

**ESTUDIO DE NECESIDAD Y CONVENIENCIA PARA LA INSTALACIÓN DE  
ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS EN LAS CUENCAS LIMAS Y CHIGUAZA.**

**LAURA NATALY TIUSABA QUIROGA – NATALIA BORDA CARREÑO**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS**

**BOGOTÁ D.C – 2018**

**ESTUDIO DE NECESIDAD Y CONVENIENCIA PARA LA INSTALACIÓN DE  
ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS EN LAS CUENCAS LIMAS Y CHIGUAZA.**

**LAURA NATALY TIUSABA QUIROGA – NATALIA BORDA CARREÑO**

**Trabajo de grado para obtener el título de especialista en Recursos Hídricos.**

**ASESOR: HENRY ALBERTO CÓRDOBA ROMERO**

**INGENIERO CIVIL, MSC.**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS**

**BOGOTÁ D.C – 2018**



## Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

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

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

### Bajo las condiciones siguientes:



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



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



**Sin Obras Derivadas** — No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

Nota de aceptación

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Bogotá D.C., Noviembre de 2018.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>14</b>
<b>1 GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO .....</b>	<b>15</b>
1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.....	15
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.2.1 Antecedentes del problema.....	15
1.2.2 Pregunta de investigación .....	19
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	19
1.4 OBJETIVOS.....	20
1.4.1 Objetivo general .....	20
1.4.2 Objetivos específicos .....	20
1.4.3 Alcance .....	20
<b>2 MARCOS DE REFERENCIA .....</b>	<b>21</b>
2.1 MARCO TEÓRICO .....	21
2.2 MARCO CONCEPTUAL .....	22
2.3 MARCO JURÍDICO.....	23
2.3.1 Emplazamiento y exposición .....	23
2.3.2 Inspección de las estaciones.....	24
2.3.3 Definiciones de los patrones de medición .....	25
2.3.4 Características de los instrumentos.....	25
2.3.5 Rendimiento requerido y alcanzable .....	25
2.4 MARCO GEOGRÁFICO.....	26
2.4.1 Quebrada Chiguaza.....	27
2.4.2 Quebrada Limas .....	28
2.5 ESTADO DEL ARTE .....	30
<b>3 METODOLOGÍA.....</b>	<b>41</b>
<b>4 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN .....</b>	<b>42</b>
4.1 RECOPIACIÓN DE DATOS.....	42
4.1.1 EMPRESA DE ACUEDUCTO DE BOGOTÁ – E.A.A.B.....	43
4.1.1.1 Estación Quiba (E.A.A.B.) .....	43

4.1.2	<i>INSTITUTO DISTRITAL DE GESTIÓN DE RIESGOS Y CAMBIO CLIMÁTICO (IDIGER)</i>	
	44	
4.1.2.1	Estación Moralba (IDIGER).....	44
4.1.2.2	Estación Alemania Unificada (IDIGER) .....	44
4.1.2.3	Estación Artillería (IDIGER).....	45
4.1.2.4	Estación Molinos (IDIGER).....	46
4.1.2.5	Estación San Francisco y Quiba (IDIGER) .....	46
4.1.3	<i>INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES –</i>	
<i>IDEAM</i>	47	
4.1.3.1	Estación Colegio Santiago Pérez (IDEAM).....	47
4.1.3.2	Estación San Jorge GJA (IDEAM).....	48
4.2	PROCESAMIENTO DE DATOS .....	49
4.2.1	<i>EMPRESA DE ACUEDUCTO DE BOGOTA – E.A.A.B.</i> .....	49
4.2.1.1	ESTACION QUIBA (E.A.A.B.) .....	49
4.2.1.1.1	COMPARACIÓN GRÁFICA ENTRE MÉTODOS ESTACIÓN QUIBA (E.A.A.B.).....	51
4.2.1.1.2	ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA FUNCIÓN GUMBEL ESTACIÓN QUIBA (E.A.A.B.)	53
4.2.2	<i>ESTACIONES INSITITUTO DISTRITAL DE GESTION DE RIESGOS Y CAMBIO</i>	
<i>CLIMÁTICO (IDIGER)</i> .....		55
4.2.2.1	ESTACIÓN MORALBA (IDIGER).....	55
4.2.2.1.1	COMPARACIÓN GRÁFICA ENTRE MÉTODOS ESTACIÓN MORALBA (IDIGER) .....	58
4.2.2.1.2	ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA FUNCIÓN GUMBEL ESTACIÓN MORALBA (IDIGER)	60
4.2.2.2	ESTACIÓN ALEMANIA UNIFICADA.....	62
4.2.2.2.1	COMPARACIÓN GRÁFICA ENTRE MÉTODOS .....	66
4.2.2.2.2	ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA FUNCIÓN GUMBEL ESTACIÓN ALEMANIA UNIFICADA (IDIGER) .....	68
4.2.2.3	ESTACIÓN ARTILLERÍA (PRECIPITACIÓN).....	70
4.2.2.3.1	COMPARACIÓN GRÁFICA ENTRE MÉTODOS ESTACIÓN ARTILLERÍA (IDIGER)..	73
4.2.2.3.2	ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA FUNCIÓN GUMBEL ESTACIÓN ARTILLERÍA (IDIGER)	74
4.2.2.4	ESTACIÓN MOLINOS (PRECIPITACIÓN – IDIGER).....	76
4.2.2.4.1	COMPARACIÓN GRÁFICA ENTRE MÉTODOS ESTACIÓN MOLINOS (IDIGER).....	80
4.2.2.4.2	ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA FUNCIÓN GUMBEL ESTACIÓN MOLINOS (IDIGER)	82
4.2.2.5	ESTACIÓN SAN FRANCISCO (IDIGER) .....	84

4.2.2.5.1	COMPARACIÓN GRÁFICA ENTRE MÉTODOS ESTACIÓN SAN FRANCISCO (IDIGER)	87
4.2.2.5.2	ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA FUNCIÓN GUMBEL ESTACIÓN SAN FRANCISCO (IDIGER)	89
4.2.2.6	ESTACIÓN QUIBA (IDIGER)	91
4.2.2.6.1	COMPARACIÓN GRÁFICA ENTRE MÉTODOS ESTACIÓN QUIBA (IDIGER)	95
4.2.2.6.2	ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA FUNCIÓN GUMBEL ESTACIÓN QUIBA (IDIGER)	97
4.2.3	<i>ESTACIONES INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM)</i>	99
4.2.3.1	ESTACIÓN COLEGIO SANTIAGO PÉREZ (IDEAM)	99
4.2.3.1.1	COMPARACIÓN GRÁFICA ENTRE MÉTODOS ESTACIÓN COLEGIO SANTIAGO PÉREZ (IDEAM)	102
4.2.3.1.2	ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA FUNCIÓN GUMBEL ESTACIÓN COLEGIO SANTIAGO PÉREZ (IDEAM)	104
4.2.3.2	ESTACIÓN SAN JORGE GJA (IDEAM)	106
4.2.3.2.1	COMPARACIÓN GRÁFICA ENTRE MÉTODOS ESTACIÓN SAN JORGE GJA	109
4.2.3.2.2	ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA FUNCIÓN GUMBEL ESTACIÓN SAN JORGE GJA (IDEAM)	111
4.3	ANÁLISIS DE LA FUNCIÓN DE PROBABILIDAD QUE MAS SE AJUSTA EN LAS ESTACIONES DE LA QUEBRADA CHIGUAZA	113
4.4	ANÁLISIS DE LA FUNCIÓN DE PROBABILIDAD QUE MAS SE AJUSTA EN LAS ESTACIONES DE LA QUEBRADA LIMAS	114
4.5	ANÁLISIS DE LOS DATOS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA	115
4.5.1	<i>ESTACIONES DE LA QUEBRADA CHIGUAZA</i>	116
4.5.2	<i>ESTACIONES DE LA QUEBRADA QUIBA</i>	118
4.6	CURVAS ISOYETAS	121
4.6.1	<i>QUEBRADA CHIGUAZA</i>	121
4.6.2	<i>QUEBRADA LIMAS</i>	124
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>127</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>130</b>
	<b>APÉNDICES</b>	<b>137</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>138</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 LOCALIZACIÓN QUEBRADAS CHIGUAZA Y LIMAS.....	18
FIGURA 2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA QUEBRADAS CHIGUAZA Y LIMAS .....	26
FIGURA 3 UBICACIÓN GEOGRÁFICA ESTACIÓN QUIBA (E.A.A.B.) .....	43
FIGURA 4 UBICACIÓN GEOGRÁFICA ESTACIÓN MORALBA (IDIGER) .....	44
FIGURA 5 UBICACIÓN GEOGRÁFICA ESTACIÓN ALEMANIA UNIFICADA (IDIGER).....	45
FIGURA 6 UBICACIÓN GEOGRÁFICA ESTACIÓN ARTILLERÍA (IDIGER).....	45
FIGURA 7 UBICACIÓN GEOGRÁFICA ESTACIÓN MOLINOS (IDIGER).....	46
FIGURA 8 UBICACIÓN GEOGRÁFICA ESTACIÓN SAN FRANCISCO Y QUIBA (IDIGER).....	46
FIGURA 9 UBICACIÓN GEOGRÁFICA ESTACIÓN COLEGIO SANTIAGO PÉREZ (IDEAM).....	47
FIGURA 10 UBICACIÓN GEOGRÁFICA ESTACIÓN SAN JORGE GJA (IDEAM).....	48
FIGURA 11 ESTADÍSTICA BASE ESTACIÓN QUIBA (E.A.A.B.).....	50
FIGURA 12 COMPORTAMIENTO DATOS DE PRECIPITACIÓN ESTACIÓN QUIBA, CURVA DE DISPERSIÓN (E.A.A.B.) .....	50
FIGURA 13 HISTOGRAMA DATOS DE PRECIPITACIÓN ESTACIÓN QUIBA (E.A.A.B.).....	51
FIGURA 14 CURVA CRONOLÓGICA DATOS DE PRECIPITACIÓN ESTACIÓN QUIBA (E.A.A.B.) .....	51
FIGURA 15 COMPARACIÓN FUNCIONES DE PROBABILIDAD GEV, GUMBEL, PEARSON III ESTACIÓN QUIBA (E.A.A.B.).....	52
FIGURA 16 CRITERIOS DE COMPARACIÓN DE LAS DISTRIBUCIONES ESTACIÓN QUIBA (E.A.A.B.).....	52
FIGURA 17 F.D.P GUMBEL ESTACIÓN QUIBA (E.A.A.B.) .....	53
FIGURA 18 GRÁFICA DISTRIBUCIÓN GUMBEL ESTACIÓN QUIBA (E.A.A.B.) .....	54
FIGURA 19 PRUEBAS DE ESTACIONALIDAD Y HOMOGENEIDAD ANUAL DE LOS DATOS DISTRIBUCIÓN GUMBEL ESTACIÓN QUIBA (E.A.A.B.).....	54
FIGURA 20 RESULTADOS DISTRIBUCIÓN GUMBEL ESTACIÓN QUIBA (E.A.A.B.) .....	55
FIGURA 21 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA ESTACIÓN MORALBA (IDIGER).....	56
FIGURA 22 PRUEBAS DE ESTACIONALIDAD Y HOMOGENEIDAD ANUAL DE LOS DATOS ESTACIÓN MORALBA (IDIGER) .....	56
FIGURA 23 CURVA DE DISPERSIÓN DATOS ESTACIÓN MORALBA (IDIGER).....	57
FIGURA 24 CURVA DE DISPERSIÓN DATOS ESTACIÓN MORALBA (IDIGER).....	57
FIGURA 25 CURVA CRONOLÓGICA ESTACIÓN MORALBA (IDIGER) .....	58
FIGURA 26 COMPARACIÓN FUNCIONES DE PROBABILIDAD GEV, GUMBEL, PEARSON III ESTACIÓN MORALBA (IDIGER) .....	59
FIGURA 27 CRITERIOS DE COMPARACIÓN DE LAS DISTRIBUCIONES ESTACIÓN MORALBA (IDIGER) .....	59
FIGURA 28 F.D.P GUMBEL ESTACIÓN MORALBA (IDIGER).....	60



FIGURA 29 GRÁFICA DISTRIBUCIÓN GUMBEL ESTACIÓN MORALBA (IDIGER) .....	61
FIGURA 30 PRUEBAS DE ESTACIONALIDAD Y HOMOGENEIDAD ANUAL DE LOS DATOS DISTRIBUCIÓN GUMBEL ESTACIÓN MORALBA (IDIGER) .....	61
FIGURA 31 RESULTADOS DISTRIBUCIÓN GUMBEL ESTACIÓN MORALBA (IDIGER).....	62
FIGURA 32 ESTADÍSTICA BASE ESTACIÓN ALEMANIA UNIFICADA (IDIGER) .....	63
FIGURA 33 PRUEBAS DE ESTACIONALIDAD Y HOMOGENEIDAD ANUAL DE LOS DATOS (IDIGER).....	63
FIGURA 34 COMPORTAMIENTO DATOS DE PRECIPITACIÓN ESTACIÓN ALEMANIA UNIFICADA (IDIGER).....	64
FIGURA 35 HISTOGRAMA DATOS DE PRECIPITACIÓN ESTACIÓN ALEMANIA UNIFICADA (IDIGER) .....	64
FIGURA 36 CURVA CRONOLÓGICA DATOS DE PRECIPITACIÓN ESTACIÓN ALEMANIA UNIFICADA (IDIGER).....	65
FIGURA 37 CURVA CRONOLÓGICA DE SUMAS ACUMULATIVAS DATOS DE PRECIPITACIÓN ESTACIÓN ALEMANIA UNIFICADA (IDIGER).....	65
FIGURA 38 COMPARACIÓN FUNCIONES DE PROBABILIDAD GEV, GUMBEL, PEARSON III ESTACIÓN ALEMANIA UNIFICADA (IDIGER).....	66
FIGURA 39 CRITERIOS DE COMPARACIÓN DE LAS DISTRIBUCIONES ESTACIÓN ALEMANIA UNIFICADA (IDIGER) .....	67
FIGURA 40 F.D.P GUMBEL ESTACIÓN ALEMANIA UNIFICADA (IDIGER) .....	68
FIGURA 41 GRÁFICA DISTRIBUCIÓN GUMBEL ESTACIÓN ALEMANIA UNIFICADA (IDIGER).....	68
FIGURA 42 PRUEBAS DE ESTACIONALIDAD Y HOMOGENEIDAD ANUAL DE LOS DATOS DISTRIBUCIÓN GUMBEL ESTACIÓN ALEMANIA UNIFICADA (IDIGER) .....	69
FIGURA 43 RESULTADOS DISTRIBUCIÓN GUMBEL ESTACIÓN ALEMANIA UNIFICADA (IDIGER) .....	69
FIGURA 44 ESTADÍSTICA BASE ESTACIÓN ARTILLERÍA (IDIGER) .....	70
FIGURA 45 PRUEBAS DE ESTACIONALIDAD Y HOMOGENEIDAD ANUAL DE LOS DATOS ESTACIÓN ARTILLERÍA (IDIGER) .....	70
FIGURA 46 COMPORTAMIENTO DATOS DE PRECIPITACIÓN ESTACIÓN ARTILLERÍA (IDIGER).....	71
FIGURA 47 HISTOGRAMA DATOS DE PRECIPITACIÓN ESTACIÓN ARTILLERÍA (IDIGER) .....	71
FIGURA 48 CURVA CRONOLÓGICA DATOS DE PRECIPITACIÓN ESTACIÓN ARTILLERÍA (IDIGER).....	72
FIGURA 49 CURVA CRONOLÓGICA DE SUMAS ACUMULATIVAS DATOS DE PRECIPITACIÓN ESTACIÓN ARTILLERÍA (IDIGER) .....	72
FIGURA 50 COMPARACIÓN FUNCIONES DE PROBABILIDAD GEV, GUMBEL, PEARSON III ESTACIÓN ARTILLERÍA (IDIGER) .....	73
FIGURA 51 CRITERIOS DE COMPARACIÓN DE LAS DISTRIBUCIONES ESTACIÓN ARTILLERÍA (IDIGER) .....	73
FIGURA 52 F.D.P GUMBEL ESTACIÓN ARTILLERÍA (IDIGER) .....	74
FIGURA 53 GRÁFICA DISTRIBUCIÓN GUMBEL ESTACIÓN ARTILLERÍA (IDIGER).....	75
FIGURA 54 PRUEBAS DE ESTACIONALIDAD Y HOMOGENEIDAD ANUAL DE LOS DATOS DISTRIBUCIÓN GUMBEL ESTACIÓN ARTILLERÍA (IDIGER) .....	75

FIGURA 55 RESULTADOS DISTRIBUCIÓN GUMBEL ESTACIÓN ARTILLERÍA (IDIGER) .....	76
FIGURA 56 ESTADÍSTICA BASE ESTACIÓN MOLINOS (IDIGER) .....	77
FIGURA 57 PRUEBAS DE ESTACIONALIDAD Y HOMOGENEIDAD ANUAL DE LOS DATOS ESTACIÓN MOLINOS (IDIGER) .....	77
FIGURA 58 COMPORTAMIENTO DATOS DE PRECIPITACIÓN ESTACIÓN MOLINOS (IDIGER).....	78
FIGURA 59 HISTOGRAMA DATOS DE PRECIPITACIÓN ESTACIÓN MOLINOS (IDIGER).....	78
FIGURA 60 CURVA CRONOLÓGICA DATOS DE PRECIPITACIÓN ESTACIÓN MOLINOS (IDIGER).....	79
FIGURA 61 CURVA CRONOLÓGICA DE SUMAS ACUMULATIVAS DATOS DE PRECIPITACIÓN ESTACIÓN MOLINOS (IDIGER) .....	79
FIGURA 62 COMPARACIÓN FUNCIONES DE PROBABILIDAD GEV, GUMBEL, PEARSON III ESTACIÓN MOLINOS (IDIGER) .....	80
FIGURA 63 CRITERIOS DE COMPARACIÓN DE LAS DISTRIBUCIONES ESTACIÓN MOLINOS (IDIGER) .....	81
FIGURA 64 F.D.P GUMBEL ESTACIÓN MOLINOS (IDIGER) .....	82
FIGURA 65 GRÁFICA DISTRIBUCIÓN GUMBEL ESTACIÓN MOLINOS (IDIGER).....	82
FIGURA 66 PRUEBAS DE ESTACIONALIDAD Y HOMOGENEIDAD ANUAL DE LOS DATOS DISTRIBUCIÓN GUMBEL ESTACIÓN MOLINOS (IDIGER) .....	83
FIGURA 67 RESULTADOS DISTRIBUCIÓN GUMBEL ESTACIÓN MOLINOS (IDIGER) .....	83
FIGURA 68 ESTADÍSTICA BASE ESTACIÓN SAN FRANCISCO (IDIGER).....	84
FIGURA 69 PRUEBAS DE ESTACIONALIDAD Y HOMOGENEIDAD ANUAL DE LOS DATOS ESTACIÓN SAN FRANCISCO (IDIGER) .....	85
FIGURA 70 COMPORTAMIENTO DATOS DE PRECIPITACIÓN ESTACIÓN SAN FRANCISCO (IDIGER) .....	85
FIGURA 71 HISTOGRAMA DATOS DE PRECIPITACIÓN ESTACIÓN SAN FRANCISCO (IDIGER).....	86
FIGURA 72 CURVA CRONOLÓGICA DATOS DE PRECIPITACIÓN ESTACIÓN SAN FRANCISCO (IDIGER) .....	86
FIGURA 73 CURVA CRONOLÓGICA DE SUMAS ACUMULATIVAS DATOS DE PRECIPITACIÓN ESTACIÓN SAN FRANCISCO (IDIGER) .....	87
FIGURA 74 COMPARACIÓN FUNCIONES DE PROBABILIDAD GEV, GUMBEL, PEARSON III ESTACIÓN SAN FRANCISCO (IDIGER) .....	88
FIGURA 75 CRITERIOS DE COMPARACIÓN DE LAS DISTRIBUCIONES ESTACIÓN SAN FRANCISCO (IDIGER).....	88
FIGURA 76 F.D.P GUMBEL ESTACIÓN SAN FRANCISCO (IDIGER).....	89
FIGURA 77 GRÁFICA DISTRIBUCIÓN GUMBEL ESTACIÓN SAN FRANCISCO (IDIGER) .....	90
FIGURA 78 PRUEBAS DE ESTACIONALIDAD Y HOMOGENEIDAD ANUAL DE LOS DATOS DISTRIBUCIÓN GUMBEL ESTACIÓN SAN FRANCISCO (IDIGER).....	90
FIGURA 79 RESULTADOS DISTRIBUCIÓN GUMBEL ESTACIÓN SAN FRANCISCO (IDIGER).....	91
FIGURA 80 ESTADÍSTICA BASE ESTACIÓN QUIBA (IDIGER).....	92
FIGURA 81 PRUEBAS DE ESTACIONALIDAD Y HOMOGENEIDAD ANUAL DE LOS DATOS ESTACIÓN QUIBA (IDIGER) ....	92

