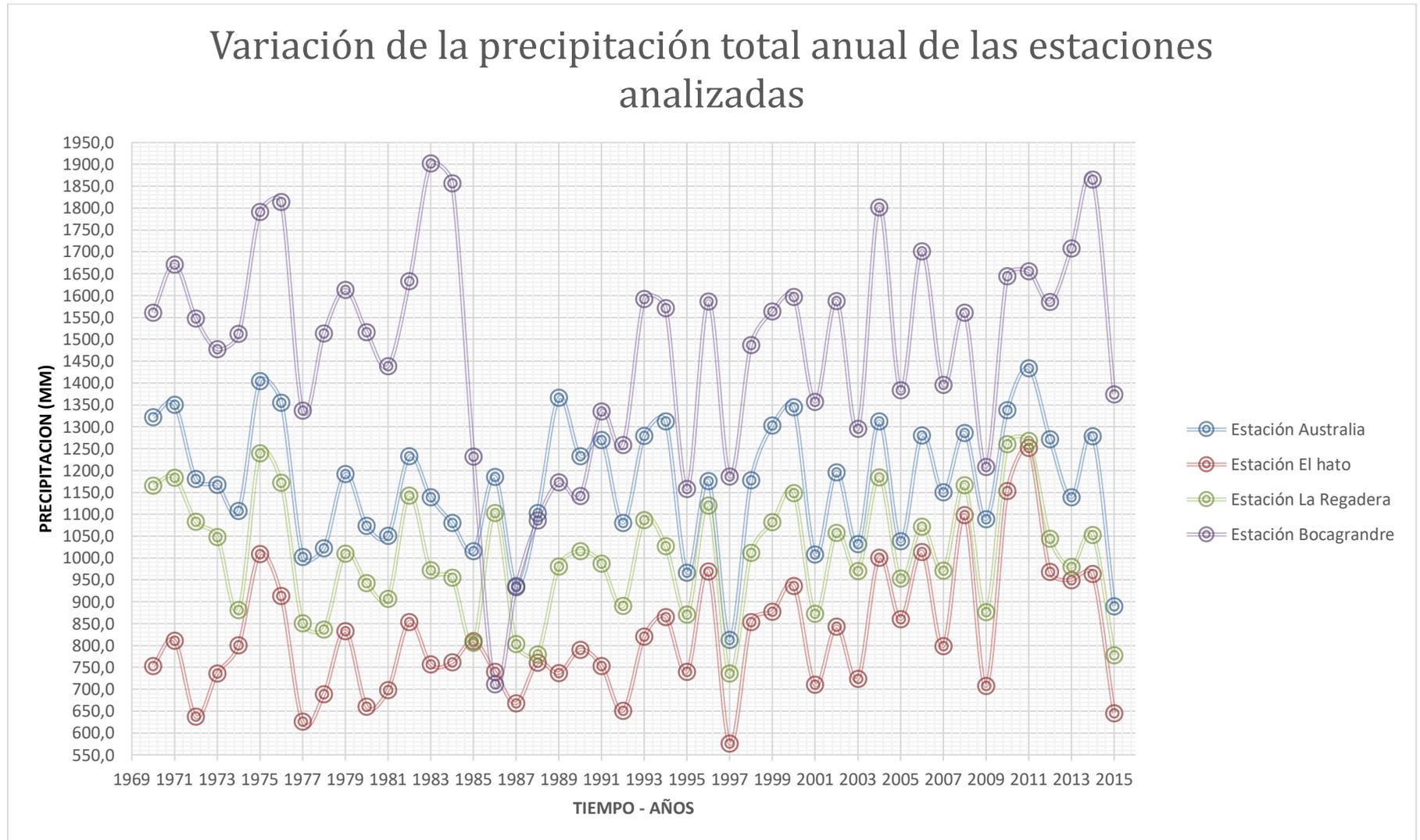
La precipitación total anual de la estación Pte. Australia en la gráfica 23 muestra un comportamiento constante en las lluvias durante el período de 45 años, la estación presenta de igual manera que en la estación La Regadera una precipitación anual máxima en el año 2011 con una magnitud de 1434,3 mm y una precipitación mínima anual en el año 1997 con un valor de 813 mm, el mismo año que también fueron causadas en las estaciones El ható y La Regadera.

Gráfica 23 Precipitación total anual - Pte. Australia



Fuente: Propia

**Gráfica 24 Variación de la precipitación total anual de las estaciones estudiadas**



Fuente: Propia

La gráfica anterior muestra una tendencia en las precipitaciones homogéneas de las estaciones durante el período 1970 a 2015, aunque la estación Bocagrande tiene los valores máximos esto posiblemente a causa de que se encuentra a una mayor altitud de las otras estaciones.

**7.3 Régimen de Caudales:** Con el fin de identificar el comportamiento de los caudales en la zona de estudio se recopiló información sobre las estaciones meteorológicas mencionadas en la (tabla 4), localizando tres (3) estaciones limnimétrica dos (2) de ellas ubicadas en el río Chisacá y una (1) en el río Curubital. El análisis de los hidrogramas se realizó recopilando información de caudales medios, máximos y mínimos de cada una de las estaciones (anexo # 2).

Las siguientes tablas y gráficas permitieron analizar dichos comportamientos en el transcurso del tiempo.

- **Estación La toma río Chisacá**

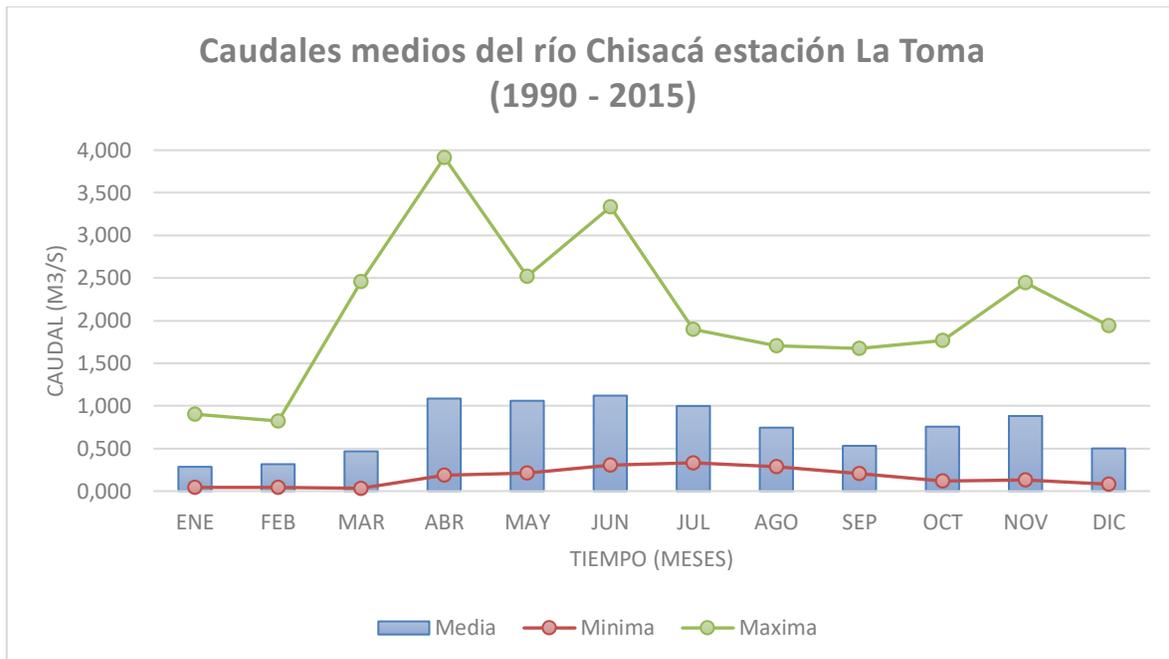
I. **Caudales medios (1990-2015):** En la siguiente tabla y gráfica se indica el comportamiento de los caudales medios, hallando un comportamiento multimodal, además se evidencia similarmente a las precipitaciones unos caudales medios mínimos por debajo de 0,1 m<sup>3</sup>/s durante el período de diciembre a marzo, también se observa que el caudal máximo se registra en los meses de abril, mayo, junio y julio.

**Tabla 45 Evaluación caudales medios mensuales estación La Toma río Chisacá**

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>Máximos</b>	0,899	0,822	2,459	3,915	2,519	3,333	1,9	1,707	1,676	1,767	2,447	1,941
<b>Medios</b>	0,285	0,315	0,466	1,086	1,060	1,120	0,998	0,745	0,531	0,756	0,881	0,500
<b>Mínimos</b>	0,041	0,042	0,033	0,188	0,209	0,306	0,332	0,288	0,202	0,116	0,131	0,079

Fuente: Propia

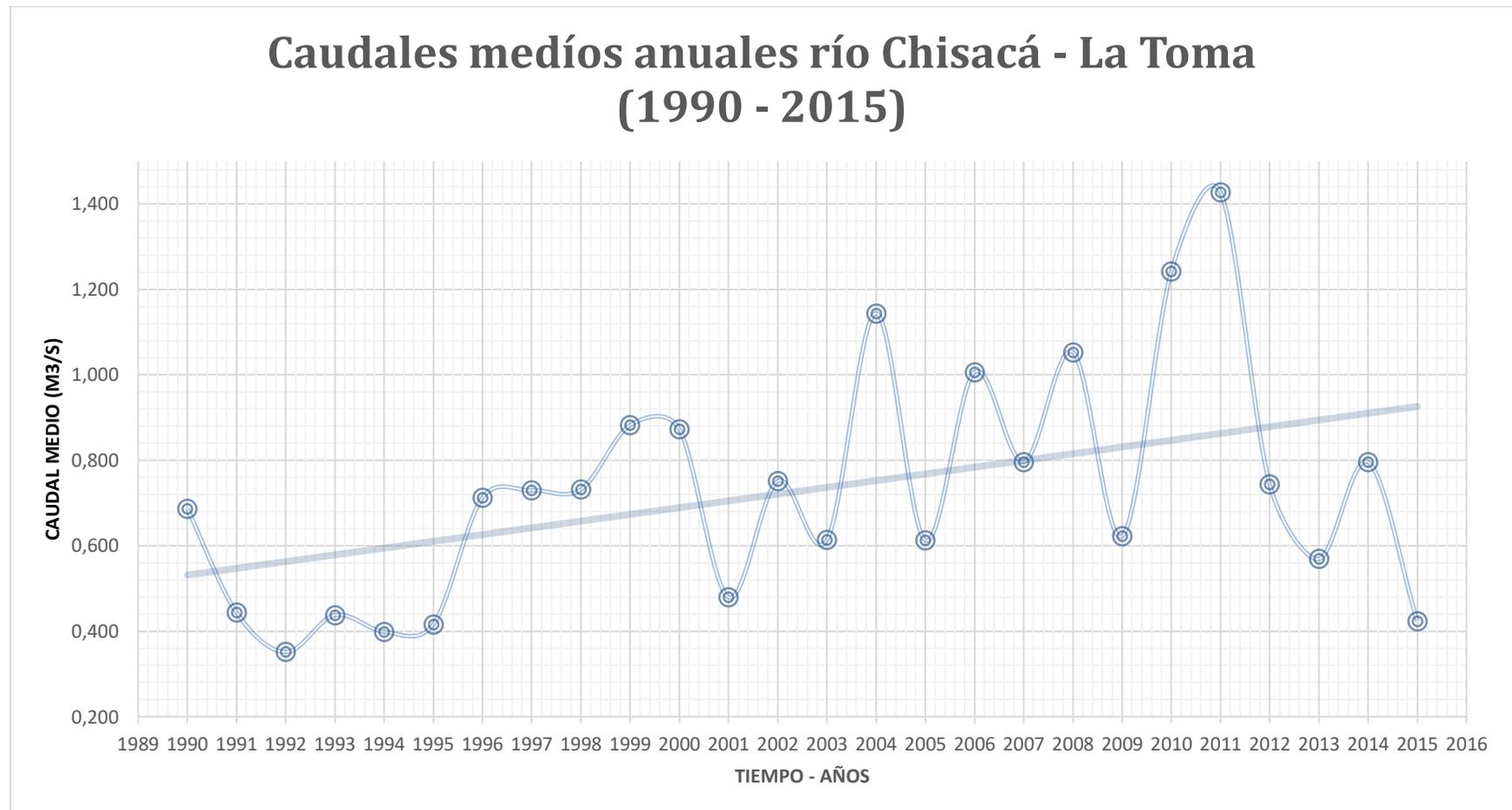
**Gráfica 25 Evaluación caudales medios mensuales estación La Toma río Chisacá**



Fuente: Propia

Del mismo modo se representó los caudales medios anuales, percibiendo un aumento en los caudales medios durante los 25 años analizados, igualmente el año 2011 se presenta el caudal máximo medio con un valor de 1,427 m<sup>3</sup>/s y un mínimo medio en el año 1992 correspondiente a un valor de 0,321 m<sup>3</sup>/s.

**Gráfica 26 Caudales medios anuales estación La Toma río Chisacá**



Fuente: Propia

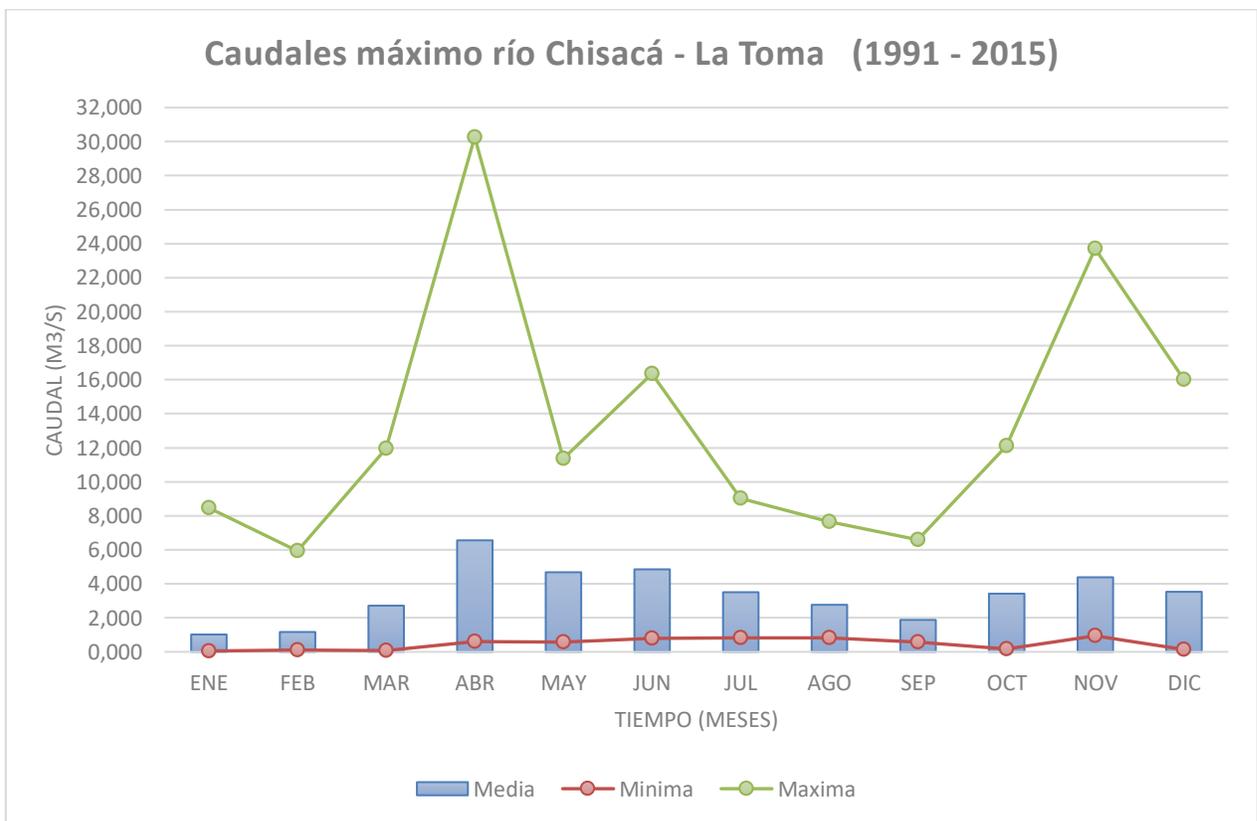
**II. Caudales máximos (1991 – 2015):** El análisis de los caudales máximos la gráfica 27 ilustra que el caudal máximo de los máximos se presenta en el mes de abril con un valor de 30,27 m<sup>3</sup>/s corroborando esta información con las precipitaciones registradas en la estación el Hato. No solo el mes de abril sino también en los meses junio y noviembre se observa un pico en sus caudales generando una gráfica multimodal. Por otra parte, los caudales mínimos son frecuentes en el período de abril a septiembre, disminuyendo en octubre y luego aumentan en noviembre y entrando al estiaje que se presenta en la zona de estudio de diciembre a marzo.

**Tabla 46 Evaluación caudales máximos mensuales estación La Toma río Chisacá**

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>Máximos</b>	8,47	5,93	11,96	30,27	11,35	16,34	9,02	7,65	6,58	12,12	23,71	16,01
<b>Medios</b>	1,018	1,166	2,714	6,557	4,679	4,851	3,505	2,764	1,877	3,420	4,384	3,529
<b>Mínimos</b>	0,05	0,11	0,07	0,59	0,56	0,78	0,83	0,83	0,57	0,17	0,94	0,13

Fuente: Propia

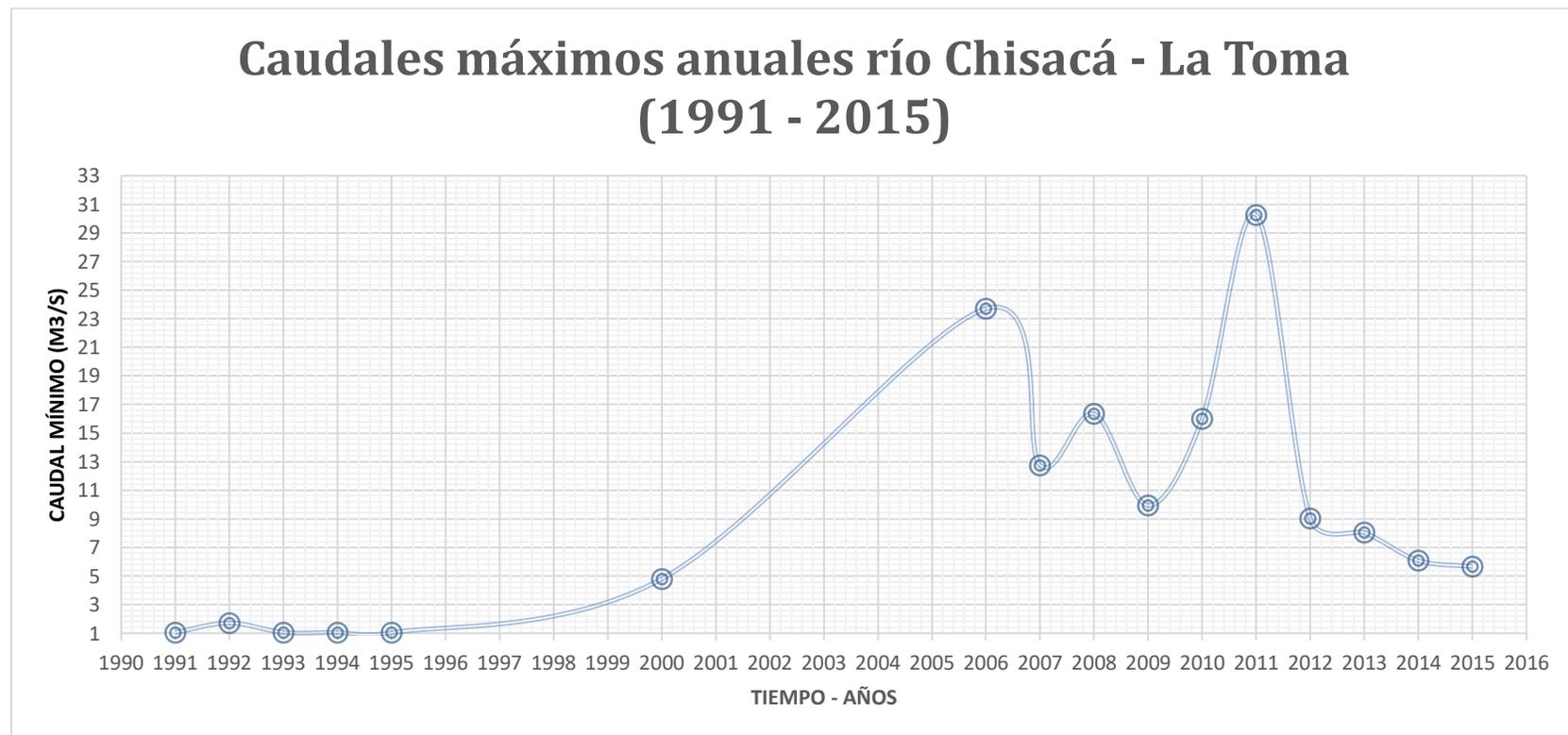
**Gráfica 27 Evaluación caudales máximos mensuales estación La Toma río Chisacá**



Fuente: Propia

Los caudales máximos anuales muestran una irregularidad debido a la falta de registros históricos en los años (1996 a 1999 y 2001 a 2005), hay que mencionar que no se encontró relación con otras estaciones que enmendara la información faltante, sin embargo, se analizaron los registros existentes. La gráfica 28 instruye un caudal máximo en el año 2011 con un valor de 30,27 m<sup>3</sup>/s y una apreciación que en el último quinquenio sea presentado una disminución en sus caudales indicando en el último año de registro (2015) un caudal de 5,67 m<sup>3</sup>/s. Además, no se puede hacer énfasis en identificar el estado del caudal en la estación durante el período de 1991 a 2015, debido a que los registros están incompletos y los datos registrados en los años 1991 a 1995 no presentan una confiabilidad.

**Gráfica 28 Caudales máximos anuales estación La Toma río Chisacá**



Fuente: Propia

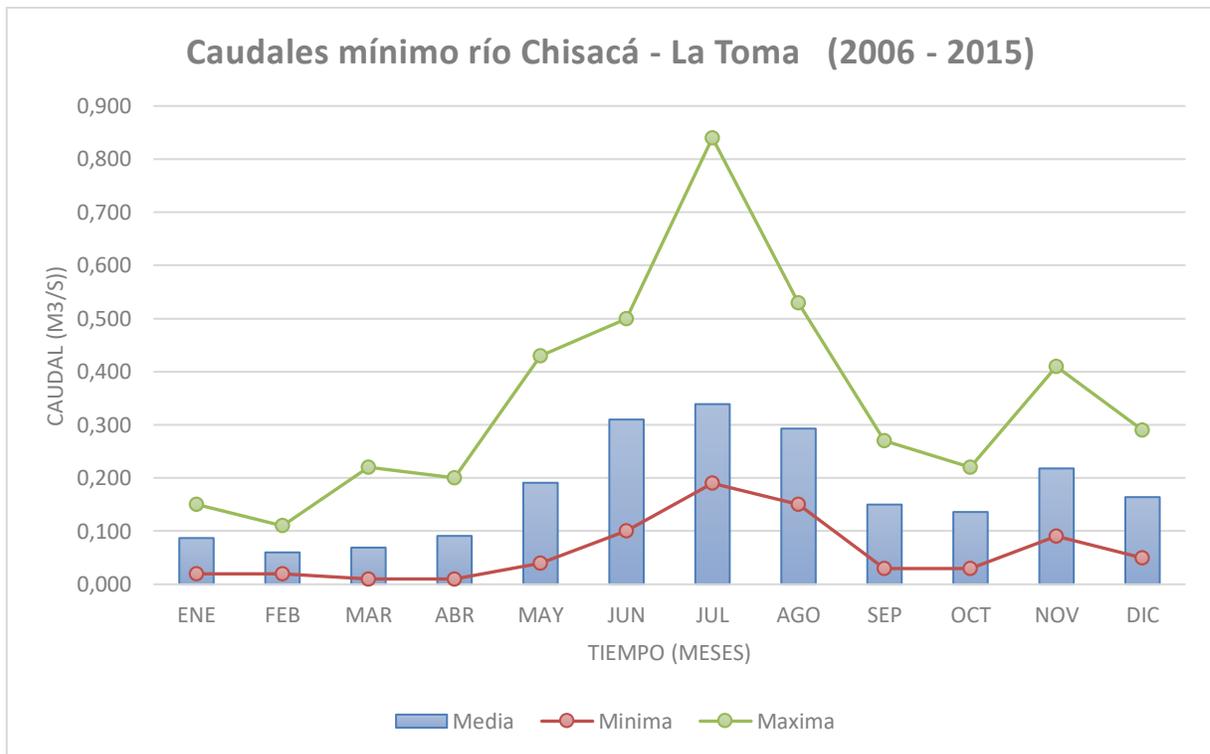
**III. Caudales mínimos (2006-2015):** La información analizada en la tabla 46 y gráfica 29 representan unos caudales mínimos evidenciando que en mayor el volumen mínimo se presenta en el período de mayo, junio, julio y agosto, de la misma manera se presenta un alza en el mes de noviembre y de diciembre a abril unos caudales estrechamente mínimos siendo marzo y abril los máximos mínimos.

**Tabla 47 Evaluación caudales mínimos mensuales estación La Toma río Chisacá**

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>Máximos</b>	0,15	0,11	0,22	0,2	0,43	0,5	0,84	0,53	0,27	0,22	0,41	0,29
<b>Medios</b>	0,087	0,060	0,069	0,091	0,191	0,310	0,339	0,293	0,150	0,136	0,218	0,164
<b>Mínimos</b>	0,02	0,02	0,01	0,01	0,04	0,1	0,19	0,15	0,03	0,03	0,09	0,05

Fuente: Propia

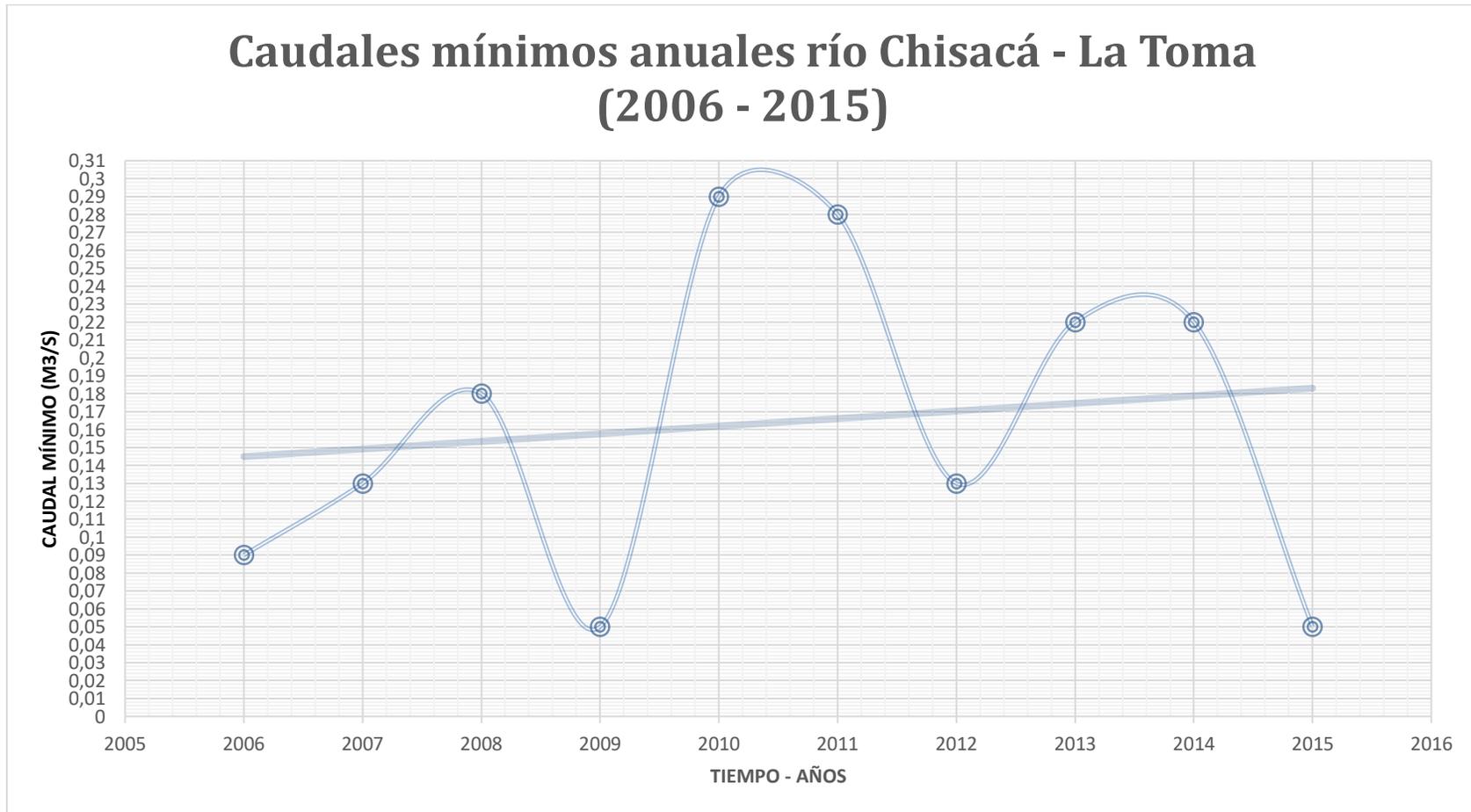
**Gráfica 29 Evaluación caudales mínimos mensuales estación La Toma río Chisacá**



Fuente: Propia

Se demuestra en la gráfica 30 los caudales mínimos anuales han aumentado, lo que resulta que el río Chisacá no ha estado expuesto a grandes tiempos de sequías, sin embargo, en el año 2015 se presentó una disminución posiblemente debido al último fenómeno del niño registrado en el país, similarmente en el año 2009.

**Gráfica 30 Caudales mínimos mensuales estación La Toma río Chisacá**



Fuente: Propia

- **Estación Pte. Carretera río Chisacá**

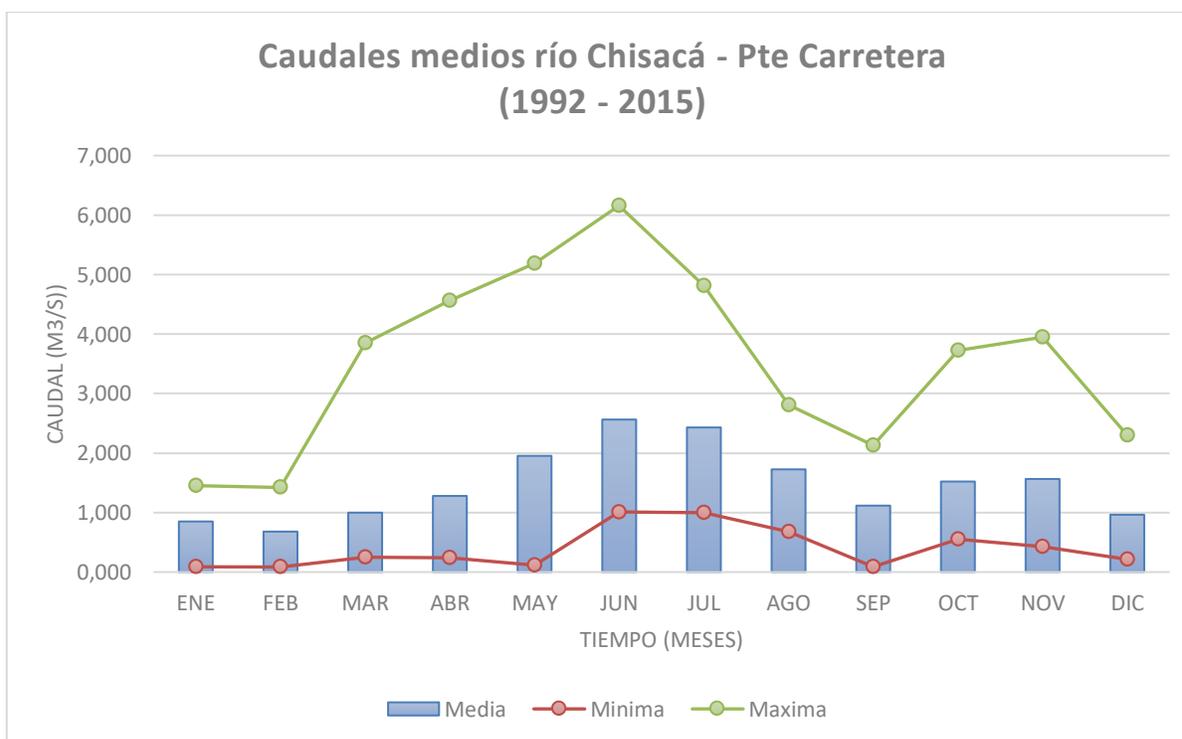
i. **Caudales medios (1992 – 2015):** Similarmente la tabla 48 y la gráfica 31 representa unos medios máximos en el período de abril a julio, disminuyendo en los meses de agosto y septiembre, sin embargo, aumentar en octubre y noviembre y finalmente desde diciembre a febrero una disminución para así en marzo presentar un aumento e iniciar el aumento de caudales. También los medios mínimos registrados en el período de 24 años fueron en los meses de septiembre, enero y febrero. Junio es el mes que presenta el mayor caudal y febrero es el de menor caudal.