FIGURA 82 COMPORTAMIENTO DATOS DE PRECIPITACIÓN ESTACIÓN QUIBA (IDIGER) .....	93
FIGURA 83 HISTOGRAMA DATOS DE PRECIPITACIÓN ESTACIÓN QUIBA (IDIGER) .....	93
FIGURA 84 CURVA CRONOLÓGICA DATOS DE PRECIPITACIÓN ESTACIÓN QUIBA (IDIGER) .....	94
FIGURA 85 CURVA CRONOLÓGICA DE SUMAS ACUMULATIVAS DATOS DE PRECIPITACIÓN ESTACIÓN QUIBA (IDIGER) .....	94
FIGURA 86 COMPARACIÓN FUNCIONES DE PROBABILIDAD GEV, GUMBEL, PEARSON III ESTACIÓN QUIBA (IDIGER).	95
FIGURA 87 CRITERIOS DE COMPARACIÓN DE LAS DISTRIBUCIONES ESTACIÓN QUIBA (IDIGER) .....	96
FIGURA 88 F.D.P GUMBEL ESTACIÓN QUIBA (IDIGER).....	97
FIGURA 89 GRÁFICA DISTRIBUCIÓN GUMBEL ESTACIÓN QUIBA (IDIGER) .....	98
FIGURA 90 PRUEBAS DE ESTACIONALIDAD Y HOMOGENEIDAD ANUAL DE LOS DATOS DISTRIBUCIÓN GUMBEL ESTACIÓN QUIBA (IDIGER) .....	98
FIGURA 91 RESULTADOS DISTRIBUCIÓN GUMBEL ESTACIÓN QUIBA (IDIGER).....	99
FIGURA 92 ESTADÍSTICA BASE ESTACIÓN COLEGIO SANTIAGO PÉREZ (IDEAM) .....	100
FIGURA 93 COMPORTAMIENTO DATOS DE PRECIPITACIÓN ESTACIÓN COLEGIO SANTIAGO PÉREZ (IDEAM).....	100
FIGURA 94 HISTOGRAMA DATOS DE PRECIPITACIÓN ESTACIÓN COLEGIO SANTIAGO PÉREZ (IDEAM) .....	101
FIGURA 95 CURVA CRONOLÓGICA DATOS DE PRECIPITACIÓN ESTACIÓN COLEGIO SANTIAGO PÉREZ (IDEAM) .....	101
FIGURA 96 COMPARACIÓN FUNCIONES DE PROBABILIDAD GEV, GUMBEL, PEARSON III ESTACIÓN COLEGIO SANTIAGO PÉREZ (IDEAM) .....	102
FIGURA 97 CRITERIOS DE COMPARACIÓN DE LAS DISTRIBUCIONES ESTACIÓN COLEGIO SANTIAGO PÉREZ (IDEAM) .....	103
FIGURA 98 F.D.P GUMBEL ESTACIÓN COLEGIO SANTIAGO PÉREZ (IDEAM).....	104
FIGURA 99 GRÁFICA DISTRIBUCIÓN GUMBEL ESTACIÓN COLEGIO SANTIAGO PÉREZ (IDEAM).....	105
FIGURA 100 PRUEBAS DE ESTACIONALIDAD Y HOMOGENEIDAD ANUAL DE LOS DATOS DISTRIBUCIÓN GUMBEL ESTACIÓN COLEGIO SANTIAGO PÉREZ (IDEAM) .....	105
FIGURA 101 RESULTADOS DISTRIBUCIÓN GUMBEL COLEGIO SANTIAGO PÉREZ (IDEAM) .....	106
FIGURA 102 ESTADÍSTICA BASE ESTACIÓN SAN JORGE GJA (IDEAM) .....	107
FIGURA 103 COMPORTAMIENTO DATOS DE PRECIPITACIÓN ESTACIÓN SAN JORGE GJA (IDEAM).....	107
FIGURA 104 HISTOGRAMA DATOS DE PRECIPITACIÓN ESTACIÓN SAN JORGE GJA (IDEAM) .....	108
FIGURA 105 CURVA CRONOLÓGICA DATOS DE PRECIPITACIÓN ESTACIÓN SAN JORGE GJA (IDEAM).....	108
FIGURA 106 COMPARACIÓN FUNCIONES DE PROBABILIDAD GEV, GUMBEL, PEARSON III ESTACIÓN SAN JORGE GJA (IDEAM).....	109
FIGURA 107 CRITERIOS DE COMPARACIÓN DE LAS DISTRIBUCIONES ESTACIÓN SAN JORGE GJA (IDEAM) .....	110
FIGURA 108 F.D.P GUMBEL ESTACIÓN SAN JORGE GJA (IDEAM) .....	111
FIGURA 109 GRÁFICA DISTRIBUCIÓN GUMBEL ESTACIÓN SAN JORGE GJA (IDEAM).....	112

FIGURA 110 PRUEBAS DE ESTACIONALIDAD Y HOMOGENEIDAD ANUAL DE LOS DATOS DISTRIBUCIÓN GUMBEL ESTACIÓN SAN JORGE GJA (IDEAM) .....	112
FIGURA 111 RESULTADOS DISTRIBUCIÓN GUMBEL SAN JORGE GJA (IDEAM) .....	113
FIGURA 112 PRECIPITACIÓN MÁXIMA ESTACIÓN MORALBA IDIGER .....	116
FIGURA 113. PRECIPITACIÓN MÁXIMA ESTACIÓN ALEMANIA UNIFICADA IGIDER .....	116
FIGURA 114 PRECIPITACIÓN MÁXIMA ESTACIÓN ARTILLERÍA IDIGER.....	117
FIGURA 115 PRECIPITACIÓN MÁXIMA ESTACIÓN MOLINOS IDIGER.....	117
FIGURA 116 PRECIPITACIÓN MÁXIMA ESTACIÓN SANTIAGO PÉREZ IDEAM.....	118
FIGURA 117 PRECIPITACIÓN MÁXIMA ESTACIÓN SAN JORGE GJA IDEAM .....	118
FIGURA 118. PRECIPITACIÓN MÁXIMA ESTACIÓN QUIBA ACUEDUCTO .....	119
FIGURA 119. PRECIPITACIÓN MÁXIMA ESTACIÓN SAN FRANCISCO .....	119
FIGURA 120. PRECIPITACIÓN MÁXIMA ESTACIÓN QUIBA - IDIGER .....	120
FIGURA 121. CUENCA QUEBRADA CHIGUAZA.....	122
FIGURA 122. CURVAS ISOYETAS (QUEBRADA CHIGUAZA).....	123
FIGURA 123. CUENCA QUEBRADA LIMAS .....	124
FIGURA 124. CURVAS ISOYETAS (QUEBRADA LIMAS).....	125

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1 MARCO CONCEPTUAL.....	22
TABLA 2 FASES DE TRABAJO.....	41
TABLA 3 COMPARACIÓN DE FACTORES PARA FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD EN LA ESTACIÓN QUIBA (E.A.A.B.).....	53
TABLA 4 COMPARACIÓN DE FACTORES PARA FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD EN LA ESTACIÓN MORALBA – IDIGER.....	60
TABLA 5 COMPARACIÓN DE FACTORES PARA FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD EN LA ESTACIÓN ALEMANIA UNIFICADA – IDIGER .....	67
TABLA 6 COMPARACIÓN DE FACTORES PARA FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD EN LA ESTACIÓN ARTILLERÍA – IDIGER .....	74
TABLA 7 COMPARACIÓN DE FACTORES PARA FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD EN LA ESTACIÓN MOLINOS – IDIGER .....	81
TABLA 8 COMPARACIÓN DE FACTORES PARA FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD EN LA ESTACIÓN SAN FRANCISCO – IDIGER.....	89
TABLA 9 COMPARACIÓN DE FACTORES PARA FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD EN LA ESTACIÓN QUIBA – IDIGER.....	96
TABLA 10 COMPARACIÓN DE FACTORES PARA FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD EN LA ESTACIÓN COLEGIO SANTIAGO PÉREZ – IDEAM.....	103
TABLA 11 COMPARACIÓN DE FACTORES PARA FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD EN LA ESTACIÓN SAN JORGE GJA – IDEAM.....	110
TABLA 12 CONSOLIDADO DE LA FUNCIÓN DE PROBABILIDAD QUE MÁS SE AJUSTÓ POR ESTACIÓN .....	114
TABLA 13 CONSOLIDADO DE LA FUNCIÓN DE PROBABILIDAD QUE MÁS SE AJUSTÓ POR ESTACIÓN .....	115

## INTRODUCCIÓN

Dado que a lo largo del tiempo las quebradas Chiguaza y Limas han sufrido altas crecidas, causantes de inundaciones que han generado estados de emergencia en las áreas de influencia de las mismas. Se buscó a través de un estudio de necesidad y conveniencia identificar la carencia de información en cuanto a la precipitación, con el fin de obtener posibles puntos para la ubicación de estaciones pluviométricas, logrando de esta manera tener un mejor control y monitoreo de las mismas.

La Quebrada Chiguaza, está ubicada entre las localidades Rafael Uribe Uribe, San Cristóbal y Tunjuelito en la ciudad de Bogotá, es uno de los afluentes del río Tunjuelo en el sur de la ciudad. Su cauce principal tiene una longitud de aproximadamente 7 km y su cuenca tiene un área de  $18.9 \text{ km}^2$ . (Forero, 2015). La quebrada Limas atraviesa zonas urbanas y rurales de la localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, posee una longitud de 10.5 kilómetros y tiene su origen en el Nacedero Chapemonte en la vereda de Quiba. (Moreno Villamil & Montenegro Gualtero, 2013).

De entidades tales como EAAB, IDIGER e IDEAM se obtuvieron datos hidrometeorológicos de estaciones, a las cuales se les realizó un análisis estadístico en Hyfran; por lo cual es importante resaltar que, si bien el enfoque de este trabajo son datos de precipitación, se realizó de manera paralela análisis superficial a datos de caudales medios mensuales ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), humedad (%) y nivel (m), los cuales se detallan en el Apéndice 1 del presente documento.

Resultado del estudio realizado, se encontró que tanto la Quebrada Chiguaza como la Limas, poseen estaciones pluviométricas suficientes y con una distribución adecuada para efectuar control y monitores de las mismas, del análisis efectuado se pudo establecer que en las diferentes entidades hace falta seguimiento y mantenimiento de estos sensores para garantizar datos confiables y continuos a lo largo del tiempo.

# **1 GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO**

## **1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Gestión y tecnología para la sustentabilidad, eje temático Saneamiento de comunidades.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.2.1 Antecedentes del problema**

A lo largo de los años la quebrada Chiguaza ha sufrido varios desbordamientos, tales como los ocurridos en mayo de 1994, el cual dejó seis muertos, un desaparecido, 60 casas destruidas y 822 damnificados en su recorrido hasta el río Tunjuelito. (El Tiempo Navia, Jose, 1999), el año siguiente a la ocurrencia de este evento, en el mes de mayo, se presentó otro desbordamiento de esta quebrada el cual, si bien fue de menor impacto, también causó daños materiales a la población cercana a la misma. En el año 2002 al igual que en los eventos antes mencionados, el 30 de mayo se presentaron grandes precipitaciones en la cuenca alta de la quebrada Chiguaza, situación que ocasionó que los niveles de esta se incrementaran, hasta que finalmente sobre el medio día la quebrada superó los jarillones de protección y se desbordó hacia el barrio Tunjuelito. El 1 de junio de este año se produjo la inundación de la cantera conocida como Pozo Azul dentro de la Escuela de Artillería y luego de la Cantera Santa María de propiedad CEMEX S.A. El almacenamiento de agua en las canteras amortiguó la creciente del río Tunjuelo y protegió, de grandes inundaciones, a los barrios en la cuenca baja del río, sin embargo el día 9 de junio debido a una creciente del río Tunjuelo, se rompió el tabique en la cantera INGENIESA S.A., parte del caudal siguió su cauce normal y parte se almacenó en la cantera hasta que finalmente llegó a la cantera de Pozo Azul, la cual ya había sido afectada, lo que causó el desbordamiento hacia la quebrada Chiguaza y nuevamente al barrio Tunjuelito. Afectando 578 predios donde residían 1.078 familias compuestas por 1.484 niños y 2.524 adultos. (Alcaldía Mayor de Bogotá / Dirección de Prevención y Atención de Emergencias - DPAE, 2003).

Por otro lado, existen predios con alto riesgo de inundación por crecidas en la quebrada Limas al igual que la Chiguaza; el 21 de agosto de 2014 el IDIGER emitió concepto técnico en el cual se identificaron 820 predios “En la zona de amenaza alta por avenidas torrenciales e inundación de la quebrada Limas”. Son 526 predios construidos y 294 lotes vacíos, distribuidos en 11 barrios. Alrededor de 584 familias, 2.194 personas. (El Espectador. Hernández Osorio, Carlos, 2015).

En consonancia con lo anterior, es importante resaltar que el cambio climático afecta de la misma forma a todo el país y se acentúa más en unas regiones que otras, en tanto algunas regiones son afectadas por incrementos de temperatura y falta de lluvia, otras sufren por torrenciales tormentas que causan desbordamiento de los ríos y quebradas, generando inundaciones en las zonas de vivienda de muchas comunidades. (Universidad Nacional de Colombia. Instituto de Estudios Ambientales - IDEEA, 2009)

Uno de los fenómenos que inciden en los cambios climáticos son los conocidos como el Niño" y su fase opuesta "la Niña", los cuales corresponden a las componentes oceánicas del ENOS y, en términos generales, a la aparición, de tiempo en tiempo, de aguas superficiales relativamente más cálidas (El Niño) o más frías (La Niña) que lo normal en el Pacífico tropical central y oriental, frente a las costas del norte de Perú, Ecuador y sur de Colombia. (José Edgar Montealegre Bocanegra - IDEAM, 2007, pág. 6)

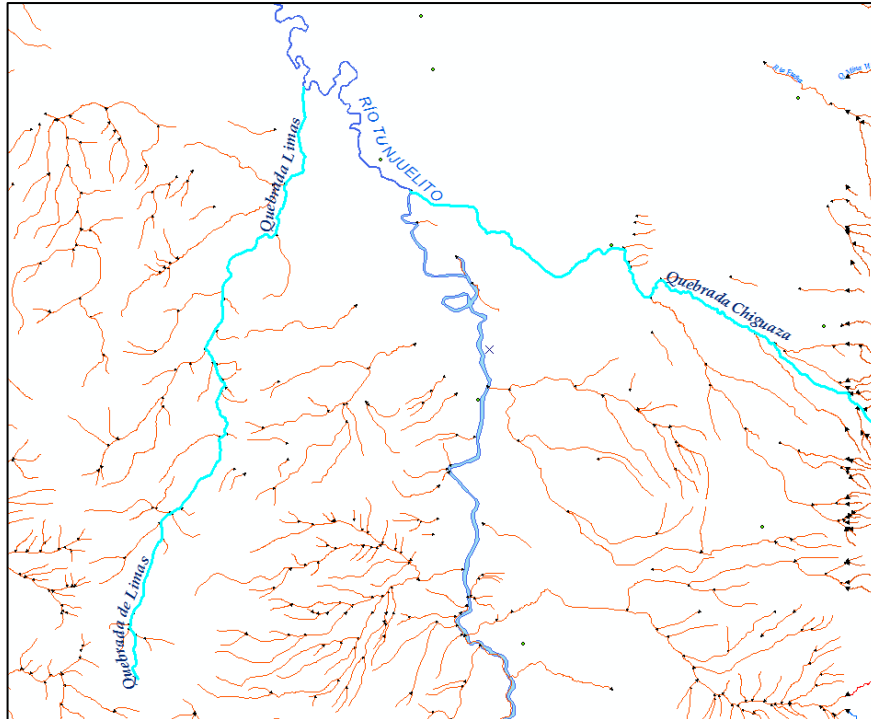
Estos fenómenos tienen una gran influencia sobre el comportamiento de la climatología y su variabilidad en las regiones del país. En el 2015 la marcada alteración en los patrones de lluvia, se tradujo en un déficit significativo de la disponibilidad hídrica, como consecuencia de las largas sequías, el descenso de los niveles de los ríos que restringieron la oferta hídrica tanto para consumo humano, como para el desarrollo de actividades productivas; el aumento de la radiación solar derivado del predominio de las condiciones secas que incrementó la tasa de evaporación de las fuentes hídricas, fueron entre otras algunas de las afectaciones que surgieron como el reflejo del Niño. (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2016, pág. 20) Por otro lado, el efecto de “La Niña” en



nuestro país se caracteriza por un aumento considerable de las precipitaciones (anomalías positivas) y una disminución de las temperaturas (anomalías negativas) en la región Andina, mientras que en la zona oriental (Orinoquía y Amazonía), dichas variables tienden a un comportamiento cercano a lo normal, sin ser muy claro el patrón climatológico ante la presencia de un evento frío. La ocurrencia de un fenómeno como “La Niña”, sugiere un acoplamiento del océano y la atmósfera y de acuerdo con lo expuesto a final de enero de 2011 por la Organización Meteorológica Mundial (Por consenso de diversos centros climáticos del mundo), se ha caracterizado por un importante componente atmosférico, según revelan los indicadores correspondientes, se trata de uno de los episodios más intensos del último siglo, con un fuerte acoplamiento océano-atmósfera. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, s.f.)

Considerando los anteriores antecedentes junto con los índices de desbordamientos por crecidas en los cauces de las quebradas, se observa que la comunidad asentada en los alrededores se ve altamente afectada, generando en la mayoría de los casos el desequilibrio económico de las familias damnificadas por daños materiales, es por esta razón que es importante monitorear y controlar las condiciones hidrológicas de los cauces de las cuencas, dado que se pueden realizar planes de acción que permitan mitigar los riesgos. (Consejo Local de Gestión del Riesgo de Desastres - CLGRD, 2017 - 2018)

En cuanto a la problemática planteada anteriormente, se observa que las quebradas Chiguaza y Limas, identificadas en la Figura 1, presentan fallas en el sistema de drenaje debido a las modificaciones hechas en el lecho del mismo, reformas estas que han generado como consecuencia la disminución de la capacidad hidráulica de las cuencas y adicionalmente resultan en condiciones desfavorables que en el tiempo pueden presentar riesgo para los habitantes de la zona.