**Tabla 48 Evaluación caudales medios mensuales estación Pte. Carretera río Chisacá**

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>Máximos</b>	1,455	1,421	3,852	4,564	5,185	6,158	4,809	2,804	2,132	3,729	3,949	2,3
<b>Medios</b>	0,850	0,679	0,998	1,279	1,953	2,563	2,430	1,726	1,116	1,521	1,564	0,963
<b>Mínimos</b>	0,089	0,084	0,253	0,239	0,119	1,010	0,995	0,674	0,086	0,551	0,429	0,217

Fuente: Propia

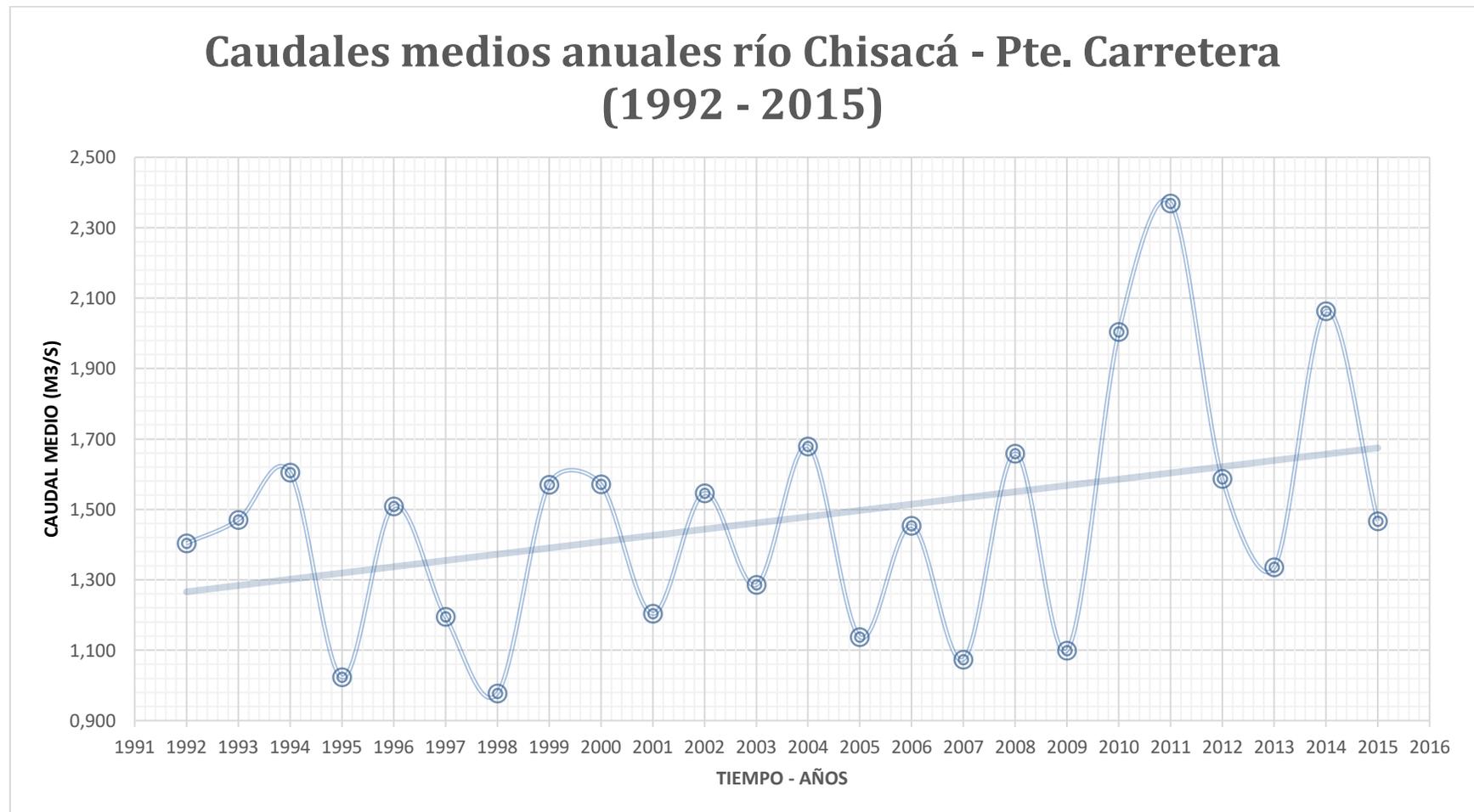
**Gráfica 31 Evaluación caudales medios mensuales estación Pte. Carretera río Chisacá**



Fuente: Propia

Los caudales medios anuales muestran un aumento similarmente que en la estación La Toma, en el año 2011 donde presentan el mayor volumen de caudal medio y en 1998 el caudal medio mínimo registrado.

**Gráfica 32 Caudales medios anuales estación Pte. Carretera río Chisacá**



Fuente: Propia

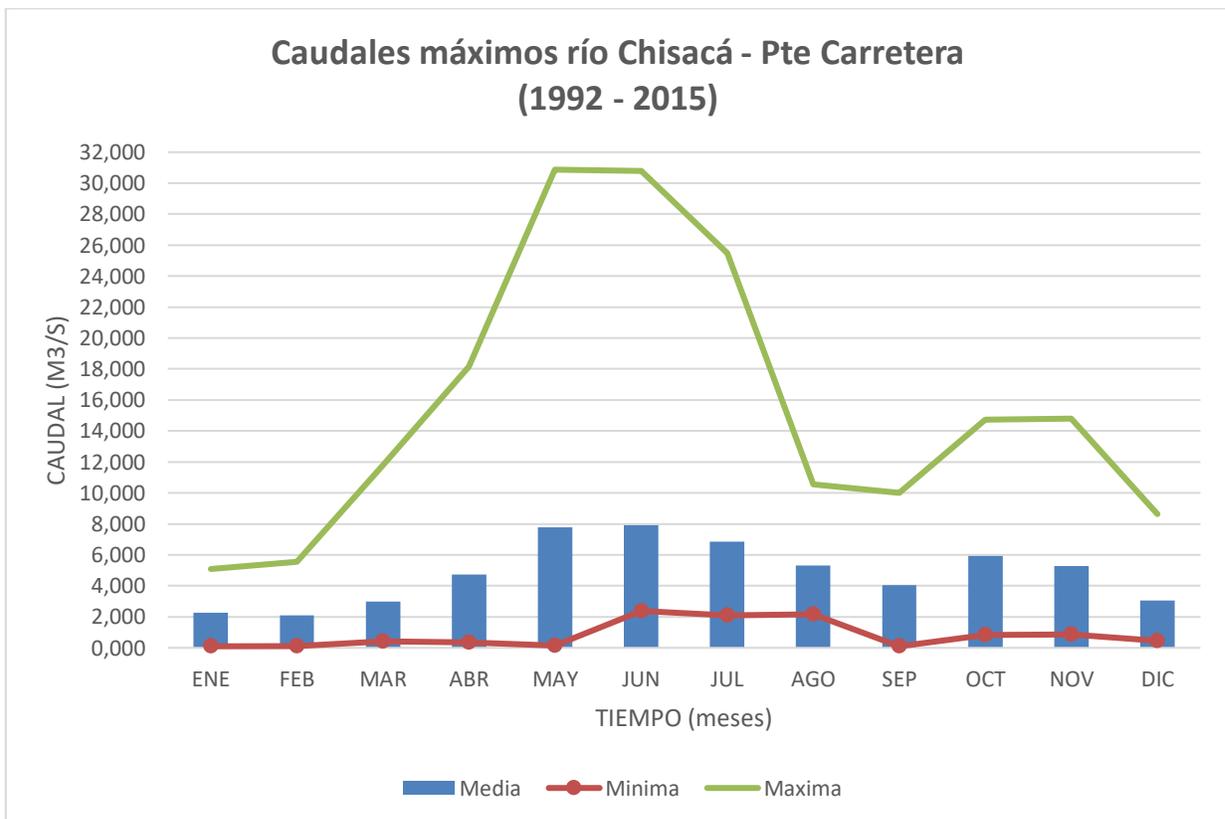
- ii. **Caudales máximos (1992 – 2015):** El análisis de los caudales máximos de la estación puente carretera (gráfica 33) revela que los caudales máximos se encuentran en los meses de abril, mayo, junio y julio, corroborando esta información con las precipitaciones registradas en las estaciones pluviográficas y pluviométricas anteriormente mencionadas. Los caudales máximos tienen un valor menor en los meses de septiembre, diciembre, enero y febrero, encontrando que enero es el mes que transporta un caudal mínimo.

**Tabla 49 Evaluación caudales máximos mensuales estación Pte. Carretera río Chisacá**

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>Máximos</b>	5,09	5,55	11,77	18,17	30,87	30,79	25,49	10,54	10,00	14,73	14,80	8,65
<b>Medios</b>	2,283	2,104	2,981	4,731	7,787	7,922	6,871	5,320	4,048	5,923	5,290	3,069
<b>Mínimos</b>	0,10	0,11	0,41	0,36	0,16	2,38	2,09	2,15	0,10	0,83	0,87	0,46

Fuente: Propia

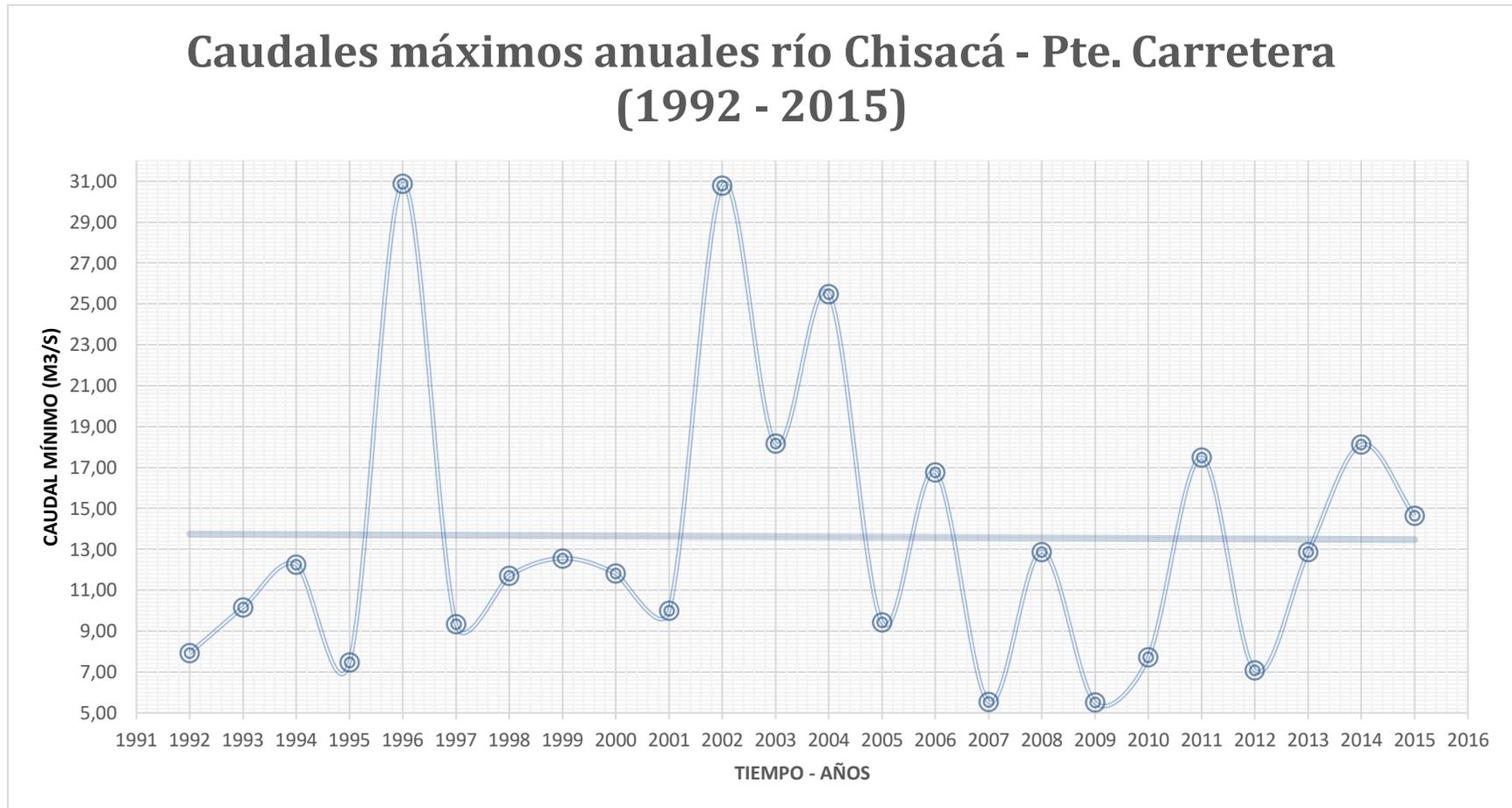
**Gráfica 33 Evaluación caudales máximos mensuales estación Pte. Carretera río Chisacá**



Fuente: Propia

En cuanto a los valores anuales se encuentra que los máximos durante el período de 24 años tienen una tendencia de estar constantes en el tiempo, se debe agregar que el mínimo valor máximo de caudal se encuentra en 5,51 m<sup>3</sup>/s registrado en el año 2009 y unos picos en los años 1996 y 2002 con aproximaciones a 31 m<sup>3</sup>/s.

**Gráfica 34 Caudales máximos anuales estación Pte. Carretera río Chisacá**



Fuente: Propia

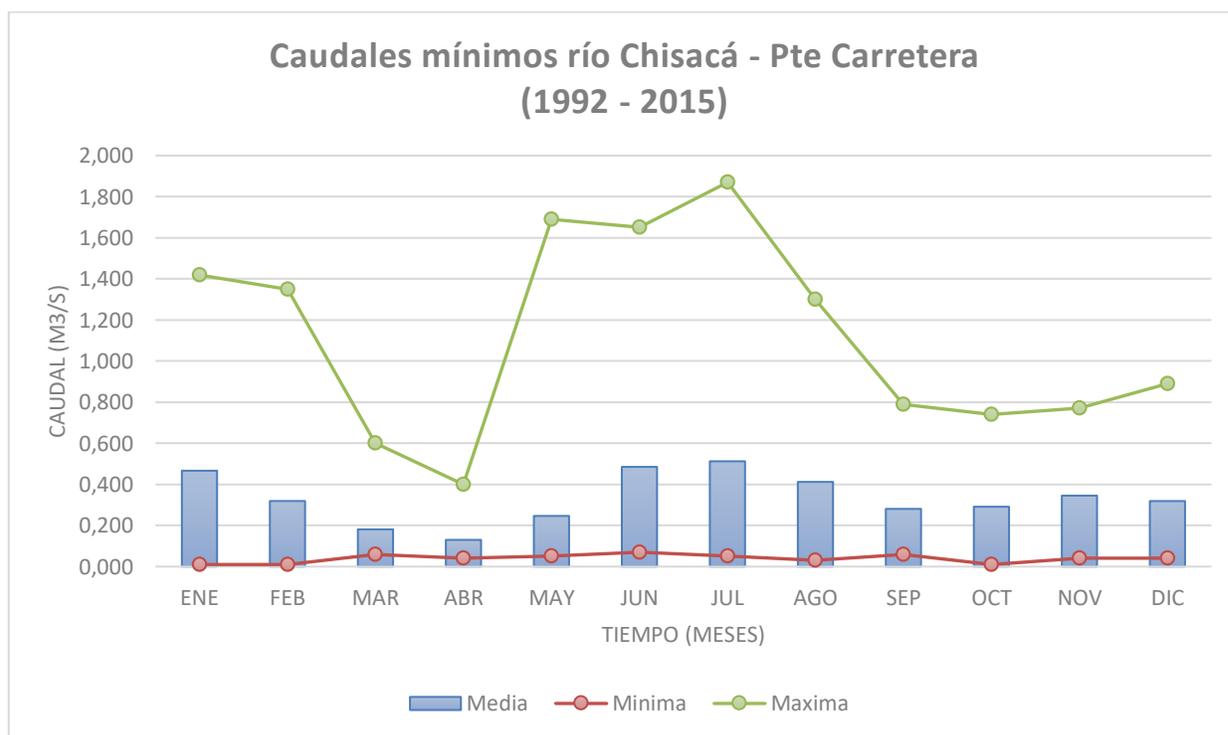
iii. **Caudales mínimos (1992 – 2015):** Los datos registrados de caudales mínimos de la estación Pte. Carretera evidencian una disminución compara con la estación La toma posiblemente por el embalse Chisacá, los meses donde se observa el déficit de mínimos son octubre, enero y febrero con un valor de 0,01 m<sup>3</sup>/s. A su vez la gráfica 35 ilustra un comportamiento bimodal. El mes de enero también presenta un máximo en sus mínimos quizás al sistema de compuestas del embalse Chisacá debido a los bajos caudales y al posible sistema de abastecimiento aguas abajo del embalse La Regadera. Otro análisis se evidencia que mayo, junio, julio y agosto presentan los máximos mínimos durante el período de 24 años.

**Tabla 50 Evaluación caudales mínimos mensuales estación Pte. Carretera río Chisacá**

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>Máximos</b>	1,42	1,35	0,60	0,40	1,69	1,65	1,87	1,30	0,79	0,74	0,77	0,89
<b>Medios</b>	0,467	0,319	0,181	0,130	0,247	0,485	0,513	0,412	0,281	0,291	0,345	0,319
<b>Mínimos</b>	0,01	0,01	0,06	0,04	0,05	0,07	0,05	0,03	0,06	0,01	0,04	0,04

Fuente: Propia

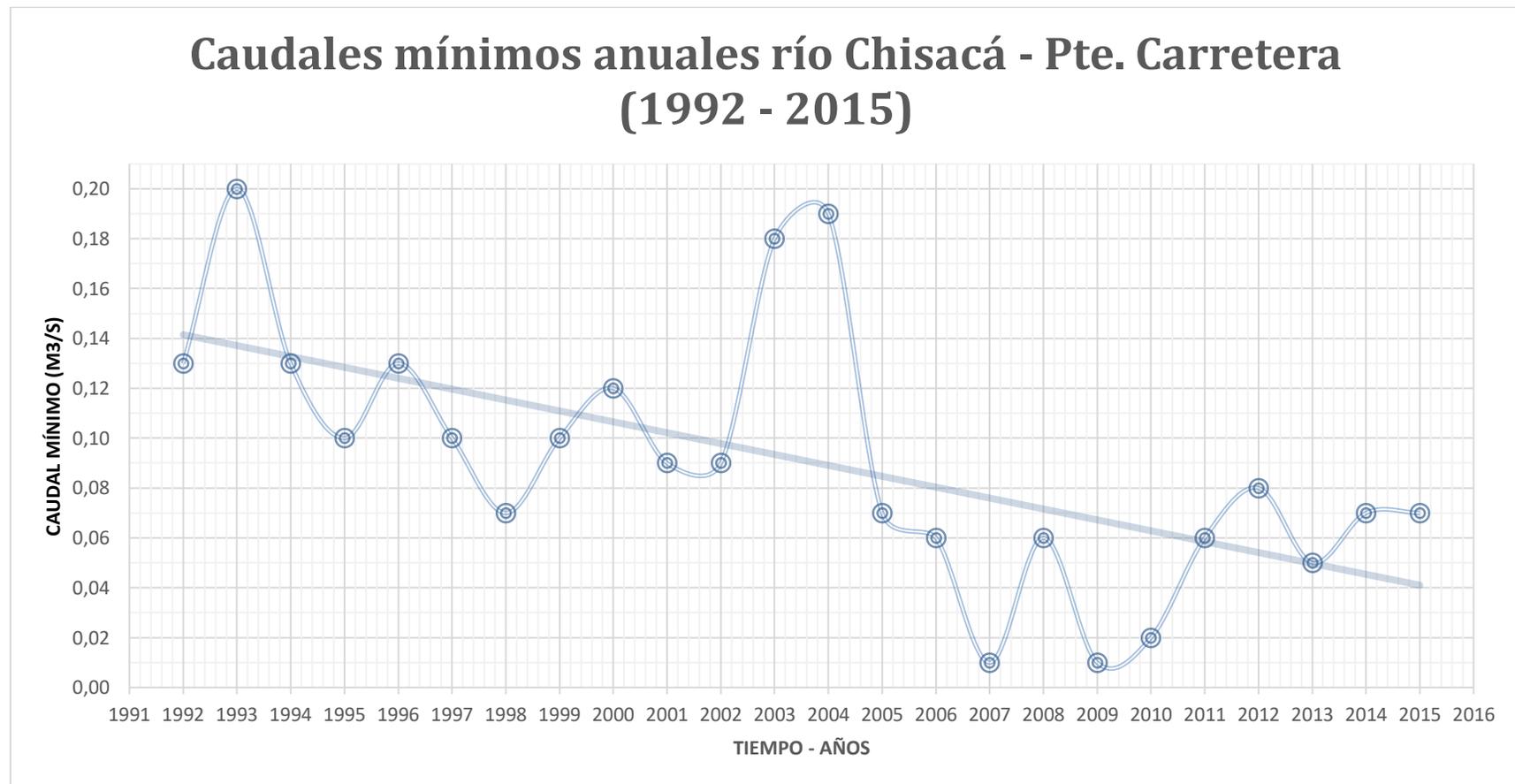
**Gráfica 35 Evaluación caudales mínimos mensuales estación Pte. Carretera río Chisacá**



Fuente: Propia

A su vez los valores anuales ilustran que los caudales mínimos han presentado una disminución durante el período de estudio, lo que genera que los tiempos de estiaje sean más representativos a pesar que las precipitaciones han aumentado en la zona, sin embargo, posiblemente puede ser a un aumento en la población y a la demanda del recurso hídrico.

**Gráfica 36 Caudales mínimos anuales estación Pte. Carretera río Chisacá**



Fuente: Propia

- **Estación Pte. Australia río Curubital**

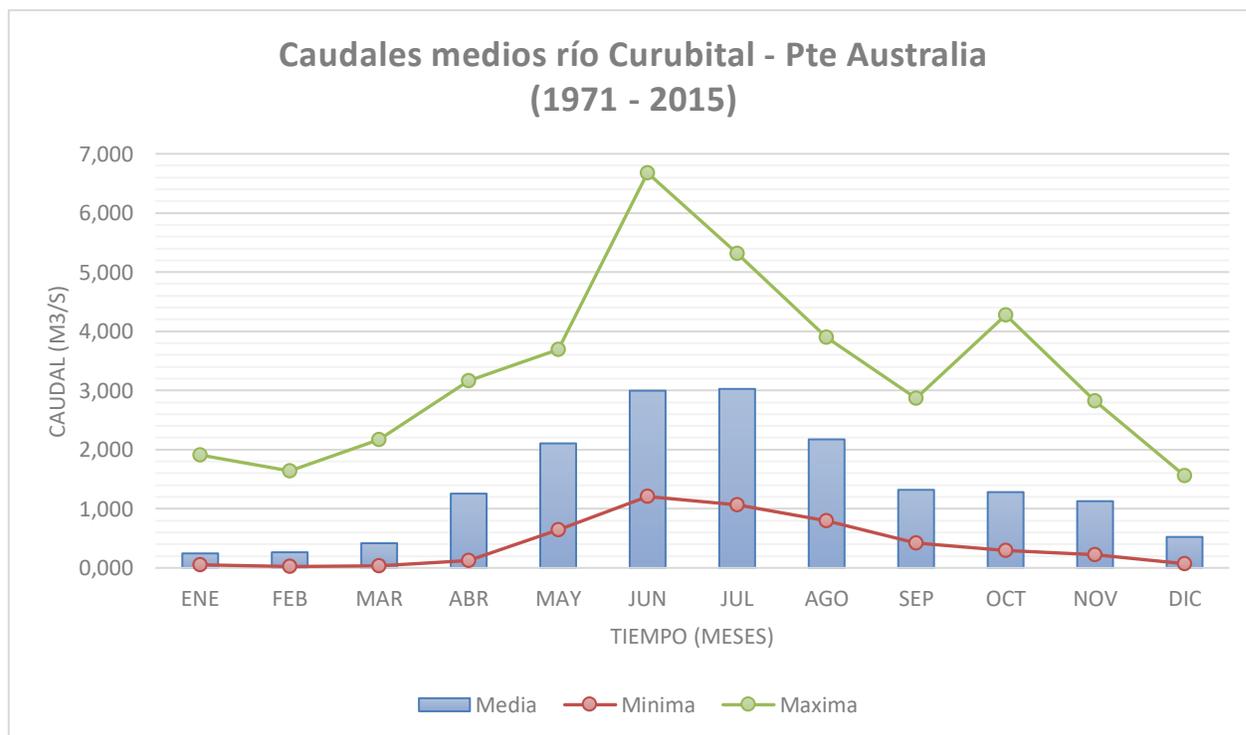
**A. Caudales medios (1971 – 2015):** Sobre los caudales medios se evidencia igualmente un período de medios máximos en los meses de abril, mayo, junio, julio y agosto con otro pico en octubre creando una gráfica bimodal (gráfica 37), similarmente a las anteriores estaciones los meses de diciembre a marzo representan los valores mínimos de caudales.

**Tabla 51 Evaluación caudales medios mensuales estación Pte. Australia río Curubital**

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>Máximos</b>	1,909	1,643	2,167	3,161	3,69	6,677	5,318	3,896	2,866	4,271	2,826	1,558
<b>Medios</b>	0,244	0,264	0,417	1,255	2,105	2,995	3,026	2,173	1,320	1,281	1,128	0,523
<b>Mínimos</b>	0,055	0,023	0,035	0,12	0,64	1,206	1,064	0,8	0,418	0,292	0,222	0,07

Fuente: Propia

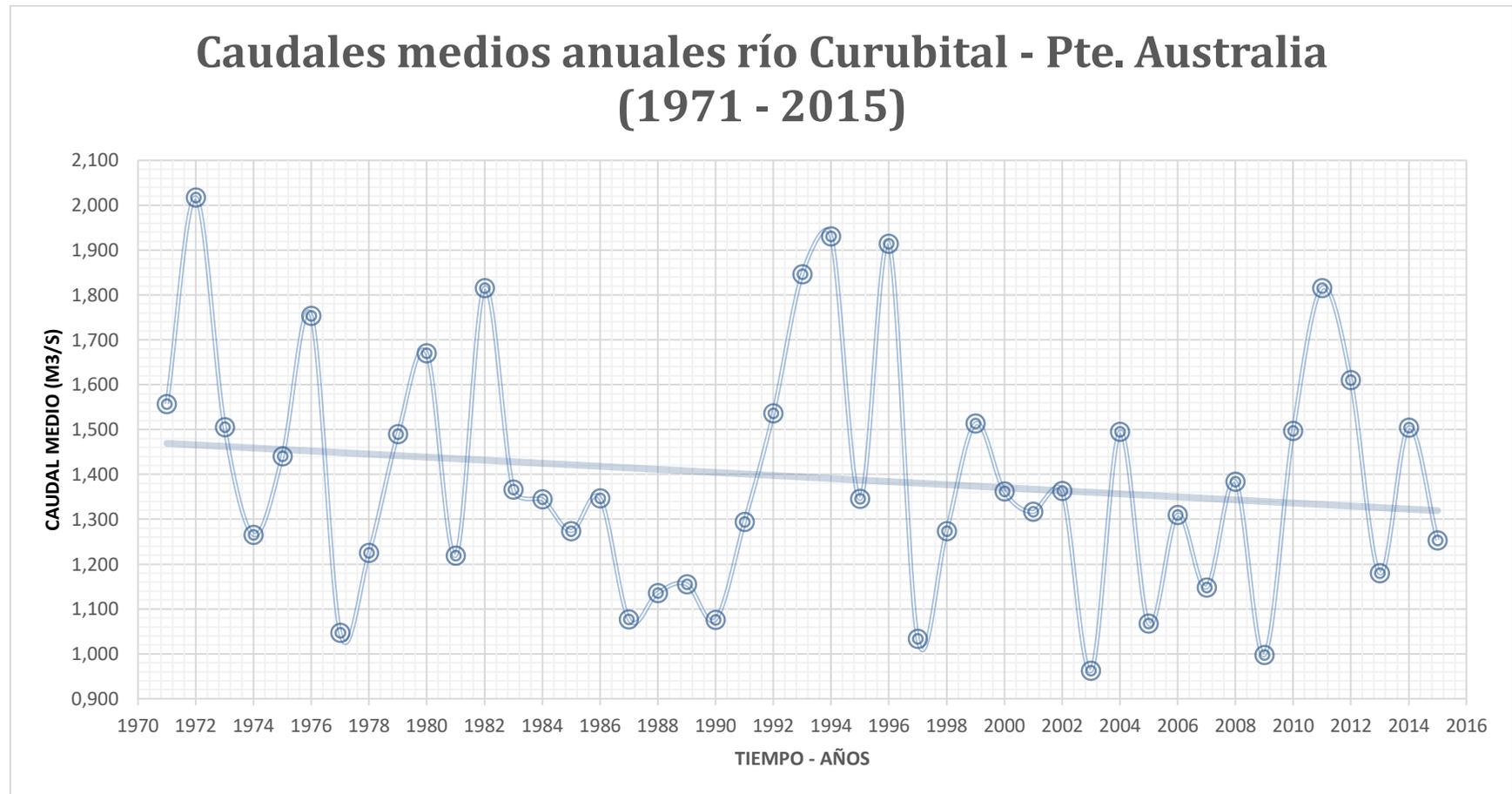
**Gráfica 37 Evaluación caudales medios mensuales estación Pte. Australia río Curubital**



Fuente: Propia

Con respecto a los valores anuales la gráfica 38 ilustra que los caudales medios han presentado una disminución en el transcurso del tiempo, también se muestra el valor máximo anual de los caudales medios en el año 1972 con un valor de 2,017 m<sup>3</sup>/s y un mínimo de 0,962 m<sup>3</sup>/s del año 2003.

**Gráfica 38 Caudales medios anuales estación Pte. Australia río Curubital**



Fuente propia

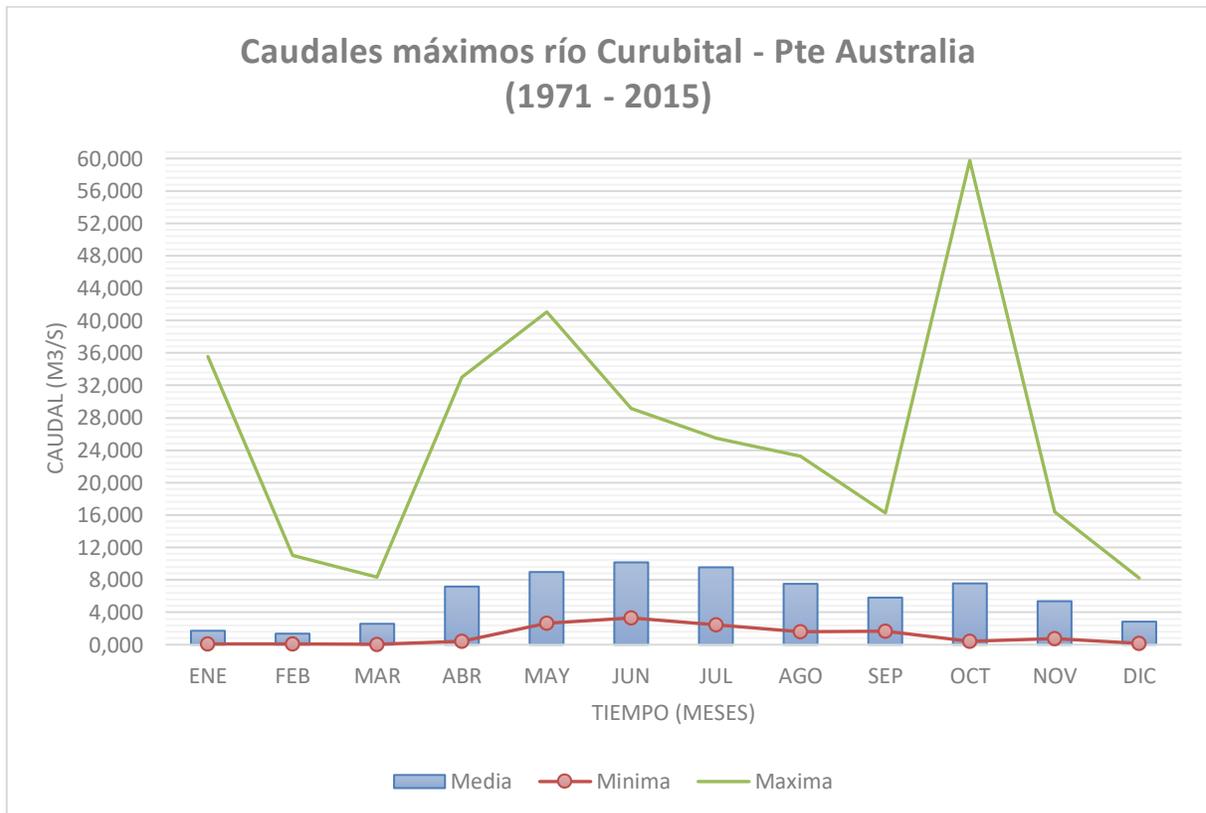
**B. Caudales máximos (1971 – 2015):** Se realizó el análisis al registro de datos, identificando una particularidad en esta estación a diferencia de las otras dos evaluadas, evidenciando en la tabla 52 y gráfica 39 que el máximo valor registrado de los caudales máximos se presenta en el mes de octubre con una medida de 59,75 m<sup>3</sup>/s, no obstante, los meses de abril, mayo, junio y julio siguen conservando un caudal elevado. Igualmente, el período de diciembre a marzo acontece a los mínimos valores máximos registrados. La gráfica representa un comportamiento bimodal en el período de 41 años.

**Tabla 52 Evaluación caudales máximos mensuales estación Pte. Australia río Curubital**

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>Máximos</b>	35,57	11,00	8,33	33,02	41,08	29,14	25,50	23,25	16,25	59,75	16,40	8,22
<b>Medios</b>	1,715	1,356	2,577	7,173	8,966	10,155	9,548	7,505	5,807	7,563	5,364	2,841
<b>Mínimos</b>	0,08	0,07	0,05	0,42	2,63	3,30	2,44	1,58	1,63	0,42	0,77	0,17

Fuente: Propia

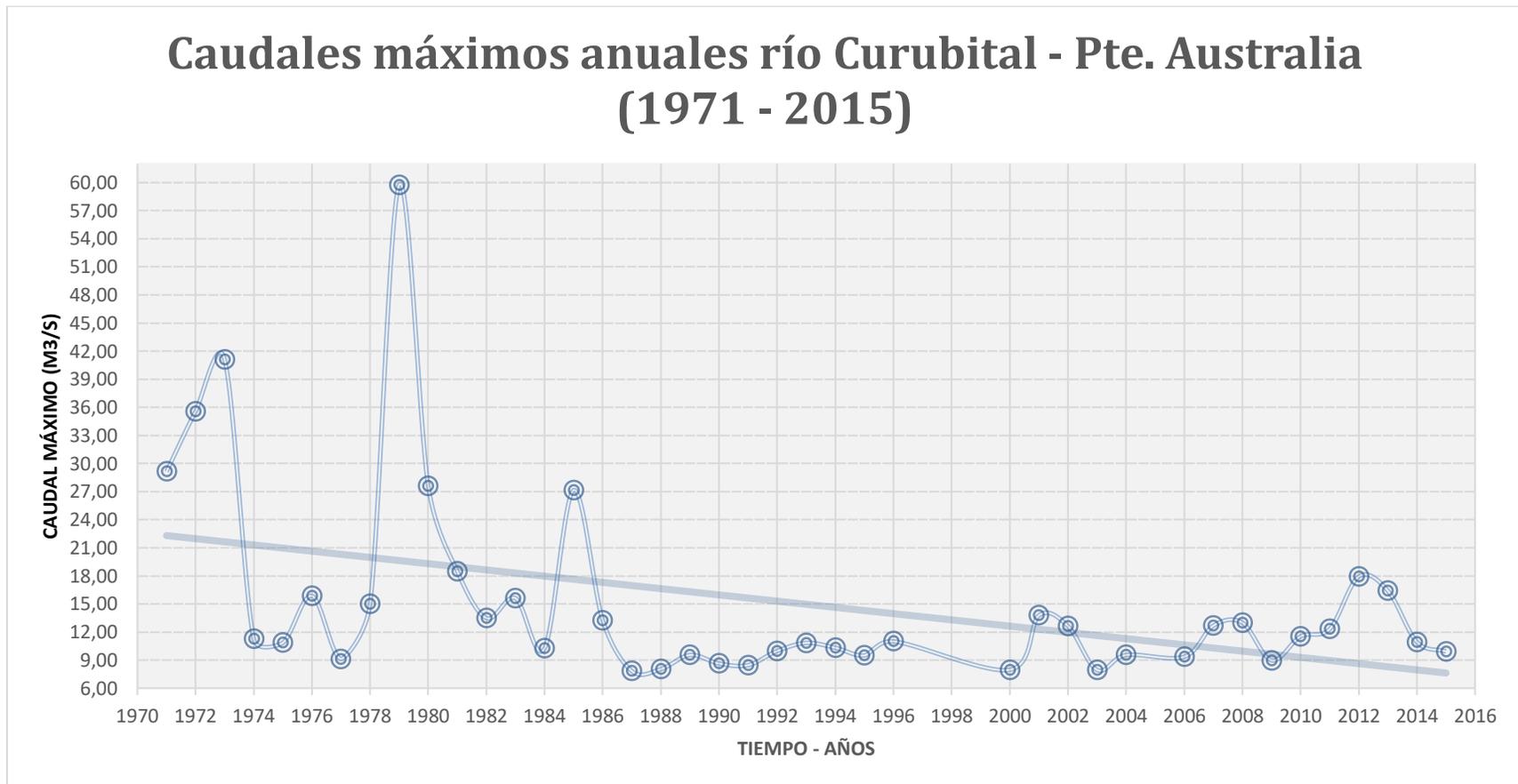
**Gráfica 39 Evaluación caudales máximos mensuales estación Pte. Australia río Curubital**



Fuente: Propia

Otro aspecto son los valores máximos anuales (gráfica 40) encontrando una disminución en sus caudales máximos, posiblemente de la utilización del recurso hídrico debido a que sus precipitaciones en la zona han permanecido constantes o a factores geológicos. A su vez se observó un alza en el hidrograma en el año 1972, hay que indicar que en los años 1997 a 1999 y 2005 no se encontró un registro de datos, lo que genera una menor claridad en el hidrograma.