**Figura 1 Localización quebradas Chiguaza y Limas**

**Fuente: Autores**

Diferentes entidades estatales cuentan con estaciones hidrometeorológicas distribuidas a lo largo de la ciudad de Bogotá y sus alrededores, algunas de las cuales contribuyen al control y monitoreo de cauces con riesgos potenciales de desbordamientos por tormentas en temporadas invernales, a continuación, se relaciona el listado de las entidades:

- IDIGER.
- IDEAM
- CAR
- SECRETARIA DE AMBIENTE
- ACUEDUCTO DE BOGOTÁ

Dado que las variaciones en la precipitación se han presentado por encima del índice normal en gran parte del territorio nacional y el impacto y afectaciones que pueden llegar a tener tanto en los sistemas naturales como humanos, es importante conocer las falencias o los factores que pueden generar condiciones aptas para que se repitan episodios anteriores, es por esto que se hace el estudio de necesidad y conveniencia con el fin de detectar que puntos débiles o que vacíos hay en la información que se tiene actualmente, con el objetivo de obtener un monitoreo completo en las zonas de estudio.

### **1.2.2 Pregunta de investigación**

Teniendo en cuenta los problemas presentados por desbordamiento en las quebradas Chiguaza y Limas, a causa de las variaciones climáticas (Temporadas invernales), surge el siguiente interrogante: ¿La ausencia de estaciones pluviométricas dificulta tener un monitoreo completo para la generación de alertas tempranas en las cuencas urbanas?

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Teniendo en cuenta que hay un déficit de información en la zona debido a las pocas estaciones que están ubicadas en las cuencas Chiguaza y Limas. Se busca mediante estudios de necesidad y conveniencia identificar la carencia de información en cuanto a la precipitación y si se requiere generar la posible ubicación de estaciones pluviométricas en las cuencas, con el fin de obtener información relevante que contribuya a controlar los riesgos existentes por crecidas en los cauces de estas cuencas. De aquí, radica la importancia de realizar este estudio de necesidad y conveniencia.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo general**

Identificar las zonas de las quebradas Chiguaza y Limas que presentan ausencia de estaciones pluviométricas de acuerdo a las estaciones actualmente ubicadas con el fin de determinar la necesidad de monitoreo de las mismas.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Elaborar un diagnóstico de la información actual que se captura de las quebradas Chiguaza y Limas.
- Establecer la necesidad de monitoreo de las quebradas.
- Escoger los tipos de estaciones a implementar.

### **1.4.3 Alcance**

Realizar una relación de las estaciones pluviométricas existentes de las diferentes entidades de monitoreo hidrológico, con base en ello y en los lineamientos establecidos para la ubicación de este tipo de estaciones, si se requiere, determinar los posibles puntos de instalación con el fin de obtener un monitoreo completo y mitigar el riesgo de inundación en las comunidades aledañas a las quebradas Chiguaza y Limas.

## 2 MARCOS DE REFERENCIA

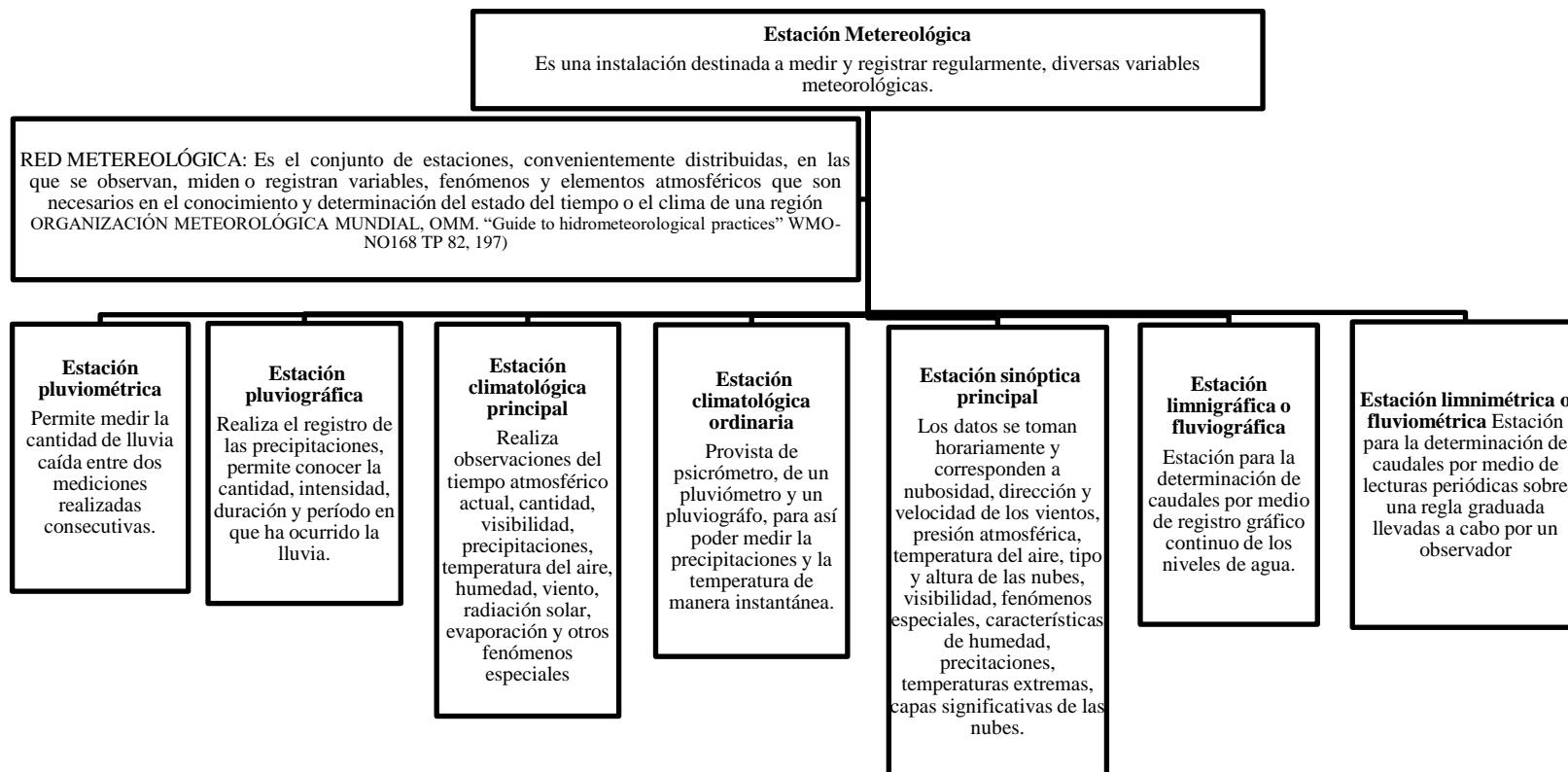
### 2.1 MARCO TEÓRICO

A partir de los requisitos establecidos por la Organización Meteorológica Mundial OMM, entidades de orden nacional como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM han elaborado sus propios protocolos para el monitoreo hidrológico, tales como:

**Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento del Agua.** Este documento en su componente de observación y medición de aguas superficiales, sirve como un aporte científico destinado a los usuarios en el sector productivo nacional, autoridades ambientales regionales y locales, sector de prevención y atención de desastres y comunidad en general. Este pretende orientar el monitoreo y seguimiento del agua a través de los indicadores del agua, de tal manera que las decisiones a tomar por el gobierno nacional, departamental y local se realicen con soporte en datos e información debidamente estandarizados desde su origen, logrando con ello una mejor descripción del estado y proyecciones de los recursos hídricos del país. (IDEAM Costa Posada, Carlos; Rivera, Hebert Gonzalo; Romero Pinzón, Henry; Olaya Triana, Guillermo; Wilches Suárez, Hernando; Contreras Trujillo, Claudia; Niño Romero, Raul; Sanchez, F. D., 2007)

## 2.2 MARCO CONCEPTUAL

**Tabla 1 Marco Conceptual**



**Fuente:** (PCE Instruments, s.f.)

## **2.3 MARCO JURÍDICO**

En la OMM se establecen los requisitos generales que debe cumplir una estación meteorológica, es por esto que a partir de los lineamientos que sugiere esta entidad, a continuación, se presenta un resumen de los elementos que deben implementarse según el tipo de estación, la red de observación y las pautas que se deben tener en cuenta para llevar a cabo la instalación de las mismas.

Las estaciones meteorológicas de observación están concebidas para poder efectuar mediciones representativas según el tipo de la estación a implementar. Por tanto, una estación de la red sinóptica debe hacer observaciones que se ajusten a los requisitos de la escala sinóptica. Cuando las estaciones se utilizan con diversos fines, por ejemplo, aeronáuticos, sinópticos y climatológicos, los requisitos más estrictos determinarán la ubicación precisa de un emplazamiento de observación y sus sensores asociados. (Organización Meteorológica Mundial OMM-N°8, 2010)

### **2.3.1 Emplazamiento y exposición**

En cuanto a la elección del emplazamiento y a los requisitos de exposición de los instrumentos de una estación sinóptica o climatológica típica en una red regional o nacional se establece:

El tipo de terreno, las condiciones del mismo, el emplazamiento, la distancia entre cualquiera de esos obstáculos, las condiciones en que se deben encontrar los documentos (Organización Meteorológica Mundial OMM-N°8, 2010). Es particularmente importante minimizar los efectos de los cambios de instrumentos y de los cambios de emplazamiento de instrumentos específicos. Aunque se conozcan bien las características estáticas de nuevos instrumentos, cuando estos se desplieguen operacionalmente podrán introducir cambios aparentes en la climatología del emplazamiento. Para obviar esta eventualidad, las observaciones realizadas con nuevos instrumentos deben compararse durante un amplio periodo (al menos un año; véase la Guía de prácticas climatológicas (OMM, 1983)) antes de abandonar el sistema de medición previo. Lo mismo se aplica en caso de un cambio de emplazamiento. Si este procedimiento no puede

aplicarse en todos los emplazamientos, es esencial realizar comparaciones en emplazamientos representativos seleccionados, para tratar de deducir cambios en los datos de medición que pueden deberse a una nueva tecnología o a cambios forzados de emplazamiento. (Organización Meteorológica Mundial OMM-N°8, 2010)

### **2.3.2 Inspección de las estaciones**

Todas las estaciones sinópticas terrestres y las estaciones climatológicas principales deberían inspeccionarse al menos una vez cada dos años. Las estaciones meteorológicas agrícolas y las estaciones especiales deberían inspeccionarse a intervalos suficientemente cortos para garantizar el mantenimiento de una elevada calidad de las observaciones, así como el correcto funcionamiento de los instrumentos. (Organización Meteorológica Mundial OMM-N°8, 2010)

La OMM establece los requisitos que deben cumplir los instrumentos registradores utilizados en meteorología, ubicación de los mismos, consideraciones a tener en cuenta para un óptimo funcionamiento y las características convenientes tales como: Incertidumbre, según el requisito especificado para la variable de que se trate, fiabilidad y estabilidad, facilidad de funcionamiento, calibración y mantenimiento, sencillez de diseño que sea coherente con los requisitos, durabilidad. Para mayor información remitirse al documento (Organización Meteorológica Mundial OMM-N°8, 2010)

Las calibraciones iniciales de los instrumentos revelarán, en general, desviaciones del resultado ideal, por lo que será preciso efectuar correcciones en los datos observados durante las operaciones normales. Es importante conservar las correcciones con los instrumentos en el emplazamiento de observación y dar a los observadores indicaciones claras sobre su uso. (Organización Meteorológica Mundial OMM-N°8, 2010).



### **2.3.3 Definiciones de los patrones de medición**

Las fuentes de error pueden ser reducidos si las operaciones se efectúan con sumo cuidado y el terreno es adecuado para el emplazamiento, por un lado, pero, por otro, pueden aportar errores muy grandes. Sin embargo, a veces no se tienen en cuenta al considerar los errores, como si la calibración en laboratorio del sensor pudiera definir totalmente los errores. Tanto los errores sistemáticos como los aleatorios surgen en todas las fases anteriores. En meteorología es difícil establecer el valor verdadero. Comparando sobre el terreno instrumentos bien concebidos pueden determinarse las características de los instrumentos para dar una buena estimación de la incertidumbre. (Organización Meteorológica Mundial OMM-N°8, 2010)

### **2.3.4 Características de los instrumentos**

Se han extraído de ISO (2008) otras propiedades de instrumentos que es preciso conocer para considerar su exactitud en cuanto a sensibilidad, discriminación, resolución, histéresis, estabilidad (de un instrumento), deriva, tiempo de respuesta (Organización Meteorológica Mundial OMM-N°8, 2010)

### **2.3.5 Rendimiento requerido y alcanzable**

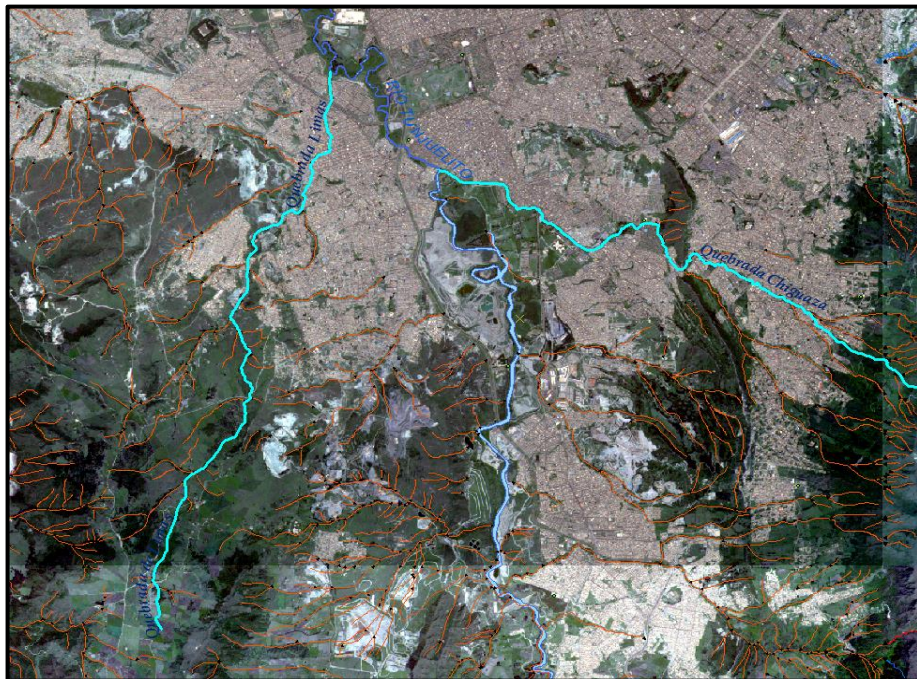
El rendimiento de un sistema de medición comprende su fiabilidad, el capital, los gastos fijos y de amortización y la resolución espacial, pero el rendimiento que interesa en este contexto se limita a la incertidumbre (incluida la resolución de escala) y la resolución en el tiempo. (Organización Meteorológica Mundial OMM-N°8, 2010)

La capacidad de los distintos sensores o sistemas de observación para cumplir los requisitos especificados cambia constantemente, a medida que avanza la tecnología relativa a instrumentos y observación. Las características de los sensores o sistemas típicos de que se dispone actualmente se indican en el anexo 1. D10 de la Guía de Instrumentos y Métodos de Observación

Meteorológicos OMM-N° 8. Debería señalarse que la incertidumbre operativa alcanzable en muchos casos no responde a los requisitos especificados. En el caso de algunas de las magnitudes, estas incertidumbres solo pueden lograrse con el equipo y los procedimientos de la máxima calidad. (Organización Meteorológica Mundial OMM-N°8, 2010)

## 2.4 MARCO GEOGRÁFICO

A continuación, se presenta la ubicación geográfica de las quebradas objeto de estudio y se realiza una breve descripción de las mismas.



**Figura 2 Ubicación geográfica quebradas Chiguaza y Limas**

**Fuente: Autores**

### 2.4.1 Quebrada Chiguaza

La Chiguaza nace en el cerro de Zuque, Páramo de la Tempestad. Hace 65 años era aún un inmenso riachuelo donde, según cuentan los habitantes del sector, se bañaban y de la que incluso consumían el agua. Esta quebrada alimentaba una pequeña laguna ubicada en lo que hoy se conoce como el barrio Molinos II. La cuenca de esta quebrada tiene una extensión de 1.794 hectáreas, de las cuales el 80% se encuentra urbanizado (Secretaría Distrital de Cultura, Recreación y Deportes. Observatorio de Culturas, 2008, pág. 34). La Quebrada Chiguaza, es afluente del río Tunjuelo, de la cual contempla área de tres localidades, la parte alta de la quebrada y donde nace en los cerros orientales que corresponde a la localidad de San Cristóbal y una pequeña parte de la localidad de Usme, la parte media - baja Rafael Uribe Uribe, ubicada en la localidad de Tunjuelito, estas localidades hacen parte de la ciudad Bogotá.

La Quebrada Chiguaza limita al norte con los barrios Altos del Virrey, Puente Colorado, Panorama, La Cabana Altamira, La Gloria, San Martín de Loba, Rincón del Valle, Los Puentes, El Rosal, Urbanización Los Molinos, Ladrilleras Los Molinos de San José, Los Molinos del Sur, Abraham Lincoln, Tunjuelito y San Benito; al sur con la cuchilla de Juan Rey, Quindío II sector. La Nueva Gloria, San Jacinto, Urbanización Villa del Cerro, Canadá la Güira II sector, la Península Diana Turbay, Los Molinos II, el Bosque de los Molinos, San Agustín, La Picota Oriental, Área Escuela de Artillería. Al oriente limita con los cerros orientales de Bogotá y al occidente con el río Tunjuelo. Como lugares especiales, destacan el Parque Entre Nubes, el sector el Valle, el sector de los Puentes, el sector de los Molinos I y II y la desembocadura en el río Tunjuelo. (Herrán Álvarez, Marcela Patricia Universidad Santo Tomás, 2017)

En el suelo urbano, la UPZ Los Libertadores figura con la mayor área protegida con 91 ha., pues allí se ubica el parque urbano Arboledas, dos zonas incorporadas y sujetas a revisión por el Ministerio del Medio Ambiente y la quebrada Chiguaza con su ronda. (Secretaría Distrital de Planeación, 2009, pág. 15). Los pisos térmicos que tiene la localidad de San Cristóbal van desde una altitud cercana a los 2.600 msnm hasta los 3.500 msnm, en donde nacen un gran número de

quebradas y existen bosques nativos y montunos en las principales quebradas en la que se destaca la Quebrada Chiguaza Alta. (Secretaría de Hacienda; Departamento Administrativo de Planeación, 2004, pág. 11)

En relación con los usos actuales del suelo, en San Cristóbal hay 83.450 predios, de los cuales 65.969 son residenciales y 17.481 no residenciales. En cuanto a la zona rural, hay 116 predios, 45 con vivienda y 71 sin construcciones residenciales. En San Cristóbal el estimado de suelo disponible para la construcción 131,4 ha, configurándose como la novena localidad con más suelo disponible. Para gestionar el desarrollo de este suelo, se definió el instrumento de declaratoria de desarrollo prioritario. (CLGR-CC, 2017, pág. 13)

#### **2.4.2 Quebrada Limas**

La quebrada Limas es estratégica en función de su ubicación en la transición urbano- rural. (JBB. Avances intervención realizada en la microcuenca quebrada limas). La modificación del cauce de esta quebrada debido al crecimiento poblacional ha contribuido a los eventos de inundaciones presentados, razón por la cual es de alta importancia su seguimiento y monitoreo.

Por consiguiente, la quebrada Limas se convierte en uno de los principales ecosistemas loticos que atraviesan Ciudad Bolívar, siendo el de mayor tamaño y caudal que se encuentra en la localidad. Nace en la Zona Rural de Ciudad Bolívar, más exactamente en Quiba Alto (Serranía de Quiba) a 3500 msnm, recorre la localidad en sentido suroccidente - nororiente. Tiene una extensión de alrededor de 10.5 Km hasta encontrarse con el Río Tunjuelo, en su recorrido recibe varios afluentes como las quebradas Quiba, Chorro colorado, Brazo. Derecho. (Herrera Molina & IDEA, 2017) (Universidad Nacional de Colombia. Instituto de Estudios Ambientales - IDEA, 2009)

A lo largo de su cauce se asientan los barrios Villa Candelaria, Arborizadora Alta, San Francisco, Cerro Colorado, El Mirador, Juan Pablo II, Villa Gloria, Villas El Diamante, San Rafael, Bella Flor Sur, Nueva Esperanza, Los Alpes Sur, Bella Flor, La Torre, Bella Flor, Sur

Rural, Cordillera del Sur y dos veredas en la zona rural (Quiba Alta y Baja), con una población aproximada de 50000 habitantes, pertenecientes a los estratos socioeconómicos 0, 1 y 2. Presenta procesos de asentamientos informales, que se han ido legalizando y reubicando en los últimos 4 años. (Herrera Molina & IDEA, 2017) En la quebrada Limas existen numerosos asentamientos, que se originan en la parte alta con los barrios San Joaquín y Nueva Colombia y se extienden en la parte media, donde se ubican barrios como Juan José Rondón y Marandú, invadiendo así la ronda de esta quebrada. En otros barrios como Meissen, México, y Candelaria, en la convergencia de la quebrada con el río Tunjuelito, también se presenta este riesgo. (Alcaldía Mayor de Bogotá D. C; Localidad 19 Ciudad Bolívar, 2017)

En la quebrada Limas se han identificado actores sociales tales como:

- Familias campesinas: Localizadas en el área rural en las veredas de Quiba Alta y Quiba Baja. Productores de papa y alverja. Realizan actividades de ganadería y pastoreo. Interactúan económicamente en actividades urbanas.
- Familias Urbanas: La cuenca media y baja tiene diversidad de actores urbanos, principalmente en desarrollos de vivienda progresivos. Los estratos 1 y 2 predominan en la matriz urbana
- Juntas de acción comunal: La cuenca media y baja tiene diversidad de actores urbanos. Cada uno de los 31 barrios y las 2 veredas de la microcuenca cuentan con una Junta de Acción Comunal, organismo social que representa a la comunidad. (Hernández, Andrés Ramírez; Corporación Construyendo Hábitat, 2009)

## 2.5 ESTADO DEL ARTE

El monitoreo del agua se refiere a todas aquellas actividades que se realizan con el objetivo de establecer el comportamiento y tendencias de las distintas variables del recurso hídrico, y todas las posibles causas que puedan incidir en la respuesta de cuencas ante eventos importantes tales como precipitaciones máximas, actualmente se han hecho varios estudios para comprender las respuestas de una cuenca ante varios de los agentes que pueden alterar su condición.

En la actualidad se enfrenta un desafío importante en la forma de garantizar la sostenibilidad de los recursos hídricos, y esto es más difícil debido a la insuficiencia de datos hidrológicos en países en desarrollo (Qian y Leung, 2007; Leung et al., 2013; Hong et al., 2016). Se requieren las técnicas de precipitación y pronóstico de escorrentía que brindan evidencia y datos de referencia significativos para apuntalar los recursos hídricos planificación, diseño y gestión. Wangdong@nju.edu.cn (D. Wang), yuankunw@nju.edu.cn (Y. Wang). (0013-9351 / © 2017 la editorial Elsevier en su publicación *The Journal of Hydrology* publicó el artículo “*Un enfoque de eliminación de ruidos de ondículas híbridas y de análisis de pares de clasificación para pronosticar series de tiempo hidrometeorológicas*” Plantean métodos de aprendizaje automático, en donde se basan esencialmente en técnicas estadísticas para modelos predictivos teniendo en cuenta la contaminación acústica de datos de entrada y la sobre complejidad de los enfoques de cálculo en presente. Para superar estos inconvenientes, un enfoque híbrido WD-RSPA se propuso aprovechar al máximo la eliminación de ruidos de las ondículas y el rango para mejorar la precisión y la facilidad de la hidrometeorología. Para examinar la efectividad del enfoque WD-RSPA en comparación con otras técnicas estándar, se usó nueve medidas estadísticas para evaluar el rendimiento del modelo y se encuentro que WDRSPA el enfoque es preciso, factible y efectivo, y casi invariablemente el mejor entre los diversos métodos comparados. Lo que hace que la técnica WD-RSPA útil en el estudio de los recursos hidrometeorológicos y otras series de tiempo. (Wang, y otros, 2018)

Teniendo en cuenta lo anterior se podría tomar las técnicas estadísticas como alternativas de solución para la compresión y sostenibilidad de los recursos hídricos.

En cuanto a los análisis probabilísticos la Facultad de Ciencias Naturales y Vida, Hassiba Ben Bouali Universidad de Chlef y laboratorio GEE, ENSH, Blida, A, la editorial Elsevier en su publicación *The Journal of Hydrology*, artículo “*Caracterización y predicción de la sequía meteorológica utilizando modelos estocásticos en la cuenca semiárida de Chélif-Zahrez (Argelia)*”. Tenía como propósito proporcionar información cuantitativa sobre la sequía meteorológica (Índice de Precipitación Estandarizado, SPI) para las condiciones climáticas semiáridas del norte de África utilizando modelos estocásticos, es decir en el sitio y las probabilidades distribuidas espacialmente en transiciones temporales usando cadenas de Markov, probabilidades de recurrencia utilizando el modelo de series de tiempo más adecuado. (Habibi, Meddi, Torfs, & Remaoun, 2018)

El modelo ajustado se aplicó en la interpolación, los modelos que se probaron en este estudio, fueron, modelo esférico, modelo exponencial, modelo gaussiano, modelo de potencia y modelo lineal. El análisis mostró que las secuencias húmedas y secas que comienzan con un año seco se describen mejor mediante un modelo exponencial, mientras que las secuencias que comienzan con un año húmedo se explican mejor con un modelo lineal. El modelo estocástico se aplicó para determinar el SPI para un rango de períodos de retorno para cada estación de precipitación. El enfoque APARCH parecía ser la mejor forma de predecir los periodos de retorno de las sequías meteorológicas. Este estudio contribuye al conocimiento sobre la sequía meteorológica en las regiones semi áridas. (Habibi, Meddi, Torfs, & Remaoun, 2018)

El resultado del estudio apoyará autoridades de riego y agricultura para mejorar la gestión y planificación de la sequía, que también debería incluir el desarrollo de estrategias de adaptación a la sequía a largo plazo basadas en la recurrencia y las probabilidades de transición de los sistemas meteorológicos actuales para una mejor comprensión de la sequía climatología en todo el mundo, que considera una amplia gama de condiciones ambientales.

Para hacer un completo análisis se debe tener en cuenta la reacción de la cuenca a los cambios climáticos y la incidencia en la misma (Épocas de altas temperaturas y en época de precipitación).

El cambio climático reciente y fenómenos meteorológicos anormales han dado lugar a un aumento de las apariciones de lluvias, el medio ambiente ha cambiado en relación con la precipitación, en términos de tiempo de concentración, Seong-Sim Yoon \* ID y Byongju Lee Instituto WISE, Universidad Hankuk de Estudios Extranjeros, Yongin-si, Gyeonggi-do 17035, (2017); en su artículo “*Efectos del uso de redes de pluviómetros de alta densidad y datos meteorológicos en radar urbano*”. Se basaron en estudios en cuencas urbanas, utilizando redes de pluviómetros de alta densidad, partiendo de la necesidad de medir con precisión las intensas lluvias que se producen en un área específica durante un período corto de tiempo. La investigación sobre estimación y pronóstico de inundaciones urbanas ha empleado mayoritariamente datos de radar el cual proporcionó resultados más precisos y mejoró la distribución espacial determinada de la lluvia. (Yoon & Lee, 2017)

A partir de las estaciones base, estas compañías ahorran costos adicionales relacionados con la transmisión de datos, porque las redes ya están establecidas y las estaciones proporcionan ubicaciones óptimas para el sistema, mediante el uso de los datos de la red de pluviómetros más densa y los datos del radar meteorológico, para analizar el efecto de alta densidad de pluviometría y datos de radar en términos de cantidad y distribución espacial de la lluvia. Los sensores SKP (SK Planet) están configurados al estándar (Administración Meteorológica de Corea) KMA para recopilar datos meteorológicos, cada minuto en tiempo real. Los datos utilizados en este estudio se recopilaron a través de SKP y KMA. (Yoon & Lee, 2017)

El formato (UF) y la mayoría de las fuentes de variación aleatoria de la señal, generadas por factores externos al sistema, tal como tierra, mar, luz estroboscópica sol, y el desorden AP, se eliminaron usando los algoritmos del Grupo de Sensores Integrados a Nivel Mundial para Hidrometeorología (WISH). Sin embargo, la heterogeneidad de la distribución espacial de la lluvia



puede ser mejor realizada por radar ya que las precisiones de los análisis de escorrentía en cuencas urbanas se mejoran con este método. Un radar generalmente proporcionará mejores estimaciones de precipitación cuantitativa con una resolución más alta, especialmente en la cuenca considerada. (Yoon & Lee, 2017)

El objetivo del análisis de los recursos hídricos, es abarcar todos los agentes posibles que puedan generar cambios en la cuenca y así establecer áreas vulnerables en la cuenca, para hacer un completo análisis se deben abarcar todas las alternativas posibles ya sean las modernas o las tradicionales para entender el comportamiento de la cuenca el cual se afecta por variables hidrometeorológicas.

Para tener un análisis hidrológico completo es importante conocer la relación entre los eventos de lluvia y la respuesta a corto plazo del suelo, prestando especial atención a las condiciones iniciales del suelo, a su vez relacionado con la respuesta hidrológica. Luca Comegna, Emilia Damiano, de Roberto Greco, Andrea Guida, Lucio Olivares, y Luciano Picarelli (2015) en su artículo “*El campo de monitoreo hidrológico de un depósito piroclástico poco profunda en pendiente*”. Tratan sobre el registro simultáneo teniendo en cuenta la altura de la precipitación, succión del suelo y el contenido volumétrico de agua a diversas profundidades por debajo de la superficie del suelo. Los datos recogidos permitieron distinguir entre las variaciones lentas estacionales de succión del suelo y el contenido de agua, las cuales están esencialmente relacionadas con la historia de la precipitación a largo plazo (semanas o incluso meses), y los efectos a corto plazo de eventos de lluvia individuales. Los de largo plazo afectan a las condiciones iniciales a partir del cual comienza la respuesta a corto plazo de la cubierta del suelo opuesto. Por lo tanto, los efectos de la precipitación sobre las variaciones de humedad del suelo son fuertemente influenciados por las condiciones iniciales del suelo. (Comegna, y otros, 2016)

Es importante investigar los controles hidrometeorológicos empleados para el control de inundaciones, por ello la editorial Elsevier en su publicación *The Journal of Hydrology*, incluyó el artículo denominado “*¿Cuáles son los controles hidro-meteorológicos sobre las características*

*de inundación?*”, ya que dada la ocurrencia de inundaciones severas en los años 2002 y 2013 con devastadores resultados en el país de Alemania por desbordamientos del río Elba, un grupo de investigadores de diferentes entidades como son el Instituto de Meteorología e Investigación del Clima – Departamento de Investigación troposfera (IMK-TRO), Instituto Tecnológico de Karlsruhe (KIT), Centro Alemán de Investigación para Geociencias (GFZ) y el Instituto de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente de la Universidad de Potsdam, realizó un estudio investigativo con el fin de generar un modelo experimental que permitiera observar el comportamiento de las inundaciones basados en simulaciones de precipitación, a través de la generación de escorrentía en la cuenca, que como resultado en los procesos de inundación demuestran que las variables estacionales y condiciones hidrológicas, es decir, patrones de humedad del suelo y de las condiciones meteorológicas están estrechamente relacionadas con las características a considerar en una inundación. Con base en estos resultados elaboraron un estudio del control de la interacción de los patrones de humedad del suelo, como un indicador de las condiciones previas al evento hidrológico y de los patrones climáticos, como sustituto de las condiciones de eventos meteorológicos, a través de una variedad de características de inundación. Esto teniendo en cuenta que dichas características incluyen no solo indicadores de magnitud de inundación y severidad, sino también indicadores que cuantifican la duración del sistema fluvial afectado por las inundaciones o el impacto de las mismas en la sociedad. (Nied, Schröter, Lüdtke, Nguye, & Merz, 2017)

Es importante resaltar que estos estudios se realizaron con base en datos obtenidos de estaciones hidrometeorológicas proporcionados por el Servicio Meteorológico Alemán (DWD) y el Instituto Hidrometeorológico Checo, sin embargo esta información como en la mayoría de los casos fue completada y corregida por falta de homogeneidad, teniendo en cuenta estos antecedentes se pudieron proyectar tormentas sintéticas para trabajar los modelos realizados, que han demostrado que los eventos de inundaciones a gran escala pueden ser generados ya sea por las condiciones de humedad del suelo extremas o por precipitación evento extremo - o por una combinación de ambos. (Nied, Schröter, Lüdtke, Nguye, & Merz, 2017)

En concordancia con lo anterior, se debe tener presente que la comprensión de la generación de inundaciones y los impactos de estas en la cuenca del río a gran escala son de especial interés ya que es esta en la que la política nacional de riesgo, así como la gestión de desastres y la planificación tienen que tener lugar. A esta escala, las inundaciones tienen que ser vistas en su contexto espacio-temporal en lugar de un único valor extremo en un sitio determinado. (Nied, Schröter, Lüdtke, Nguye, & Merz, 2017)

La importancia de la elaboración de este tipo de estudios permite a los gobiernos de cada país tomar las medidas necesarias para mitigar los riesgos latentes por inundación, y demuestra la importancia de contar con datos hidrometeorológicos proporcionados por estaciones de monitoreo y control. Para el caso específico de las quebradas Chiguaza y Limas a partir de los datos meteorológicos proporcionados por las estaciones que se ubican en estos puntos, se puede establecer la necesidad de estudio para la ubicación de nuevas estaciones con el fin de mitigar riesgos latentes en ésta áreas.

Las actividades realizadas según el uso del suelo en diferentes partes del mundo se ven afectadas directamente por la disponibilidad de los recursos hídricos, por ello la editorial Elsevier en su publicación *The Journal of Hydrology*, incluyó el artículo “Evaluación de proxies de modelos satelitales para servicios hidrometeorológicos en el alto Zambezi” el cual se expone a continuación:

En la actualidad la agricultura de secano es decir en la que el ser humano no contribuye a al riego de los campos, sino que utiliza únicamente el agua que proviene de la lluvia, es la actividad económica principal en África subsahariana, razón por la cual un experto de la Universidad de Zululand, KwaDlangezwa de Sudáfrica y la Universidad de Puerto Rico, estudió la variabilidad climática de la cuenca alta del río Zambeze en África, ya que afecta altamente esta región del mundo, según estimaciones se espera que la población de mil millones de África se duplique para 2050 y los recursos pueden no satisfacer la demanda. Los déficits hídricos son inevitables en la

temporada de primavera cuando se envía a gran parte de África para remover la vegetación. (Jury, 2017)

Los excedentes en la corta temporada de lluvias se rigen por el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y sus vínculos con los Océanos Atlántico e Índico adyacentes. Los informes meteorológicos oportunos y los pronósticos precisos son esenciales para la reducción de riesgos, pero el monitoreo hidrometeorológico en África ha disminuido en paralelo con comunicaciones poco fiables y una capacidad institucional limitada. Por tal razón se han realizado modelos de predicción numérica global del tiempo (NWP) – Modelos satelitales, los cuales son útiles para las mediciones hidrometeorológicas in situ cuando se calibran adecuadamente, sin embargo y si bien los datos meteorológicos indirectos de satélites y los modelos pueden interpolarse a través de las redes de estaciones incluso a escala horaria, las mediciones in situ del nivel del agua y de la descarga de los ríos son esenciales para los pronósticos hidrológicos africanos y la mitigación del riesgo de inundación. Por lo tanto el uso de sistemas de monitoreo a través de modelos satelitales debe estar acompañados de una red adecuada de estaciones hidrometeorológicas. (Jury, 2017)

En este estudio se realizó un análisis de las condiciones de la cuenca alta del río Zambeze, por medio de modelos satelitales y se obtuvo como resultado que se puede realizar un monitoreo efectivo de esta por medio de dichos modelos, siempre y cuando se tenga una red en línea automatizada de  $\pm 20$  estaciones meteorológicas y  $\pm 10$  medidores de flujo para suficiente, dada la capacidad del modelo de satélite para interpolar entre las observaciones y la variabilidad estacional de la zona. (Jury, 2017).

Como se observa en este estudio si bien se emplean herramientas adicionales a las estaciones hidrometeorológicas, como lo son los modelos satelitales, no se pueden realizar sin el acompañamiento de las mismas, de allí la importancia de tener una red, no necesariamente amplia, pero si actualizada y bien ubicada de estaciones que coadyuven al monitoreo y control de las cuencas, como es nuestro caso de estudio.

La página web scientific.net realizó la publicación del artículo “*Impactos del cambio climático en la distribución de las lluvias en Teluk Intan*”, en este se presenta una investigación realizada para establecer el impacto que produce el cambio climático en la intensidad de la precipitación sobre la cuenca Teluk Intan en Malasia, con datos de 5 estaciones distribuidas en la zona, tomando como variables la precipitación y temperatura máximas con frecuencias diarias y mensuales durante un periodo de 10 años, partiendo de estudios globales en los que se relaciona el cambio climático con la intensidad de los diferentes fenómenos climatológicos, entre estos el aumento de la temperatura y la precipitación en ciertas regiones. (Zahudi, Adnan, Amat, Erfen, & Ali, 2015)

A través del análisis probabilístico de los datos obtenidos de las estaciones, usando los métodos de distribución de probabilidad de Log-Pearson III y Gumbel, los cuales fueron validados mediante métodos gráficos y pruebas de ajuste para determinar la mejor distribución para cada estación, se observó que solo tres de las cinco estaciones eran útiles para el estudio y se podía aplicar en estas los métodos mencionados de distribución de probabilidad, obteniendo como resultado la existencia de una correlación baja entre la precipitación y la temperatura, manteniendo el régimen de lluvias en el periodo estudiado sin mayores cambios, sin embargo es posible que en periodos de tiempo más grandes la distribución de temperaturas afecte de forma directa la precipitación. (Zahudi, Adnan, Amat, Erfen, & Ali, 2015)

Teniendo en cuenta lo antes mencionado, se demuestra la importancia de tener una buena o adecuada cantidad estaciones y su correcta distribución espacial en las cuencas para aproximarnos a resultados más confiables y acertados.

A nivel mundial el monitoreo hidrológico es de alta importancia, es por esto que con el pasar del tiempo se buscan tecnologías innovadoras y avanzadas para llevar a cabo esta labor. El artículo “*Consideraciones respecto a las condiciones hidrometeorológicas de los últimos 3-5 años en el Área de Baia Mare*” muestra como en ciudad de Baia Mare en Rumania, se llevó a cabo la instalación de una estación meteorológica denominada Oregon Scientific Weather Station WMR

100, esta es una estación meteorológica profesional, equipada con un sistema de control central que facilita el acceso inmediato a la información sobre la consola de manejo; por medio de este equipo se realiza la supervisión continua de las condiciones meteorológicas y datos del tiempo con el fin de crear una base de datos meteorológicos, para generar informes mensuales y anuales sobre el clima, información sumamente importante tanto en el medio ambiente como en el área socioeconómica de la región. Los equipos de esta estación incluyen un sensor exterior que consiste en un termo higrómetro, anemómetro con paleta, un pluviómetro y un barómetro. Cuyo procesamiento de datos se realiza a través de un software especializado que permite a los profesionales a cargo transformar los datos en mapas para publicación. (Cioruta, Coman, & Alin, 2013)

Con esta información se generan pronósticos, modelos de simulación para visualizar la evolución y la dinámica de las condiciones meteorológicas hidroeléctricas que se presentan en zona urbana de Baia Mare, con el fin de tener en cuenta que todos los aspectos deben ser integrados con los elementos de la información ambiental y el desarrollo sostenible de las comunidades locales y regionales. (Cioruta, Coman, & Alin, 2013)

Tal como refleja la anterior información, el uso de estaciones hidrometeorológicas es sumamente relevante en el monitoreo y control de las condiciones del clima y recursos hídricos, adicionalmente su ubicación y tipo permitirán hacer un seguimiento efectivo para prevenir potenciales riesgos en las regiones, objetivos estos que se encuentran en línea con el desarrollo de nuestro proyecto.