**Gráfica 40 Caudales máximos anuales estación Pte. Australia río Curubital**



Fuente: Propia

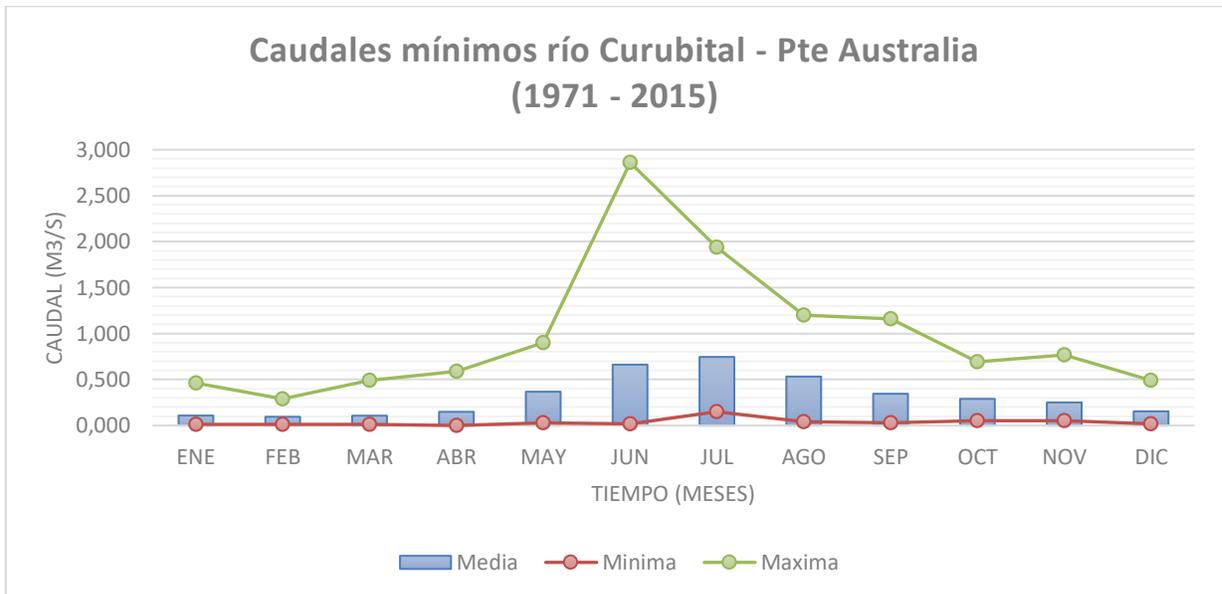
**C. Caudales mínimos (1971 – 2015):** Los datos registrados de caudales mínimos representados en la tabla 53 y gráfica 41, se evidencia el valor máximo de los mínimos en el mes de junio con un caudal mínimo de 2,86 m<sup>3</sup>/s, en relación a las otras estaciones la estación Pte. Australia indica unos caudales inferiores al río Chisacá, el valor mínimo registrado durante el período 1971 – 2015 ha sido de 0 m<sup>3</sup>/s registrado en el año 1989. La gráfica ilustra un comportamiento bimodal con el máximo mínimo registrado en junio. Sin embargo, los meses enero, febrero, marzo y mayo han señalado los valores más mínimos

**Tabla 53 Evaluación caudales mínimos mensuales estación Pte. Australia río Curubital**

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>Máximos</b>	0,46	0,29	0,49	0,59	0,9	2,86	1,94	1,2	1,16	0,69	0,77	0,49
<b>Medios</b>	0,108	0,095	0,107	0,149	0,368	0,662	0,746	0,533	0,345	0,290	0,251	0,155
<b>Mínimos</b>	0,01	0,01	0,01	0	0,03	0,02	0,15	0,04	0,03	0,05	0,05	0,02

Fuente: Propia

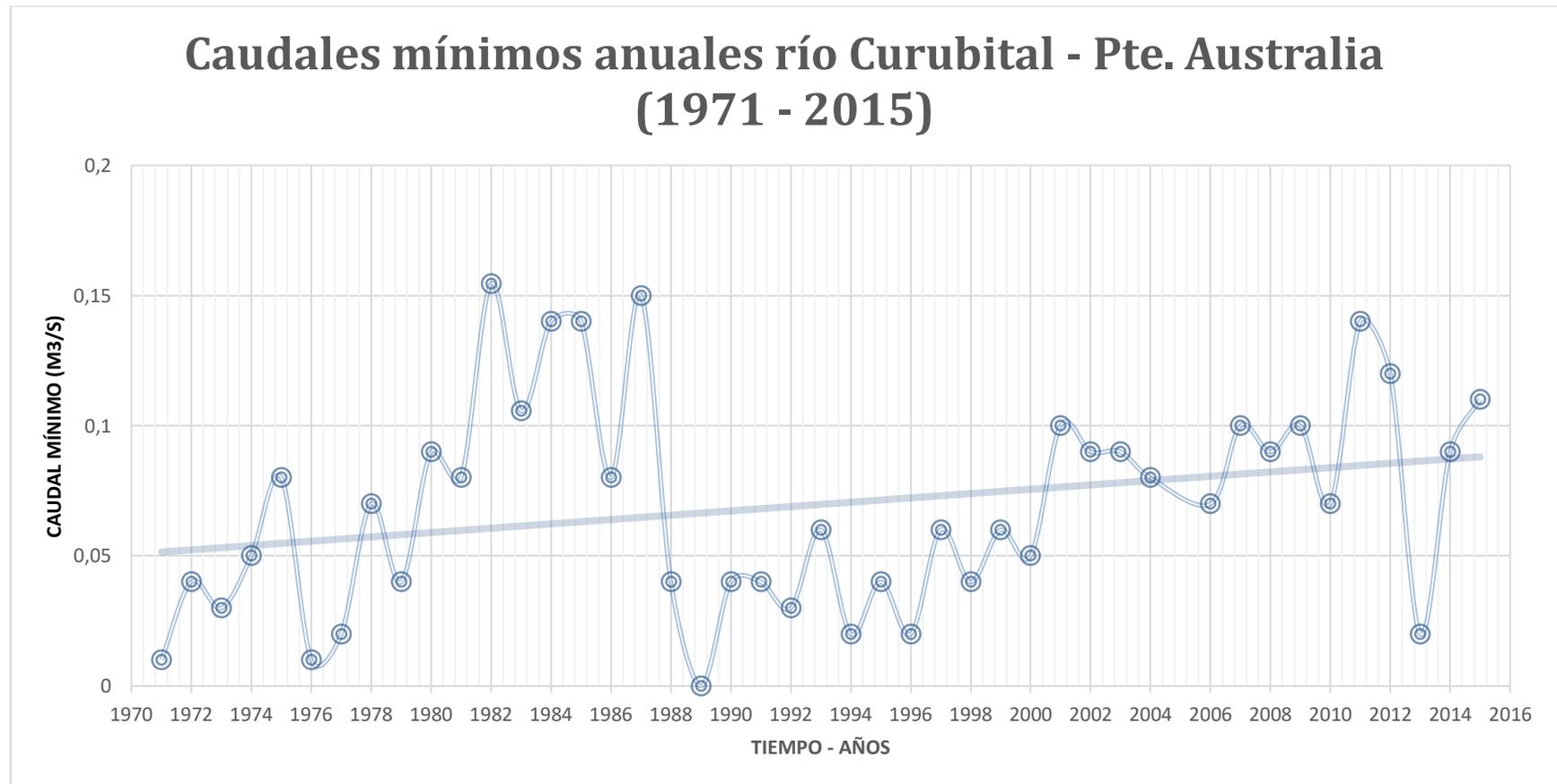
**Gráfica 41 Evaluación caudales mínimos mensuales estación Pte. Australia río Curubital**



Fuente: Propia

Por otra parte, los caudales mínimos anuales (gráfica 42) muestran un aumento lo que representa que el río Curubital no ha estado expuesto a grandes tiempos de sequias, aunque en el año 1999 se registró un mínimo valor de 0 m<sup>3</sup>/s caudal y un máximo valor mínimo en el año 1982 de 0,15 m<sup>3</sup>/s, también en el último quinquenio se observa una variabilidad en el año 2013 con un caudal mínimo de 0,02 m<sup>3</sup>/s.

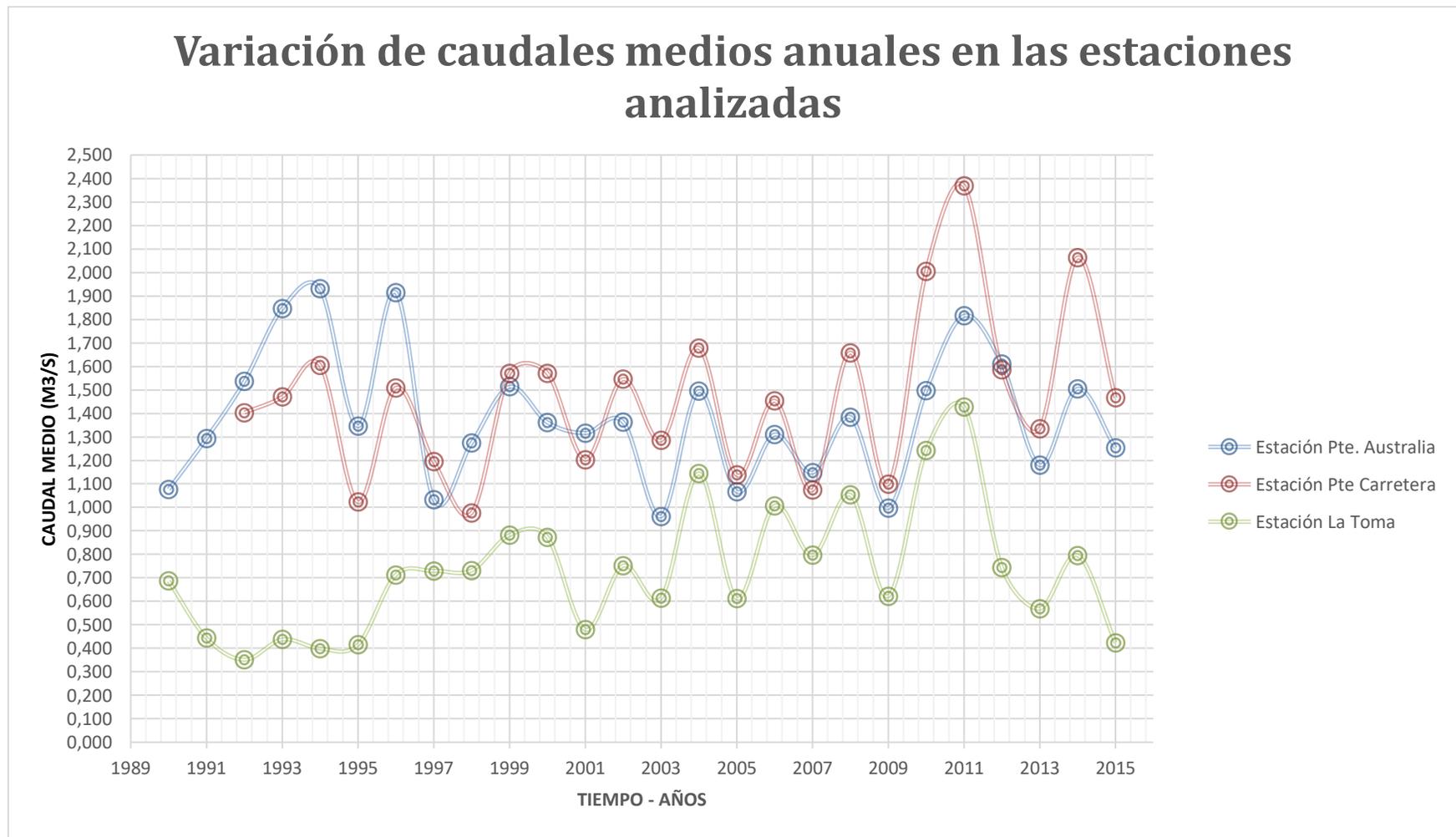
**Gráfica 42 Caudales mínimos anuales estación Pte. Australia río Curubital**



Fuente: Propia

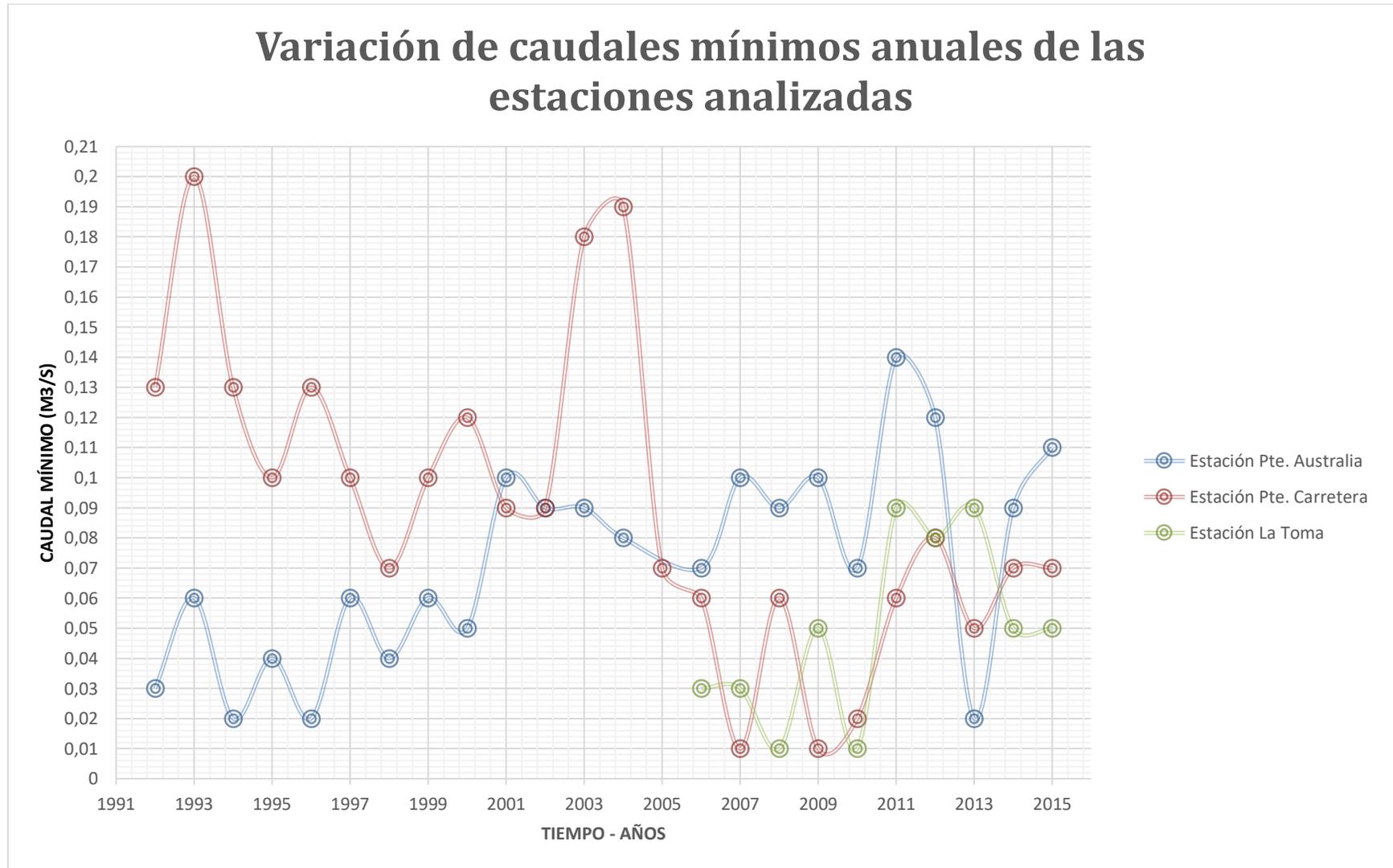
Para analizar el comportamiento de las tres estaciones se establecieron las siguientes gráficas:

**Gráfica 43 Variación de los caudales medios en las estaciones estudiadas**



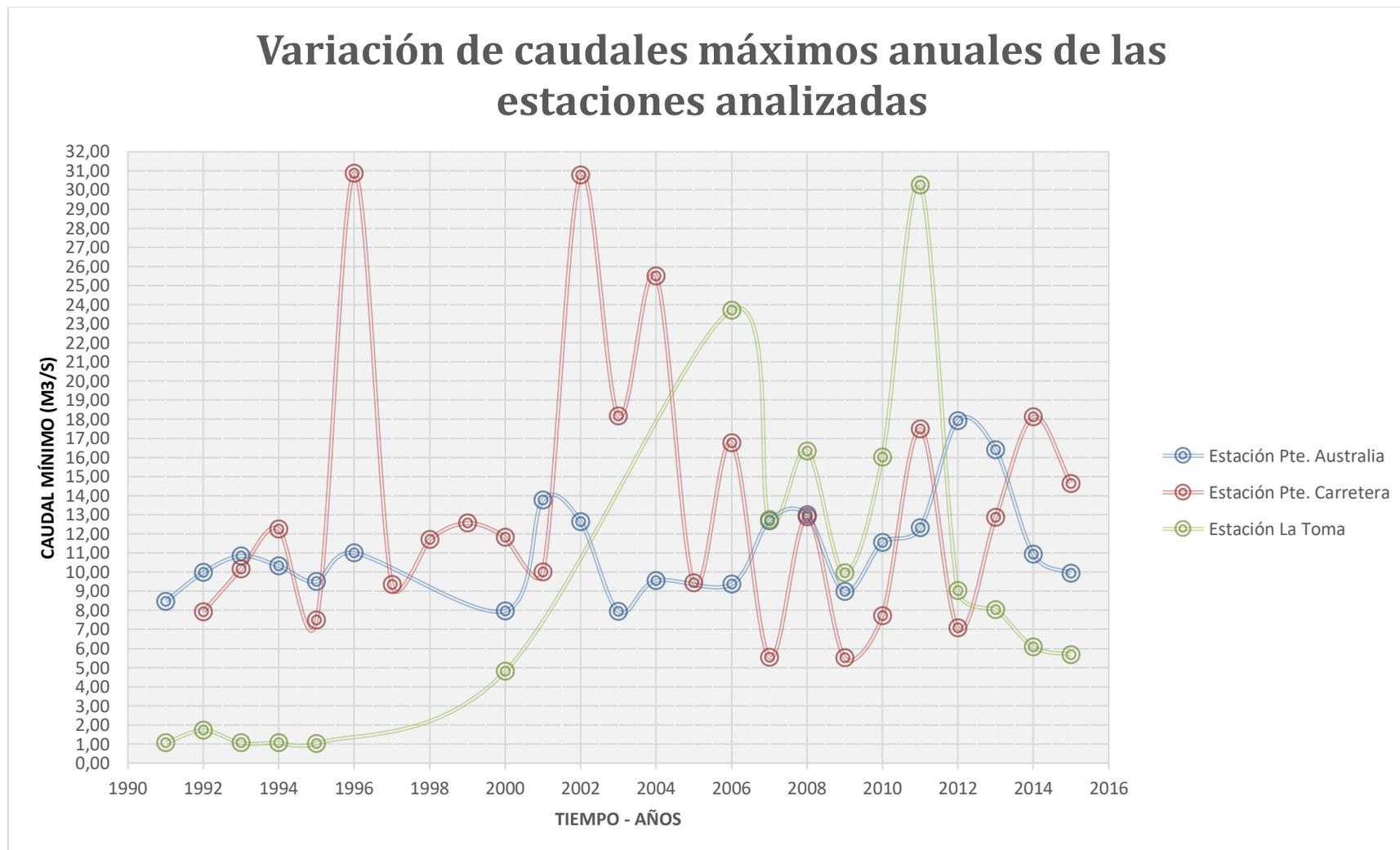
Fuente: Propia

Gráfica 44 Variación de los caudales mínimos en las estaciones estudiadas



Fuente: Propia

Gráfica 45 Variación de los caudales máximos en las estaciones estudiadas



Fuente: Propia

Las líneas de tendencias de los caudales medios (gráfica 43) indica un comportamiento homogéneo en los últimos 20 años, además la estación La Toma tiene los menores valores caudales medios registrados, mientras que las otras estaciones tienen un estilo muy similar, también en el año 2011 se visualiza un pico de caudales en todas las tres estaciones debido a fenómenos naturales como el de La Niña.

Así mismo la valoración de los caudales mínimos (gráfica 44) señala unos valores atípicos en sus caudales los años 1992 a 2005 en las estaciones Pte. Australia y Pte. Carretera. Después se encontró una homogeneidad en los datos presentando un poco de variabilidad la estación Pte. Australia a las otras dos estaciones posiblemente al funcionamiento del embalse Chisacá.

En cuanto a la tendencia de caudales máximos (gráfica 45) se evidencia una dispersión en los datos durante el período de 1991 a 2006 esto debido a la falta de una continuidad en los registros históricos, sin embargo, en la última década se observa un comportamiento similar en las estaciones de estudio.

**7.3.1 Análisis de distribución de probabilidad:** La frecuencia de ocurrencias o probabilidad de un determinado caudal de un río es bastante dinámico, por consiguiente, no puede predecirse exactamente cuál será su valor en un período de tiempo cualquiera, por tanto, se efectúan estaciones limnimétrica y limnigráfica con el fin de medir los caudales de una cuenca hidrográfica para obtener un registro histórico de datos y así aplicar métodos estadísticos que permitan predecir dichas eventualidades. La zona de estudio cuenta con tres (3) estaciones limnimétrica, sin embargo, para la investigación se analizó la estación **Pte. Australia** que está ubicada en el río Curubital y es la más significativa para la investigación, además cuenta con registros históricos amplios, lo que genera una mayor exactitud y precisión en los resultados. Para la estimación del comportamiento futuro de caudales se ejecutó el método Gumbel (ítem 5.1.21); logrando los siguientes resultados:

#### I. Estación Pte. Australia (río Curubital)

- Método de Gumbel

**Tabla 54 Datos registrados caudales máximos estación Pte. Australia**

N°	Año	Caudal Máximo <sup>1</sup> (m <sup>3</sup> /s) Xi	(Xi- $\bar{X}$ ) <sup>2</sup>
1	1946	19,47	10,543
2	1947	19,59	11,337

Continuación Tabla 53

N°	Año	Caudal Máximo <sup>1</sup> (m <sup>3</sup> /s) Xi	(Xi- $\bar{X}$ ) <sup>2</sup>
3	1948	15	1,496
4	1949	20,7	20,044
5	1950	13,33	8,369
6	1951	19,68	11,951
7	1952	18,36	4,567
8	1953	15,08	1,306
9	1954	32,9	278,125
10	1959	35,3	363,935
11	1960	16,58	0,127
12	1961	12,26	15,705
13	1962	20	14,266
14	1963	16,71	0,237
15	1964	18,32	4,398
16	1965	16,54	0,101
17	1966	13,32	8,427
18	1971	29,14	166,851
19	1972	35,57	374,309
20	1973	41,08	617,874
21	1974	11,26	24,631
22	1975	10,85	28,868
23	1976	15,86	0,132
24	1977	9,13	50,310
25	1978	15	1,496
26	1979	59,75	1894,606
27	1980	27,6	129,438
28	1981	18,49	5,140
29	1982	13,49	7,469
30	1983	15,61	0,376
31	1984	10,26	35,557
32	1985	27,14	119,182
33	1986	13,26	8,779

Continuación Tabla 53

N°	Año	Caudal Máximo <sup>1</sup> (m <sup>3</sup> /s) Xi	(Xi- $\bar{X}$ ) <sup>2</sup>
34	1987	7,84	70,274
35	1988	8,04	66,960
36	1989	7,4	77,844
37	1990	8,64	57,501
38	1991	8,46	60,263
39	1992	9,98	38,974
40	1993	10,84	28,976
41	1994	10,32	34,845
42	1995	9,5	45,198
43	1996	11	27,279
44	2000	7,97	68,111
45	2001	13,78	5,968
46	2002	12,64	12,837
47	2003	7,95	68,441
48	2004	6,86	87,664
49	2006	9,36	47,100
50	2007	12,69	12,482
51	2008	12,99	10,452
52	2009	8,98	52,460
53	2010	11,54	21,930
54	2011	12,32	15,233
55	2012	17,93	2,914
56	2013	16,41	0,035
57	2014	10,93	28,015
58	2015	9,93	39,601
$\Sigma$		<b>940,93</b>	<b>4446,372</b>

<sup>1</sup>Valor anual máximo de registro histórico de datos.

<sup>2</sup>(Columna 3 “Valor anual máximo” – Media) ^2

Fuente Propia

**Media<sup>67</sup>**

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{940.93}{58} = \mathbf{16,223}$$

**Desviación estándar<sup>68</sup>**

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{4446.372}{58-1}} = \mathbf{8,832}$$

Como resultado a la evaluación de frecuencias para distintos períodos de retorno en el río Curubital se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 55 Análisis de frecuencia para distintos períodos de retorno del río Curubital**

Período de retorno	Xm <sup>1</sup>	Yt <sup>2</sup>	Yn <sup>3</sup>	Sn <sup>3</sup>	S <sup>4</sup>	K <sup>5</sup>	tc <sup>6</sup>	M <sup>7</sup>	X <sup>8</sup> (m <sup>3</sup> /s)
2	16,2229	0,3665	0,55146	1,17218	8,8321	-0,1578	1,6450	1,0676	<b>16,5857</b>
5	16,2229	1,4999	0,55146	1,17218	8,8321	0,8092	1,6450	1,8853	<b>26,4708</b>
10	16,2229	2,2504	0,55146	1,17218	8,8321	1,4494	1,6450	2,5836	<b>33,2738</b>
25	16,2229	3,1985	0,55146	1,17218	8,8321	2,2582	1,6450	3,5145	<b>41,9495</b>
30	16,2229	3,3843	0,55146	1,17218	8,8321	2,4167	1,6450	3,7001	<b>43,6545</b>
50	16,2229	3,9019	0,55146	1,17218	8,8321	2,8583	1,6450	4,2207	<b>48,4112</b>
75	16,2229	4,3108	0,55146	1,17218	8,8321	3,2071	1,6450	4,6346	<b>52,1725</b>
100	16,2229	4,6001	0,55146	1,17218	8,8321	3,4540	1,6450	4,9285	<b>54,8364</b>
250	16,2229	5,5195	0,55146	1,17218	8,8321	4,2383	1,6450	5,8667	<b>63,3064</b>
500	16,2229	6,2136	0,55146	1,17218	8,8321	4,8304	1,6450	6,5781	<b>69,7069</b>

Fuente: Propia

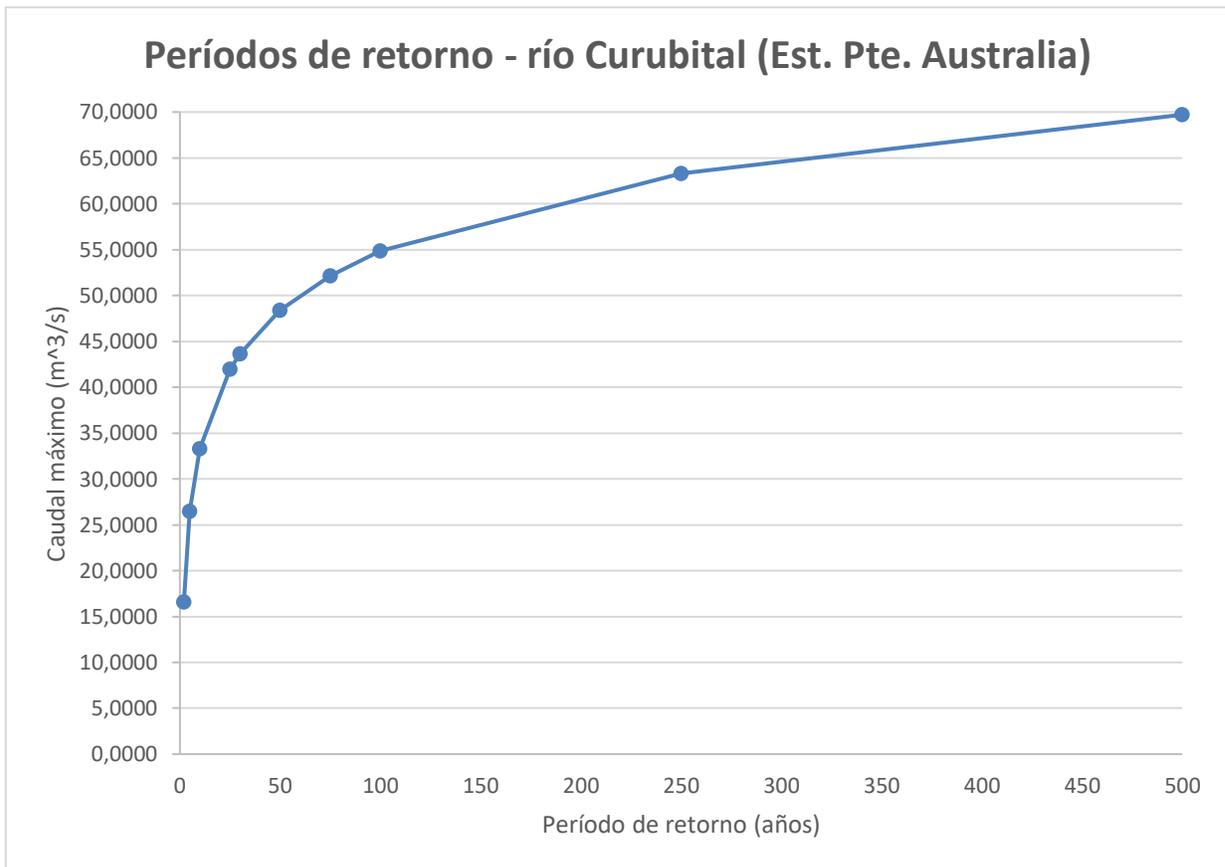
<sup>67</sup> SPIEGEL, Murray. Estadística. 2<sup>da</sup> Ed. Madrid: Mc Graw Hill, 1997. 546 p. ISBN 0-07-060234-4

<sup>68</sup> Ibid., p 85

- <sup>1</sup> Media de valores máximos registrados
- <sup>2</sup> Variable de Gumbel para el período de retorno T (tabla 3).
- <sup>3</sup> Obtenido de las tablas (cita 53)
- <sup>4</sup> Desviación estándar
- <sup>5</sup> Hallado ecuación (cita 53)
- <sup>6</sup> Nivel de confianza 90% (cita 53)
- <sup>7</sup> Calculado ecuación (cita 53)
- <sup>8</sup> Valor máximo de caudal para un período de retorno T

La siguiente gráfica ilustra que a medida que aumenta el tiempo de retorno aumenta el caudal, además se analizó que para los primeros 100 años hay una curva de tipo logarítmica creciente, pero es menos tendenciosa a un mayor tiempo. Se estima que para 100 años el caudal es igualado o superado por lo menos a un valor de aproximadamente 55 m<sup>3</sup>/s y para 500 años un caudal de 70 m<sup>3</sup>/s.

**Gráfica 46 Análisis de frecuencia de caudales para diferentes períodos de retorno**



Fuente: Propia

Sintetizando el método implementado se realizó la prueba de bondad de ajuste de Smirnov – Kolmogorov aplicada a la distribución teórica de frecuencias de Gumbel, con el fin de comprobar si el ajuste es verídico y los resultados obtenidos

por el método de Gumbel tienen la confiabilidad para aplicar diseños y estudios ítem (5.1.22).