Retomando las investigaciones nacionales, en Colombia la revista Politécnica ISSN, de la ciudad de Medellín en su volumen No. 9 realizó la publicación del artículo *“Modelación espacial para la ubicación de estaciones meteorológicas en cuencas hidrográficas”* en este se presentó el trabajo de investigación realizado para efectuar la instrumentación de la microcuenca de la Quebrada denominada “La Presidenta” ubicada en la zona suroriental del Municipio de Medellín, esto debido al alto interés de la misma para la ciudad de Medellín, por sus importantes proyectos

de expansión urbana y teniendo en cuenta que los eventos hidrológicos extremos que allí se presenten pueden desencadenar inundaciones y movimientos en masa que afecten en gran medida obras de infraestructura y usuarios en particular. Trabajo que se llevó a cabo mediante el diseño, calibración y puesta en operación de una red de estaciones meteorológicas. (Valdés Quintero, Parra Toro, & Herrera Cadavid, 2013)

La posible ubicación de las estaciones se generó empleando la modelación de 4 potenciales escenarios en la cuenca, por medio de análisis multivariados, que permitieran combinar entre sí las variables involucradas; esta labor se llevó a cabo empleando la herramienta de ArcGis versión 10.1 por medio de la funcionalidad Model Builder a través de la metodología AHP de Saaty, la cual involucra todos los aspectos del proceso de toma de decisiones: modela el problema a través de una estructura jerárquica, la cual, utiliza una escala de prioridades basada en la preferencia de un elemento sobre otro, y de este modo combina multiplicidad de escalas correspondientes a los diferentes criterios, sintetizando los juicios emitidos y entregando un ranking u ordenamiento de las alternativas de acuerdo a los pesos obtenidos (prioridades). (Saaty, 2000), posibilitando de esta manera aumentar las variables para evaluar, en un futuro cercano, el riesgo hidrológico en la zona de estudio. (Valdés Quintero, Parra Toro, & Herrera Cadavid, 2013)

No obstante lo anterior y a pesar que con este modelamiento se obtuvieron posibles ubicaciones para las estaciones, las diversas características que deben cumplir para su instalación, como son las características físicas y de barreras naturales o constructivas, complejizan la ubicación de los dispositivos, haciendo necesario reevaluar algunos lugares y buscando realizar la ubicación en instituciones educativas públicas y privadas, por las garantías que las mismas ofrecen, para ello en muchos casos los trámites administrativos se deben realizar por medio de convenios interinstitucionales o de cooperación. (Valdés Quintero, Parra Toro, & Herrera Cadavid, 2013)

En virtud de lo anterior se puede mencionar que la metodología propuesta permite obtener resultados consistentes con lo esperado en el terreno, aunque la realidad sobre el proceso de ubicación – principalmente requerimientos logísticos y administrativos, limita en gran medida los

lugares para instalar finalmente los dispositivos. (Valdés Quintero, Parra Toro, & Herrera Cadavid, 2013)

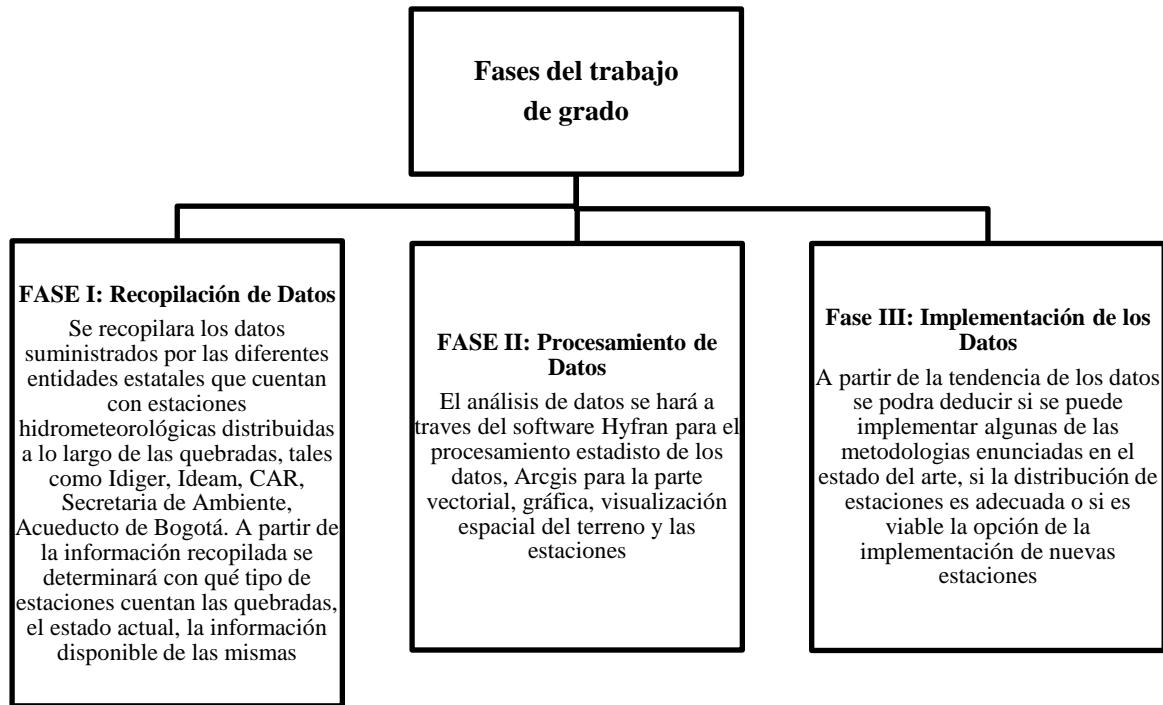
Actualmente, es común atribuir los desastres generados por las inundaciones a factores tales como la variabilidad del clima y el Cambio Climático. Angélica M. Enciso Yesid Carvajal Escobar, María C. Sandoval (2015) en su artículo “*Análisis hidrológico de las inundaciones históricas en el valle superior del río Cauca*” Identificaron las variaciones en los procesos hidrológicos de la cuenca a través de la predicción de los flujos de inundación, llevando a cabo un análisis detallado que integra factores que afectan a los flujos de extremos en la cuenca, el cambio de uso del suelo y la variabilidad climática asociada principalmente a fenómenos como ( El Niño, La Niña). (Enciso, Escobar, & Sandoval, 2016)

A partir de los análisis en la precipitación máxima en 24 horas con el fin de estudiar las inundaciones en cuencas torrenciales y los análisis de frecuencia, se puede concluir que las funciones sugeridas comunes se pueden implementar para el estudio de la conducta máxima, Gumbel y funciones logarítmicas normales tienden a estimar las tasas de flujo más altas para períodos de retorno mayores de 50 años, la función log-Pearson tipo III presenta el mejor ajuste en la serie hidrológica y tiende a producir un valor constante para alto tiempo de retorno.



### 3 METODOLOGÍA

**Tabla 2 Fases de Trabajo**



**Fuente: Autores**

## 4 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

### 4.1 RECOPIACIÓN DE DATOS

Se realizó la recopilación de datos de las estaciones existentes de las entidades señaladas a continuación y las cuales poseen estaciones pluviométricas en las cuencas de estudio.

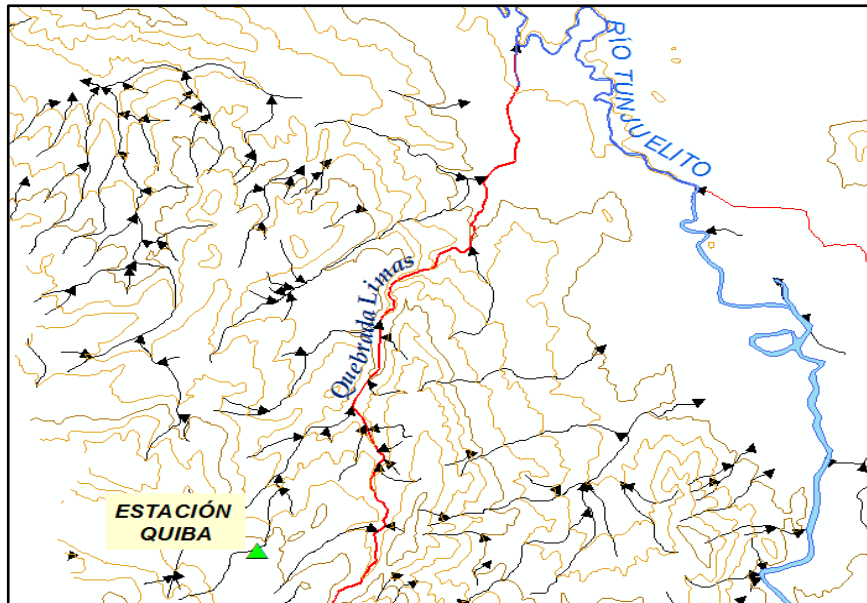
- ACUEDUCTO DE BOGOTÁ
- IDIGER.
- IDEAM

De las entidades anteriormente enunciadas se obtuvieron datos de estaciones a las cuales se les realizó un análisis estadístico pero no se enuncian dentro del trabajo puesto que no hacen parte del enfoque del estudio, estas estaciones son: Quebrada Chiguaza Canadá se obtuvieron datos de caudales medios mensuales ( $m^3/s$ ) para un total de 21 años, (Ver Anexo 1), Estación Artillería se obtuvieron datos de humedad (%) se obtuvo información desde el año 2015 hasta septiembre de 2018 (Ver Anexo 2) y se obtuvieron datos de nivel (m) con datos desde el año 2014 hasta septiembre de 2018, los cuales se detallarán en el Anexo 1, de la estación Molinos se obtuvieron datos de nivel (m) la estación ha tomado datos desde el año 2014 hasta septiembre de 2018, los cuales se detallarán en el Anexo1 del presente documento. A partir de estos datos se procedió a hacer la organización de los mismos y una vez organizados se trabajó en Hyfran. El análisis se puede consultar en el Apéndice 1, sin embargo es importante señalar que el presente trabajo se enfoca en el análisis de precipitación.

## 4.1.1 EMPRESA DE ACUEDUCTO DE BOGOTÁ – E.A.A.B.

### 4.1.1.1 Estación Quiba (E.A.A.B.)

Hace parte de la red de estaciones del Acueducto de Bogotá, ubicada en la en la Quebrada Limas como se puede evidenciar en la Figura 3.



**Figura 3 Ubicación geográfica Estación Quiba (E.A.A.B.)**

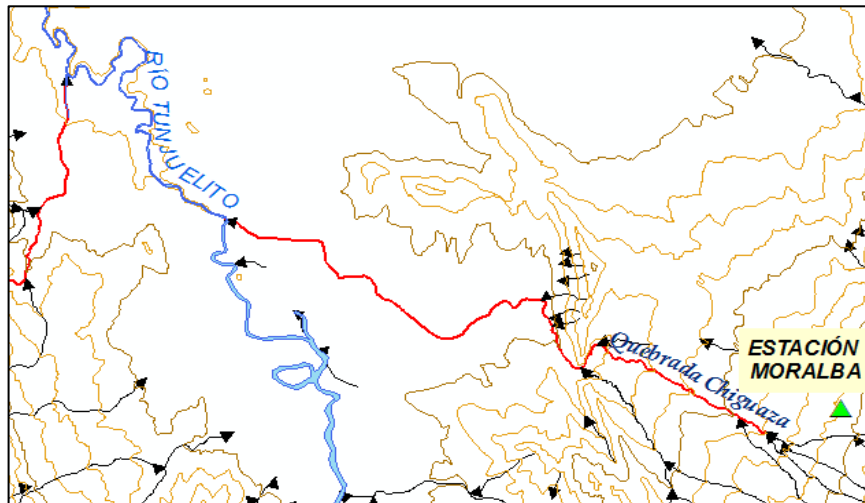
**Fuente: Autores**

Los datos proporcionados por empresa de Acueducto de Bogotá se encuentran en el Anexo 1 del presente documento.

## 4.1.2 INSTITUTO DISTRITAL DE GESTIÓN DE RIESGOS Y CAMBIO CLIMÁTICO (IDIGER)

### 4.1.2.1 Estación Moralba (IDIGER)

Hace parte de la red de estaciones del IDIGER, corresponde una estación Limnimétrica (LM) ubicada en la en la Quebrada Chiguaza como se puede evidenciar en la Figura 4.

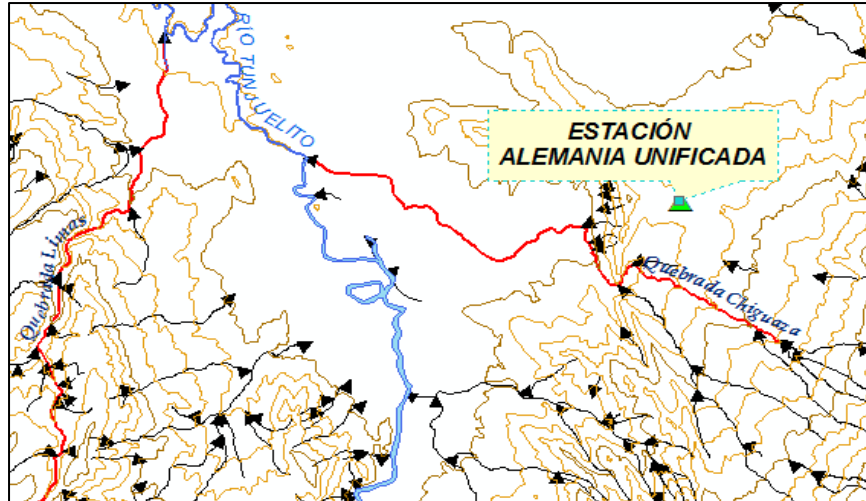


**Figura 4 Ubicación geográfica Estación Moralba (IDIGER)**

**Fuente: Autores**

### 4.1.2.2 Estación Alemania Unificada (IDIGER)

La presente estación se encuentra ubicada en la Quebrada Chiguaza como se puede evidenciar en la Figura 5. Esta toma datos de precipitación en (mm).

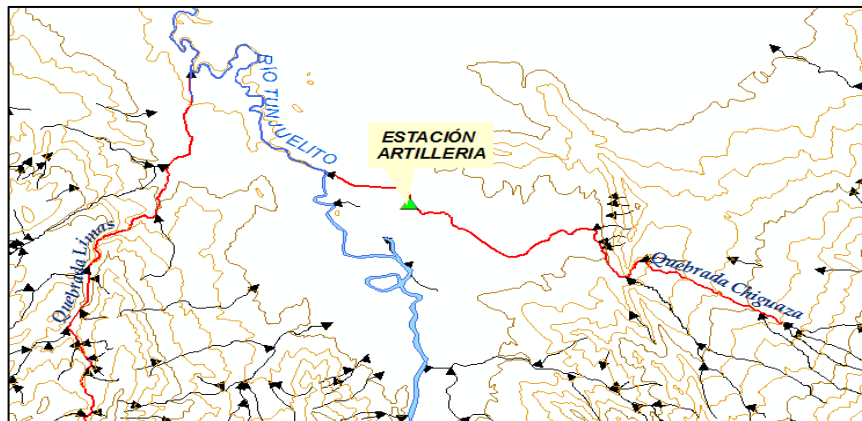


**Figura 5 Ubicación geográfica Estación Alemania Unificada (IDIGER)**

**Fuente: Autores**

#### **4.1.2.3 Estación Artillería (IDIGER)**

La presente estación toma datos de precipitación, humedad y nivel, se encuentra ubicada en la Quebrada Chiguaza como se puede evidenciar en la Figura 6.

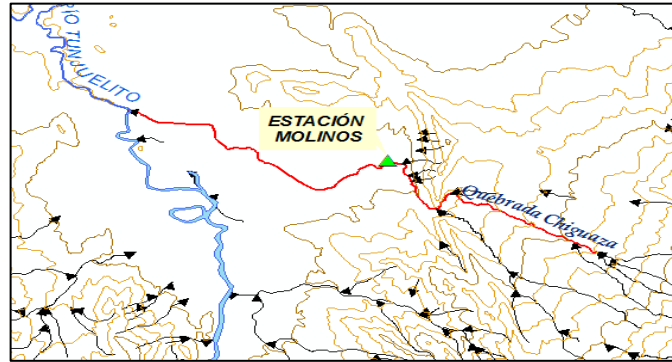


**Figura 6 Ubicación geográfica Estación Artillería (IDIGER)**

**Fuente: Autores**

#### 4.1.2.4 Estación Molinos (IDIGER)

La presente estación toma datos de precipitación y nivel, se encuentra ubicada en la Quebrada Chiguaza como se puede evidenciar en la Figura 7.



**Figura 7 Ubicación geográfica Estación Molinos (IDIGER)**

**Fuente: Autores**

#### 4.1.2.5 Estación San Francisco y Quiba (IDIGER)

La presente estación toma datos de precipitación y nivel, se encuentra ubicada en la Quebrada Chiguaza como se puede evidenciar en la Figura 8.



**Figura 8 Ubicación geográfica Estación San Francisco y Quiba (IDIGER)**

**Fuente: Autores**

Los datos de las estaciones antes mencionadas a cargo del Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER) se detallan en el Anexo 2.

### **4.1.3 INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM**

#### **4.1.3.1 Estación Colegio Santiago Pérez (IDEAM)**

Esta estación proporciona datos de precipitación y hace parte de la red de estaciones del IDEAM, se encuentra ubicada en la Quebrada Chiguaza como se evidencia en la Figura 9.



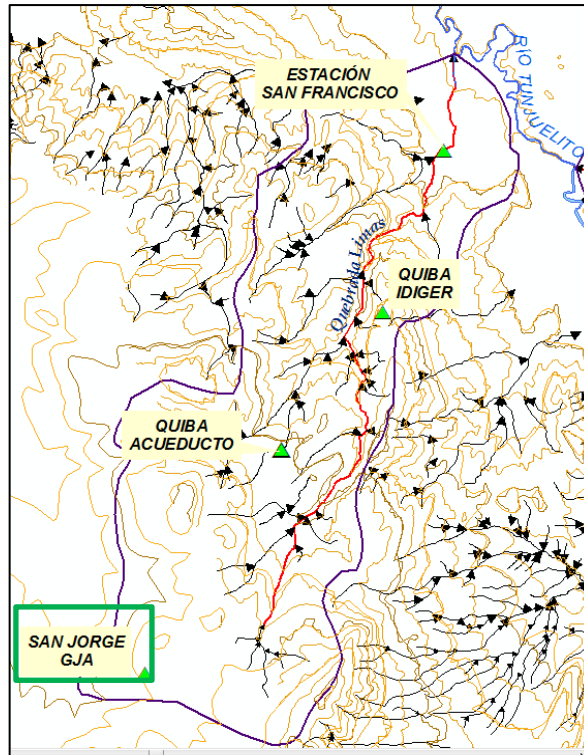
**Figura 9 Ubicación geográfica Estación Colegio Santiago Pérez (IDEAM)**

**Fuente: Autores**

Los datos de las estaciones antes mencionadas a cargo del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) se detallan en el Anexo 3 del presente documento.

#### 4.1.3.2 Estación San Jorge GJA (IDEAM)

Hace parte de la red de estaciones del IDEAM, proporciona datos de precipitación y está ubicada en la Quebrada Limas como se puede evidenciar en la Figura 10, en donde se indica la ubicación de la estación con un recuadro verde para su mejor apreciación.



**Figura 10 Ubicación geográfica Estación San Jorge GJA (IDEAM)**

**Fuente: Autores**

Los datos de las estaciones antes mencionadas a cargo del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) se detallan en el Anexo 3 del presente documento.



## **4.2 PROCESAMIENTO DE DATOS**

Una vez realizada la recopilación de la información de las estaciones anteriormente especificadas, se procedió a realizar el análisis de los respectivos datos, iniciando con el ordenamiento de estos por estación; para su procesamiento se tomaron los registros de las variables en una serie de tiempo, la cual se ajusta dependiendo el tipo de estación, toda vez que está directamente relacionada con los datos suministrados por las diferentes entidades.

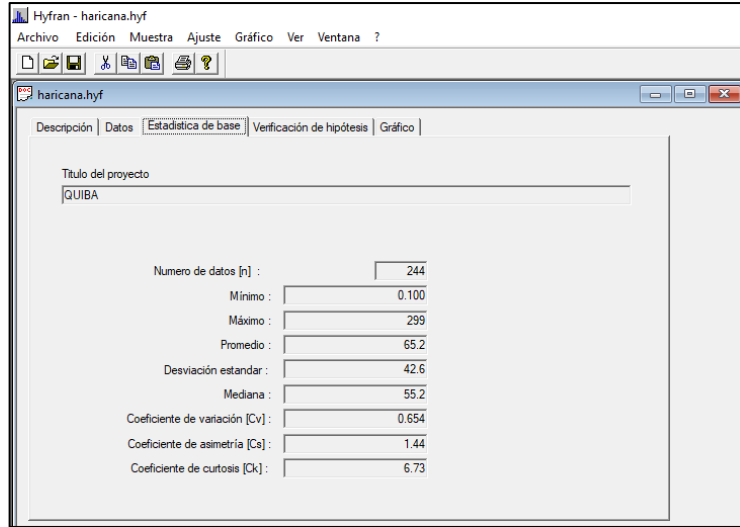
Para el procesamiento de datos se implementaron varias herramientas entre estas el software HYFRAN, a través de esta se hizo el análisis estadístico de los datos con el fin de obtener un análisis mucho más detallado en las series de datos obtenidas.

### **4.2.1 EMPRESA DE ACUEDUCTO DE BOGOTA – E.A.A.B.**

#### ***4.2.1.1 ESTACION QUIBA (E.A.A.B.)***

De la estación Quiba se obtuvieron datos de precipitación media mensual (mm) para un total de 21 años, (Ver Anexo 1), los cuales se procesaron los datos desde el año 1998 hasta el presente año (2018) de estos datos se procedió a hacer la organización de los mismos y una vez organizados se trabajó en Hyfran.

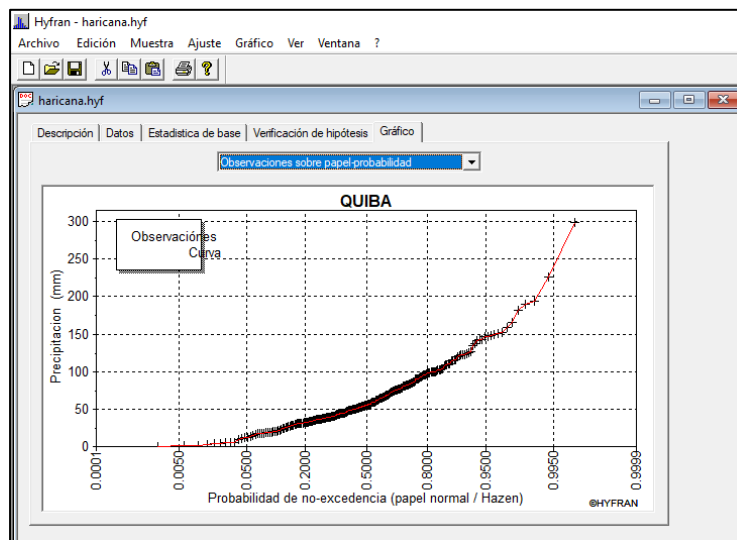
A continuación, se muestra la estadística descriptiva de los datos de precipitación:



**Figura 11 Estadística base Estación Quiba (E.A.A.B.)**

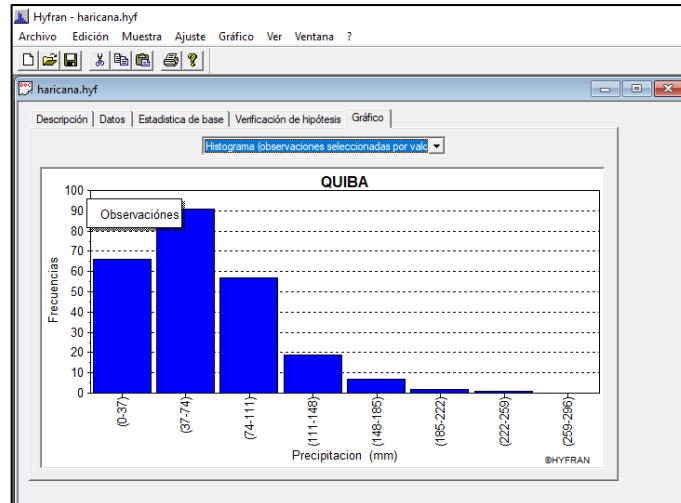
**Fuente: Autores**

Con respecto a los datos tomados se generó la curva de dispersión (Figura 12), el histograma (Figura 13) y curva cronológica (Figura 14).



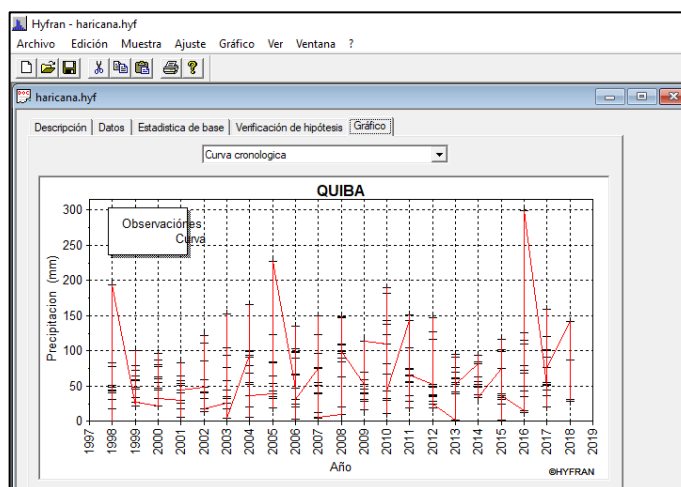
**Figura 12 Comportamiento datos de precipitación estación Quiba, curva de dispersión (E.A.A.B.)**

**Fuente: Autores**



**Figura 13 Histograma datos de precipitación Estación Quiba (E.A.A.B.)**

**Fuente: Autores**



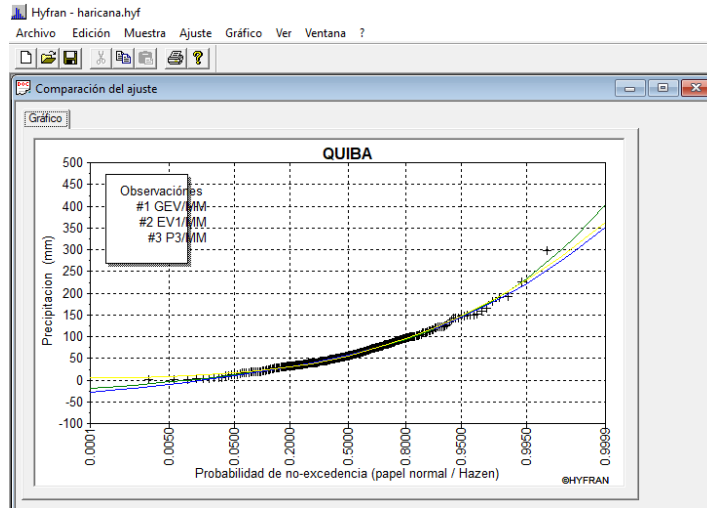
**Figura 14 Curva cronológica datos de precipitación Estación Quiba (E.A.A.B.)**

**Fuente: Autores**

#### **4.2.1.1.1 COMPARACIÓN GRÁFICA ENTRE MÉTODOS ESTACIÓN QUIBA (E.A.A.B.)**

Luego de tener la estadística básica descriptiva, se realizaron las funciones de distribución de probabilidad GEV, GUMBEL, PEARSON III de las cuales, se muestra el resultado resumen en

la Figura 15 y Figura 16, los resultados obtenidos para cada una de las funciones de distribución de probabilidad se encuentran en detalle en el Apéndice 1 del presente documento.



**Figura 15 Comparación funciones de probabilidad Gev, Gumbel, Pearson III Estación Quiba (E.A.A.B.)**

**Fuente: Autores**

**HYFRAN**  
(c) INRS-Eau, 2002

**QUIBA**

Numero de observaciones: 244

Periodo de retorno : T= 100

Modelo	Nb. param.	XT	P(Mi)	P(Mi   x)	BIC	AIC
GEV (Método de momentos)	3	205.441	33.33	N/D	2474.231	2463.739
Gumbel (Método de momentos)	2	199.024	33.33	N/D	2472.159	2465.165
Pearson tipo III (Método de momentos)	3	205.770	33.33	N/D	N/D	N/D

P(Mi) :Probabilidad a priori  
P(Mi | x):Probabilidad a posteriori (método de Schwartz).  
BIC: criterio de información de Bayes  
AIC: criterio de información de Akaike

Promedio ponderado de los cuantiles : -1.#IND

**Figura 16 Criterios de comparación de las distribuciones Estación Quiba (E.A.A.B.)**

**Fuente: Autores**

Teniendo en cuenta la comparación entre las tres funciones de probabilidad GEV, GUMBEL y PEARSON III, mostrada en la Figura 15, se obtuvo que la función de distribución de probabilidad que mejor se ajusta es Gumbel como se evidencia en la Tabla 3, considerando esta distribución es recomendable si el coeficiente de asimetría de los eventos registrados es cercano a 1.14 (Álvarez Enojo, 2000); teniendo en cuenta este resultado a continuación, se presenta el análisis estadístico para esta función.

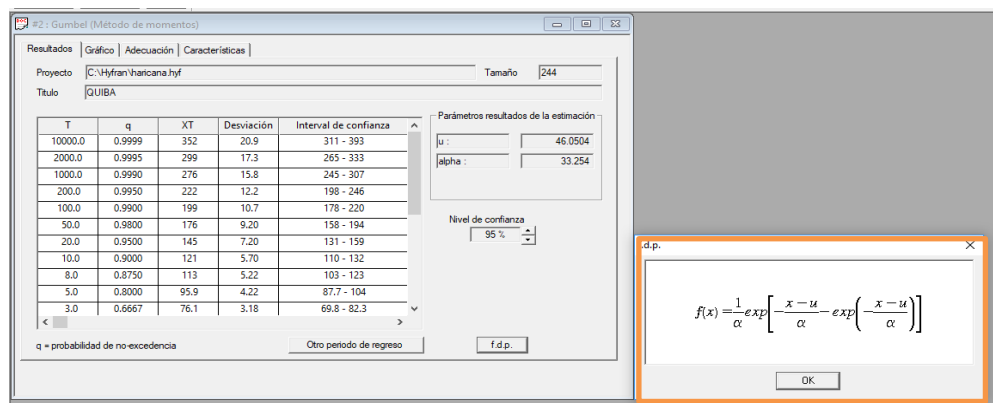
**Tabla 3 Comparación de factores para Funciones de Distribución de Probabilidad en la Estación Quiba (E.A.A.B.)**

Quiba - Acueducto	Estadística base	GEV	GUMBEL	PEARSON TIPO III
Desviación Estándar	42.6	42.6	42.6	42.6
Coefficiente de Variación (Cv)	0.654	0.654	0.654	0.654
Coefficiente de Asimetría (Cs)	1.44	1.44	1.14	1.44
Coefficiente de Curtosis (Ck)	6.73	7.11	2.4	6.11

Fuente: Autores

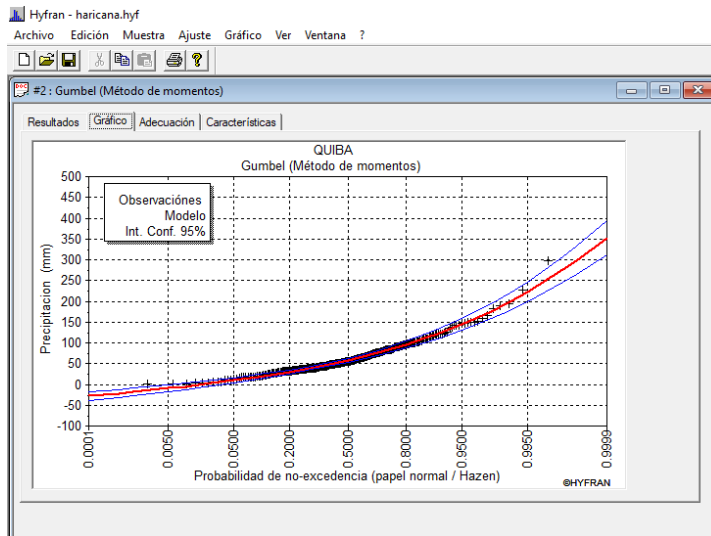
#### 4.2.1.1.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA FUNCIÓN GUMBEL ESTACIÓN QUIBA (E.A.A.B.)

Para la distribución GUMBEL para calcular valores extremos, se trabajó con la Función de probabilidad (F.D.P) con un nivel de confianza del 95 % indicada en la Figura 17.



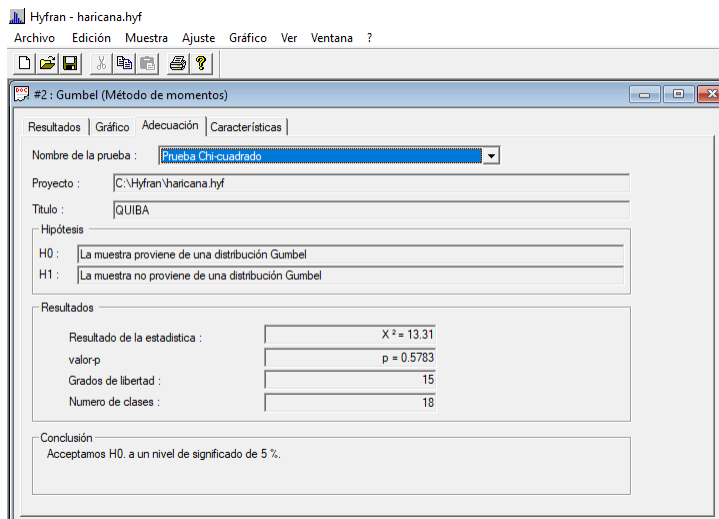
**Figura 17 F.D.P Gumbel Estación Quiba (E.A.A.B.)**

Fuente: Autores



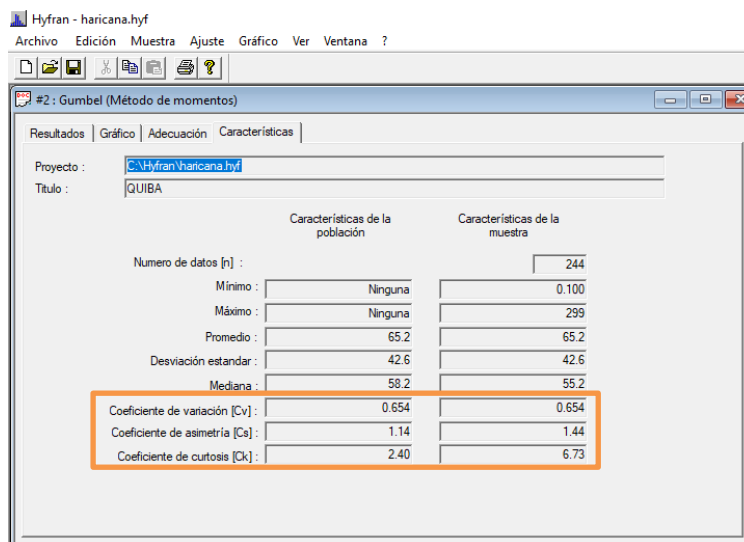
**Figura 18 Gráfica distribución Gumbel Estación Quiba (E.A.A.B.)**

**Fuente: Autores**



**Figura 19 Pruebas de estacionalidad y homogeneidad anual de los datos distribución Gumbel Estación Quiba (E.A.A.B.)**

**Fuente: Autores**



**Figura 20 Resultados distribución Gumbel Estación Quiba (E.A.A.B.)**

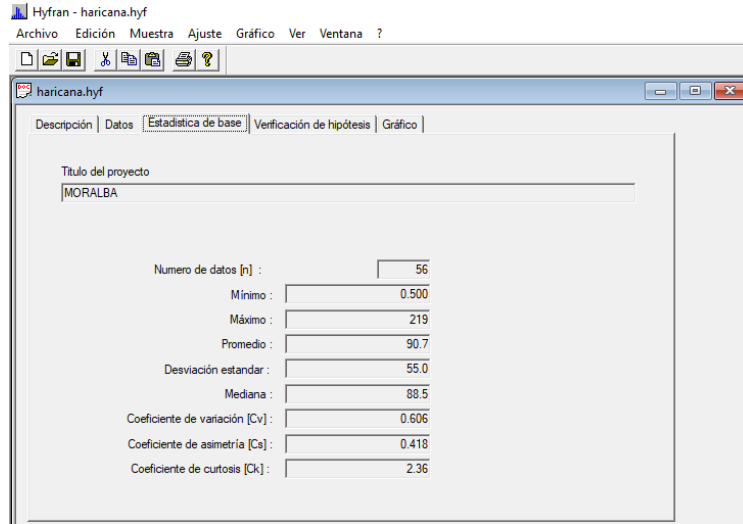
**Fuente: Autores**

Para ver las demás funciones de distribución de probabilidad dirigirse al Apéndice 1 “Análisis de Estaciones”

## **4.2.2 ESTACIONES INSITITUTO DISTRITAL DE GESTION DE RIESGOS Y CAMBIO CLIMÁTICO (IDIGER)**

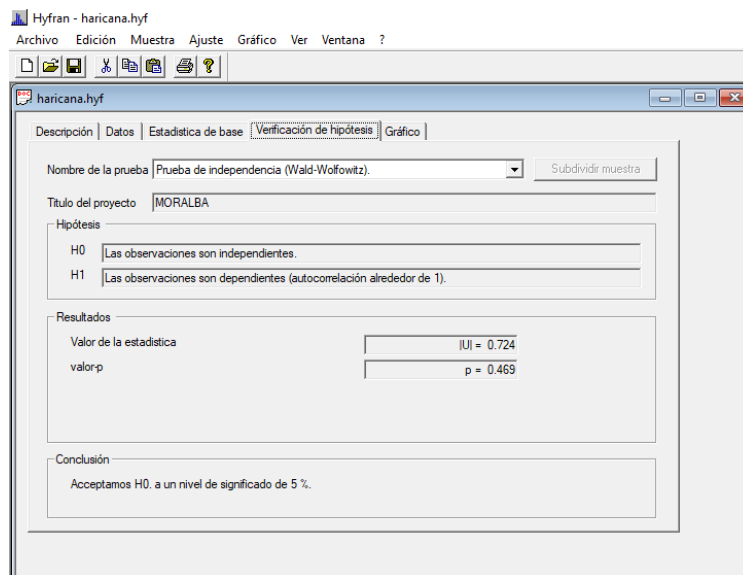
### **4.2.2.1 ESTACIÓN MORALBA (IDIGER)**

De la estación Moralba se obtuvieron datos de precipitación (mm) para un total de 10 años del 2009 hasta el primer semestre de 2018, los cuales se detallarán en el Anexo 2 del presente documento. A partir de estos datos se procedió a realizar la organización de los mismos y una vez organizados se trabajó en Hyfran, en los mismos periodos de las demás estaciones de IDIGER. A continuación, se muestra la estadística descriptiva de los datos de precipitación para la estación Moralba procesados desde el año 2014 hasta el primer semestre de 2018.