- **Prueba de bondad de ajuste de Smirnov – Kolmagorov:** La prueba de ajuste se realizó con un registro histórico de la estación Pte. Australia de (1946 a 2015), sin embargo, los años (1967 a 1970 y 1997 a 1999), no se hallaban datos registrados, pero estos métodos solo toman en cuenta los años registrados sin importar el número de datos. Se ejecutó la siguiente tabla con sus respectivas variables a calcular ilustrada en el ítem (5.1.22):

**Media**

$$\text{Media} = \frac{940,93}{58} = \mathbf{16,223}$$

**Desviación estándar**

$$S = \sqrt{\frac{5201,31}{58-1}} = \mathbf{9,553}$$

**a**

$$a = \frac{1}{0,78S} = \frac{1}{0,78 * 9,553} = 0,134$$

**Xo**

$$X_o = \ddot{X} - \frac{0,577}{a} = 16,223 - \frac{0,577}{0,134}$$

**Tabla 56 Prueba de bondad de ajuste Smirnov – Kolmogorov**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N	Xi	(Xi- $\ddot{X}$ ) <sup>2</sup>	-a*(Xi-X)	-e <sup>^</sup> (-a*(Xi-X))	F(x)	a	r	F(x) - a	Valor Abs F(x) - a
1	6,86	87,66	0,68	-1,97	0,14	1,00	0,02	0,12	<b>0,12</b>
2	7,4	77,84	0,61	-1,84	0,16	2,00	0,03	0,13	<b>0,13</b>
3	7,84	70,27	0,55	-1,73	0,18	3,00	0,05	0,13	<b>0,13</b>
4	7,95	68,44	0,53	-1,70	0,18	4,00	0,07	0,11	0,11
5	7,97	68,11	0,53	-1,70	0,18	5,00	0,09	0,10	0,10
6	8,04	66,96	0,52	-1,68	0,19	6,00	0,10	0,08	0,08
7	8,46	60,26	0,46	-1,59	0,20	7,00	0,12	0,08	0,08
8	8,64	57,50	0,44	-1,55	0,21	8,00	0,14	0,07	0,07
9	8,98	52,46	0,40	-1,48	0,23	9,00	0,16	0,07	0,07

N	$X_i$	$(X_i - \bar{X})^2$	$-a*(X_i - \bar{X})$	$-e^{-(a*(X_i - \bar{X}))}$	F(x)	a	r	F(x) - a	Valor Abs F(x) - a
10	9,13	50,31	0,37	-1,45	0,23	10,00	0,17	0,06	0,06
11	9,36	47,10	0,34	-1,41	0,24	11,00	0,19	0,05	0,05
12	9,5	45,20	0,33	-1,38	0,25	12,00	0,21	0,04	0,04
13	9,93	39,60	0,27	-1,31	0,27	13,00	0,22	0,05	0,05
14	9,98	38,97	0,26	-1,30	0,27	14,00	0,24	0,03	0,03
15	10,26	35,56	0,22	-1,25	0,29	15,00	0,26	0,03	0,03
16	10,32	34,84	0,22	-1,24	0,29	16,00	0,28	0,01	0,01
17	10,84	28,98	0,15	-1,16	0,31	17,00	0,29	0,02	0,02
18	10,85	28,87	0,14	-1,16	0,32	18,00	0,31	0,00	0,00
19	10,93	28,02	0,13	-1,14	0,32	19,00	0,33	-0,01	0,01
20	11	27,28	0,12	-1,13	0,32	20,00	0,34	-0,02	0,02
21	11,26	24,63	0,09	-1,09	0,34	21,00	0,36	-0,03	0,03
22	11,54	21,93	0,05	-1,05	0,35	22,00	0,38	-0,03	0,03
23	12,26	15,70	-0,05	-0,96	0,38	23,00	0,40	-0,01	0,01
24	12,32	15,23	-0,05	-0,95	0,39	24,00	0,41	-0,03	0,03
25	12,64	12,84	-0,10	-0,91	0,40	25,00	0,43	-0,03	0,03
26	12,69	12,48	-0,10	-0,90	0,41	26,00	0,45	-0,04	0,04
27	12,99	10,45	-0,14	-0,87	0,42	27,00	0,47	-0,05	0,05
28	13,26	8,78	-0,18	-0,84	0,43	28,00	0,48	-0,05	0,05
29	13,32	8,43	-0,19	-0,83	0,44	29,00	0,50	-0,06	0,06
30	13,33	8,37	-0,19	-0,83	0,44	30,00	0,52	-0,08	0,08
31	13,49	7,47	-0,21	-0,81	0,44	31,00	0,53	-0,09	0,09
32	13,78	5,97	-0,25	-0,78	0,46	32,00	0,55	-0,09	0,09
33	15	1,50	-0,41	-0,66	0,52	33,00	0,57	-0,05	0,05
34	15	1,50	-0,41	-0,66	0,52	34,00	0,59	-0,07	0,07
35	15,08	1,31	-0,42	-0,65	0,52	35,00	0,60	-0,08	0,08
36	15,61	0,38	-0,49	-0,61	0,54	36,00	0,62	-0,08	0,08
37	15,86	0,13	-0,53	-0,59	0,55	37,00	0,64	-0,08	0,08
38	16,41	0,03	-0,60	-0,55	0,58	38,00	0,66	-0,08	0,08
39	16,54	0,10	-0,62	-0,54	0,58	39,00	0,67	-0,09	0,09
40	16,58	0,13	-0,62	-0,54	0,59	40,00	0,69	-0,10	0,10
41	16,71	0,24	-0,64	-0,53	0,59	41,00	0,71	-0,12	0,12
42	17,93	2,91	-0,81	-0,45	0,64	42,00	0,72	-0,08	0,08
43	18,32	4,40	-0,86	-0,42	0,65	43,00	0,74	-0,09	0,09
44	18,36	4,57	-0,86	-0,42	0,66	44,00	0,76	-0,10	0,10
45	18,49	5,14	-0,88	-0,41	0,66	45,00	0,78	-0,12	0,12
46	19,47	10,54	-1,01	-0,36	0,70	46,00	0,79	-0,10	0,10
47	19,59	11,34	-1,03	-0,36	0,70	47,00	0,81	-0,11	0,11
48	19,68	11,95	-1,04	-0,35	0,70	48,00	0,83	-0,13	0,13

N	Xi	(Xi- $\bar{X}$ ) <sup>2</sup>	-a*(Xi-X)	-e <sup>^</sup> (-a*(Xi-X))	F(x)	a	r	F(x) - a	Valor Abs F(x) - a
49	20	14,27	-1,08	-0,34	0,71	49,00	0,84	-0,13	0,13
50	20,7	20,04	-1,18	-0,31	0,73	50,00	0,86	-0,13	0,13
51	27,14	119,18	-2,04	-0,13	0,88	51,00	0,88	0,00	0,00
52	27,6	129,44	-2,10	-0,12	0,89	52,00	0,90	-0,01	0,01
53	29,14	166,85	-2,31	-0,10	0,91	53,00	0,91	-0,01	0,01
54	32,9	278,12	-2,82	-0,06	0,94	54,00	0,93	0,01	0,01
55	35,3	363,93	-3,14	-0,04	0,96	55,00	0,95	0,01	0,01
56	35,57	374,31	-3,17	-0,04	0,96	56,00	0,97	-0,01	0,01
57	41,08	617,87	-3,91	-0,02	0,98	57,00	0,98	0,00	0,00
58	59,75	1894,61	-6,42	0,00	1,00	58,00	1,00	0,00	0,00
$\Sigma$	<b>940,93</b>	<b>5201,31</b>							

Fuente Propia

En primer lugar, se organizan los registros de caudales de menor a mayor como se observa en la (columna 2) y se calcula las variables estadísticas.

El valor máximo de la diferencia entre la función de distribución acumulada (columna 6) y la frecuencia acumulada relativa (columna 8) fue de **0,13** señalado de color azul en la (columna 10). Con respecto al valor de cuartiles superiores de la distribución de Kolmogorov – Smirnov dado en la figura 7, por tener un número de datos mayores y un nivel de significación de **0.9** se implementó la ecuación correspondiente obteniendo:

$$C = \frac{1,22}{\sqrt{n}} = \frac{1,22}{\sqrt{58}} = 0,16$$

El anterior coeficiente estadígrafo crítico de Smirnov – Kolmogorov (**C**) es mayor que el valor máximo de la columna 10, esto quiere decir que los resultados obtenidos por el método de Gumbel son confiables y se pueden emplear diseños y estudios bajo estos resultados.

**7.3.1.1 Frecuencia de caudales del río Curubital:** Las tablas y gráficas siguientes se realizaron con la finalidad de identificar los caudales para futuras planeaciones del recurso hídrico del río Curubital, no obstante, los caudales analizados fueron caudales mensuales, es recomendable que si se tienen información de caudales diarios sean estos los utilizados para generar una mayor confiabilidad en los resultados.

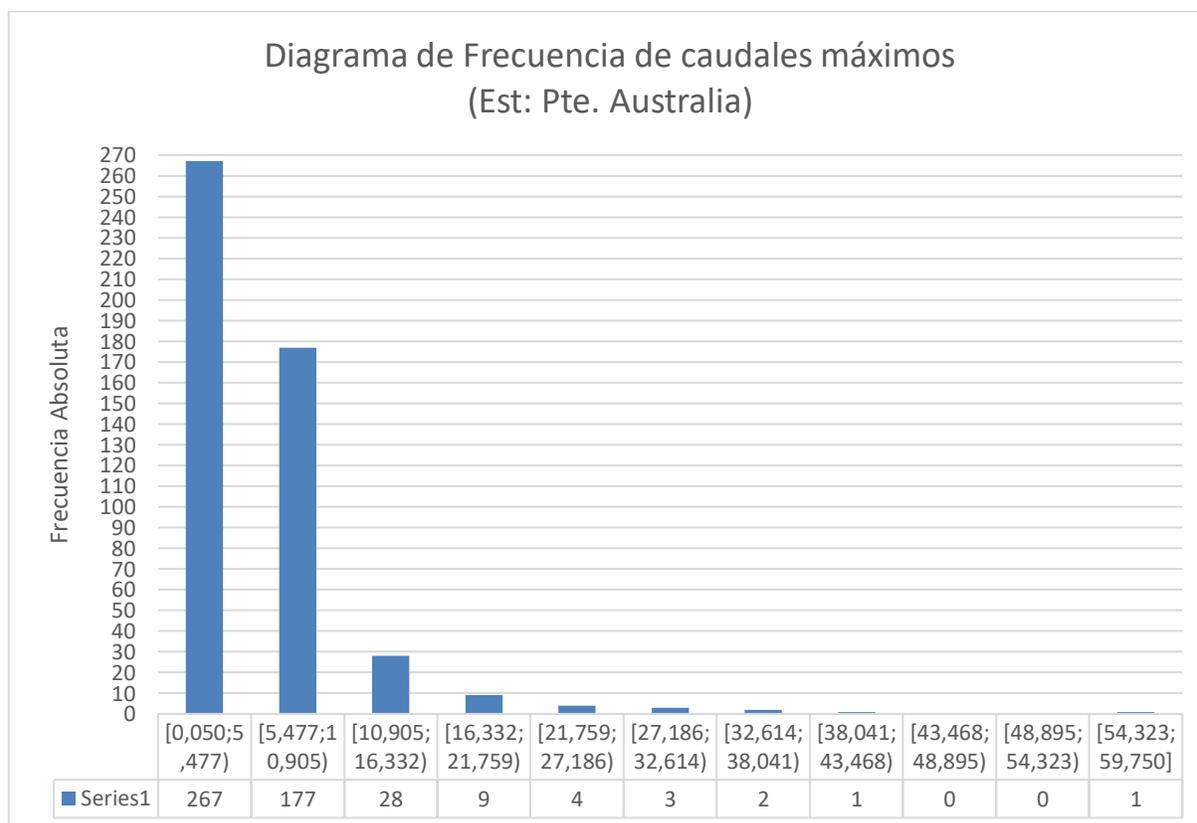
- **Caudales Máximos (1971 – 2015):** En el registro histórico recopilado los años 1997 a 1999 y 2005 no se tenía información, sin embargo, se evaluaron los años que poseían el registro.

**Tabla 57 Frecuencia de caudales máximos río Curubital**

<b>DIAGRAMA DE FRECUENCIA DE CAUDALES MAXIMOS RÍO CURUBITAL</b>				
<b>Intervalo Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Frecuencia Absoluta</b>	<b>Frecuencia Absoluta Acumulada</b>	<b>Frecuencia relativa (%)</b>	<b>Frecuencia Acumulada relativa (%)</b>
[0,050; 5,477)	267	267	54,27	54,27
[5,477; 10,905)	177	444	35,98	90,24
[10,905; 16,332)	28	472	5,69	95,93
[16,332; 21,759)	9	481	1,83	97,76
[21,759; 27,186)	4	485	0,81	98,58
[27,186; 32,614)	3	488	0,61	99,19
[32,614; 38,041)	2	490	0,41	99,59
[38,041; 43,468)	1	491	0,20	99,80
[43,468; 48,895)	0	491	0,00	99,80
[48,895; 54,323)	0	491	0,00	99,80
[54,323; 59,750]	1	492	0,20	100,00

Fuente: Propia

**Gráfica 47 Diagrama de frecuencia de caudales máximos del río Curubital**



Fuente: Propia

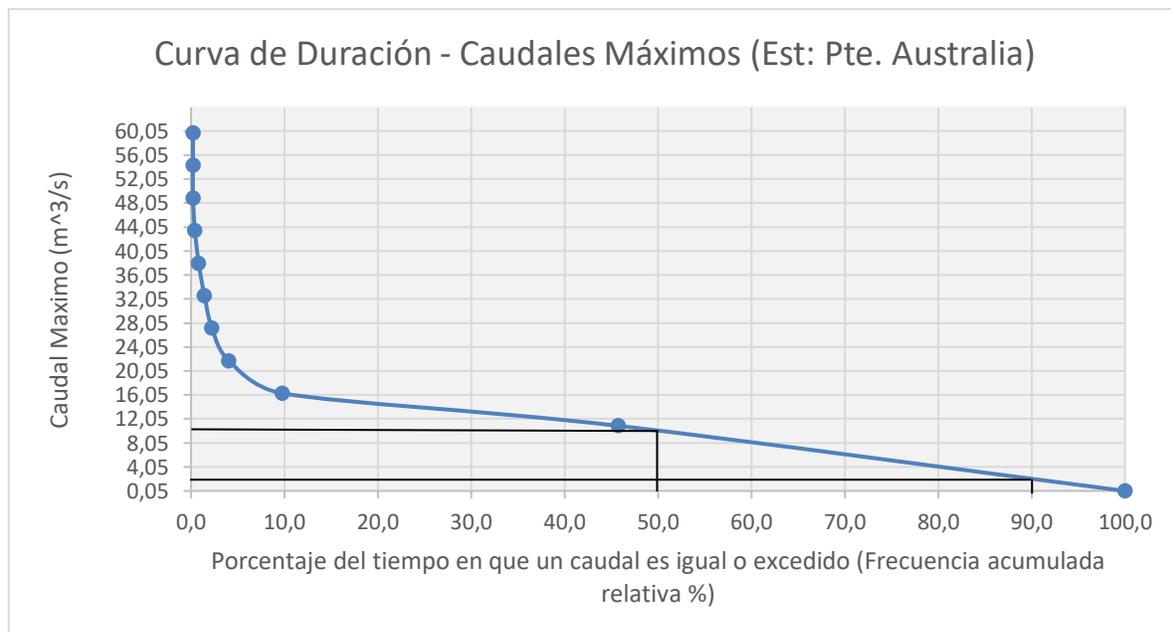
En la gráfica 47 y tabla 57 se puede interpretar que los valores de caudales máximos más frecuentes están en un intervalo de 0,05 y 5.476 m<sup>3</sup>/s, además se observó que los de mayor magnitud son causados sin tanta frecuencia, el valor mayor se dio en octubre de 1979 con un valor de 59,75 m<sup>3</sup>/s.

**Tabla 58 Curva de duración de caudales máximos del río Curubital**

<b>CURVA DE DURACIÓN O PERMANENCIA DE CAUDALES MÁXIMOS RÍO CURUBITAL</b>				
<b>Intervalo</b>	<b>Frecuencia Absoluta</b>	<b>Frecuencia Absoluta Acumulada</b>	<b>Frecuencia relativa (%)</b>	<b>Frecuencia Acumulada relativa (%)</b>
[54,323; 59,750]	1	1	0,20	0,20
[48,895; 54,323)	0	1	0,00	0,20
[43,468; 48,895)	0	1	0,00	0,20
[38,041; 43,464)	1	2	0,20	0,41
[32,614; 38,041)	2	4	0,41	0,81
[27,186; 32,614)	3	7	0,61	1,42
[21,759; 27,186)	4	11	0,81	2,24
[16,332; 21,759)	9	20	1,83	4,07
[10,905; 16,332)	28	48	5,69	9,76
[5,477; 10,905)	177	225	35,98	45,73
[0,50; 5,477)	267	492	54,27	100,00

Fuente: Propia

**Gráfica 48 Curva de duración de caudales máximos del río Curubital**



Fuente: Propia

En relación a la tabla 58 y grafica 48 se observó que durante este tiempo se tiene un caudal firme máximo (90%) de 2,05 m<sup>3</sup>/s, es decir se dispone de este caudal máximo en temporadas críticas. También se tiene la certeza de contar un caudal promedio en el tiempo (50%) de 10,1 m<sup>3</sup>/s.

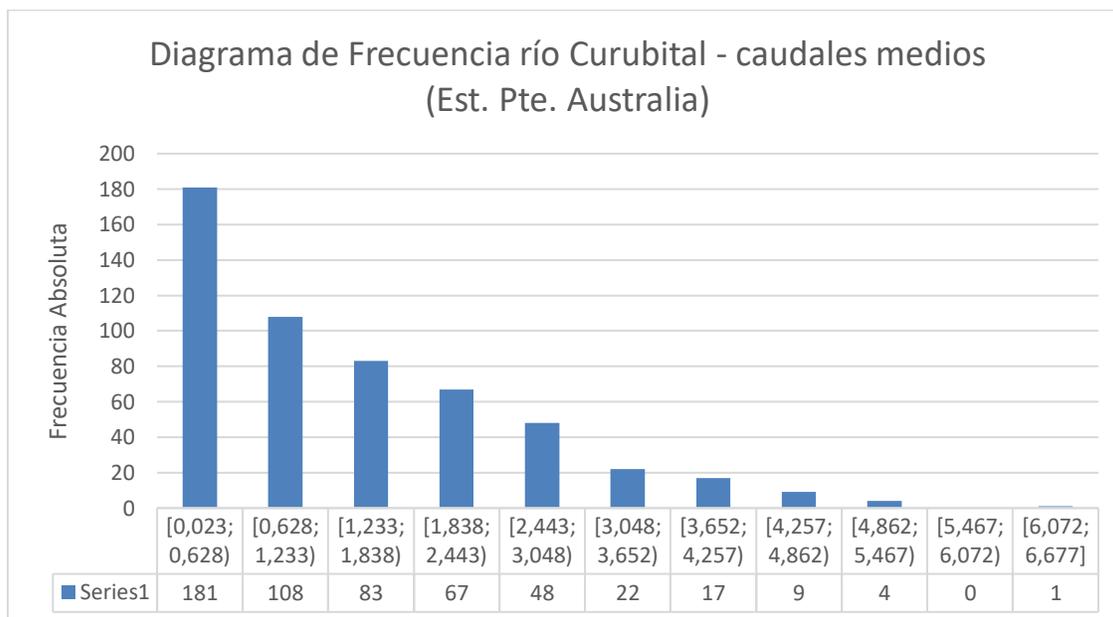
- **Caudales Medios (1971 – 2015):** Para la evaluación de los caudales medios se contaba con todos los registros históricos lo que genera una mayor precisión en los resultados.

**Tabla 59 Frecuencia de caudales medios río Curubital**

<b>DIAGRAMA DE FRECUENCIA DE CAUDALES MEDIOS RÍO CURUBITAL</b>				
<b>Intervalo Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Frecuencia Absoluta</b>	<b>Frecuencia Absoluta Acumulada</b>	<b>Frecuencia relativa (%)</b>	<b>Frecuencia Acumulada relativa (%)</b>
[0,023; 0,628)	181	181	33,52	33,52
[0,628; 1,233)	108	289	20,00	53,52
[1,233; 1,838)	83	372	15,37	68,89
[1,838; 2,443)	67	439	12,41	81,30
[2,443; 3,048)	48	487	8,89	90,19
[3,048; 3,652)	22	509	4,07	94,26
[3,652; 4,257)	17	526	3,15	97,41
[4,257; 4,862)	9	535	1,67	99,07
[4,862; 5,467)	4	539	0,74	99,81
[5,467; 6,072)	0	539	0,00	99,81
[6,072; 6,677]	1	540	0,19	100,00

Fuente: Propia

**Gráfica 49 Diagrama de frecuencia de caudales medios del río Curubital**



Fuente: Propia

La frecuencia de caudales medios durante los 45 años se evidencio en la tabla 59 y gráfica 49 que el caudal medio con mayor periodicidad en el río Curubital se halla en un intervalo de 0,023 y 0,628 m<sup>3</sup>/s, además se presenta mayor reiteración en los intervalos comparados con los caudales máximos.

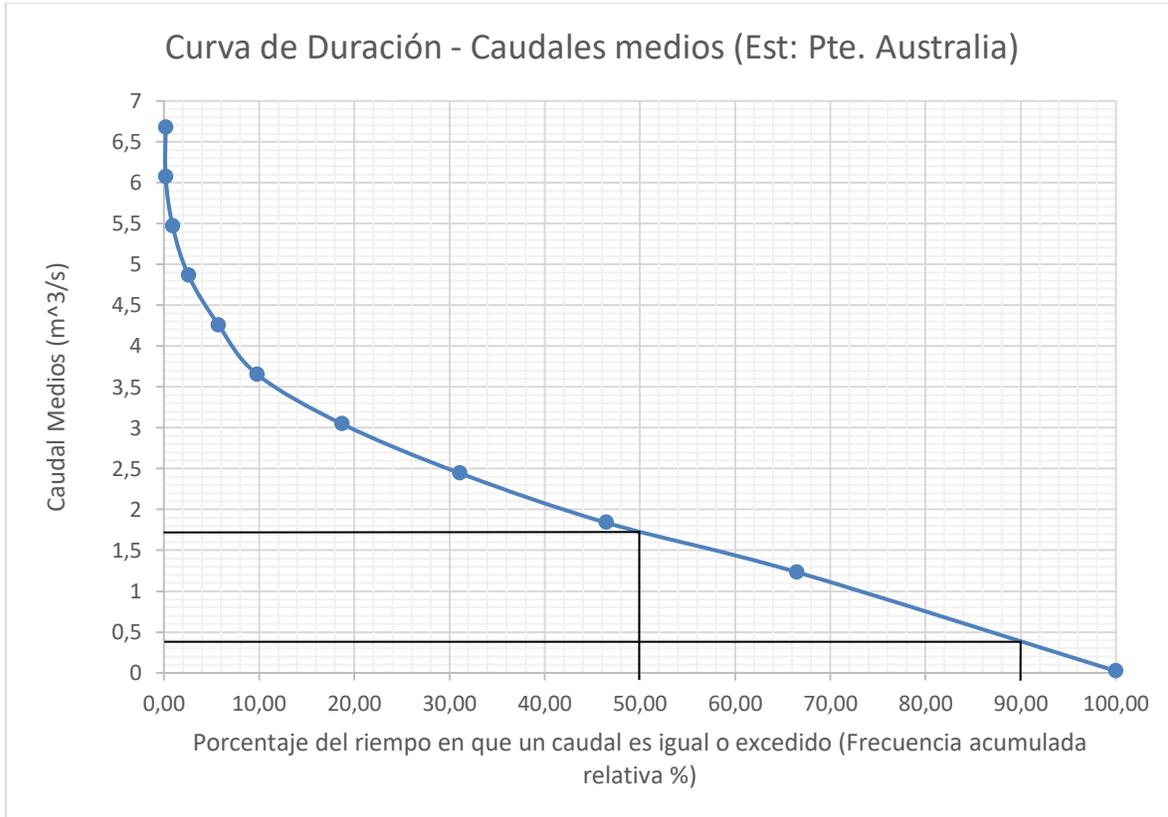
**Tabla 60 Curva de duración de caudales medios del río Curubital**

CURVA DE DURACIÓN O PERMANENCIA DE CAUDALES MEDIOS				
Intervalo	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Absoluta Acumulada	Frecuencia relativa (%)	Frecuencia Acumulada relativa (%)
[6,072; 6,677]	1	1	0,19	0,19
[5,467; 6,072)	0	1	0,00	0,19
[4,862; 5,467)	4	5	0,74	0,93
[4,257; 4,862)	9	14	1,67	2,59
[3,652; 4,257)	17	31	3,15	5,74
[3,048; 3,652)	22	53	4,07	9,81
[2,443; 3,048)	48	101	8,89	18,70
[1,838; 2,443)	67	168	12,41	31,11
[1,233; 1,838)	83	251	15,37	46,48
[0,628; 1,233)	108	359	20,00	66,48
[0,023; 0,628)	181	540	33,52	100,00

Fuente: Propia

La curva de duración de los caudales medios gráfica 50 contempla que durante los 45 años se tiene un caudal firme medio (90%) de 0,37 m<sup>3</sup>/s. Además, se cuenta con un caudal medio promedio en el tiempo (50%) de 1,7 m<sup>3</sup>/s.

**Gráfica 50 Curva de duración de caudales medios del río Curubital**



Fuente: Propia

- **Caudales Mínimos (1971 – 2015):** Los caudales mínimos estudiados a partir de la información recopilada no contaba con valores del año 2005, pero se analizaron los registros existentes.

**Tabla 61 Frecuencia de caudales mínimos río Curubital**

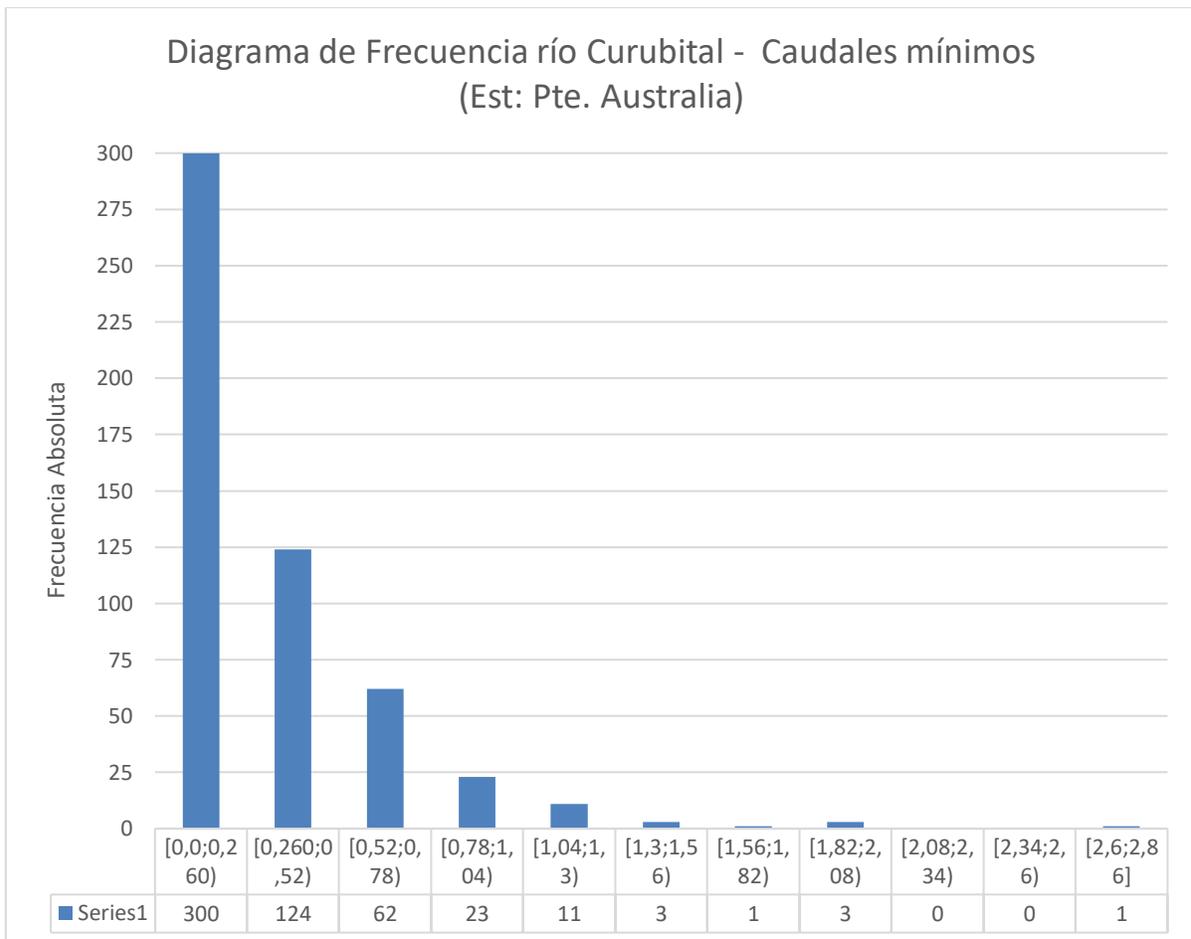
DIAGRAMA DE FRECUENCIA DE CAUDALES MÍNIMOS RÍO CURUBITAL				
Intervalo Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Absoluta Acumulada	Frecuencia relativa (%)	Frecuencia Acumulada relativa (%)
[0,0; 0,260)	300	300	56,82	56,82
[0,260;0,52)	124	424	23,48	80,30
[0,52;0,78)	62	486	11,74	92,05
[0,78;1,04)	23	509	4,36	96,40

Continuación tabla 61

[1,04;1,3)	11	520	2,08	98,48
[1,3;1,56)	3	523	0,57	99,05
[1,56;1,82)	1	524	0,19	99,24
[1,82;2,08)	3	527	0,57	99,81
[2,08;2,34)	0	527	0,00	99,81
[2,34;2,6)	0	527	0,00	99,81
[2,6;2,86]	1	528	0,19	100,00

Fuente: Propia

Gráfica 51 Diagrama de frecuencia de caudales mínimos del río Curubital



Fuente: Propia

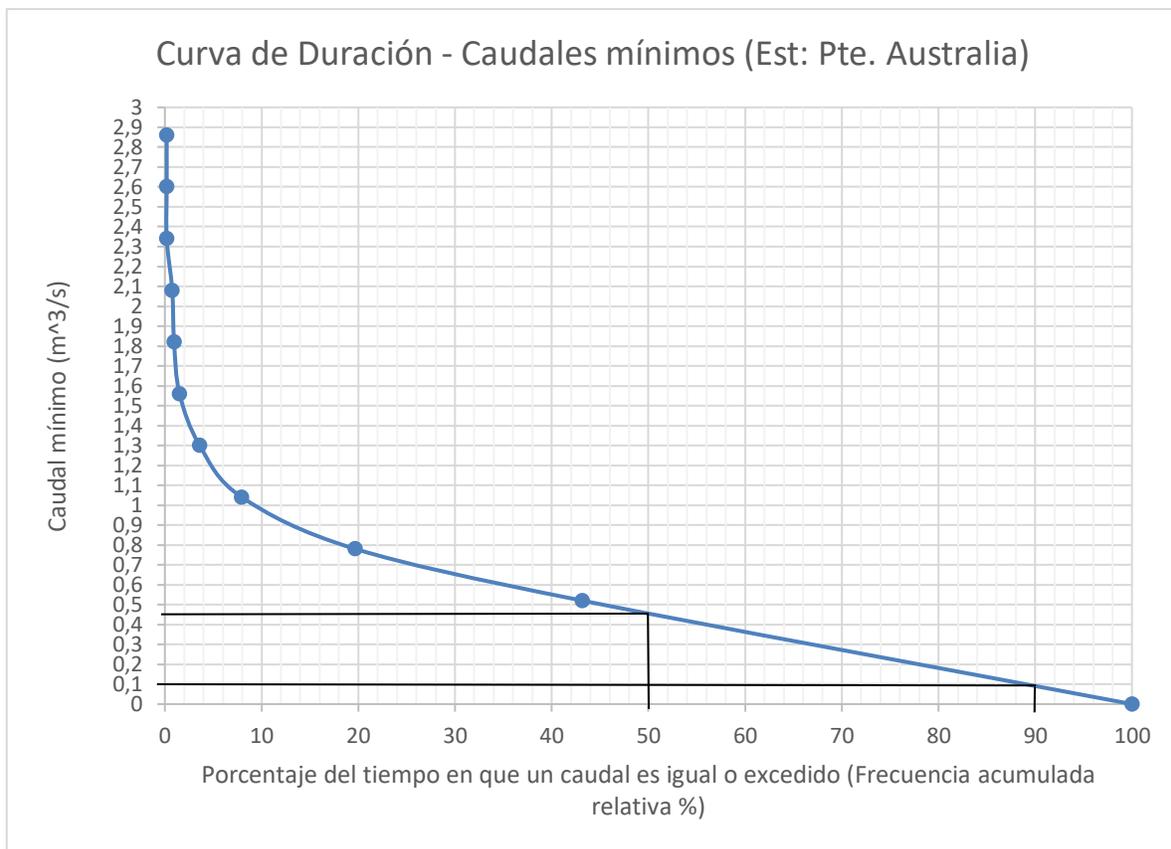
El valor más usual durante los 44 años de los caudales mínimos del río Curubital se encuentran en el rango de 0 a 0,26 m<sup>3</sup>/s, que corresponde a los valores más críticos en tiempos de estiaje, así mismo el valor crítico se generó en 1989 en el mes de abril con un caudal de 0 m<sup>3</sup>/s. Los intervalos de caudales mínimos ascendentes se presentan con una frecuencia no tan representativa comparada con las clases mínimas.

**Tabla 62 Curva de duración de caudales mínimos del río Curubital**

<b>CURVA DE DURACIÓN O PERMANENCIA DE CAUDALES MÍNIMOS RÍO CURUBITAL</b>				
<b>Intervalo</b>	<b>Frecuencia Absoluta</b>	<b>Frecuencia Absoluta Acumulada</b>	<b>Frecuencia relativa (%)</b>	<b>Frecuencia Acumulada relativa (%)</b>
[2,6;2,86]	1	1	0,189	0,189
[2,34;2,6)	0	1	0,000	0,189
[2,08;2,34)	0	1	0,000	0,189
[1,82;2,08)	3	4	0,568	0,758
[1,56;1,82)	1	5	0,189	0,947
[1,3;1,56)	3	8	0,568	1,515
[1,04;1,3)	11	19	2,083	3,598
[0,78;1,04)	23	42	4,356	7,955
[0,52;0,78)	62	104	11,742	19,697
[0,26;0,52)	124	228	23,485	43,182
[0;0,26)	300	528	56,818	100,000

Fuente: Propia

**Gráfica 52 Curva de duración de caudales mínimos del río Curubital**



Fuente: Propia

Teniendo en cuenta la gráfica 52 y tabla 62 se analizó que se puede disponer de un caudal firme mínimo (90%) de 0,1 m<sup>3</sup>/s, es decir se dispone de este caudal máximo en temporadas críticas. Igualmente se cuenta con un caudal promedio en el tiempo (50%) de 0,45 m<sup>3</sup>/s.

#### 7.4 Índices de Calidad del Agua

Los índices de calidad del agua del río Curubital fueron calculados y analizados por medio muestras de tipo puntual en diferentes intervalos del cauce (figura 13) en el mes de octubre como anteriormente sea mencionado, los registros se realizaron a partir de trabajo de campo y laboratorio.

En las visitas realizadas el primer día (4/10/2016) se observó una importante intervención agrícola, debido a que estaban en cosecha especialmente los cultivos de papa, además había una temperatura cálida, la siguiente visita (18/10/2016) las actividades agrícolas habían disminuido pero se encontraban en algunas zonas aun recogiendo sus cultivos, similarmente a la primer visita había un clima cálido, pero su caudal era menor comparado con la primera visita y finalmente en la última visita (24/10/2016) las actividades ya habían culminado, de igual manera la temperatura se encontraba cálida pero se evidencio que el día anterior se habían producido lluvias, además el caudal era similar al de la primera visita.

Para concluir, los caudales fueron pronosticados por medio de información meteorológica recopilada en la estación meteorológica Pte. Australia y acorde a esta se analizaron los caudales posiblemente originados en los días de visita por el método de áreas adyacentes.

**Tabla 63 Caudal punto de captación**

Punto de captación	Rango de Caudal m <sup>3</sup> /s
Parte Alta	[0,23 - 1,25]
Parte Media	[0,52 - 3,06]
Parte Baja	[4,22 - 6,78]

Fuente: Propia

Los parámetros medidos en campo como la temperatura, la conductividad, el pH, oxígeno disuelto y olor fueron los siguientes:

- **Parte Alta**

**Tabla 64 Parámetros Parte Alta**

<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Medida</b>
4-oct-16	11:06	Temperatura Ambiente	°C	12
	11:08	Temperatura Cauce	°C	9,4
	11:10	Olor	-----	Inobjetable
	11:13	pH	pH	7,78
	11:08	Conductividad	μSiemens/cm	5,18
	11:19	Oxígeno Disuelto	mg/L	7,8
18-oct-16	11:42	Temperatura Ambiente	°C	27,5
	11:43	Temperatura Cauce	°C	10,8
	11:40	Olor	-----	Inobjetable
	11:51	pH	pH	8,06
	11:43	Conductividad	μSiemens/cm	7,29
	11:47	Oxígeno Disuelto	mg/L	7,42
24-oct-16	10:06	Temperatura Ambiente	°C	18
	10:10	Temperatura Cauce	°C	10,8
	10:04	Olor	-----	Inobjetable
	10:13	pH	pH	7,56
	10:10	Conductividad	μSiemens/cm	6,91
	10:19	Oxígeno Disuelto	mg/L	6,4

**Fuente: Propia**

**Fotografía 23 Toma de muestra - Parte Alta**



**Fuente: Propia**

**Fotografía 24 Parte alta - Medición de parámetros**



**Fuente: Propia**

- **Parte Media**

**Tabla 43 Parámetros Parte Media**

Fecha	Hora	Parámetro	Unidad	Medida
4-oct-16	12:51	Temperatura Ambiente	°C	20,3
	12:53	Temperatura Cauce	°C	12,1
	12:44	Olor	-----	Inobjetable
	12:57	pH	pH	7,36
	12:53	Conductividad	μSiemens/cm	12,73
	13:06	Oxígeno Disuelto	mg/L	6,98
18-oct-16	12:49	Temperatura Ambiente	°C	23,2
	12:51	Temperatura Cauce	°C	12,7
	12:40	Olor	-----	Inobjetable
	12:58	pH	pH	7,8
	12:51	Conductividad	μSiemens/cm	13,96
	13:02	Oxígeno Disuelto	mg/L	7,38
24-oct-16	14:01	Temperatura Ambiente	°C	19,3
	14:03	Temperatura Cauce	°C	12,6
	13:55	Olor	-----	Inobjetable
	14:10	pH	pH	7,36
	14:03	Conductividad	μSiemens/cm	15,74
	14:17	Oxígeno Disuelto	mg/L	7,75

**Fuente: Propia**

**Fotografía 25 Toma de muestras - Parte Media**



**Fuente: Propia**

## Fotografía 26 Parte media - Medición de parámetros



Fuente: Propia

- Parte Baja

Tabla 43 Parámetros Parte Baja

Fecha	Hora	Parámetro	Unidad	Medida
4-oct-16	12:51	Temperatura Ambiente	°C	19,7
	12:53	Temperatura Cauce	°C	14,2
	12:44	Olor	-----	Inobjetable
	12:57	pH	pH	7,18
	12:53	Conductividad	μSiemens/cm	12,37
	13:06	Oxígeno Disuelto	mg/L	6,22
18-oct-16	12:49	Temperatura Ambiente	°C	14,9
	12:51	Temperatura Cauce	°C	14,6
	12:40	Olor	-----	Inobjetable
	12:58	pH	pH	7,65
	12:51	Conductividad	μSiemens/cm	18,75
	13:02	Oxígeno Disuelto	mg/L	6,88
24-oct-16	14:01	Temperatura Ambiente	°C	22,4
	14:03	Temperatura Cauce	°C	12,8
	13:55	Olor	-----	Inobjetable
	14:10	pH	pH	7,57
	14:03	Conductividad	μSiemens/cm	12,6
	14:17	Oxígeno Disuelto	mg/L	6,92

Fuente: Propia

### Fotografía 27 Toma de muestras - Parte Baja



Fuente: Propia

### Fotografía 28 Parte baja - Medición de parámetros



Fuente: Propia

Por otro lado, los parámetros de sólidos suspendidos se elaboraron en el laboratorio de la Universidad La Gran Colombia. Los datos registrados en laboratorio fueron los siguientes:

**Tabla 65 Datos Solidos Suspendidos Totales**

Lugar	Fecha de análisis	Parámetro	Peso Filtro (gr)	Peso final con el residuo seco (gr)	Volumen de muestra filtrada (mL)
Parte Alta	5-oct-16	Solidos Suspendidos Totales	0,205	0,205	200
Parte Media	5-oct-16	Solidos Suspendidos Totales	0,203	0,203	200
Parte Baja	5-oct-16	Solidos Suspendidos Totales	0,212	0,213	200

Fuente: Propia

Una vez elaborado el laboratorio se calculó la concentración de sólidos suspendidos en la muestra implementando la ecuación 12.

- Parte Alta

$$SST = \frac{0,205 \text{ gr} - 0,205 \text{ gr}}{200 \text{ mL}} = 0$$

- Parte Media

$$SST = \frac{0,203 \text{ gr} - 0,203 \text{ gr}}{200 \text{ mL}} = 0$$

- Parte Baja

$$SST = \frac{0,213 \text{ gr} - 0,212 \text{ gr}}{200 \text{ mL}} = 0,000005 \frac{\text{gr}}{\text{mL}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ gr}} * \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}} = \frac{5 \text{ mg}}{\text{L}}$$

**Tabla 66 Datos Solidos Suspendidos Totales**

Lugar	Fecha de análisis	Parámetro	Peso Filtro (gr)	Peso final con el residuo seco (gr)	Volumen de muestra filtrada (mL)
Parte Alta	19-oct-16	Solidos Suspendidos Totales	0,206	0,207	200
Parte Media	19-oct-16	Solidos Suspendidos Totales	0,206	0,206	200

Lugar	Fecha de análisis	Parámetro	Peso Filtro (gr)	Peso final con el residuo seco (gr)	Volumen de muestra filtrada (mL)
Parte Baja	19-oct-16	Solidos Suspendidos Totales	0,203	0,204	200

Fuente: Propia

- Parte Alta

$$SST = \frac{0,207gr - 0,206gr}{200 mL} = 0,000005 \frac{gr}{mL} * \frac{1000 mg}{1gr} * \frac{1000mL}{1L} = 5mg/L$$

- Parte Media

$$SST = \frac{0,206gr - 0,206gr}{200 mL} = 0$$

- Parte Baja

$$SST = \frac{0,204 gr - 0,203gr}{200 mL} = 0,000005 \frac{gr}{mL} * \frac{1000 mg}{1gr} * \frac{1000mL}{1L} = 5mg/L$$

**Tabla 67 Datos Solidos Suspendidos Totales**

Lugar	Fecha de análisis	Parámetro	Peso Filtro (gr)	Peso filtro con residuo seco (gr)	Volumen de muestra filtrada (mL)
Parte Alta	25-oct-16	Solidos Suspendidos Totales	0,201	0,202	200
Parte Media	25-oct-16	Solidos Suspendidos Totales	0,206	0,206	200
Parte Baja	25-oct-16	Solidos Suspendidos Totales	0,211	0,212	200

Fuente: Propia

- Parte Alta

$$SST = \frac{0,201gr - 0,202gr}{200 mL} = 0,000005 \frac{gr}{mL} * \frac{1000 mg}{1gr} * \frac{1000mL}{1L} = 5mg/L$$

- Parte Media

$$SST = \frac{0,206gr - 0,206gr}{200 mL} = 0$$

- Parte Baja

$$SST = \frac{0,211 gr - 0,212gr}{200 mL} = 0,000005 \frac{gr}{mL} * \frac{1000 mg}{1gr} * \frac{1000mL}{1L} = 5mg/L$$

- **Sólidos Disueltos Totales:** Con respecto a la investigación exhaustiva se pueden determinar los sólidos disueltos a partir de la conductividad como se hizo referencia en el ítem 5.1.16.6, logrando los siguientes resultados:

**Tabla 68 Sólidos Disueltos totales calculados**

Punto de captación	Fecha	Conductividad <sup>1</sup> (µmho)	Solidos Disueltos totales <sup>2</sup> (mg/L)
Parte Alta	4/10/2016	5,18	3,2375
Parte Alta	18/10/2016	7,29	4,55625
Parte Alta	24/10/2016	6,91	4,31875
Parte Media	4/10/2016	12,73	7,95625
Parte Media	18/10/2016	13,96	8,725
Parte Media	24/10/2016	15,74	9,8375
Parte Baja	4/10/2016	12,37	7,73125
Parte Baja	18/10/2016	18,75	11,71875
Parte Baja	24/10/2016	12,6	7,875

Fuente: Propia

<sup>1</sup>Conductividad medida en campo (1mho=1siemens)

<sup>2</sup>Solidos disueltos (conductividad "µmho" \* 0.625)

En cuanto a los parámetros de Color y Turbidez se hicieron en la Pontificia Universidad Javeriana utilizando los equipos mencionados en el capítulo 6.5. Donde se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 69 Parámetros Color y Turbidez**

Lugar	Fecha	Parámetro	Unidad	Medida
Parte Alta	5-oct-16	Turbidez	UNT	2,67
		Color	UPC	25
Parte Media		Turbidez	UNT	5,01
		Color	UPC	25
Parte Baja		Turbidez	UNT	7,62
		Color	UPC	26
Parte Alta	19-oct-16	Turbidez	UNT	2,53
		Color	UPC	25
Parte Media		Turbidez	UNT	3,59
		Color	UPC	23
Parte Baja		Turbidez	UNT	5,96
		Color	UPC	23
Parte Alta	25-oct-16	Turbidez	UNT	2,57
		Color	UPC	25
Parte Media		Turbidez	UNT	3,16
		Color	UPC	25
Parte Baja		Turbidez	UNT	6,04
		Color	UPC	25

Fuente Propia

Considerando ahora los parámetros faltantes como Coliformes totales y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) se evaluaron en el laboratorio Biopolab certificado ante el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM). Los resultados formulados por el laboratorio se ilustran en la siguiente tabla:

**Tabla 70 Parámetros Coliformes Totales y DBO<sub>5</sub>**

Punto de captación	Fecha de Análisis	Parámetro	Resultado	Unidades	Técnica Analítica	Método
Parte Alta	5/10/2016	Coliformes Totales	43000	UFC/100mL	Filtración Por membrana	SM 9222H
Parte Media			50000			
Parte Baja			3800			
Parte Alta	5/10/2016	DBO <sub>5</sub>	<21,3	mg O <sub>2</sub> /L	5-Day BOD Test	5210B, ASTM D888-09 Método C
Parte Media			<21,3			
Parte Baja			<21,3			

<b>Punto de captación</b>	<b>Fecha de Análisis</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Resultado</b>	<b>Unidades</b>	<b>Técnica Analítica</b>	<b>Método</b>
Parte Alta	18/10/2016	Coliformes Totales	500	UFC/100mL	Filtración Por membrana	SM 9222H
Parte Media			1100			
Parte Baja			800			
Parte Alta	18/10/2016	DBO <sub>5</sub>	<21,3	mg O <sub>2</sub> /L	5-Day BOD Test	5210B, ASTM D888-09 Método C
Parte Media			<21,3			
Parte Baja			<21,3			
Parte Alta	28/10/2016	Coliformes Totales	550	UFC/100mL	Filtración Por membrana	SM 9222H
Parte Media			200			
Parte Baja			100			
Parte Alta	28/10/2016	DBO <sub>5</sub>	<21,3	mg O <sub>2</sub> /L	5-Day BOD Test	5210B, ASTM D888-09 Método C
Parte Media			<21,3			
Parte Baja			<21,3			

Fuente: Propia

En la tabla anterior se indica el parámetro de DBO y coliformes totales, analizando los coliformes totales en la primera visita fueron valores muy representativos a diferencia de las demás visitas. Probablemente por la intervención del hombre, dado que ese día había demasiada actividad agrícola pues se encontraban en cosecha y es posible que usen desechos orgánicos para sus cultivos, sin embargo, hay presencia microbiológica durante las tres visitas, a causa de que no hay un límite considerable del río con respecto a las viviendas lo que genera que los animales semovientes estén cerca al río y produzcan sus heces al río. (Fotografía 30).

## Fotografía 29 Heces de animal río Curubital



Fuente: Propia

Con la finalidad de simplificar los resultados que se obtuvieron a partir del trabajo de campo y laboratorios se puede generar un índice de calidad del agua como se hace referencia en el ítem 5.1.19. Implementando las siguientes ecuaciones del IDEAM:

### I. Índice de Conductividad (ecuación 14)

- Parte Alta (4/10/2016)

$$IC = 1 - 10^{[-3.26+(1.34 \log_{10} 5.18)]} = 0,995$$

- Parte Alta (18/10/2016)

$$IC = 1 - 10^{[-3.26+(1.34 \log_{10} 7,29)]} = 0,992$$

- Parte Alta (24/10/2016)

$$IC = 1 - 10^{[-3.26+(1.34 \log_{10} 6,91)]} = 0,993$$

- Parte Media (4/10/2016)

$$IC = 1 - 10^{[-3.26+(1.34 \log_{10} 12,73)]} = 0,983$$

- Parte Media (18/10/2016)

$$IC = 1 - 10^{[-3.26+(1.34 \log_{10} 13.96)]} = 0,981$$

- Parte Media (24/10/2016)

$$IC = 1 - 10^{[-3.26+(1.34 \log_{10} 15,74)]} = 0,978$$

- Parte Baja (4/10/2016)

$$IC = 1 - 10^{[-3.26+(1.34 \log_{10} 12,37)]} = 0,984$$

- Parte Baja (18/10/2016)

$$IC = 1 - 10^{[-3.26+(1.34 \log_{10} 18,75)]} = 0,972$$

- Parte Baja (24/10/2016)

$$IC = 1 - 10^{[-3.26+(1.34 \log_{10} 12,6)]} = 0,984$$

## II. Índice de pH (tabla 1)

- Parte Alta (4/10/2016)

$$IpH = 1$$

- Parte Alta (18/10/2016)

$$IpH = 1 * e^{[(8,06 - 8) - 0.5187742]} = 0,632$$

- Parte Alta (24/10/2016)

$$IpH = 1$$

- Parte Media (4/10/2016)

$$IpH = 1$$

- Parte Media (18/10/2016)

$$IpH = 1$$

- Parte Media (24/10/2016)

$$IpH = 1$$

- Parte Baja (4/10/2016)

$$IpH = 1$$

- Parte Baja (18/10/2016)

$$IpH = 1$$

- Parte Baja (24/10/2016)

$$I_{pH} = 1$$

### III. Índice sólidos suspendidos totales (SST)

- Parte Alta (5/10/2016)

$$I_{SST} = 1 - (-0,02 + (0,003 * 0)) = 1$$

- Parte Alta (19/10/2016)

$$I_{SST} = 1 - (-0,02 + (0,003 * 5)) = 1$$

- Parte Alta (25/10/2016)

$$I_{SST} = 1 - (-0,02 + (0,003 * 5)) = 1$$

- Parte Media (5/10/2016)

$$I_{SST} = 1 - (-0,02 + (0,003 * 0)) = 1$$

- Parte Media (19/10/2016)

$$I_{SST} = 1 - (-0,02 + (0,003 * 0)) = 1$$

- Parte Media (25/10/2016)

$$I_{SST} = 1 - (-0,02 + (0,003 * 0)) = 1$$

- Parte Baja (5/10/2016)

$$I_{SST} = 1 - (-0,02 + (0,003 * 5)) = 1$$

- Parte Baja (19/10/2016)

$$I_{SST} = 1 - (-0,02 + (0,003 * 5)) = 1$$

- Parte Baja (25/10/2016)

$$I_{SST} = 1 - (-0,02 + (0,003 * 5)) = 1$$

IV. **Índice de Oxígeno Disuelto:** Como se anunció en el marco teórico para determinar el índice de oxígeno disuelto fue necesario establecer los porcentajes de saturación de oxígeno disuelto, para la investigación se

implementó el método estandarizado (ecuación 17), una vez obtenidos estos valores se calculó el índice de oxígeno disuelto, logrando los siguientes valores:

**Tabla 71 Índices de Oxígeno Disuelto calculados**

Punto de captación	Fecha	OX <sup>1</sup> (mg/l)	Cp <sup>2</sup> (mg/l)	Porcentaje de saturación <sup>3</sup> (%)	Índice Oxígeno Disuelto <sup>4</sup>
Parte Alta	4/10/2016	7,8	11,42	68,30	0,68
Parte Alta	18/10/2016	7,42	11,14	66,61	0,67
Parte Alta	24/10/2016	6,4	11,14	57,45	0,57
Parte Media	4/10/2016	6,98	10,78	64,75	0,65
Parte Media	18/10/2016	7,38	10,66	69,23	0,69
Parte Media	24/10/2016	7,75	10,68	72,57	0,73
Parte Baja	4/10/2016	6,22	10,36	60,04	0,60
Parte Baja	18/10/2016	6,88	10,28	66,93	0,67
Parte Baja	24/10/2016	6,92	10,64	65,04	0,65

Fuente: Propia

<sup>1</sup> Oxígeno disuelto medido en campo.

<sup>2</sup> Concentración oxígeno de saturación (interpolando figura 6 a partir de la temperatura lograda en campo)

<sup>3</sup> Calculada ecuación 17

<sup>4</sup> Calculada ecuación 16

Por otra parte, para los índices de Coliformes Totales y Demanda Bioquímica de Oxígeno se utilizaron las ecuaciones 19 y 20 que corresponden a la investigación realizada por Ramírez y Viña, hay que mencionar que para manejar un solo rango en la calificación de la calidad del agua se resta uno (1), con el fin de tener un indicador para todas las variables iguales, es decir cero (0) nos representa en la investigación una evaluación de calidad muy mala y uno (1) significa una buena calidad.

## V. Índice Coliformes Totales (CT)

- Parte Alta (5/10/2016)

$$ICT = 1 - (-1.44 + 0.56 \log_{10} 43000) = 0$$

- Parte Alta (18/10/2016)

$$ICT = 1 - (-1.44 + 0.56 \log_{10} 500) = 0,93$$

- Parte Alta (24/10/2016)

$$ICT = 1 - (-1.44 + 0.56 \log_{10} 550) = 0,91$$

- Parte Media (5/10/2016)

$$ICT = 1 - (-1.44 + 0.56 \log_{10} 50000) = 0$$

- Parte Media (18/10/2016)

$$ICT = 1 - (-1.44 + 0.56 \log_{10} 1100) = 0,74$$

- Parte Media (24/10/2016)

$$ICT = 1 - (-1.44 + 0.56 \log_{10} 200) = 1$$

- Parte Baja (5/10/2016)

$$ICT = 1 - (-1.44 + 0.56 \log_{10} 3800) = 0,44$$

- Parte Baja (18/10/2016)

$$ICT = 1 - (-1.44 + 0.56 \log_{10} 800) = 0,81$$

- Parte Baja (18/10/2016)

$$ICT = 1 - (-1.44 + 0.56 \log_{10} 100) = 1$$

## VI. Índice Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

En cuanto a los resultados obtenidos por el laboratorio Biopolab la demanda bioquímica de oxígeno se encuentra por debajo de 21,3 (mg

O<sub>2</sub>/L), pero no se tiene la certeza de que valor debido a que hay bastantes números que pueden ser representativos en ese intervalo. Sin embargo, se puede insinuar un índice, a causa de que los resultados fueron iguales para todos los puntos de captación el índice es:

$$IDBO = 1 - (-0.05 + 0.70 \log_{10} 21,2) = 0,12$$

## VII. Índice de Turbidez

Acerca del índice de turbidez, se calcula con relación a la tabla 2, teniendo en cuenta que nuestra investigación tiene como categoría de indicador de cero (0) a (1). Se obtienen los siguientes índices:

**Tabla 72 Índice calculados de calidad del agua - Turbidez**

Punto de captación	Fecha	Turbidez medida en campo (UNT)	Índice de calidad
Parte Alta	5/10/2016	2,67	1
Parte Alta	19/10/2016	2,53	1
Parte Alta	25/10/2016	2,57	1
Parte Media	5/10/2016	5,01	0,998
Parte Media	19/10/2016	3,59	1
Parte Media	25/10/2016	3,16	1
Parte Baja	5/10/2016	7,62	0,948
Parte Baja	19/10/2016	5,96	0,981
Parte Baja	25/10/2016	6,04	0,972

Fuente: Propia

Con respecto a generar un índice de calidad del agua general del río Curubital se utilizaron los índices de los parámetros anteriormente calculados, excepto el de Coliformes totales, a causa de que los resultados tienen una desviación considerable, no obstante, este parámetro se evaluó independientemente.

Una vez descrito las variables involucradas en el cálculo del indicador de calidad, en este caso 6 variables el ponderado (Wi) tiene un valor descrito en la siguiente tabla:

**Tabla 73 Variables y ponderados**

<b>Variable</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Ponderado (Wi)</b>
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	0,17
Solidos Suspendidos totales (SST)	mg/L	0,17
Conductividad Eléctrica (C.E)	μSiemens/cm	0,17
pH	Unidades pH	0,15
Demanda Bioquímica de Oxígeno	UFC	0,17
Turbidez	UNT	0,17
$\Sigma$		1

Fuente: IDEAM. Índice de calidad del agua en corrientes superficiales. 2005

Es importante mencionar que los valores del ponderado se adquirieron a partir del documento del IDEAM, por lo general, estos ponderados son valores cualitativos que se obtienen realizando encuestas a expertos en calidad del agua en los cuales los encuestados le determinan un valor a cada parámetro, luego se realiza un promedio de los valores de cada encuestado y se obtienen dicho valor, además la suma del ponderado o peso relativo debe ser igual al máximo valor del rango en el cual está variando el índice de calidad del agua. Es decir, si se toma un rango de 1 a 100 la suma del ponderado debe ser igual a 100.

Una vez establecido los ponderados se puede implementar la ecuación 14 para obtener el índice de calidad del agua del río Curubital. En el estudio se realiza un promedio de los índices anteriormente calculados para establecer un único valor y así reemplazarlo en la ecuación.

**Tabla 74 Promedio índices de calidad del agua río Curubital**

<b>INDICES DE CALIDAD</b>					
<b>CONDUCTIVIDAD</b>	<b>pH</b>	<b>SST</b>	<b>OD</b>	<b>DBO</b>	<b>TURBIDEZ</b>
0,995	1	1	0,68	0,12	1
0,992	0,632	1	0,67	0,12	1
0,993	1	1	0,57	0,12	1
0,983	1	1	0,65	0,12	0,998

	0,981	1	1	0,69	0,12	1
	0,978	1	1	0,73	0,12	1
	0,984	1	1	0,6	0,12	0,948
	0,972	1	1	0,67	0,12	0,981
	0,984	1	1	0,65	0,12	0,972
<b>PROMEDIO</b>	<b>0,985</b>	<b>0,959</b>	<b>1</b>	<b>0,657</b>	<b>0,12</b>	<b>0,989</b>

Fuente: Propia

- **Calculo índice de calidad del agua río Curubital**

$$\text{ICA} = (0.985 * 0.17) + (0.959 * 0.15) + (1 * 0.17) + (0.657 * 0.17) + (0.12 * 0.17) + (0.989 * 0.17) = \mathbf{0.782}$$

El índice de calidad del agua del río Curubital en sus aspectos de mineralización, materia orgánica y solidos suspendidos corresponde a un valor de **0.782**, sin embargo, este cálculo se puede clasificar de acuerdo a las señales de alerta según el ICACOSU del IDEAM a partir de la siguiente tabla:

**Tabla 75 Calificación de la calidad del agua en corrientes superficiales según los valores que tome el ICA**

Valor ICA	Calificación de la calidad del agua	Señal de alerta
0,00 - 0,25	Muy Mala	<b>Rojo</b>
0,26 - 0,50	Mala	<b>Naranja</b>
0,51 - 0,70	Regular	<b>Amarillo</b>
0,71 - 0,90	Aceptable	<b>Verde</b>
0,91 - 1,00	Buena	<b>Azul</b>

Fuente: IDEAM. Índice de calidad del agua en corrientes superficiales. 2005

Como análisis podemos observar que el recurso hídrico en relación a las variables involucradas (TURBIDEZ, CONDUCTIVIDAD, pH, DBO, OD, SST) se encuentra en una calificación de calidad **aceptable**, que corresponde que esta levemente contaminado, se debe agregar que el índice de la DBO asumido en la

investigación fue el más desfavorable a causa de que se tiene la certeza que se encuentra por debajo de 21.3 (mgO<sub>2</sub>/ml) pero no la precisión de que valor.

El índice de calidad de coliformes totales fue determinado independientemente como anteriormente sea mencionado debido a sus valores irregulares, teniendo como resultado un índice de **0.648**, lo que representa que el río Curubital en su aspecto microbiológico tiene una calificación regular, es decir el río Curubital es regularmente contaminado.

#### **7.4.1 Diagnostico de la calidad del agua de los puntos de captación**

En este punto se trata de estudiar la calidad del agua en los puntos de captación del río Curubital, para establecer los usos del agua, con respecto a la normatividad representada en el marco legal. Las siguientes tablas representan un resumen de los parámetros de calidad del río Curubital con su respectivo promedio:

- Parte Alta

**Tabla 76 Resumen parámetros parte alta**

Parámetro	Temperatura Ambiente	Temperatura Cauce	Color	Olor	pH	Conductividad	Turbidez	OD	SST	SDT	DBO	Coliformes Totales	
Unidad	°C	°C	UPC	-----	Uni pH	µsiemens/cm	UNT	mg/L	mg/L	mg/L	mgO2/L	UFC	
Muestra	1	12	9,7	25	Inobjetable	7,78	5,18	2,67	7,8	0	3,24	<21,3	43000
	2	27,5	10,8	25	Inobjetable	8,06	7,29	2,53	7,42	5	4,56	<21,3	500
	3	18	10,8	25	Inobjetable	7,56	6,91	2,57	6,4	5	4,32	<21,3	550
Promedio	19,17	10,43	25,00	Inobjetable	7,80	6,46	2,59	7,21	3,33	4,04	<21,3	44050,00	

Fuente: Propia

- Parte Media

**Tabla 77 Resumen parámetros parte media**

Parámetro	Temperatura Ambiente	Temperatura Cauce	Color	Olor	pH	Conductividad	Turbidez	OD	SST	SDT	DBO	Coliformes Totales	
Unidad	°C	°C	UPC	-----	Uni pH	µsiemens/cm	UNT	mg/L	mg/L	mg/L	mgO2/L	UFC	
Muestra	1	20,3	12,1	25	Inobjetable	7,36	12,73	5,01	6,98	0	7,96	<21,3	50000
	2	23,2	12,7	23	Inobjetable	7,8	13,96	3,59	7,8	0	8,73	<21,3	1100
	3	19,3	12,6	25	Inobjetable	7,36	15,74	3,16	7,75	0	9,84	<21,3	200
Promedio	20,93	12,47	24,33	Inobjetable	7,51	14,14	3,92	7,51	0,00	8,84	<21,3	17100,00	

Fuente: Propia

- Parte Baja

**Tabla 78 Resumen parámetros parte baja**

Parámetro	Temperatura Ambiente	Temperatura Cauce	Color	Olor	pH	Conductividad	Turbidez	OD	SST	SDT	DBO	Coliformes Totales	
Unidad	°C	°C	UPC	-----	Uni pH	µsiemens/cm	UNT	mg/L	mg/L	mg/L	mgO2/L	UFC	
Muestra	1	19,7	14,2	26	Inobjetable	7,18	12,37	7,62	6,22	5	7,73	<21,3	3800
	2	14,9	14,6	23	Inobjetable	7,65	18,75	5,96	6,88	5	11,7	<21,3	800
	3	22,4	12,8	25	Inobjetable	7,57	12,6	6,04	6,92	5	7,88	<21,3	100
Promedio	19,00	13,87	24,67	Inobjetable	7,47	14,57	6,54	6,67	5,00	9,11	<21,3	1566,67	

Fuente: Propia

Para la evaluación de la calidad del agua del río Curubital y sus posibles usos, se realizó la siguiente tabla teniendo en cuenta la normatividad colombiana (Decreto 1594 de 1984, decreto 3930 de 1984, resolución número 2115, entre otras) y referencias bibliográficas de calidad de agua.

**Tabla 79 Criterios generales de calidad del agua para los diferentes usos del agua**

PARAMETRO											
Uso del Agua	Color UNP	Olor	Turbidez (UNT)	Temperatura (°C)	pH (pH)	Conductividad (µsiemens/cm)	OD (ppm)	SST (ppm)	SD (ppm)	DBO (mg O <sub>2</sub> /L)	Coliformes Totales
Consumo Humano	15	Aceptable	2	----	6,5 - 9	100	----	----	<500	----	0 <sup>1</sup>
Preservación de Flora y Fauna	No deben presentar sustancias que importen			----	5,5 - 9	----	>5	----	----	----	----
Agrícola	----	----	----	<35	4,5 - 9	<3000	----	<100	<5000	<80	<5000 <sup>2</sup>
Pecuario	----	----	----	----	----	----	----	----	<3000		----
Piscicultura	----	----	----	± 3	6,5 - 9	----	≥4	----	----	<5	----
Industrial	----	----	----	----	6 - 8,5	----	>2	<1000	<120		----
Estético	----	Inobjetable	----	----	----	----	>2	----	----	<30	----
Recreativo contacto primario	----	Inobjetable	<10	<30	5 - 9	----	<70% saturación	----	<400	<20	<1000 <sup>2</sup>
Recreativo contacto secundario	----	Inobjetable	<15	<30	5 - 9	----	<70% saturación	<500	<400	<100	<5000 <sup>2</sup>
Enfriamiento	----	----	<50	<38	6 - 9	----	>2	<100	<500	25	----

<sup>1</sup>Unidad de medida UFC

<sup>2</sup>Unidad de medida NMP

Fuente: Propia

Una vez identificado los criterios generales de calidad de agua, es posible comparar con los parámetros obtenidos del río Curubital, antes de examinar los resultados se generó la siguiente tabla para ejecutar dicha calificación:

**Tabla 80 Criterio de calificación del uso del río Curubital**

<b>Calificación del uso del agua río Curubital</b>	<b>Señal de alerta</b>
<b>Mala</b>	<b>Rojo</b>
<b>Regular</b>	<b>Amarillo</b>
<b>Buena</b>	<b>Azul</b>

Fuente: Propia

Podemos concentrar la calificación del río Curubital a partir de la anterior tabla, identificando sus respectivos usos, calificación y la señal de alerta, hay que decir que los espacios vacíos significan que el parámetro no es significativo para el uso o no esta requerido en la normatividad. Del mismo modo se pueden generar mapas en base a la tabla 81 para tener una representación en el espacio.

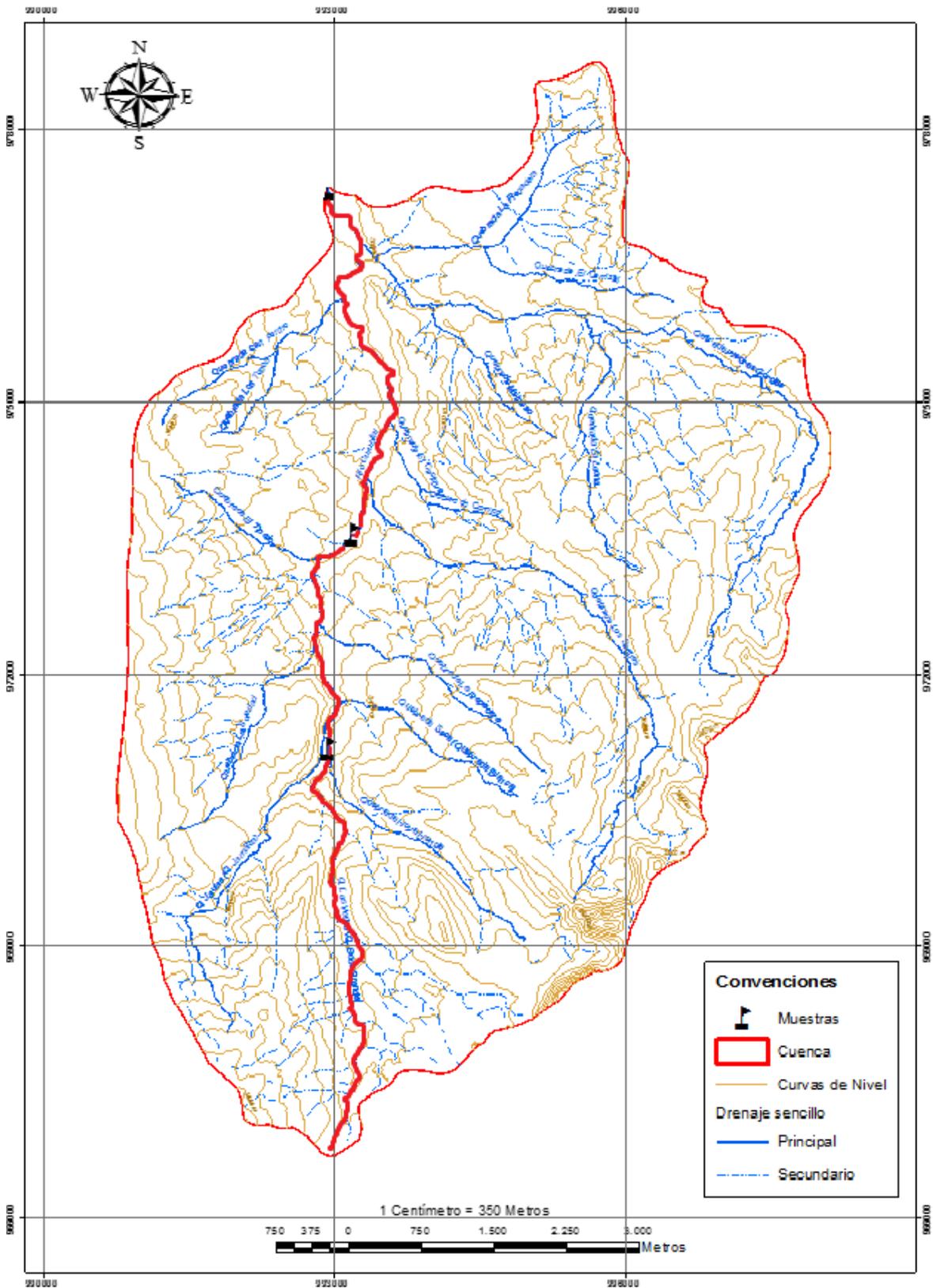
Tabla 81 Calificación del uso del agua del río Curubital

Punto de captación	Color (UNP)	Olor	Turbidez (UNT)	Temperatura (°C)	pH (pH)	Conductividad (µsiemens/cm)	OD (ppm)	SST (ppm)	SD (ppm)	DBO (mg O2/L)	Coliformes Totales (UFC)
<b>CONSUMO HUMANO</b>											
Parte Alta	MALA	BUENA	MALA		BUENA	BUENA			BUENA		MALA
Parte Media	MALA	BUENA	MALA		BUENA	BUENA			BUENA		MALA
Parte Baja	MALA	BUENA	MALA		BUENA	BUENA			BUENA		MALA
<b>PRESERVACIÓN DE FLORA Y FAUNA</b>											
Parte Alta	MALA	BUENA	MALA		BUENA		REGULAR				
Parte Media	MALA	BUENA	MALA		BUENA		REGULAR				
Parte Baja	MALA	BUENA	MALA		BUENA		REGULAR				
<b>AGRÍCOLA</b>											
Parte Alta				BUENA	BUENA	BUENA		BUENA	BUENA	BUENA	MALA
Parte Media				BUENA	BUENA	BUENA		BUENA	BUENA	BUENA	MALA
Parte Baja				BUENA	BUENA	BUENA		BUENA	BUENA	BUENA	REGULAR
<b>PECUARIO</b>											
Parte Alta									BUENA		
Parte Media									BUENA		
Parte Baja									BUENA		
<b>PISCICULTURA</b>											
Parte Alta				BUENA			REGULAR			REGULAR	
Parte Media				BUENA			REGULAR			REGULAR	
Parte Baja				BUENA			REGULAR			REGULAR	