**Figura 21 Estadística descriptiva Estación Moralba (IDIGER)**

**Fuente: Autores**

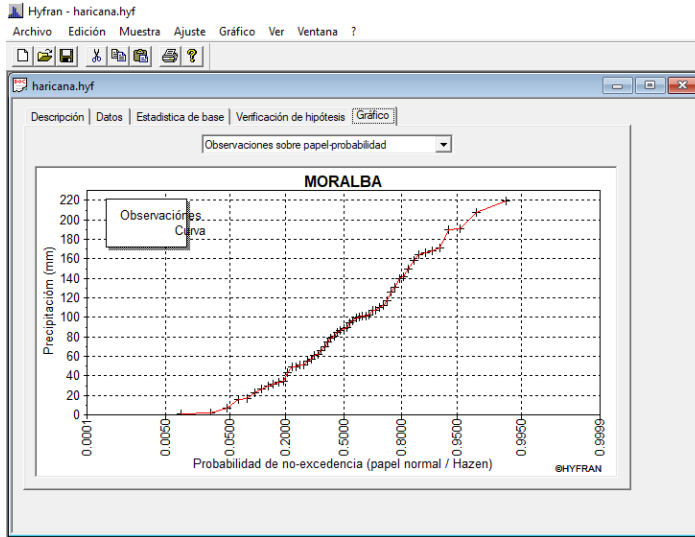


**Figura 22 Pruebas de estacionalidad y homogeneidad anual de los datos Estación Moralba (IDIGER)**

**Fuente: Autores**

La Figura 23 muestra que los datos son homogéneos y tienen una tendencia definida.

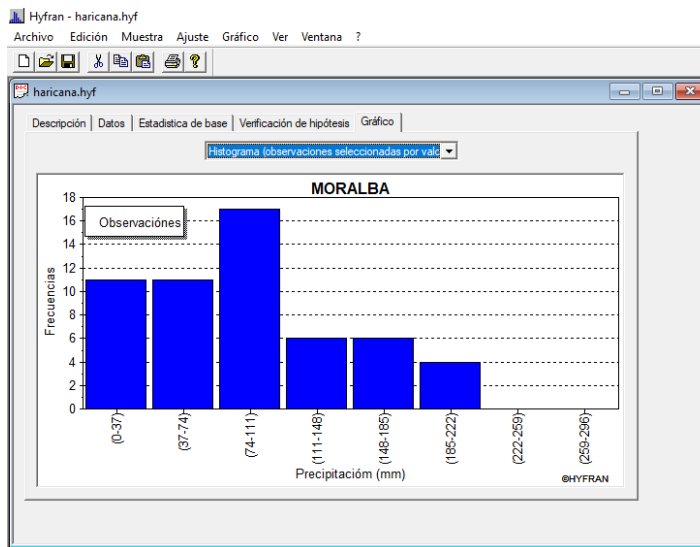




**Figura 23 Curva de dispersión datos Estación Moralba (IDIGER)**

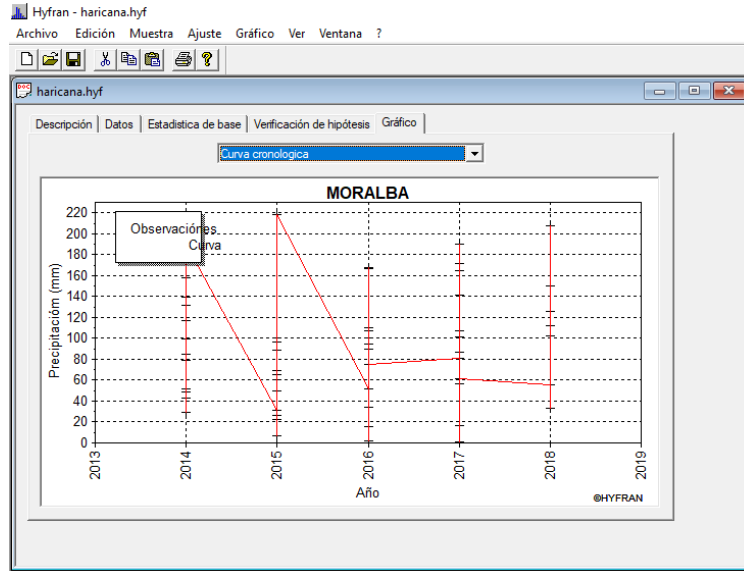
**Fuente: Autores**

La Figura 24 y Figura 25 muestran el histograma y la curva cronológica de los datos de precipitación de la estación Moralba.



**Figura 24 Curva de dispersión datos Estación Moralba (IDIGER)**

**Fuente: Autores**

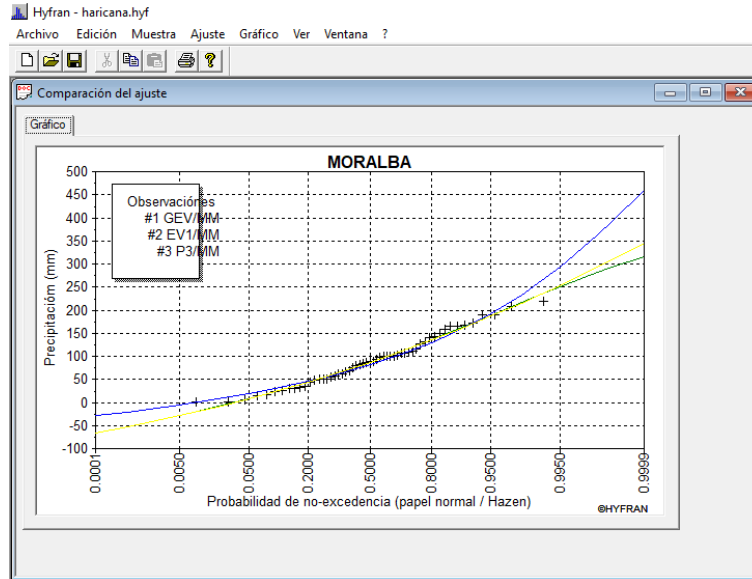


**Figura 25 Curva cronológica Estación Moralba (IDIGER)**

**Fuente: Autores**

#### ***4.2.2.1.1 COMPARACIÓN GRÁFICA ENTRE MÉTODOS ESTACIÓN MORALBA (IDIGER)***

Luego de tener la estadística básica descriptiva, se realizaron las funciones de distribución de probabilidad GEV, GUMBEL, PEARSON III de las cuales se muestra el resultado resumen en la Figura 26 y Figura 27; los demás resultados obtenidos para cada una de las funciones de distribución de probabilidad se encuentran en detalle en el Apéndice 1 del presente documento.



**Figura 26 Comparación funciones de probabilidad Gev, Gumbel, Pearson III Estación Moralba (IDIGER)**

**Fuente: Autores**

*HYFRAN*  
(c) INRS-Eau, 2002

**MORALBA**

Numero de observaciones: 55

Período de retorno : T= 100

Modelo	Nb. param.	XT	P(Mi)	P(Mi   x)	BIC	AIC
Gumbel (Método de momentos)	2	263.022	33.33	62.76	602.781	598.766
GEV (Método de momentos)	3	234.380	33.33	20.76	604.993	598.971
Pearson tipo III (Método de momentos)	3	235.097	33.33	16.48	605.455	599.433

P(Mi) :Probabilidad a priori

P(Mi | x):Probabilidad a posteriori (método de Schwartz).

BIC: criterio de información de Bayes

AIC: criterio de información de Akaike

Promedio ponderado de los cuantiles : 252.4740

**Figura 27 Criterios de comparación de las distribuciones Estación Moralba (IDIGER)**

**Fuente: Autores**

Teniendo en cuenta la comparación entre las tres funciones de probabilidad GEV, GUMBEL, PEARSON III, mostrada en la Figura 26, se obtuvo que la función de distribución de probabilidad que mejor se ajusta es Gumbel como se evidencia en la Tabla 4, considerando esta distribución es recomendable si el coeficiente de asimetría de los eventos registrados es cercano a 1.14 (Álvarez Enojo, 2000); teniendo en cuenta este resultado a continuación, se presenta el análisis estadístico para esta función.

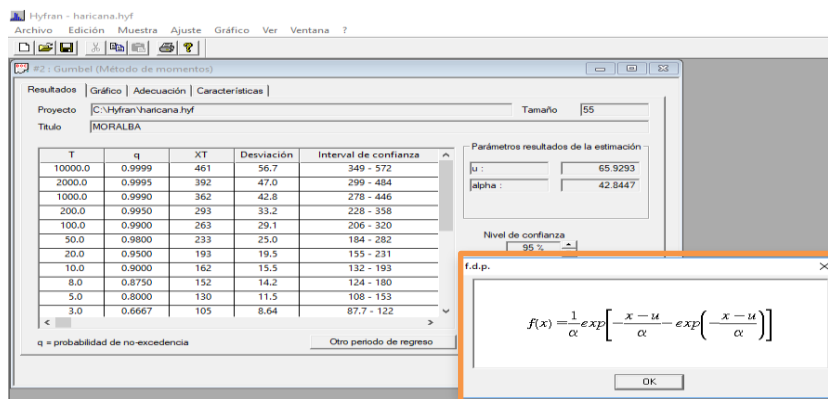
**Tabla 4 Comparación de factores para Funciones de Distribución de Probabilidad en la Estación Moralba – IDIGER**

Moralba - IDIGER	Estadística base	GEV	GUMBEL	PEARSON TIPO III
Desviación Estándar	55	55	55	55
Coefficiente de Variación (Cv)	0.606	0.606	0.606	0.606
Coefficiente de Asimetría (Cs)	0.418	0.418	1.14	0.418
Coefficiente de Curtosis (Ck)	2.36	3.11	2.4	3.26

Fuente: Autores

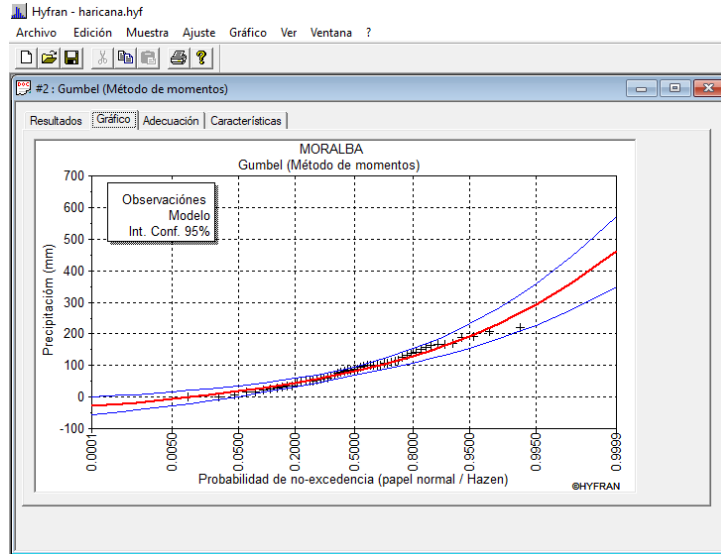
#### 4.2.2.1.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA FUNCIÓN GUMBEL ESTACIÓN MORALBA (IDIGER)

Para la distribución GUMBEL para calcular valores extremos, se trabajó con la Función de probabilidad (F.D.P) con un nivel de confianza del 95 % indicada en la Figura 28.



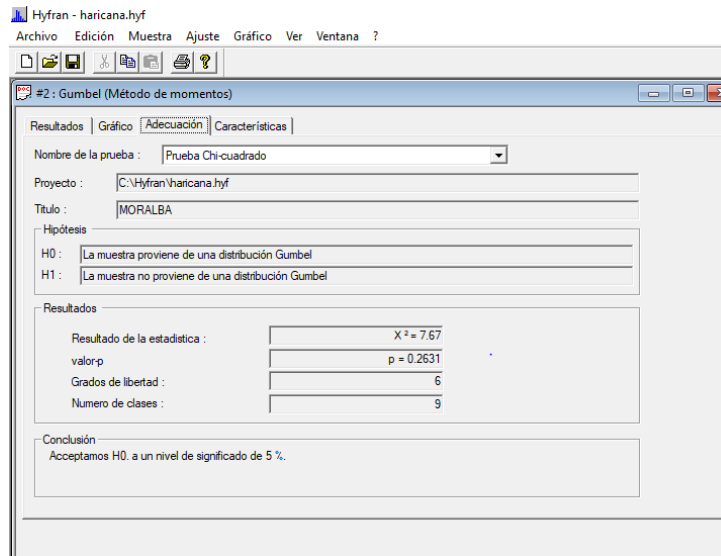
**Figura 28 F.D.P Gumbel Estación Moralba (IDIGER)**

Fuente: Autores



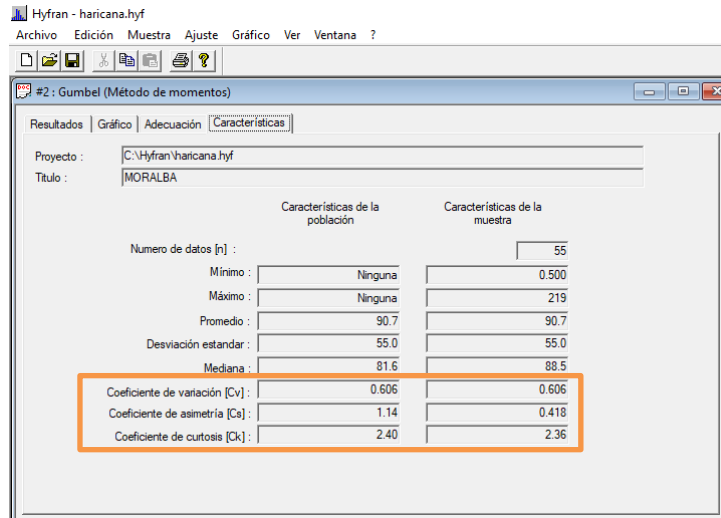
**Figura 29 Gráfica distribución Gumbel Estación Moralba (IDIGER)**

**Fuente: Autores**



**Figura 30 Pruebas de estacionalidad y homogeneidad anual de los datos distribución Gumbel Estación Moralba (IDIGER)**

**Fuente: Autores**

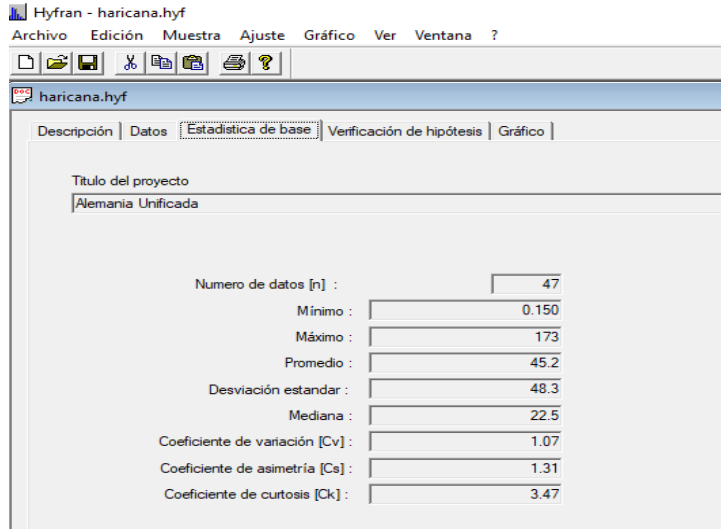


**Figura 31 Resultados distribución Gumbel Estación Moralba (IDIGER)**

**Fuente: Autores**

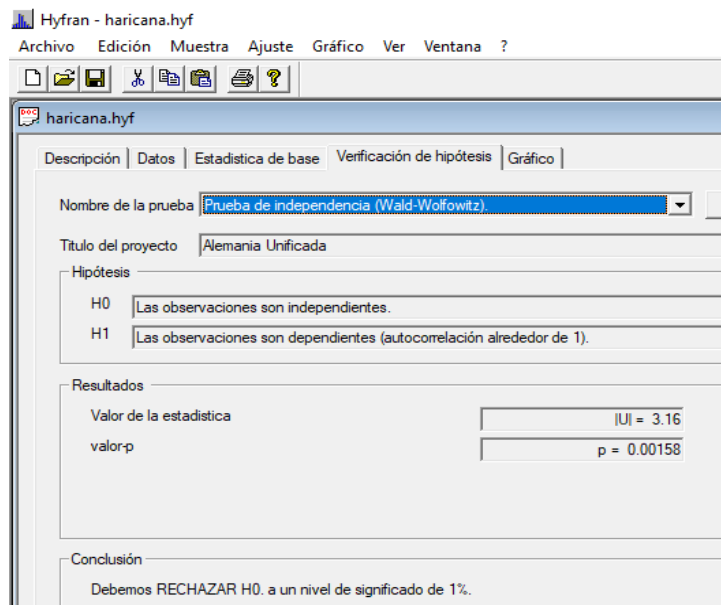
#### **4.2.2.2 ESTACIÓN ALEMANIA UNIFICADA**

De la estación Alemania se obtuvieron datos de precipitación (mm) la estación ha tomado datos desde el año 2010 hasta el primer semestre de 2016, los cuales se detallarán en el Anexo 2 del presente documento. A partir de estos datos se procedió a realizar la organización de los mismos y una vez organizados se trabajó en Hyfran. A continuación, se muestra la estadística descriptiva de los datos de precipitación para la estación Alemania.