Punto de captación	Color (UNP)	Olor	Turbidez (UNT)	Temperatura (°C)	pH (pH)	Conductividad (µsiemens/cm)	OD (ppm)	SST (ppm)	SD (ppm)	DBO (mg O2/L)	Coliformes Totales (UFC)
<b>INDUSTRIAL</b>											
Parte Alta					BUENA		BUENA	BUENA	BUENA		
Parte Media					BUENA		BUENA	BUENA	BUENA		
Parte Baja					BUENA		BUENA	BUENA	BUENA		
<b>ESTETICO</b>											
Parte Alta		BUENA					BUENA			BUENA	
Parte Media		BUENA					BUENA			BUENA	
Parte Baja		BUENA					BUENA			BUENA	
<b>RECREATIVO CONTACTO PRIMARIO</b>											
Parte Alta		BUENA	BUENA	BUENA	BUENA		REGULAR		BUENA	REGULAR	MALA
Parte Media		BUENA	BUENA	BUENA	BUENA		REGULAR		BUENA	REGULAR	MALA
Parte Baja		BUENA	REGULAR	BUENA	BUENA		REGULAR		BUENA	REGULAR	MALA
<b>RECREATIVO CONTACTO SECUNDARIO</b>											
Parte Alta		BUENA	BUENA	BUENA	BUENA		REGULAR		BUENA	REGULAR	MALA
Parte Media		BUENA	BUENA	BUENA	BUENA		REGULAR		BUENA	REGULAR	MALA
Parte Baja		BUENA	BUENA	BUENA	BUENA		REGULAR		BUENA	REGULAR	REGULAR
<b>ENFRIAMIENTO</b>											
Parte Alta			BUENA	BUENA	BUENA		BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	
Parte Media			BUENA	BUENA	BUENA		BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	
Parte Baja			BUENA	BUENA	BUENA		BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	

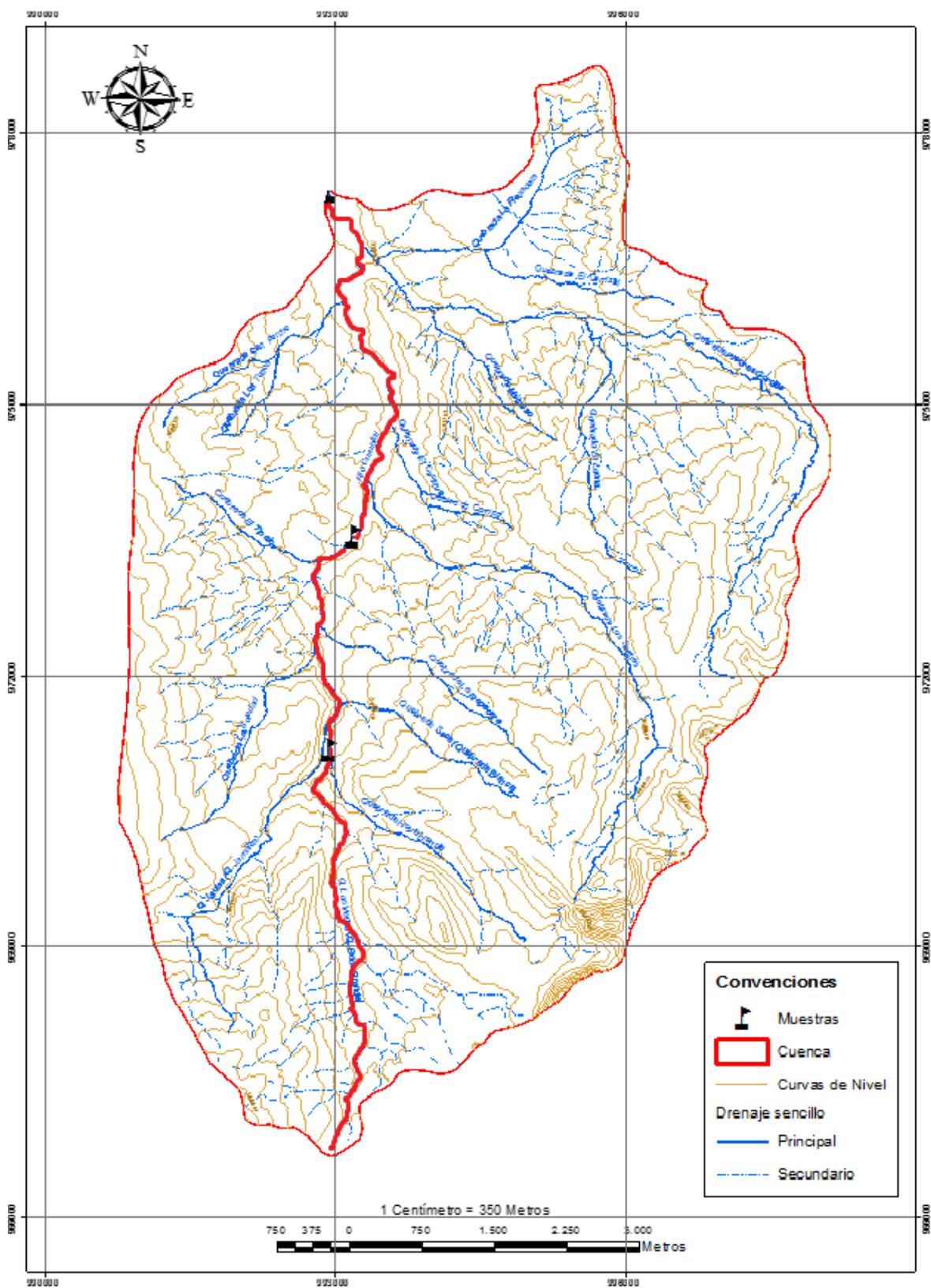
Fuente: Propia

Figura 19 Calidad del agua del río Curubital para uso consumo humano



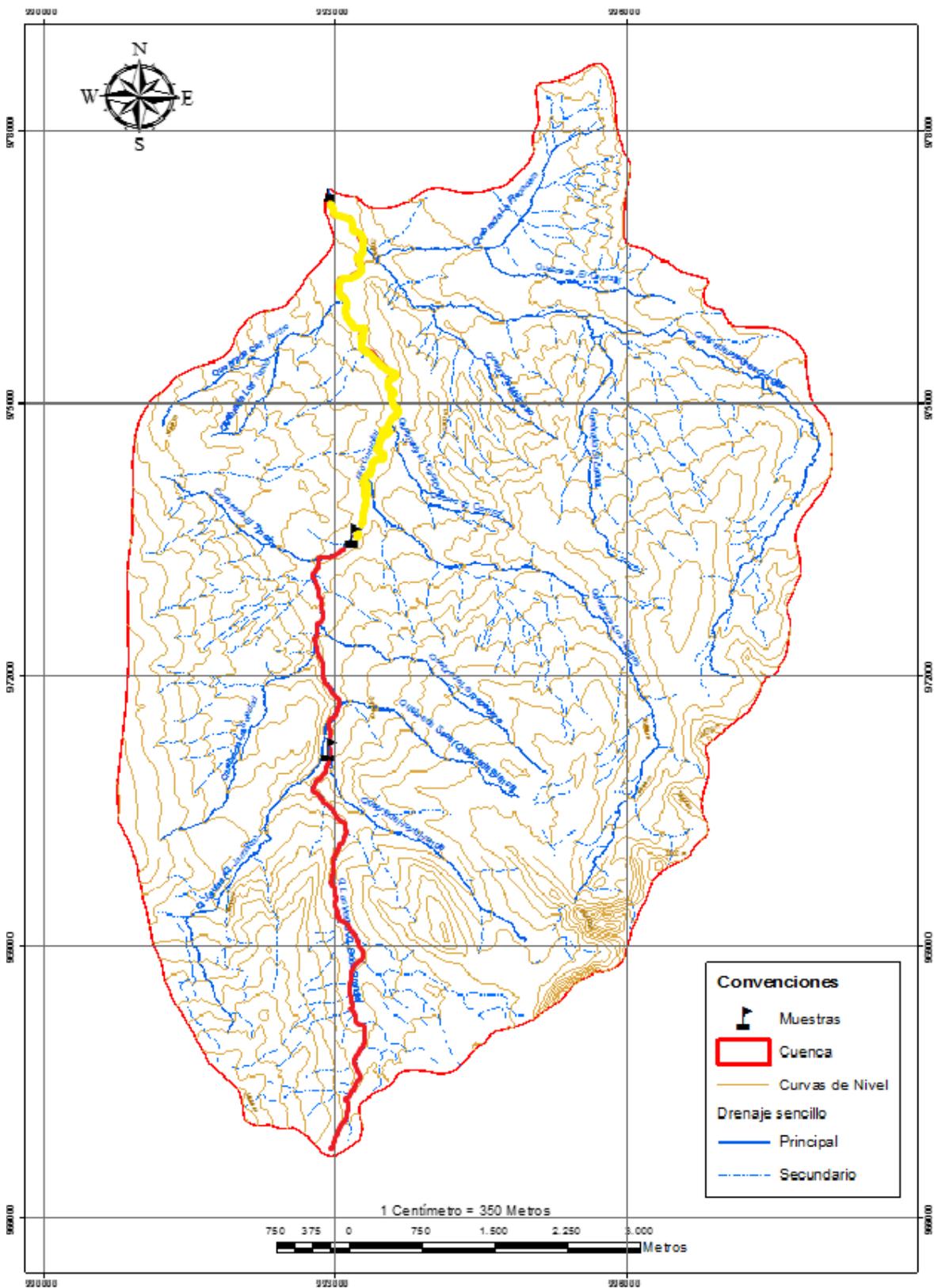
Fuente: Propia

Figura 20 Calidad del agua río Curubital para uso fauna y flora



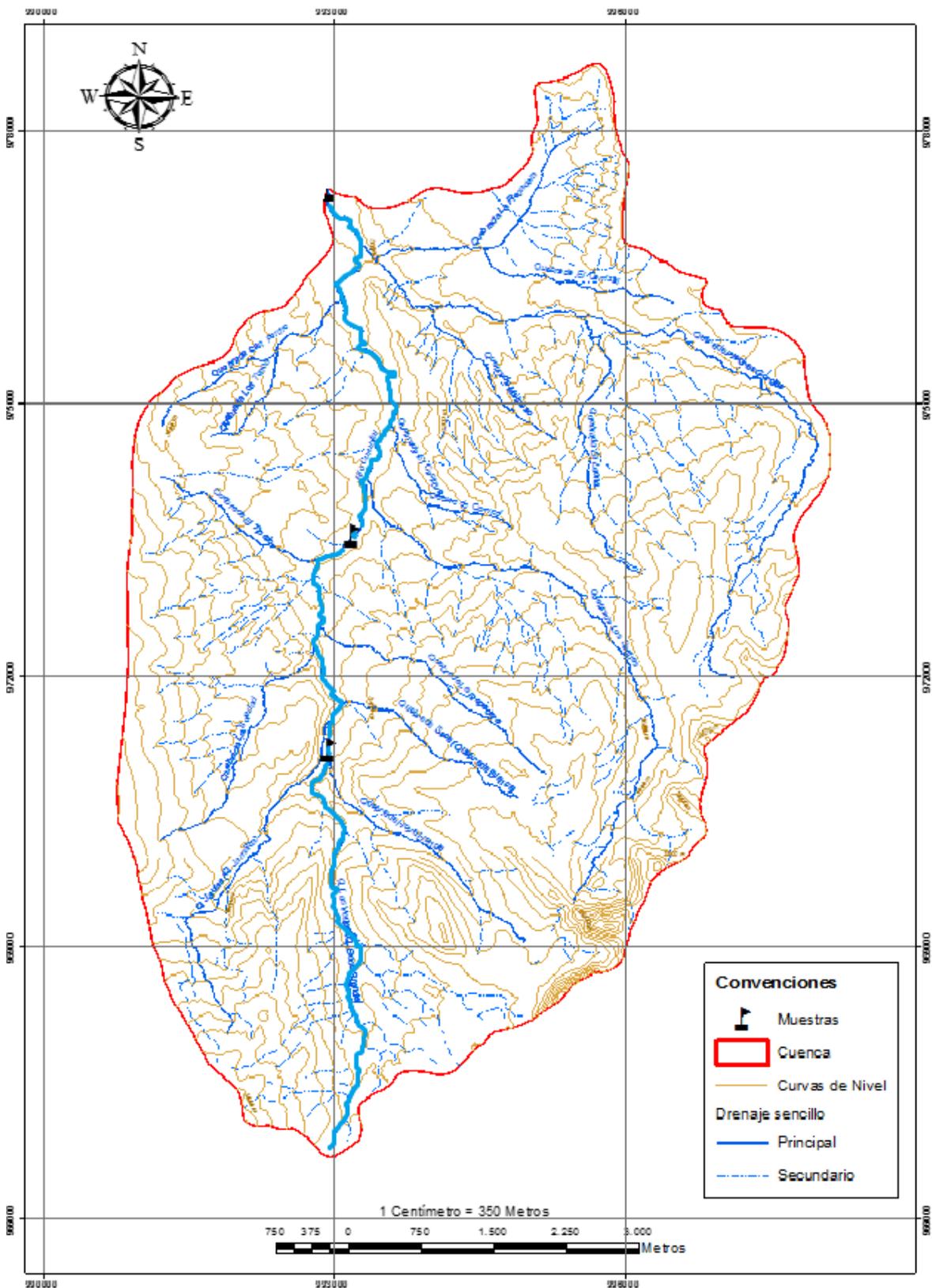
Fuente: Propia

Figura 21 Calidad del agua río Curubital para uso agrícola



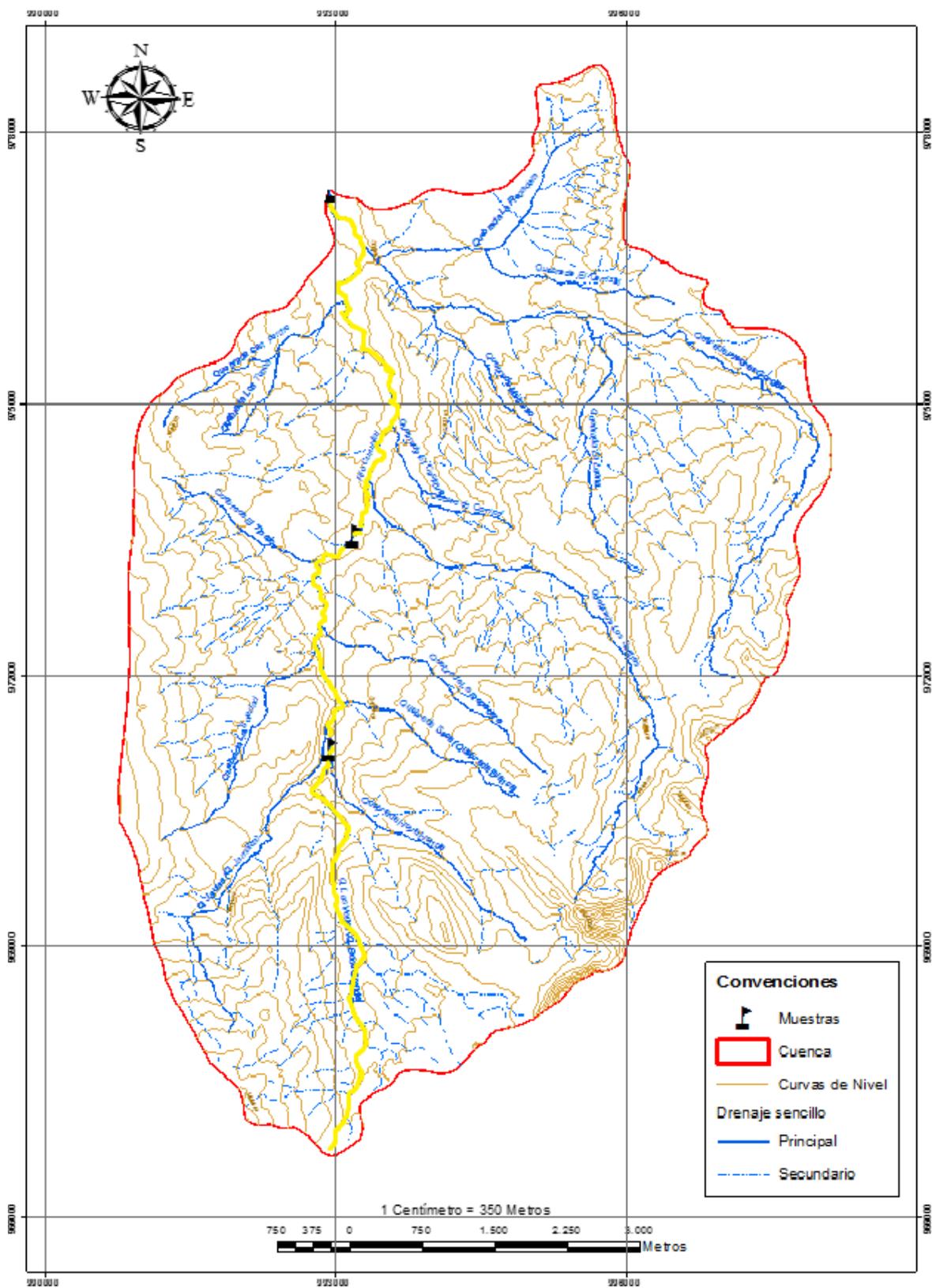
Fuente: Propia

Figura 22 Calidad del agua del río Curubital para uso pecuario



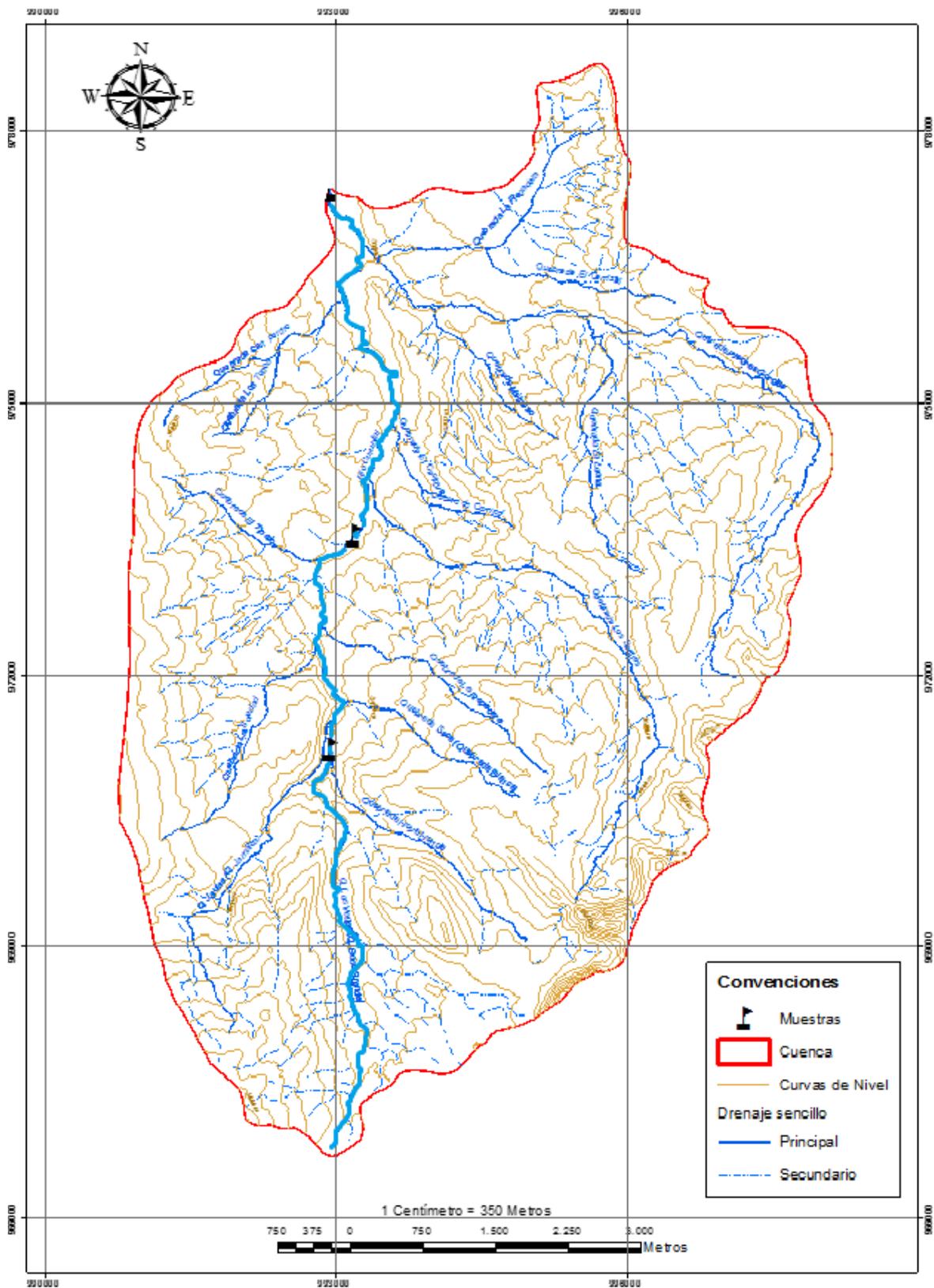
Fuente: Propia

Figura 23 Calidad del agua del río Curubital para uso piscicultura



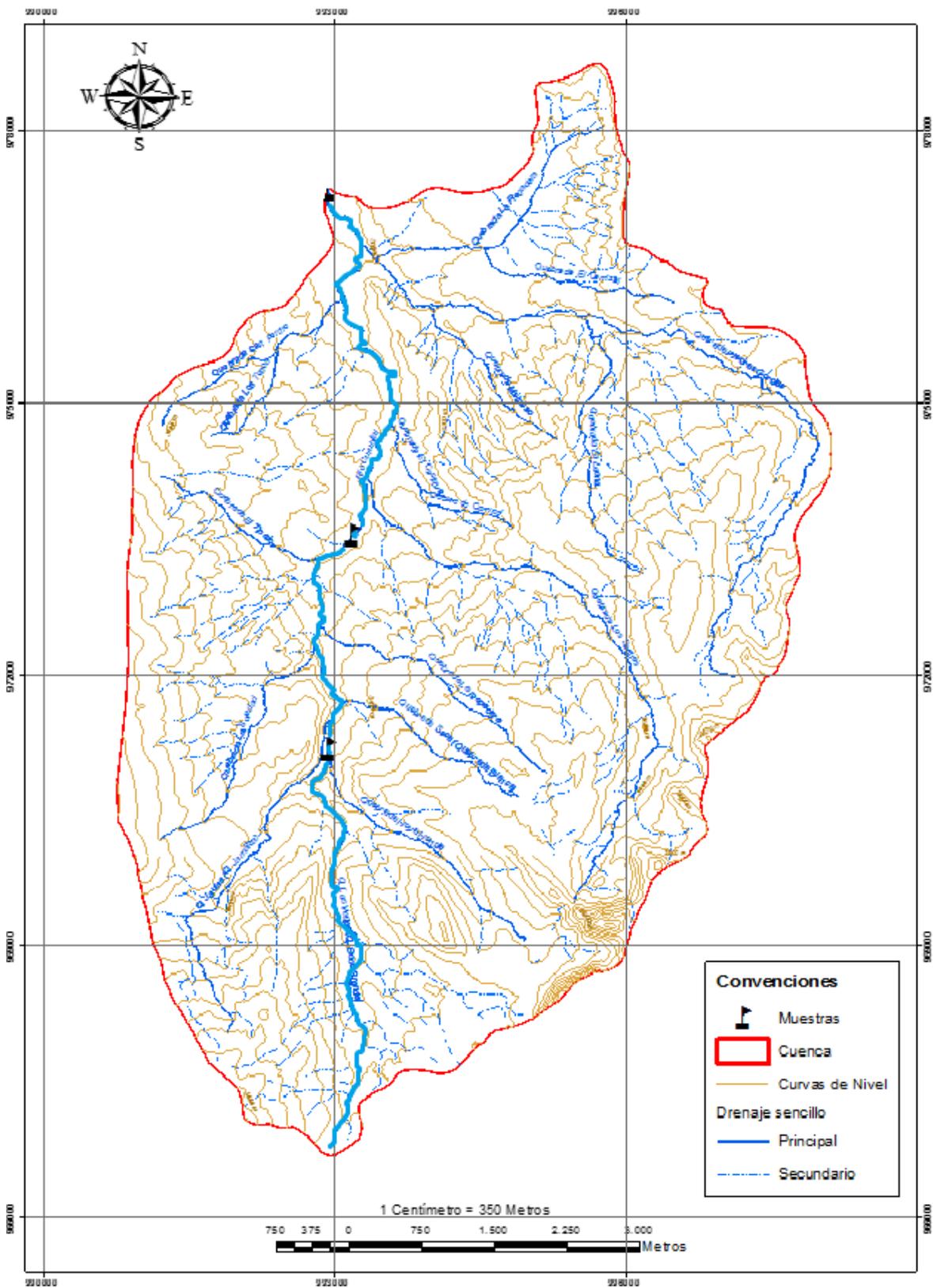
Fuente: Propia

Figura 24 Calidad del agua río Curubital uso industrial



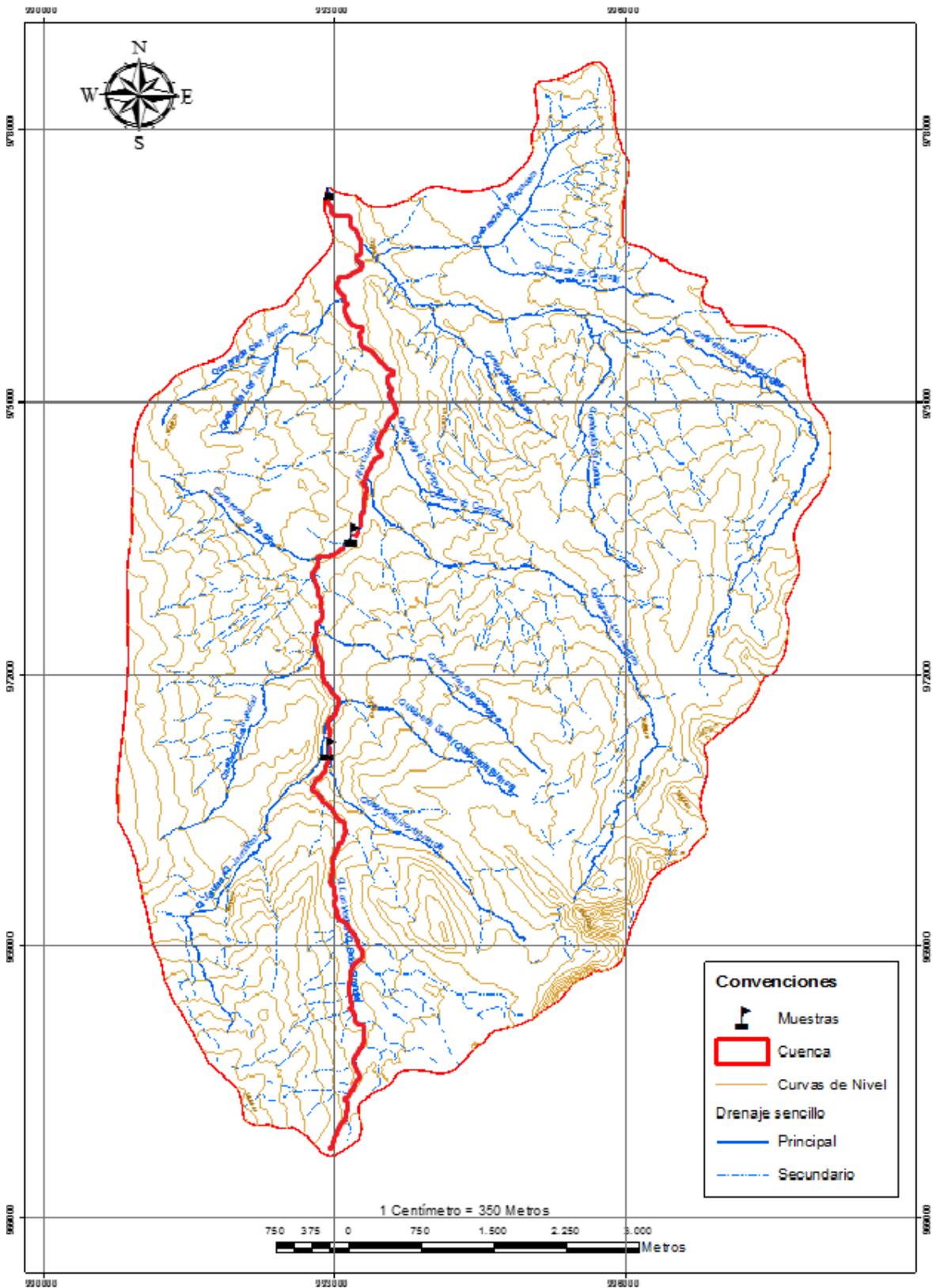
Fuente: Propia

Figura 25 Calidad del agua del río Curubital para uso estético



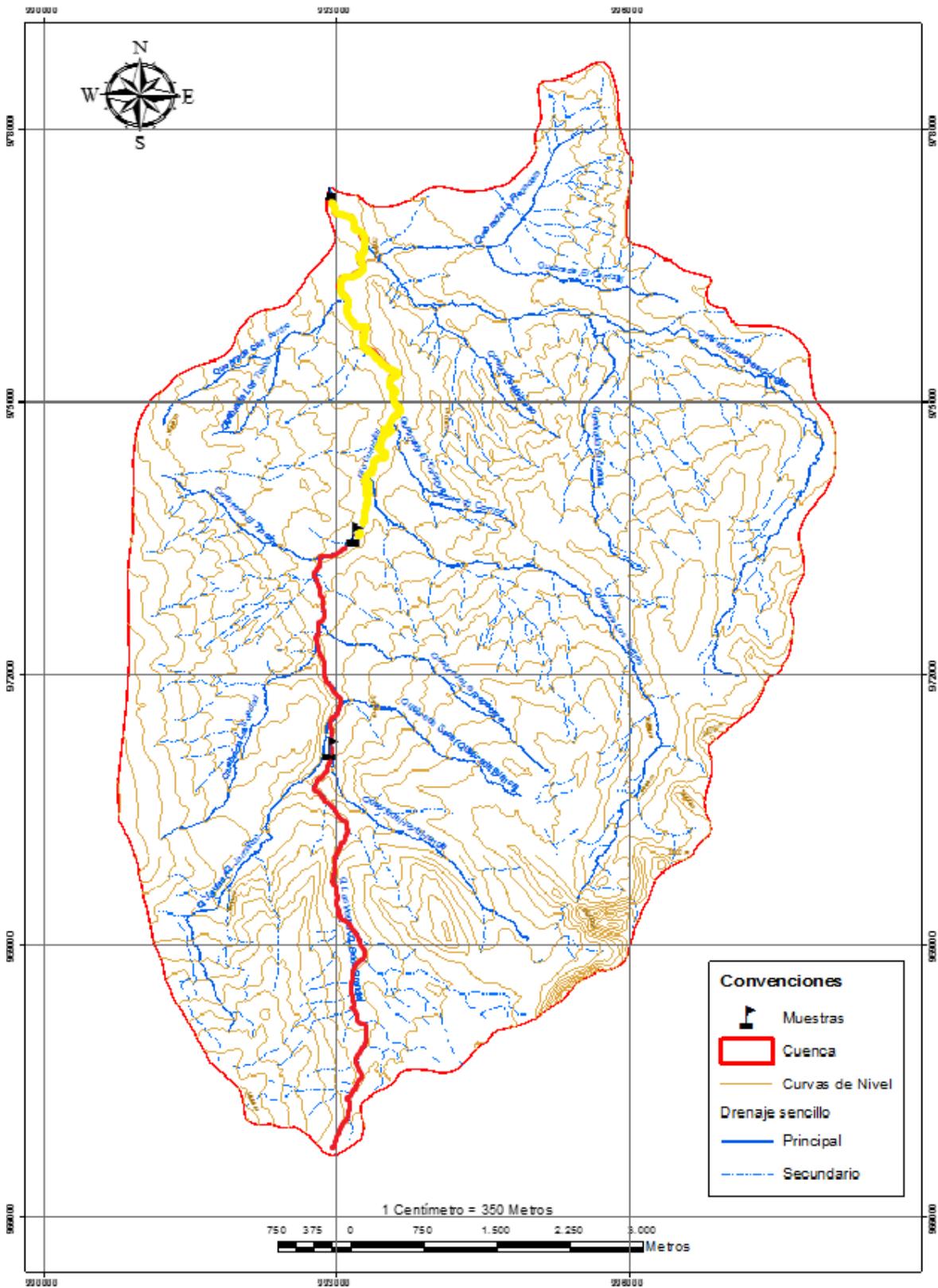
Fuente: Propia

Figura 26 Calidad del agua para uso recreativo contacto primario



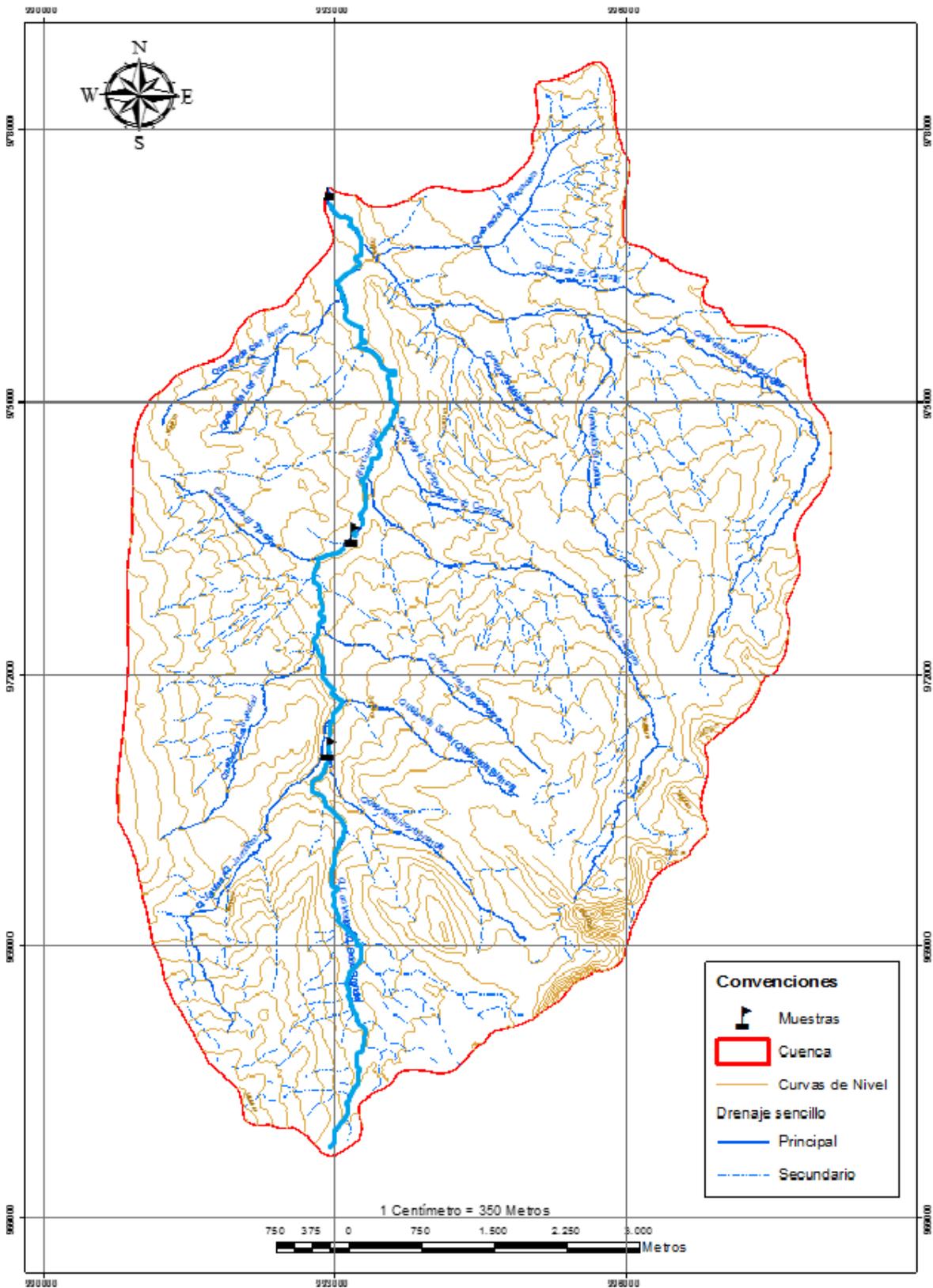
Fuente: Propia

Figura 27 Calidad del agua para uso recreativo contacto secundario



Fuente: Propia

Figura 28 Calidad del agua para uso enfriamiento



Fuente: Propia

Los criterios de calidad del agua del río Curubital para los diferentes usos según las figuras anteriores; muestran que el agua es óptima en todo el trascurso de la corriente para el uso industrial, enfriamiento, estético, pecuario, dado que sus características cumplen los estándares de calidad (tabla 78). Para los usos sobre el consumo humano, recreativo contacto primario, fauna y flora se encuentra en una señal de alerta alta que puede ocasionar afectaciones a los seres vivos, es decir esta agua no es apta para emplearla en dichas actividades. Por otra parte, el uso recreativo contacto secundario y uso agrícola en las partes altas y medias del río Curubital presenta un estado de mala calidad, es decir puede ocasionar daños al emplearla en estas acciones, sin embargo, en la parte de la desembocadura (parte baja) el río aumenta su calidad un poco, pero se encuentra en un estado regular lo que quiere decir que es posible el uso, pero no genera la confiabilidad al hacer uso de esta. Finalmente, para el uso de piscicultura el agua en general se encuentra en un estado regular.

## 8. CONCLUSIONES

El río Curubital es una cuenca pequeña, que tiene una amplia densidad de drenaje, sus características físicas presentaron valores propicios para la cuenca, sin embargo, hay un factor limitante asociado a la pendiente del terreno con un valor de 26% que genera avenidas súbitas en el río aumentando el riesgo aguas abajo en el embalse La Regadera, incrementando la erosión, transporte y sedimentación de las partículas del suelo.

En cuanto la precipitación se encontró en las estaciones de estudio un aumento durante el período de los 45 años, además se registran precipitaciones de alta intensidad en los meses de abril a julio, siendo la estación Bocagrande la de mayor volumen anual con un promedio de 1476 mm en la condición más lluviosa, esto produce riesgos de inundaciones que hacen peligrar a las personas que viven alrededor de la cuenca y aguas abajo al río Tunjuelo. El río Curubital tiene ingresos valiosos de agua, debido a la alta precipitación registrada en la zona de estudio, igualmente los caudales máximos se presentan en los meses de abril a julio y un déficit en estos de diciembre a marzo, sin embargo, a pesar del aumento en las precipitaciones los caudales medios y máximos en la estación Pte. Australia han disminuido, probablemente por variaciones en la temperatura o incrementos de uso en el suelo para la agricultura, pastoreo y así mismo extensión de la población en las veredas aledañas al río, que origina una mayor demanda del recurso hídrico. En los registros de precipitación se evidenció una regularidad durante el período de 45 años en las estaciones evaluadas.

Por otra parte, la calidad del agua del río Curubital basado en el muestreo puntual de los tres puntos de captación, en sus aspectos de mineralización, materia orgánica y sólidos suspendidos se encontró que en el mes de octubre tiene una calificación aceptable lo que quiere decir que el agua se halla en un estado favorable, la aplicación del índice de contaminación del agua hacia los tres sitios de muestreo de nota una buena calidad del agua con un índice de contaminación del agua de 0,782. Sin embargo, en cuanto los criterios de uso del agua proveniente del río Curubital se observó que para diferentes usos el agua no cumple con la norma de calidad, hay que mencionar que el uso más benéfico para la población colindante al río Curubital es la utilización para uso agrícola que se encuentra afectado dado a la concentración de coliformes totales porque sus demás características cumplen con los estándares. También para el consumo humano el agua no es óptima debido a la concentración de color, turbidez y coliformes totales en el agua, aunque el tratamiento para estos parámetros no genera amplios costos. Las modificaciones antrópicas, sobre el uso del suelo producido por prácticas inadecuadas en la agricultura y la ganadería son acciones que aumentan la vulnerabilidad sobre el recurso natural, más aún causar enfermedades en los habitantes y animales del sector.

Por otro lado, los registros de las estaciones de caudales requieren una mayor atención en vista de que la información recopilada presentó registros incompletos durante varios años y a causa de esto no se permitió realizar una predicción de caudales en un tiempo definido, no obstante, la estación Pte. Australia contaba con un amplio registro histórico lo que permitió hacer una evaluación más verídica y predecir a ciencia cierta el comportamiento futuro de los caudales, obteniendo unos caudales progresivos donde se infiere que para 100 años el caudal puede ser aproximadamente  $55 \text{ m}^3/\text{s}$  y para 500 años un caudal de  $70 \text{ m}^3/\text{s}$ , lo que genera una idea posterior a la vida útil del embalse La Regadera por ser una de las corrientes que desemboca sus aguas al embalse, también anunciar en futuros desarrollos de las plantas La Laguna y el Dorado que tratan el agua para abastecimiento del sector sur oriental de la ciudad de Bogotá, hay que mencionar además que los resultados obtenidos por el método de Gumbel fueron confiables y pueden ser empleados para diseños.

Considerando los resultados de frecuencia de caudales se establece que el río Curubital tiene la capacidad de suministrar agua en tiempos de estiaje cerca a los  $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ , adicionalmente un caudal medio de  $0,37 \text{ m}^3/\text{s}$  y un caudal máximo  $2,05 \text{ m}^3/\text{s}$ , dado estos análisis es posible realizar una percepción a futuras planeaciones de obras hidráulicas que se puedan originar con el tiempo en el río Curubital e identificar con que caudal se podría diseñar y si estos valores pueden garantizar dicha necesidad.

Finalmente, los resultados obtenidos demuestran que el río Curubital es una cuenca estable donde sus precipitaciones han sido constantes y sus caudales no han presentado cambios irregulares esto instruye a relacionarla con el cambio climático donde estadísticamente no ha intervenido las consecuencias de estos fenómenos, de esa manera se debe conservar este recurso natural y no permitir acciones antrópicas que con lleven al deterioro de esta fuente hídrica, adicionalmente la investigación permitió identificar que el agua se encuentra en general en un buen estado, aunque la característica microbiológica “Coliformes Totales” afecta el uso del recurso para las actividades que tienen en cuenta este parámetro.

## 9. RECOMENDACIONES

La construcción de estudios de tendencias de precipitación, caudal e indicadores de calidad en los ríos afluentes a los embalses o cualquier cuenca hidrográfica para diferentes usos se hace necesario, con el fin de realizar un diagnóstico actual del agua y predecir posibles sucesos que presenten vulnerabilidad a la sociedad.

Realizar un estudio más enfocado en cuanto a la calidad del agua para irrigación contemplando un análisis de sales disueltas, temperatura, deposición y acumulación de las sales en el suelo y posibles características que puedan modificar la calidad del agua debido a la demanda del río Curubital para este uso.

Además, es ineludible proporcionar una propuesta metodológica que plantee una priorización de áreas estratégicas para la conservación, regulación de caudales del río Curubital que incluya elementos de índole ambiental y calidad estableciendo mejores prácticas en la agricultura y la ganadería, también deben estar ligados al valor de la comunidad dado los lugares debido a que está relacionado con aspectos económicos, educativos, ideológicos, entre otros.

Es necesario elaborar una evaluación de la cantidad de población que hace uso benéfico del río Curubital con el fin de identificar la posible demanda del recurso hídrico y los posibles usos que ofrece el río Curubital.

Igualmente, se requiere garantizar que la calidad del agua en los próximos dos quinquenios aumente su calidad con el fin de desarrollar el uso del agua en todas las actividades posibles y así disminuir las vulnerabilidades a las que está sujeta hoy en día la sociedad aledaña al río.

Requerir una mayor atención sobre las estaciones meteorológicas, de manera que se obtenga un registro histórico amplio y sistemáticos que genere una confiabilidad en los estudios a ejecutar, de modo que al no tener en cuenta intervalos de tiempo se ocasiona una pérdida significativa de continuidad en el estudio de las tendencias de los caudales y precipitación.

Generar investigaciones sobre estudios particulares de calidad del agua en el país para establecer criterios y estándares propios concordados a las características del territorio y la cual contemplen más parámetros y variables para la calificación del recurso hídrico en cuencas superficiales y establecer un uso del agua que no ocasione afectaciones a la salud humana ni para los recursos naturales.

## 10. ANEXOS

### Anexo #1

Información de las estaciones pluviográficas y pluviométricas de la zona de estudio.

- Estación El Hato

#### 520 - PRECIPITACION, TOTAL MENSUAL mm ELEMENTO:20020 (P-052 ) EL HATO

**TIPO EST** PG                      **DEPTO** BOGOTÁ                      **CORRIENTE** RÍO BOGOTÁ                      **LATITUD:** 4°23' N  
**ENTIDAD** EAAB E.S.P.                      **MUNICIPIO** BOGOTÁ                      **SUB CUENCA** RÍO CHISACA                      **LONGITUD:**74°11' W  
**ELEVACION:**3150 m,s,n,m

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL
1970	20,7	23,5	34,8	62,5	94,7	99,2	69,5	84,1	63,8	140	57,8	3	753,6
1971	44,1	30,6	48,7	87,5	124,4	98,1	84,2	79,5	63,5	47,9	69,5	33	811,0
1972	39	28,5	46,5	77	100,7	73,1	67,3	43,9	31	56,5	60	13,6	637,1
1973	4,9	5,8	23,6	47,5	61,3	90,5	56,2	119,8	120,7	61,5	95	49	735,8
1974	37	36	19,5	81,9	106	82,8	131,6	76,1	62,8	73,9	82	10,8	800,4
1975	10,4	53,3	57,4	51,6	145,7	127,2	76,8	106	78,3	123,3	72,7	106,6	1009,3
1976	10,6	44,5	72,4	104,9	120,7	114,6	97,4	50,8	69,8	156,4	55,6	15,3	913,0
1977	0	22,9	20	52,8	40,1	59,7	85,5	69	68,8	82	100,5	25,3	626,6
1978	5,9	31,7	52,7	101,1	96,3	125,7	57	55,8	50	75,2	22,5	15,3	689,2
1979	9,5	7	44	126,1	99,2	73,6	27,7	73	57,3	153,6	120,9	41,1	833,0
1980	11,9	41	30,2	56,6	57,1	170,9	35,5	62	48,2	74,3	41	31,5	660,2
1981	9,8	20,3	17	117,2	163,4	20,7	58,4	50,3	48,8	78,4	78,5	35,8	698,6
1982	27,8	61,7	56,2	175,6	101,1	32	96,4	70,8	55,8	92	46,2	38,4	854,0
1983	15,7	60,4	62,8	127,4	75,6	60,1	97,5	59,4	60,2	65,1	25,2	47,7	757,1
1984	27,4	59,3	29,3	61,4	75,2	149,5	67,7	115,2	71	32,5	57,2	15,8	761,5
1985	10,8	8,6	34,1	87,2	128,4	68,4	66,7	116,4	84,5	108,3	76,1	20,7	810,2

1986	10,7	103,7	99,7	69	65	135,7	80,6	38,8	14	66,9	43,8	11,6	739,5
1987	10,1	33,5	37,3	71,6	113,8	32,8	102,5	69,8	67,8	74,4	23,7	30,9	668,2
1988	0,6	20,2	13	50,3	62,2	105,9	99,9	108	86,6	96,4	70,2	47,3	760,6
1989	7,5	39,6	79,9	30,4	142,4	90,9	77,2	39,7	73,5	67,1	59,6	29,3	737,1
1990	29,5	33	84,6	100	108	69	63,7	57,1	32,2	111,8	50,1	51,2	790,2
1991	1,6	20,1	64,5	86	113,5	56,8	92,9	98,4	54,4	47,4	83,4	34,1	753,1
1992	12,7	30,2	29,7	93	52,9	46,5	93,2	56,4	73,5	20,2	121,4	21	650,7
1993	33,2	23,9	57,6	104,1	128,3	85,9	126,7	41,5	91,6	74,6	48,5	4,3	820,2
1994	22,1	33	84,5	87,9	158	79,3	79,5	81,4	47,2	71,1	106,4	15	865,4
1995	7,2	18,2	39,9	80,1	144,9	85,5	50	88,6	48,7	74,7	52,5	50	740,3
1996	45,9	58,7	107	60,9	137,3	81	116,4	75,2	84,6	48,2	88,9	65,4	969,5
1997	44,8	35,3	55,8	71,9	73,6	68	64,6	37,5	31,7	44,7	44,4	3,9	576,2
1998	3	23,8	51,4	35,8	175,5	115,5	133,9	74,5	43,3	70,6	60,6	65,9	853,8
1999	41,2	58,8	48,2	116,1	62	80,6	52,8	77,6	117,2	150,1	55,8	16,6	877,0
2000	22,6	62,8	75,5	60	197,3	65,5	61,8	97,4	96,9	81	54,3	60,8	935,9
2001	1,2	34,2	72	35,5	109,9	101,2	82,4	32,4	85,4	36,5	71,2	48,2	710,1
2002	8,4	6,5	44,9	95,6	128,4	155,2	88,4	71	62,7	104,2	48,6	29,6	843,5
2003	1	9,8	57,3	157,6	67,1	97,5	81,0	42,3	72,4	110	80	28,7	723,7
2004	14,5	59,9	49,5	126,7	127,7	120,9	139,4	60,3	80,6	112,5	83,4	25,2	1000,6
2005	19,1	39,6	26,1	115,5	230,1	80,4	66,7	52	55,4	92,8	69	14	860,7
2006	45,2	10,6	84,5	149,1	177,8	125,4	61,9	67,4	51,5	132,9	89,8	17,9	1014,0
2007	0,1	22,8	49	118,1	73	132,5	67,5	86,5	39,3	110,5	40,8	58,5	798,6
2008	35,4	38,8	51,1	90,1	201,5	136,8	124,4	109,6	57,4	73,5	131,7	47,7	1098,0
2009	56,5	27,4	63,7	62,7	64,4	97,3	107,5	66,4	40,9	69,4	48,7	2,6	707,5
2010	0,3	37,8	39,9	197,3	169,4	125	155,5	57	73,2	78,2	124,4	95,7	1153,7
2011	27,7	69	187,3	200,8	113,9	75,5	78	37,3	68,3	135,1	192,7	66	1251,6
2012	44,6	28,7	104,8	150,8	109,5	70,6	143,7	77,1	42,6	91,6	53,5	51,4	968,9
2013	9,9	98,2	75,1	85,1	119,4	61,1	137,1	107,5	42,4	57,9	86	70,1	949,8
2014	28,7	23,1	43,5	96,3	99	190,7	114,5	85,1	56,8	83,7	89,1	52,9	963,4
2015	11,8	28,7	49,5	61,6	62	116,1	93,8	63,6	50,4	51	44,8	11,8	645,1

Fuente: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB)



1988	5	31,3	17,9	48,5	98,7	108,8	136,2	104,4	91,7	113,6	81,8	46	779,5
1989	11	51,2	116	38,6	141,7	135,8	126,3	87,8	92,4	93,1	71,9	15,3	981,1
1990	40,9	44,3	108,9	132,7	159,2	112,7	98,3	82,5	36,1	108,2	44,7	47,4	1015,9
1991	2,8	18,9	83,3	109	142,3	95,2	135,4	156,5	85,7	66,3	62,1	30,3	987,8
1992	13,6	30,7	40,1	119,7	72,2	74,7	140,9	109,6	83,9	42,7	145,5	16,9	890,5
1993	33,7	18,8	82,7	127,4	190	130,2	162,3	82,6	87,1	86,3	73,7	12	1086,8
1994	24,7	28,2	79,6	82	202,5	119,4	117,9	104	54,5	92,1	102,6	19,6	1027,1
1995	10,3	22,4	39,4	83,8	159,8	121,6	82,8	113	71,4	62,1	51,9	52,3	870,8
1996	46,2	70,4	84,2	78	168,3	106,9	137,7	114	75,3	61,7	101,9	75,6	1120,2
1997	45	43,3	49	65,8	87,4	91	117,6	71,8	59,4	51,7	49,7	4,2	735,9
1998	2,9	24,4	55,2	47	202,2	133,7	170,1	100,4	56,6	81,7	69,8	67,7	1011,7
1999	36,9	74,1	55,8	102,1	95,5	129,8	84,3	112,3	115,1	177,3	78,9	19,8	1081,9
2000	26,8	66,6	74,2	86,8	211,9	103,5	99	123,4	103,1	127,6	61,5	64,6	1149
2001	1,5	45,3	68,9	42,5	132,1	124,4	106,3	60,7	113,8	43,7	87,5	45,9	872,6
2002	19,3	4,9	44,6	91,2	183	189,1	119,3	107	79,4	125,3	59,5	34,5	1057,1
2003	0,9	7	60,9	189,4	92,5	110,6	104,6	55,1	83	119	108	39,7	970,7
2004	8	48,5	59,3	94,2	151	183,3	184,7	81,1	105,4	143,8	99,5	26,1	1184,9
2005	13,6	43,3	34,9	126,3	235,1	94	90,6	60,7	68	95,9	72,8	18,3	953,5
2006	44,9	19,4	83	140,3	159,6	143,8	79	78,9	41,2	128,9	136,5	16,7	1072,2
2007	1,3	27,9	31,1	130,5	103,4	187,1	78,2	112,6	44,7	145	43	66,9	971,7
2008	16,5	40,2	53,7	122,2	200,7	152,4	156,2	110,4	68,9	93,7	113,5	38,2	1166,6
2009	71,9	23,3	73	84,3	82,3	117,1	170,3	77,2	60,3	62,8	43,3	10,4	876,2
2010	1,8	44,5	43	207,4	200,4	158,8	173,6	62,4	66,9	101,1	117,3	83,2	1260,4
2011	36,7	56,8	132,2	176,9	131,6	86,8	106,9	60,2	94,3	144,4	159,4	81,6	1267,8
2012	28,1	36	110,6	152,3	125,4	74,5	167,4	104,3	75,4	83,5	46,1	40,8	1044,4
2013	6,7	74,7	68	79,3	136,3	68,3	132,5	146	54,2	80,5	82,7	50,6	979,8
2014	17,7	10,1	35,6	105,7	99,7	206,4	137,2	100,1	79,5	93,5	113,6	54	1053,1
2015	23,6	27,6	43,4	75,7	82,7	154,1	101	80,5	65,6	54	53,7	16,2	778,1

Fuente: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB)

- Estación Bocagrande

**520 - PRECIPITACION, TOTAL MENSUAL mm**  
**ELEMENTO:20019 (P-050 ) BOCAGRANDE - SALITRE**

**TIPO EST** PM  
**DEPTO** BOGOTÁ  
**CORRIENTE** RÍO BOGOTÁ  
**ENTIDAD** EAAB E.S.P.  
**MUNICIPIO** BOGOTÁ  
**SUB CUENCA** LOS SALITRES  
**LATITUD:** 4°20' N  
**LONGITUD:** 74°08' W  
**ELEVACION:** 3475 m.s.n.m

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL
1970	61,6	68,8	99,1	116,1	174,2	270,9	129,4	159,1	131,1	210,8	106,1	33,6	1560,8
1971	44,7	67,9	103,1	158	163,9	244,9	266,2	201,1	148	94,2	111,5	67,1	1670,6
1972	97,5	40,8	97,5	161,9	227,5	193,5	218,5	198,9	88,1	94,7	93,7	35,1	1547,7
1973	18,4	5,1	37,5	83,2	184,7	197,8	200,5	212,7	221,7	109,3	147,8	58,7	1477,4
1974	35	60,2	59,8	139,7	241	155	269,2	158,5	116,9	105,6	157,2	14,2	1512,3
1975	17,6	51,5	72	77,1	275,2	262,2	240,5	259	175,5	154,5	79	127,5	1791,6
1976	33,5	28,5	98,5	180	228	295,8	309,5	168,1	114,5	177	162,5	18,5	1814,4
1977	0	52	49,7	130	86,2	170,5	244,5	142,6	174,3	99,2	137,1	51,4	1337,5
1978	39,1	40,1	87,7	142,3	175,9	283	175,5	184,8	157,4	116,9	47	64,3	1514,0
1979	15	10,5	106,3	230,8	152,4	249	119,5	193	116,3	201,3	152,9	65,8	1612,8
1980	27,9	82,4	60,1	192,2	140,5	323,8	154,1	155,5	139,8	129,9	68	41,9	1516,1
1981	10	60,7	36,8	158,1	226,4	157,5	158,9	138,7	146,9	133	133,2	78,4	1438,6
1982	40,5	76	87	299,4	153,7	82,3	334,6	228,7	126,2	76,6	62,5	65,4	1632,9
1983	36	123,7	108,9	242,6	183	199	323,7	190,8	195,6	140,1	80,5	78,1	1902,0
1984	72,6	119,7	36	145,5	169,4	304,2	224,5	228	166,6	110,8	186	93,5	1856,8
1985	10	37,5	52,5	99	160	94,5	163,5	215,5	148,8	13	167,5	70	1231,8

1986	15	79,3	195,9	39	29,2	8,5	79,5	53,5	18,5	109,5	54	29,5	711,4
1987	31,6	68,9	38,9	84,3	84,5	71,5	268	54,6	92,9	90,1	26,4	22	933,7
1988	5,7	27,8	31,4	39,2	115,1	114,8	227,1	159,9	114,1	134,1	104,6	12,6	1086,4
1989	25	73,2	211,7	57,4	208,4	114,6	24,2	106,2	91,9	137,8	73,7	49,1	1173,2
1990	75,4	36,5	124	72,6	205,3	163,8	114	114,8	18,6	98,8	70,4	48	1142,2
1991	7,4	42	60,1	124,8	147,2	154,5	261,2	268,9	81,5	68,6	84,7	34,3	1335,2
1992	20,3	31,2	63,3	156,6	107,9	120,4	269,2	152,1	115,8	70,4	129,6	21,6	1258,4
1993	37,4	16,1	110,3	199,4	244,1	211,2	281,3	127	121,3	110,3	114,2	20	1592,6
1994	35,5	47,7	102,3	121,8	268,2	222,8	197,4	197,2	104,9	126,5	112,1	34,8	1571,2
1995	15,5	14,2	135,6	106,4	184,2	136,3	106,9	133,2	69,6	123,3	63	69,5	1157,7
1996	35,2	120,4	126,8	118	216,7	122,4	268,5	172,3	89,1	110,3	111,1	96,1	1586,9
1997	50,9	65,9	41,6	95,3	134,6	140	271,5	148,1	93,7	86,3	41,6	16,9	1186,4
1998	8,3	40,9	94,6	71,8	294,2	218,4	291,4	119	66,9	96,8	109,5	75,4	1487,2
1999	64,9	119,1	61,4	194,3	166	187,1	69,7	183,1	154,9	197,4	122,7	43,5	1564,1
2000	36,3	79	98,9	121,1	310,9	145,1	148,5	217,3	155,9	108,6	82	93	1596,6
2001	0,7	70,9	102,4	84,4	210,1	207,9	148,2	142,3	152,9	52,3	109,4	75,8	1357,3
2002	30,8	15,4	98,6	118	216,2	345,2	160,7	242,6	88,7	145,8	89,5	36,5	1588,0
2003	1,4	12,9	79,2	179,1	155,3	159,8	164	122,5	126,2	115,1	140,8	39,4	1295,7
2004	33,3	56,5	71,4	166,2	203,8	300	275,1	184,6	75,5	160,7	227,1	47,9	1802,1
2005	34,7	61,3	50,7	246,4	307,6	152,1	149,7	104,6	82,9	68,5	81,8	43	1383,3
2006	36,6	7,3	131,5	195,5	245	193,4	189,1	132,6	93,8	253,7	104,9	118,3	1701,7
2007	0	54,7	51,6	137,6	98	291,6	129,5	180,9	110,8	188,8	62,2	90,2	1395,9
2008	24,3	67,5	70,5	121,6	252,5	242,4	208,9	141,6	93,2	111,6	167,3	59,6	1561,0
2009	66,9	36,6	115,6	129,6	83,5	151,5	236	118,9	109,8	88	62,4	9,4	1208,2
2010	4,5	64,3	78,3	217,1	207,1	185,8	215	162,2	65,7	130,4	195,7	118,3	1644,4
2011	33,3	73	146,9	246,1	201,7	183,8	164,6	71,9	129,6	158,4	169,6	76,7	1655,6
2012	24,7	64,8	130,4	224	139,5	213,8	189,9	136,5	124,5	154,9	99,6	82,7	1585,3
2013	10,4	106,1	93,1	168,9	270,1	113,7	274,9	235,7	112,5	145,2	117,3	59,7	1707,6
2014	39,3	19,4	94,3	154,1	128	422	349,2	126,5	95,5	154,6	176	106,3	1865,2
2015	36,9	48,1	119,1	111,5	197,8	325,8	239,8	133,5	89	48,3	92,2i	24,7	1374,5

Fuente: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB)

- Estación Australia

**ESTACION: 21201300 AUSTRALIA**

**TIPO EST** PM      **DEPTO** BOGOTA      **FECHA-INSTALACION** 1985-MAR      **ELEVACIÓN** 3050 m,s,n,m  
**ENTIDAD** IDEAM      **MUNICIPIO** BOGOTA      **LATITUD** 4°23' N  
**REGIONAL** BOGOTA      **CORRIENTE** BOGOTA      **LONGITUD** 74°07' W

Año	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL
1985				48,6	175,1	130,6	121,7	149,5	104,5	135,2	87,7	39,6	992,50
1986	6,5	100,5	84,6	61,2	91,1	240,1	186	66,5	66,3	218,8	45,7	18,5	1185,80
1987	7,4	45,9	29,5	99,7	140,1	72,4	183,1	117,2	80,5	99,8	23,1	37,6	936,30
1988	5,6	22,5	16,3	63,9	105,3	157,7	172,8	158,1	143,5	110	97,1	50,5	1103,30
1989	16,3	67,4	161,5	36,9	205,1	196,1	151,8	104,2	110,5	228,9	68,2	19,3	1366,20
1990	45	48,2	112,7	148,1	204	133,6	131,9	101,4	51,8	148,8	45,8	62,1	1233,40
1991	5,2	16,7	91,3	98,8	200	137,6	182,1	195,6	140,1	97,2	80,3	25,4	1270,30
1992	17,8	37,9	38,4	152,7	99,9	93,4	196,4	128,9	88,6	52,4	148,6	25,2	1080,20
1993	35,9	21	119,1	186,9	208,7	172,5	199,8	67	82,4	87,1	82,4	16,9	1279,70
1994	15,8	45,9	78,6	120,7	251,4	160,4	147,8	158,3	77,1	91,8	133,4	31,7	1312,90
1995	14,8	14,6	40,9	82	148,8	150	101,1	133,4	81,7	69,8	66,5	63,1	966,70
1996	33,2	82,2	92,2	55	180,3	131,3	173,4	117,3	82,6	63	92,6	73,3	1176,40
1997	45,3	56,8	43	68,3	89,1	90,5	151,3	75,4	63,7	60,2	66,2	3,2	813,00
1998	3,3	28,8	55,3	56,9	223,4	156,3	198,5	120,3	74,1	118,6	79,5	63	1178,00
1999	43,9	90,3	69,3	129,2	93,8	149,3	118,4	146,5	132,7	214,4	87,6	27,4	1302,80
2000	32,8	71,7	74,6	99,8	277,1	125,2	124,9	144,3	133,6	136,4	64,5	59,5	1344,40
2001	1,1	57,8	68,6	40,6	159,8	156,1	126,7	77	130,2	47	104,4	39,1	1008,40
2002	23,5	6,1	47,1	98,6	189,3	235,4	133,9	137,2	81,3	143,6	66	33,7	1195,70
2003	0,9	8,2	66,4	150,5	117	135,1	128,9	83	90,5	98,4	111,8	40,9	1031,60
2004	7,8	51,8	58,3	97,9	180,1	214,6	206,1	99,6	108,5	173,2	89,9	24,5	1312,30
2005	18,3	40,1	37,1	132,6	210,7	109,9	125,2	88,2	72,1	98,3	80,2	25,7	1038,40

2006	52,8	14,8	107,9	165,9	189,4	167,7	101,4	100	70,7	139,5	146,2	24,4	1280,70
2007	1,3	26,6	31,9	137,6	131,3	218,6	98,3	142,4	54,5	164,1	52	91,6	1150,20
2008	24,7	34,1	61,9	146,6	208,4	172,1	179	89,2	86,1	96,6	141	46,5	1286,20
2009	89,8	29,6	96,7	102,4	85,3	145,2	198,8	106,8	85,8	82,6	53,6	12,1	1088,70
2010	0,5	48,3	56,6	197,8	200,3	187,6	207,1	69,5	75,1	102,9	127,4	65,1	1338,20
2011	52,8	78	174,4	198,5	147,6	84	104,7	73,4	120,1	146,4	184,5	69,9	1434,30
2012	31,9	39,5	132,7	138,3	162,5	109,1	205,5	123,5	86	108,8	64	70,5	1272,30
2013	6,2	66,3	62,2	95,7	185,2	89,2	181,3	169,8	66,8	87,9	82,8	45,7	1139,10
2014	15,6	15,1	23,3	99,5	111,5	263,3	166,5	161,9	69	109,4	153,6	89,6	1278,30
2015	25,7	31,3	36,5	88,4	98,1	162,5	150,7	94,7	71,8	54,6	69,6	6	889,90

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

## Anexo # 2

Información de las estaciones meteorológicas limnimétrica:

- Estación La Toma (Caudales Medios)

**EAAB  
E.S.P.**

### SIH SISTEMA DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

**504 - CAUDALES MEDIOS m3/seg**

**LATITUD:4°23' LONGITUD:74°11'**

**PERÍODO:1990-2016**

**ELEVACION:3200.0**

**ELEMENTO:20746 (L-047) LA TOMA - RÍO CHISACA**

**DEPTO:**  
BOGOTA  
**MUNICIPIO:**  
BOGOTA

**TIPO ESTACION:** LM  
**ENTIDAD:**  
EAAB

**TIPO ESTACION:** LM  
**ENTIDAD:** EAAB

**CUENCA:** RÍO BOGOTA

**SUBCUENCA:** RÍO CHISACA

<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>ANUAL</b>
1990	0,285	0,315	0,466	1,086	1,060	1,120	0,998	0,745	0,531	0,756	0,524	0,358	0,687
1991	0,185	0,341	0,476	0,497	0,437	0,326	0,681	0,700	0,406	0,332	0,623	0,321	0,444
1992	0,112	0,148	0,304	0,342	0,338	0,306	0,821	0,431	0,202	0,172	0,524	0,517	0,351
1993	0,438	0,622	0,224	0,391	0,469	0,475	0,483	0,372	0,246	0,519	0,772	0,242	0,438
1994	0,217	0,240	0,218	0,385	0,702	0,608	0,650	0,443	0,219	0,442	0,457	0,206	0,399
1995	0,128	0,378	0,558	0,474	0,572	0,540	0,332	0,404	0,345	0,389	0,512	0,358	0,416
1996	0,413	0,628	0,637	0,308	1,187	1,026	1,436	0,564	0,281	0,713	0,809	0,554	0,713
1997	0,899	0,254	0,477	1,229	1,122	1,365	1,499	0,877	0,333	0,380	0,131	0,189	0,730
1998	0,283	0,160	0,096	0,247	1,489	0,927	1,858	0,750	0,415	0,704	0,964	0,887	0,732
1999	0,622	0,822	0,298	1,545	0,649	0,495	0,415	1,334	1,676	1,767	0,662	0,302	0,882

2000	0,482	0,820	1,175	0,596	1,666	0,688	0,542	0,894	1,170	0,879	0,997	0,565	0,873
2001	0,174	0,308	0,509	0,253	0,858	0,892	0,611	0,427	0,510	0,388	0,353	0,474	0,480
2002	0,186	0,218	0,209	1,303	1,258	2,037	0,904	1,045	0,355	0,725	0,571	0,208	0,752
2003	0,191	0,190	0,259	1,124	0,539	0,551	0,776	0,288	0,468	1,391	0,877	0,712	0,614
2004	0,376	0,325	0,771	3,340	0,842	1,701	0,998	0,745	1,059	0,878	2,447	0,245	1,144
2005	0,102	0,384	0,043	0,650	1,762	0,772	0,569	0,380	0,206	1,238	0,982	0,263	0,613
2006	0,180	0,066	0,867	2,728	1,791	1,241	0,789	0,862	0,416	1,035	1,925	0,177	1,006
2007	0,070	0,050	0,048	1,515	0,781	1,641	0,875	1,707	0,319	1,644	0,371	0,534	0,796
2008	0,140	0,140	0,284	0,461	1,590	3,333	1,787	1,277	0,888	0,448	1,489	0,799	1,053
2009	0,845	0,170	0,270	1,132	0,690	0,732	1,417	0,609	0,408	0,557	0,556	0,079	0,622
2010	0,041	0,042	0,033	2,082	2,519	1,892	1,636	0,619	1,136	0,868	2,090	1,941	1,242
2011	0,297	0,685	2,459	3,915	2,271	1,394	0,720	0,411	0,511	1,435	1,998	1,030	1,427
2012	0,246	0,140	0,829	1,405	1,101	0,665	1,408	1,157	0,716	0,698	0,286	0,271	0,744
2013	0,135	0,425	0,264	0,748	1,226	0,637	0,754	0,856	0,344	0,252	0,361	0,827	0,569
2014	0,209	0,113	0,237	0,286	0,421	2,031	1,900	0,796	0,328	0,934	1,447	0,845	0,796
2015	0,144	0,218	0,115	0,188	0,209	1,728	1,096	0,666	0,321	0,116	0,179	0,105	0,424

Fuente: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB)

 Dato asumido

- Estación La Toma (Caudales Mínimos)

EAAB  
E.S.P.

**SIH SISTEMA DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA**

**LATITUD:4°23'**

**506 - CAUDALES MINIMOS  
MINIMOS m3/seg**

**FECHA REPORTE: 2016/9/9**

**PERÍODO:1990-  
2016**

**LONGITUD:74°11'**

**ELEMENTO:20746 (L-047 )  
LA TOMA - RÍO CHISACA**

**DEPTO:  
BOGOTA**

**CUENCA:  
RÍO BOGOTA**

**SUBCUENCA:  
RÍO CHISACA**

**ELEVACION:3200.0**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2006	0,05	0,03	0,03	0,06	0,15	0,36	0,3	0,23	0,19	0,03	0,17	0,09
2007	0,05	0,04	0,03	0,04	0,15	0,22	0,36	0,27	0,17	0,07	0,14	0,13
2008	0,05	0,03	0,01	0,03	0,04	0,41	0,24	0,32	0,03	0,19	0,24	0,18
2009	0,15	0,06	0,07	0,16	0,06	0,1	0,2	0,21	0,06	0,12	0,13	0,05
2010	0,02	0,02	0,01	0,01	0,22	0,5	0,24	0,15	0,09	0,13	0,24	0,29
2011	0,11	0,09	0,22	0,17	0,43	0,31	0,28	0,17	0,19	0,22	0,41	0,28
2012	0,15	0,08	0,08	0,2	0,43	0,36	0,26	0,53	0,27	0,22	0,18	0,13
2013	0,09	0,11	0,12	0,1	0,26	0,14	0,19	0,41	0,21	0,14	0,2	0,22
2014	0,1	0,08	0,06	0,05	0,1	0,22	0,84	0,37	0,17	0,17	0,38	0,22
2015	0,1	0,06	0,06	0,09	0,07	0,48	0,48	0,27	0,12	0,07	0,09	0,05

**Fuente: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB)**

- Estación La Toma (Caudales Máximos)

\*\*\* EAAB E.S.P. SIH SISTEMA DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA  
\*\*\*

**505 - CAUDALES MAXIMOS m3/seg**

**PERÍODO:1990-2016**

**ELEMENTO:20746 (L-047 ) LA TOMA - RÍO CHISACA**

<b>LATITUD:</b> 4°23'	<b>DEPTO:</b> BOGOTA	<b>TIPO ESTACION:</b>	<b>CUENCA:</b> RÍO BOGOTA
<b>LONGITUD:</b> 74°11'	<b>MUNICIPIO:</b> BOGOTA	<b>ENTIDAD:</b> EAAB	<b>SUBCUENCA:</b> RÍO CHISACA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1991	0,45	0,41	0,94	0,96	1,06	0,96	1,06	1,06	0,7	1,03	4,38	0,93	4,383571429
1992	0,15	0,63	0,85	1,72	0,82	0,78	1,05	0,94	0,79	0,32	1,06	1,06	1,72
1993	0,83	0,93	0,64	0,92	0,92	1	1	0,83	0,93	0,99	1,06	0,76	1,06
1994	0,41	0,81	0,66	1,06	1,06	1,05	1,03	0,96	0,76	0,84	1,05	0,72	1,06
1995	0,15	0,97	1,01	1,05i	1,06i	1,04i	0,83	0,98i	0,64	1,03	4,38	3,53	4,38
2000	1,61	2,33	4,52	2,57	4,8	2,44	1,85	4,22	3,7	2,96	3,29	3,24	4,8
2006	0,33	0,14	7,49	15,29	7,77	6,47	5,73	7,65	3,38	7,57	23,71	0,51	23,71
2007	0,28	0,12	0,18	12,76	11,35	8,48	2,39	6,19	0,57	12,12	2,01	6,58	12,76
2008	0,46	1,62	5,15	2,23	9,07	16,34	7,61	6,59	6,58	4,93	6,13	9,21	16,34
2009	8,47	0,33	0,99	9,95	3,86	6,75	6,43	4,14	1,97	5,17	2,83	0,13	9,95

2010	0,05	0,11	0,07	12,78	11,04	8,67	7	1,66	3,93	2,82	8,23	16,01	16,01
2011	1,35	5,93	11,96	30,27	10,85	8,94	3,5	0,96	1,95	3,8	4,33	2,51	30,27
2012	0,58	0,28	5,85	4,07	2,75	1,56	9,02	1,88	1,7	3,85	1,09	2,15	9,02
2013	0,32	2,77	1,5	8,04	6,67	3,9	1,94	3,46	0,73	1,04	1,67	6,31	8,04
2014	0,6	0,2	1,13	1,7	2,28	4,6	3,64	2,08	0,66	6,08	3,97	2,47	6,08
2015	0,25	1,08	0,48	0,59	0,56	5,67	2	1,61	1,04	0,17	0,94	0,35	5,67

Fuente: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB)

- Estación Pte. Carretera (Caudales Medios)

\*\*\*

**EAAB  
E.S.P.**

\*\*\*

SIH SISTEMA DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

**504 - CAUDALES MEDIOS (m3/seg)**

**LATITUD:4°23'**

**LONGITUD:74°10'**

**PERÍODO:1992-2015**

**ELEVACION:3500.0**

**ELEMENTO:20954 (L-097) PUENTE CARRETERA - RÍO CHISACA**

**DEPTO: BOGOTA**

**TIPO  
ESTACION: LM**

**CUENCA: RÍO BOGOTA**

**MUNICIPIO:  
BOGOTA**

**ENTIDAD:  
EAAB**

**SUBCUENCA: RÍO CHISACA**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1992	0,850	0,679	0,998	1,279	1,953	2,563	1,288	2,355	0,901	0,998	1,658	1,319	1,403
1993	1,425	1,421	1,533	0,393	1,294	2,66	2,85	1,056	1,313	0,977	2,052	0,674	1,471
1994	1,193	0,373	1,155	0,295	2,913	2,754	2,733	2,136	0,997	1,866	2,06	0,781	1,605
1995	1,455	1,373	0,904	0,59	0,119	1,473	0,995	1,543	0,663	1,289	0,826	1,044	1,023
1996	1,172	0,809	0,745	0,784	2,819	1,308	3,538	2,056	0,722	1,187	1,25	1,708	1,508
1997	1,166	0,908	1,012	0,859	0,934	1,417	3,86	1,216	0,531	0,551	0,732	1,153	1,195
1998	0,694	0,359	0,253	0,239	0,904	1,976	2,243	1,563	0,651	0,694	0,977	1,172	0,977
1999	1,024	1,147	0,947	1,744	1,505	1,01	1,088	2,168	2,12	3,729	1,524	0,841	1,571
2000	1,239	1,119	0,935	0,455	3,743	1,744	1,442	1,976	1,93	1,663	1,602	1,007	1,571
2001	1,141	1,399	0,986	1,046	0,641	1,784	1,683	1,484	1,901	0,914	0,635	0,83	1,204

2002	1,178	1,128	0,645	0,508	1,636	5,411	2,048	2,804	0,622	1,016	0,901	0,651	1,546
2003	1,054	0,604	0,602	2,135	1,268	1,127	2,34	1,011	0,827	2,163	1,203	1,09	1,285
2004	0,403	0,43	0,683	1,839	1,919	3,767	2,966	1,946	1,451	2,125	2,207	0,413	1,679
2005	0,432	0,294	0,384	0,838	3,788	2,168	1,662	0,674	0,78	1,311	1,019	0,303	1,138
2006	0,455	0,146	0,923	2,499	5,185	2,148	1,312	1,336	0,534	1,386	1,298	0,217	1,453
2007	0,44	0,498	0,532	0,251	0,724	2,626	1,728	2,117	0,859	2,035	0,773	0,303	1,074
2008	0,374	0,465	0,32	1,153	2,475	3,576	3,233	1,871	1,128	1,793	2,604	0,908	1,658
2009	1,185	0,463	1,404	1,921	1,161	1,112	2,715	1,231	0,086	0,818	0,543	0,551	1,099
2010	1,077	0,084	0,381	1,285	3,285	4,456	3,121	1,237	2,091	1,503	3,612	1,922	2,005
2011	0,732	0,324	3,852	4,564	2,73	2,534	2,239	1,019	1,2	2,984	3,949	2,3	2,369
2012	0,597	0,409	1,422	3,136	2,634	1,422	2,744	2,455	2,132	1,01	0,429	0,643	1,586
2013	0,55	0,434	1,227	2,021	1,815	1,781	2,396	2,013	1,081	0,84	0,863	1,005	1,336
2014	0,469	0,923	1,214	0,55	0,481	6,158	4,809	2,165	1,284	2,135	3,255	1,317	2,063
2015	0,089	0,518	0,897	0,309	0,944	4,539	3,288	1,987	0,979	1,521	1,564	0,963	1,467

Fuente: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB)

 Dato asumido

- Estación Pte. Carretera (Caudales Mínimos)

\*\*\* EAAB E.S.P.  
\*\*\*

SIH SISTEMA DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

**506 - CAUDALES MEDIOS MINIMOS m3/seg**

**PERÍODO:1992-2015**

**ELEMENTO:20954 (L-097 ) PUENTE CARRETERA - RÍO CHISACA**

<b>LATITUD:</b> 4°23'	<b>ELEVACION:</b> 3500.0	<b>DEPTO:</b> BOGOTA	<b>TIPO</b> LM	<b>CUENCA:</b> RÍO BOGOTA
<b>LONGITUD:</b> 74°10'		<b>MUNICIPIO:</b> BOGOTA	<b>ESTACION:</b>	<b>SUBCUENCA:</b> RÍO CHISACA
			<b>ENTIDAD:</b> EAAB	

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1992	0,49	0,32	0,18	0,13	0,26	0,49	0,74	1,3	0,72	0,63	0,77	0,77	0,13
1993	1,42	1,35	0,51	0,2	0,23	1,01	1,12	0,67	0,53	0,33	0,76	0,26	0,20
1994	0,72	0,3	0,41	0,13	0,18	0,61	0,86	1,01	0,44	0,4	0,6	0,3	0,13
1995	1,34	1,34	0,6	0,12	0,1	0,13	0,6	0,56	0,39	0,26	0,32	0,77	0,10
1996	1,03	0,13	0,15	0,17	0,17	0,77	1,32	0,89	0,52	0,65	0,54	0,76	0,13
1997	0,53	0,13	0,12	0,11	0,13	0,54	0,76	0,57	0,28	0,1	0,27	0,89	0,10
1998	0,23	0,22	0,08	0,07	0,1	0,57	1,87	0,5	0,09	0,3	0,62	0,67	0,07
1999	0,75	0,51	0,11	0,1	0,46	0,46	0,6	0,36	0,79	0,74	0,74	0,53	0,10
2000	1	0,14	0,12	0,26	0,4	0,96	0,65	0,84	0,61	0,7	0,71	0,53	0,12
2001	0,41	1,23	0,16	0,4	0,19	0,19	0,84	0,63	0,42	0,09	0,12	0,12	0,09

2002	0,95	0,72	0,15	0,17	0,16	1,63	0,64	0,53	0,09	0,09	0,37	0,09	0,09
2003	0,89	0,18	0,44	0,19	0,47	0,36	0,56	0,57	0,5	0,41	0,46	0,27	0,18
2004	0,19	0,27	0,23	0,23	0,69	1,47	0,9	0,66	0,6	0,41	0,6	0,23	0,19
2005	0,37	0,12	0,33	0,11	1,69	0,09	0,08	0,07	0,07	0,07	0,08	0,14	0,07
2006	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,63	0,06	0,16	0,06
2007	0,01	0,01	0,07	0,04	0,07	0,07	0,08	0,08	0,07	0,08	0,06	0,07	0,01
2008	0,06	0,07	0,08	0,08	0,07i	0,08	0,08	0,08	0,08	0,06	0,08	0,08	0,06
2009	0,08i	0,07	0,06	0,06	0,05	0,08	0,05	0,03	0,08	0,01	0,04	0,04	0,01
2010	0,02	0,07	0,08	0,08	0,08	1,65	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,07	0,02
2011	0,07	0,08	0,07	0,06	0,08	0,08	0,06	0,07	0,08	0,08	0,09	0,07	0,06
2012	0,08	0,08	0,08	0,08	0,1	0,1	0,1	0,1	0,09	0,1	0,1	0,08	0,08
2013	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08i	0,07	0,08	0,05	0,05
2014	0,41	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07
2015	0,08	0,1	0,1	0,1	0,08	0,08	0,08	0,07	0,08	0,63	0,331	0,306	0,07

Fuente: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB)

- Estación Pte. Carretera (Caudales Máximos)

EAAB  
E.S.P.

SIH SISTEMA DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

506 - CAUDALES MEDIOS MAXIMOS m3/seg

PERÍODO:1992-2015

ELEMENTO:20954 (L-097) PUENTE CARRETERA - RÍO CHISACA

LATITUD:4°23' ELEVACION: 3500.0 DEPTO: BOGOTA TIPO LM CUENCA: RÍO BOGOTA  
LONGITUD:74°10' MUNICIPIO: BOGOTA ESTACION: ENTIDAD: EAAB SUBCUENCA: RÍO CHISACA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1992	2,28	2,10	2,98	4,73	7,79	7,92	6,87	5,39	1,25	1,51	4,95	2,66	7,92
1993	1,44	1,42	1,87	0,56	3,56	10,16	9,39	2,15	7,73	3,42	4,99	1,67	10,16
1994	1,51	0,72	1,39	0,92	12,25	10,6	8,71	5,86	2,46	6,56	6,12	1,38	12,25
1995	1,6	1,49	1,42	0,72	0,16	4,85	2,11	4,73	1,05	7,48	1,91	1,17	7,48
1996	1,25	1,27	1,32	0,87	30,87	2,38	9,21	8,02	1,99	4,84	3,31	2,99	30,87
1997	3,96	1,58	1,29	1,37	3,59	4,21	9,34	3,28	1,69	1,12	0,87	1,75	9,34
1998	1,44	0,52	0,53	0,36	11,7	6,82	6,87	3,95	0,97	0,83	2,03	2,78	11,70
1999	1,25	2,1	1,69	5,39	1,97	2,45	2,09	10,54	5,36	12,56	5,38	1,18	12,56
2000	1,61	1,44	1,45	0,94	11,82	4,4	3	7,68	6,12	3,97	7,09	1,44	11,82
2001	1,51	1,71	1,3	1,55	1,55	4,86	5,3	4,44	10	1,25	0,96	1,39	10,00
2002	1,25	1,5	0,96	1,78	18,34	30,79	9,14	10,32	1,27	8,44	2,26	1,01	30,79
2003	1,18	0,71	0,98	18,17	3,39	5,75	7,09	2,75	2,55	9,46	3,54	8,1	18,17
2004	0,84	0,72	4,8	8,75	5,08	6,93	25,49	4,63	6,41	14,73	6,29	0,61	25,49
2005	0,53	0,46	0,41	3,72	9,43	4,35	4,08	3,95	4,22	4,22	4,62	0,87	9,43
2006	4,08	0,41	4,08	4,08	16,77	7,19	4,08	4,08	3,27	5,92	14,8	0,46	16,77
2007	4,35	1,96	1,78	1,78	4,35	5,54	5,38	4,61	4,49	4,77	4,49	2,76	5,54
2008	2,7	2,65	2,05	12,88	6,54	4,99	5,04	4,78	4,78	9,63	7,65	4,78	12,88

2009	5,09	4,78	4,94	5,16	5,51	4,78	5,32	4,89	0,1	5,07	4,44	5,34	5,51
2010	4,94	0,11	4,57	4,78	7,72	5,94	4,78	4,29	4,71	4,73	5,33	4,94	7,72
2011	4,78	2,73	11,77	17,48	4,91	5,09	4,64	4,63	4,62	4,89	11,09	5,2	17,48
2012	2,06	4,93	4,39	5,21	4,63	4,51	7,08	4,91	4,73	4,72	4,85	4,67	7,08
2013	4,49	4,39	4,78	4,93	5,09	12,86	4,93	4,88	4,81	4,62	4,78	8,65	12,86
2014	0,55	5,55	5,55	2,48	4,62	18,12	9,32	7,38	7,47	11,49	9,92	4,79	18,12
2015	0,1	5,24	5,24	4,93	5,24	14,64	5,64	5,55	5,09	5,92	5,29	3,07	14,64

Fuente: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB)

 Dato Asumido

- Estación Pte. Australia (Caudales Medios)

EAAB  
E.S.P.

SIH SISTEMA DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

**504 - CAUDALES MEDIOS m3/seg**

**PERÍODO:1971-2016**

**ELEMENTO:20725 (L-016) PUENTE AUSTRALIA - RÍO CURUBITAL**

**TIPO**

**LATITUD:4°23'**

**DEPTO: BOGOTA**

**ESTACION:**

**LM**

**CUENCA: RÍO BOGOTA**

**LONGITUD:74°08'**

**MUNICIPIO:  
BOGOTA**

**ENTIDAD:  
EAAB**

**SUBCUENCA: RÍO  
CURUBITAL**

<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>ANUAL</b>
1971	0,109	0,138	0,221	1,797	1,879	3,927	4,527	2,776	1,873	0,445	0,781	0,212	1,557
1972	1,909	0,246	0,338	2,486	3,013	3,715	5,318	3,438	1,165	1,274	1,126	0,177	2,017
1973	0,062	0,048	0,035	0,12	2,989	2,473	3,654	2,178	2,866	1,156	1,641	0,842	1,505
1974	0,167	0,2	0,263	0,896	2,251	1,96	4,04	2,196	0,712	0,61	1,63	0,263	1,266
1975	0,116	0,099	0,298	0,284	2,469	4,405	2,049	2,75	1,569	1,33	0,759	1,157	1,440
1976	0,113	0,023	0,103	1,376	2,813	4,218	5,143	2,124	1,365	2,132	1,309	0,334	1,754
1977	0,089	0,169	0,227	0,604	0,841	1,834	3,138	1,246	1,652	0,929	1,747	0,091	1,047
1978	0,125	0,272	0,125	1,543	1,546	4,665	1,892	2,18	0,965	0,925	0,291	0,171	1,225
1979	0,058	0,048	0,062	1,465	1,743	3,002	1,171	2,101	1,18	4,271	2,113	0,668	1,490
1980	0,307	0,281	0,313	2,564	1,293	6,677	2,321	1,758	1,753	2,091	0,424	0,258	1,670
1981	0,226	0,12	0,261	1,081	3,69	2,219	1,402	0,957	1,399	1,517	1,104	0,655	1,219
1982	1,517	0,441	0,556	3,161	1,992	2,995	4,204	2,812	1,668	1,227	0,8	0,416	1,816
1983	0,2392	0,76	0,843	2,431	1,33	1,428	3,312	2,572	1,622	0,901	0,468	0,486	1,366
1984	0,267	0,66	0,209	0,383	1,613	3,6	2,346	2,498	1,61	0,91	1,492	0,546	1,345
1985	0,243	0,156	0,145	0,273	2,447	2,552	1,9	2,529	1,387	1,912	1,035	0,711	1,274
1986	0,158	0,266	0,925	0,375	0,76	3,967	4,227	1,666	0,465	2,615	0,542	0,196	1,347

1987	0,189	0,393	0,245	0,73	1,957	1,238	2,839	2,189	1,03	1,247	0,484	0,386	1,077
1988	0,131	0,112	0,072	0,134	0,695	2,074	3,293	1,744	1,996	1,324	1,283	0,775	1,136
1989	0,177	0,17	0,782	0,456	2,921	3,125	3,026	0,903	0,632	0,96	0,488	0,221	1,155
1990	0,07	0,067	0,332	1,255	2,145	1,787	1,064	2,173	1,320	1,281	0,591	0,833	1,076
1991	0,092	0,146	0,313	0,59	1,98	2,194	3,917	2,648	0,897	0,725	1,585	0,44	1,294
1992	0,194	0,132	0,135	1,628	0,741	2,615	4,606	3,022	1,2	0,644	2,738	0,783	1,537
1993	0,248	0,33	0,529	2,671	2,727	4,389	4,367	2,381	1,373	1,254	1,596	0,293	1,847
1994	0,126	0,138	0,669	1,395	3,145	3,232	4,187	3,896	2,552	1,805	1,508	0,514	1,931
1995	0,152	0,113	0,523	1,225	3,176	3,199	2,477	1,732	1,059	1,13	0,846	0,515	1,346
1996	0,215	1,643	1,372	0,901	3,133	3,734	4,607	2,49	0,429	1,713	1,621	1,118	1,915
1997	0,573	0,78	0,332	0,647	1,998	1,206	3,463	1,831	0,598	0,68	0,222	0,07	1,033
1998	0,055	0,054	0,113	0,266	3,141	3,272	3,371	1,999	0,418	0,631	0,87	1,096	1,274
1999	0,145	0,75	0,224	2,672	1,906	2,108	1,827	2,162	2,005	2,896	1,231	0,235	1,513
2000	0,096	0,377	0,581	1,063	2,903	1,854	1,967	2,679	2	1,113	1,144	0,568	1,362
2001	0,338	0,216	0,78	1,279	1,899	3,047	2,299	2,118	2,216	0,292	0,79	0,525	1,317
2002	0,149	0,126	0,156	0,869	2,202	4,218	2,648	3,312	0,558	0,909	0,957	0,251	1,363
2003	0,115	0,096	0,128	1,377	1,402	1,436	2,394	1,148	1,067	1,034	0,766	0,583	0,962
2004	0,138	0,105	0,3	1,026	1,807	4,29	3,348	2,818	1,173	1,452	1,213	0,268	1,495
2005	0,129	0,186	0,106	0,595	2,8	1,808	1,798	2,261	0,928	1,016	0,939	0,242	1,067
2006	0,165	0,122	0,79	1,697	3,25	1,934	2,075	1,605	0,881	1,153	1,798	0,246	1,310
2007	0,124	0,114	0,12	0,674	0,813	3,979	1,881	2,387	1,1	1,265	0,64	0,681	1,148
2008	0,237	0,139	0,211	0,447	2,069	2,894	2,974	2,159	1,293	1,85	1,784	0,554	1,384
2009	0,41	0,235	0,524	1,406	0,994	1,594	2,692	1,593	1,377	0,594	0,427	0,125	0,998
2010	0,12	0,093	0,122	2,141	2,741	3,182	3,121	1,069	0,975	0,898	1,948	1,558	1,497
2011	0,25	0,238	2,167	3,142	2,952	2,253	2,267	0,8	1,58	2,13	2,826	1,182	1,816
2012	0,203	0,324	1,088	2,423	2,366	2,748	3,874	2,441	1,77	1,231	0,503	0,352	1,610
2013	0,134	0,257	0,695	1,326	2,255	1,796	2,584	2,029	1,222	0,754	0,48	0,628	1,180
2014	0,148	0,107	0,207	0,838	0,64	4,964	3,702	2,425	1,371	1,179	1,517	0,955	1,504
2015	0,174	0,379	0,218	0,776	1,28	4,985	2,843	1,968	1,114	0,241	0,694	0,365	1,253

Fuente: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB)

 Dato asumido

- Estación Pte. Australia (Caudales Mínimos)

EAAB  
E.S.P.

SIH SISTEMA DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

**504 - CAUDALES MINIMOS m3/seg**

**PERÍODO:1971-2016**

**ELEMENTO:20725 (L-016) PUENTE AUSTRALIA - RÍO CURUBITAL**

**LATITUD:4°23'**

**DEPTO: BOGOTA**

**TIPO**

**CUENCA: RÍO**

**ESTACION: LM**

**BOGOTA**

**LONGITUD:74°08'**

**MUNICIPIO:**

**ENTIDAD:**

**SUBCUENCA: RÍO**

**BOGOTA**

**EAAB**

**CURUBITAL**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1971	0,02	0,01	0,04	0,05	0,42	0,39	0,78	0,42	0,17	0,16	0,14	0,05	0,01
1972	0,15	0,05	0,04	0,13	0,49	0,61	0,64	0,29	0,31	0,08	0,25	0,06	0,04
1973	0,03	0,03	0,03	0,03	0,08	0,22	0,64	0,62	1,16	0,33	0,2	0,25	0,03
1974	0,08	0,09	0,08	0,05	0,5	0,56	0,85	0,5	0,29	0,14	0,3	0,13	0,05
1975	0,08	0,08	0,1	0,1	0,36	1,85	0,85	0,53	0,43	0,23	0,13	0,17	0,08
1976	0,01	0,01	0,01	0,02	0,85	1,13	0,97	0,56	0,43	0,56	0,43	0,13	0,01
1977	0,05	0,05	0,08	0,08	0,24	0,75	0,88	0,37	0,29	0,2	0,19	0,02	0,02
1978	0,09	0,09	0,08	0,33	0,77	0,88	0,31	0,77	0,39	0,33	0,11	0,07	0,07
1979	0,05	0,04	0,04	0,05	0,28	0,52	0,58	0,5	0,41	0,69	0,55	0,17	0,04
1980	0,14	0,1	0,09	0,14	0,5	0,93	0,55	0,48	0,36	0,34	0,21	0,12	0,09
1981	0,1	0,08	0,08	0,08	0,72	0,68	0,42	0,32	0,53	0,47	0,37	0,36	0,08
1982	0,46	0,29	0,27	0,59	0,63	0,662	1,13	1,2	0,52	0,52	0,42	0,155	0,155
1983	0,106	0,14	0,26	0,27	0,66	0,16	1,24	1,16	0,63	0,38	0,21	0,19	0,106
1984	0,21	0,18	0,14	0,16	0,35	0,39	0,76	0,79	0,68	0,37	0,34	0,18	0,14
1985	0,16	0,14	0,14	0,14	0,21	0,68	0,68	0,9	0,29	0,35	0,32	0,14	0,14
1986	0,11	0,12	0,16	0,16	0,16	0,63	0,96	0,38	0,21	0,5	0,17	0,08	0,08
1987	0,15	0,15	0,18	0,2	0,63	0,48	0,77	0,98	0,62	0,48	0,26	0,16	0,15

1988	0,11	0,11	0,04	0,06	0,16	0,81	1,2	0,79	0,92	0,62	0,77	0,29	0,04
1989	0,13	0,11	0,26	0	0,03	0,66	0,746	0,41	0,17	0,22	0,21	0,11	0
1990	0,05	0,05	0,05	0,149	0,32	0,22	0,15	0,533	0,345	0,290	0,26	0,04	0,04
1991	0,07	0,08	0,04	0,09	0,12	0,4	1,94	0,63	0,34	0,05	0,16	0,12	0,04
1992	0,11	0,1	0,07	0,05	0,03	0,14	0,29	0,33	0,13	0,24	0,15	0,11	0,03
1993	0,12	0,09	0,11	0,21	0,22	0,58	0,29	0,2	0,06	0,17	0,11	0,08	0,06
1994	0,1	0,07	0,06	0,12	0,27	0,44	0,15	0,9	0,27	0,05	0,05	0,02	0,02
1995	0,08	0,1	0,04	0,09	0,13	0,07	0,29	0,09	0,22	0,12	0,05	0,11	0,04
1996	0,11	0,09	0,08	0,02	0,07	0,25	1,37	0,04	0,03	0,18	0,08	0,26	0,02
1997	0,07	0,06	0,07	0,07	0,12	0,11	0,56	0,21	0,09	0,09	0,07	0,06	0,06
1998	0,05	0,05	0,04	0,06	0,16	0,37	0,87	0,13	0,09	0,1	0,11	0,08	0,04
1999	0,06	0,07	0,07	0,14	0,18	0,55	0,2	0,23	0,39	0,43	0,17	0,07	0,06
2000	0,06	0,06	0,05	0,11	0,51	0,44	0,29	0,55	0,22	0,24	0,09	0,21	0,05
2001	0,11	0,1	0,14	0,16	0,36	1,15	0,68	0,61	0,34	0,18	0,21	0,19	0,1
2002	0,11	0,11	0,09	0,17	0,38	1,91	0,79	0,44	0,21	0,15	0,38	0,15	0,09
2003	0,1	0,09	0,09	0,16	0,39	0,35	0,4	0,48	0,3	0,34	0,27	0,16	0,09
2004	0,11	0,08	0,08	0,2	0,58	2,86	0,746	0,533	0,345	0,290	0,251	0,155	0,08
2006	0,09	0,07	0,09	0,19	0,38	0,29	1,31	0,25	0,23	0,32	0,32	0,15	0,07
2007	0,11	0,1	0,11	0,14	0,29	0,68	0,55	0,46	0,32	0,27	0,25	0,23	0,1
2008	0,12	0,1	0,09	0,16	0,26	0,75	1,13	0,57	0,46	0,36	0,29	0,2	0,09
2009	0,19	0,14	0,12	0,39	0,19	0,18	0,71	0,48	0,25	0,21	0,18	0,1	0,1
2010	0,07	0,07	0,08	0,14	0,9	1,24	1,05	0,41	0,27	0,34	0,28	0,49	0,07
2011	0,14	0,14	0,49	0,27	0,55	0,57	0,65	0,32	0,3	0,45	0,68	0,28	0,14
2012	0,16	0,13	0,12	0,31	0,87	0,41	0,8	0,98	0,25	0,24	0,21	0,12	0,12
2013	0,12	0,11	0,19	0,13	0,43	0,02	0,32	0,85	0,41	0,21	0,27	0,19	0,02
2014	0,09	0,09	0,1	0,11	0,24	0,68	1,59	0,57	0,28	0,29	0,38	0,24	0,09
2015	0,12	0,15	0,11	0,27	0,18	1,49	0,75	0,67	0,24	0,17	0,19	0,15	0,11

Fuente: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB)

 Dato asumido

- Estación Pte. Australia (Caudales Máximos)

EAAB  
E.S.P.

SIH SISTEMA DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

**504 - CAUDALES MÁXIMOS m3/seg**

**PERÍODO:1971-2016**

**ELEMENTO:20725 (L-016 ) PUENTE AUSTRALIA - RÍO CURUBITAL**

**LATITUD:4°23'**

**DEPTO:BOGOTA**

**TIPO**

**ESTACION: LM**

**CUENCA:RÍO  
BOGOTA**

**LONGITUD:74°08'**

**MUNICIPIO:BOGOTA**

**ENTIDAD:EAAB**

**SUBCUENCA:RÍO  
CURUBITAL**

**ELEVACION:3056.0**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1971	0,84	1,64	1,25	11,25	9,28	29,14	17,07	13,75	16,25	1,38	5,03	0,88	29,14
1972	35,57	2,26	2,15	33,02	12,25	21,5	25,5	23,25	3,01	28,72	9,67	0,56	35,57
1973	0,16	0,2	0,05	0,72	41,08	5,71	19,99	7,74	9,87	6,16	16,4	4,97	41,08
1974	0,26	1,13	2,47	5,81	11,26	8,92	10,02	6,75	2,24	2,07	7,07	0,72	11,26
1975	0,16	0,56	2,36	1,35	9,75	10,85	7,3	7,32	4,02	6,02	4,7	4,43	10,85
1976	1,92	0,2	0,49	4,58	6,74	13,63	15,86	9,58	5,03	8,32	6,02	1,06	15,86
1977	0,15	0,66	1,94	2,53	3,93	4,85	9,13	4,87	7,23	4,35	6,25	0,66	9,13
1978	0,28	2,79	0,28	11,8	5,2	15	7,28	11	2,79	4,4	0,77	0,66	15,00
1979	0,08	0,07	0,09	12,08	9,1	10,08	4,31	8,96	5,83	59,75	7,88	5,69	59,75
1980	1,42	1,8	3,38	27,6	4,89	26,62	10,02	7,33	8,75	20,8	1,74	0,71	27,60
1981	1,39	0,22	1,59	5,34	18,49	7,48	2,44	3,04	5,81	5,7	4,86	2,23	18,49
1982	6,17	0,96	1,64	10,27	9,12	10,155	13,49	11,85	8,32	8,51	2,02	2,841	13,49
1983	1,674	8,34	8,33	11,8	6,22	4,75	7,44	7,37	15,61	3,27	4,19	1,5	15,61
1984	0,72	4,34	0,66	2,01	6,5	10,26	6,33	7,24	4,8	2,19	9,16	1,67	10,26
1985	2,05	0,18	0,18	0,9	27,14	9,83	4,58	8,83	7,22	10,36	4,92	4,11	27,14

1986	1,12	1,63	4,92	2,1	6,8	13,26	10,36	6,2	1,63	7,12	2,3	0,96	13,26
1987	0,31	1,91	0,36	2,14	6,62	4,41	7,84	5,83	3,36	4,61	1,91	1,07	7,84
1988	0,31	0,15	0,11	0,42	5,39	6,06	7,93	8,04	6,78	3,64	2,29	2,13	8,04
1989	0,29	0,3	2,23	2	7,04	7,4	9,548	2,77	2,55	4,49	2,16	1,07	9,55
1990	0,47	0,16	3,84	7,173	5,44	8,64	3,84	7,505	5,807	7,563	2,51	5,77	8,64
1991	0,13	1,05	1,33	3,09	8,46	4,71	7,36	6,270	2,380	4,98	8,39	2,89	8,46
1992	0,74	0,2	0,88	9,76	3,11	7,06	9,98	8,290	8,240	3,84	9,19	7,44	9,98
1993	1,79	1,64	3,69	9,74	7,28	10,84	9,92	5,610	8,330	4,47	7,12	2,46	10,84
1994	0,31	0,34	5,52	6,51	10,05	9,96	10,32	9,820	8,640	7,35	7,11	4,7	10,32
1995	0,49	0,13	4,85	4,96	8,36	9,5	6,81	7,580	4,820	6,79	5,84	4,38	9,50
1996	1,69	11	7,93	6,82	7,46	8,23	10,6	9,910	2,820	6,92	6,39	3,54	11,00
2000	0,33	3,92	5,39	4,02	6,72	4,34	6,09	7,970	7,560	4,12	7,67	3,02	7,97
2001	3,74	1	6,5	13,78	8,44	9,2	8,35	4,870	9,790	0,9	4,06	4,82	13,78
2002	0,26	0,21	0,58	4,1	10,01	12,64	10,78	10,470	2,380	6,03	2,72	0,73	12,64
2003	0,15	0,1	0,28	6,32	4,13	7,95	6,86	2,590	4,080	3,25	2,44	4,23	7,95
2004	0,22	0,2	2,13	6,04	4,97	6,86	9,548	7,505	5,807	7,56	5,36	2,84	9,55
2006	0,59	0,19	4,95	6,11	9,36	3,3	2,96	7,72	3,25	5,6	7,97	0,42	9,36
2007	0,18	0,22	0,16	3,67	4,65	12,69	7,37	6,05	2,34	3,94	1,78	1,95	12,69
2008	0,51	0,31	1,22	1,66	8,73	7,22	7,33	8,13	2,97	12,99	12,42	2,11	12,99
2009	1,96	0,63	2,4	3,96	5,16	7,61	8,98	5,93	4,86	3,1	1,97	0,17	8,98
2010	0,24	0,14	0,29	4,43	6,69	7,32	11,54	2,49	2,9	3,73	8,75	8,22	11,54
2011	0,52	0,62	7,23	11,82	12,32	10,99	10,85	1,58	6,09	5,19	5,48	4,3	12,32
2012	0,3	2,08	5,46	8,1	6,54	17,6	17,93	5,53	8,23	9,18	4,5	3,7	17,93
2013	0,21	0,69	3,4	14,01	16,41	8,94	10,82	4,8	5,34	4,64	0,95	3,06	16,41
2014	0,24	0,12	2,39	7,25	2,63	10,93	9,04	7,98	5,62	5,64	4,66	5,09	10,93
2015	0,37	1,32	0,75	3,06	3,87	9,93	7,76	7,39	4,73	0,42	3,31	2,73	9,93

Fuente: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB)

 Dato Asumido