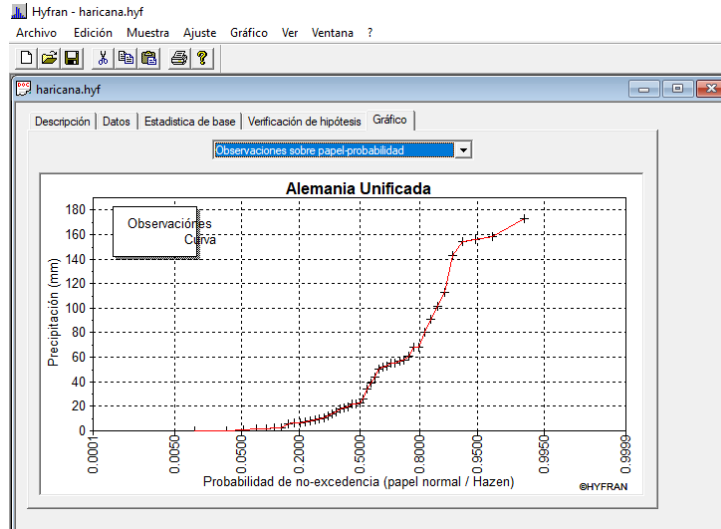
**Figura 32 Estadística base Estación Alemania Unificada (IDIGER)**

**Fuente: Autores**



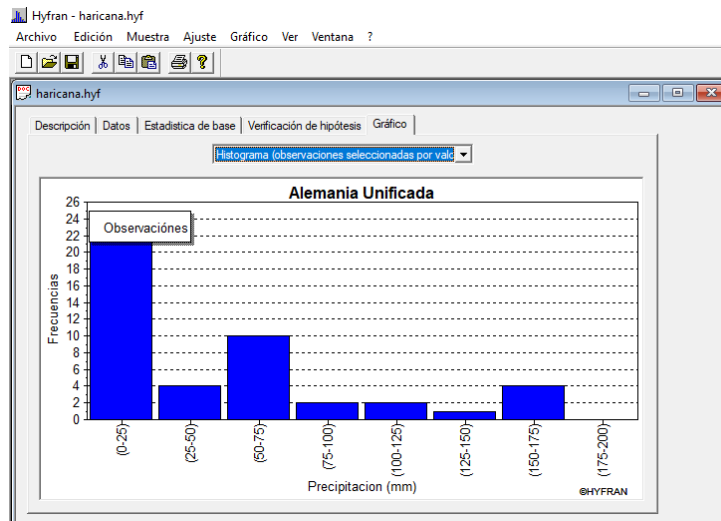
**Figura 33 Pruebas de estacionalidad y homogeneidad anual de los datos (IDIGER)**

**Fuente: Autores**



**Figura 34 Comportamiento datos de precipitación Estación Alemania Unificada (IDIGER)**

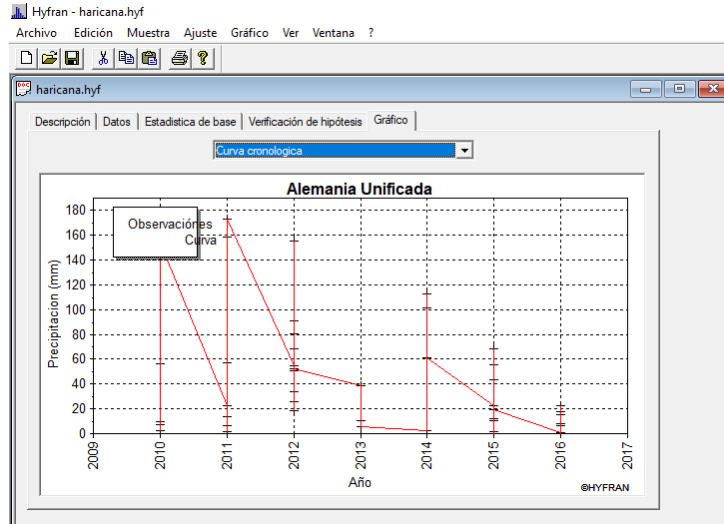
**Fuente: Autores**



**Figura 35 Histograma datos de precipitación Estación Alemania Unificada (IDIGER)**

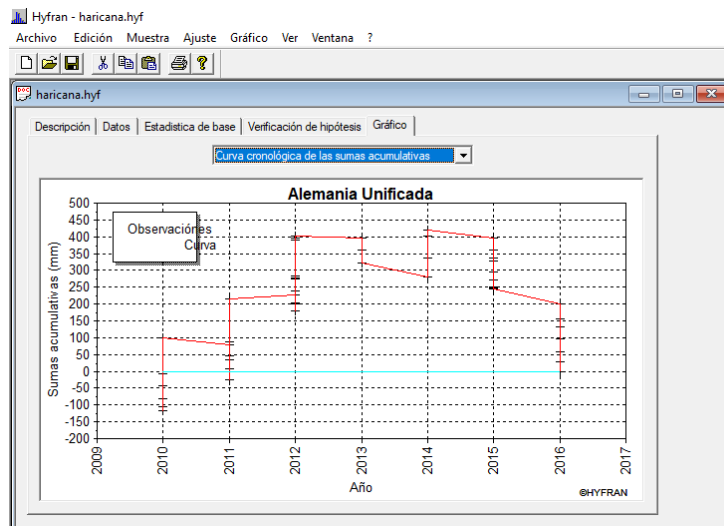
**Fuente: Autores**





**Figura 36 Curva cronológica datos de precipitación Estación Alemania Unificada (IDIGER)**

**Fuente: Autores**

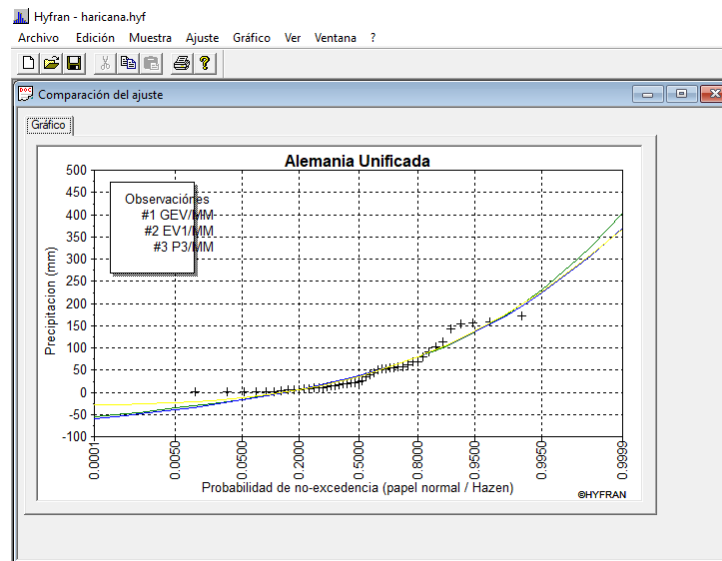


**Figura 37 Curva cronológica de sumas acumulativas datos de precipitación Estación Alemania Unificada (IDIGER)**

**Fuente: Autores**

#### 4.2.2.2.1 COMPARACIÓN GRÁFICA ENTRE MÉTODOS

Luego de tener la estadística básica descriptiva, se realizaron las funciones de distribución de probabilidad GEV, GUMBEL, PEARSON III de las cuales se muestra el resultado resumen en la Figura 38 y Figura 39; los resultados obtenidos para cada una de las funciones de distribución de probabilidad se encuentran en detalle en el Apéndice 1 del presente documento.



**Figura 38 Comparación funciones de probabilidad Gev, Gumbel, Pearson III Estación Alemania Unificada (IDIGER)**

**Fuente: Autores**

**Alemania Unificada**

Numero de observaciones: 47

Periodo de retorno : T= 100

Modelo	Nb. param.	XT	P(Mi)	P(Mi   x)	BIC	AIC
Pearson tipo III (Método de momentos)	3	200.835	33.33	51.20	488.209	482.658
Gumbel (Método de momentos)	2	196.831	33.33	37.46	488.834	485.133
GEV (Método de momentos)	3	201.283	33.33	11.34	491.224	485.673

P(Mi) :Probabilidad a priori

P(Mi | x):Probabilidad a posteriori (método de Schwartz).

BIC: criterio de información de Bayes

AIC: criterio de información de Akaike

Promedio ponderado de los cuantiles : 199.3858

**Figura 39 Criterios de comparación de las distribuciones Estación Alemania Unificada (IDIGER)**

**Fuente: Autores**

Teniendo en cuenta la comparación entre las tres funciones de probabilidad GEV, GUMBEL, PEARSON III mostrada en la Figura 38, se obtuvo que la función de distribución de probabilidad que mejor se ajusta es Gumbel como se evidencia en la Tabla 5, considerando esta distribución es recomendable si el coeficiente de asimetría de los eventos registrados es cercano a 1.14 (Álvarez Enojo, 2000); teniendo en cuenta este resultado a continuación, se presenta el análisis estadístico para esta función.

**Tabla 5 Comparación de factores para Funciones de Distribución de Probabilidad en la Estación Alemania Unificada – IDIGER**

Alemania Unificada - IDIGER	Estadística base	GEV	GUMBEL	PEARSON TIPO III
Desviación Estándar	48.3	48.3	48.3	48.3
Coefficiente de Variación (Cv)	1.07	1.07	1.07	1.07
Coefficiente de Asimetría (Cs)	1.31	1.31	1.14	1.31
Coefficiente de Curtosis (Ck)	3.47	6.34	2.4	5.59

**Fuente: Autores**

#### 4.2.2.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA FUNCIÓN GUMBEL ESTACIÓN ALEMANIA UNIFICADA (IDIGER)

Para la distribución GUMBEL para calcular valores extremos, se trabajó con la Función de probabilidad (F.D.P) con un nivel de confianza del 95 % indicada en la Figura 40.

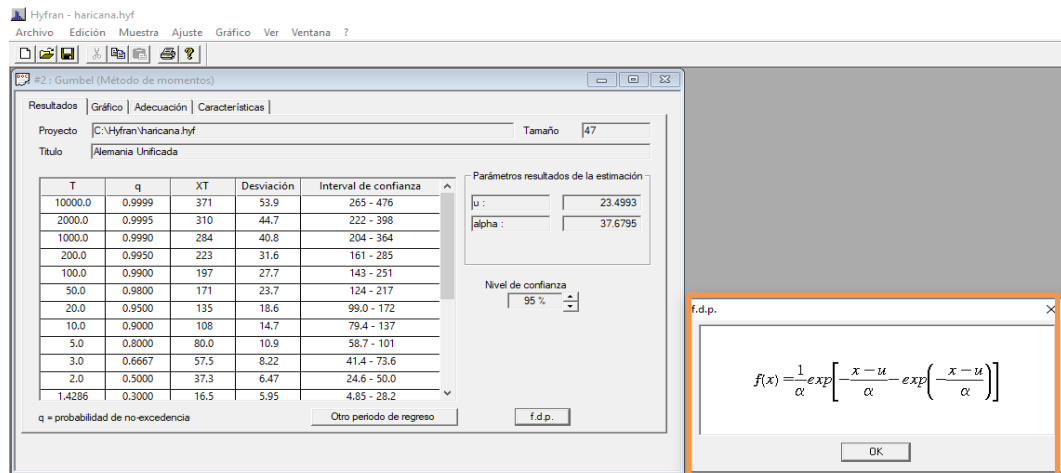


Figura 40 F.D.P Gumbel Estación Alemania Unificada (IDIGER)

Fuente: Autores

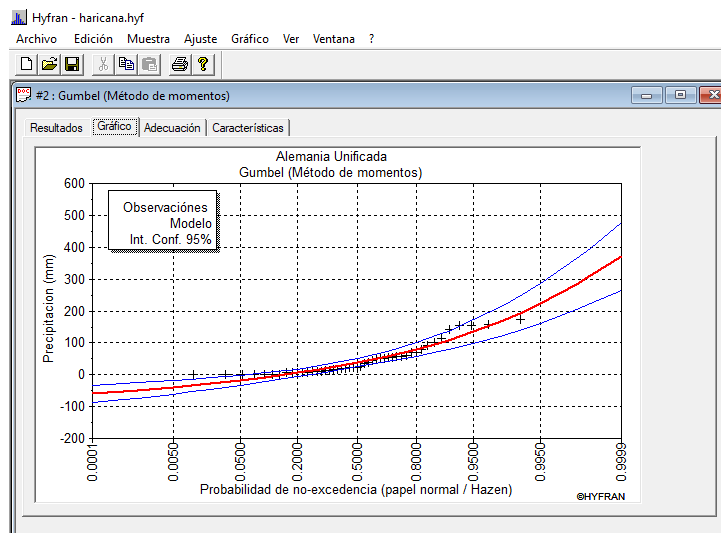
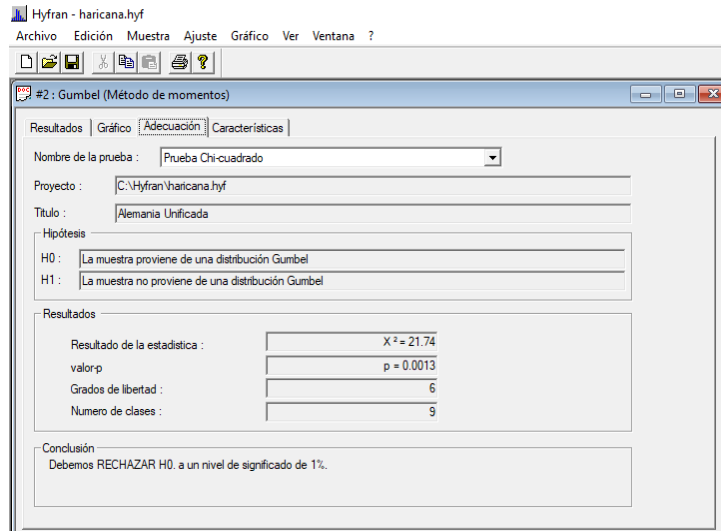


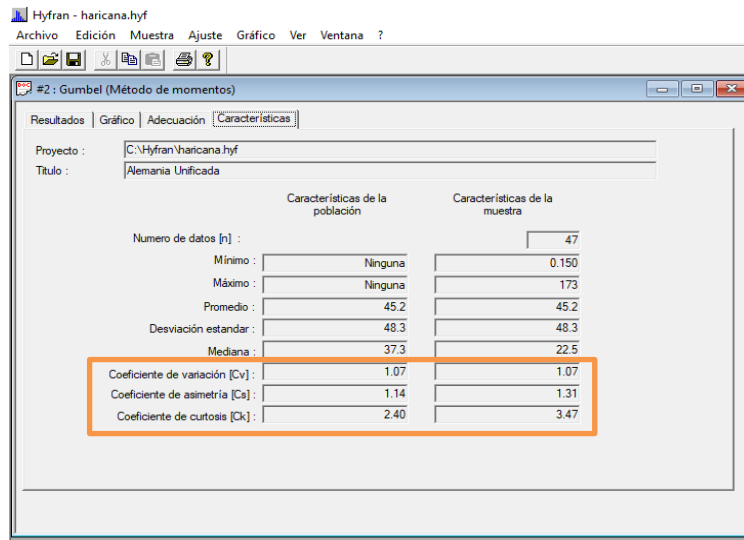
Figura 41 Gráfica distribución Gumbel Estación Alemania Unificada (IDIGER)

Fuente: Autores



**Figura 42 Pruebas de estacionalidad y homogeneidad anual de los datos distribución Gumbel Estación Alemania Unificada (IDIGER)**

**Fuente: Autores**

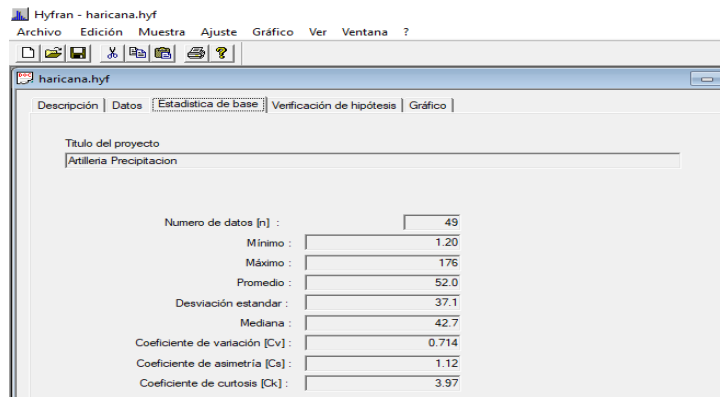


**Figura 43 Resultados distribución Gumbel Estación Alemania Unificada (IDIGER)**

**Fuente: Autores**

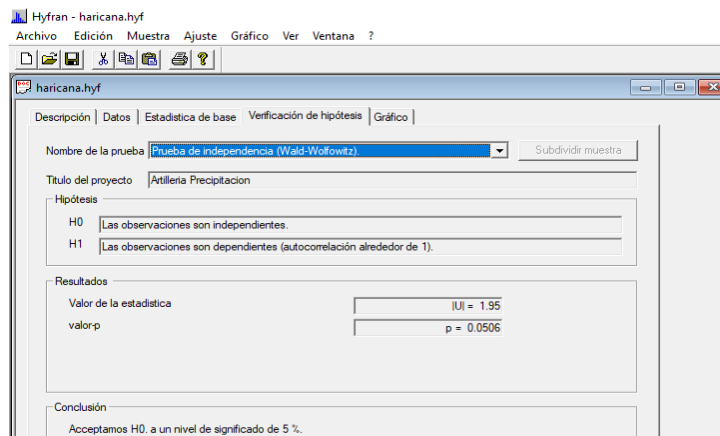
### 4.2.2.3 ESTACIÓN ARTILLERÍA (PRECIPITACIÓN)

De la estación Artillería se obtuvieron datos de precipitación (mm) la estación ha tomado datos desde el año 2014 hasta septiembre de 2018, los cuales se detallarán en el Anexo 2 del presente documento. A partir de estos datos se procedió a realizar la organización de los mismos y una vez organizados se trabajó en Hyfran. A continuación, se muestra la estadística descriptiva de los datos de precipitación para la estación Artillería.



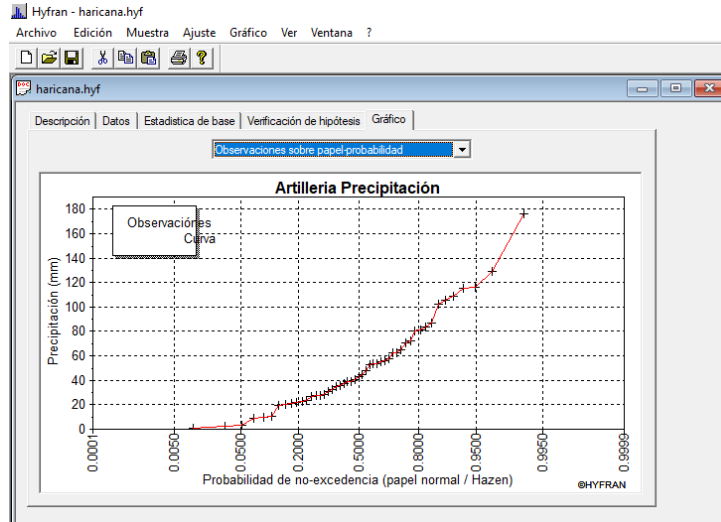
**Figura 44 Estadística base Estación Artillería (IDIGER)**

**Fuente: Autores**



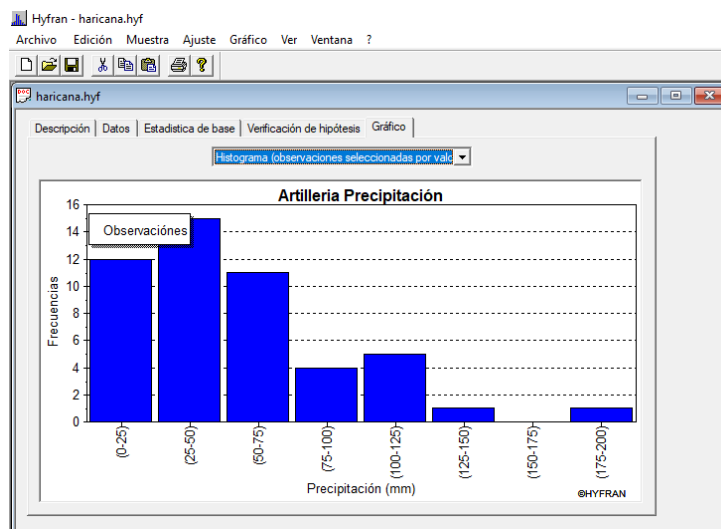
**Figura 45 Pruebas de estacionalidad y homogeneidad anual de los datos Estación Artillería (IDIGER)**

**Fuente: Autores**



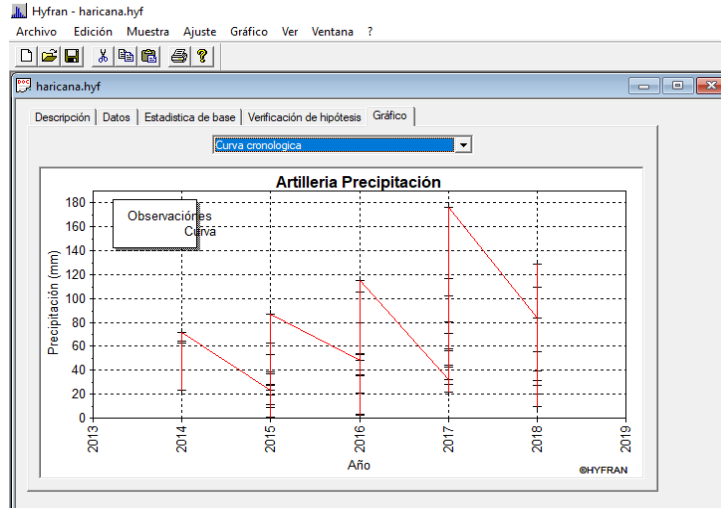
**Figura 46 Comportamiento datos de precipitación Estación Artillería (IDIGER)**

**Fuente: Autores**



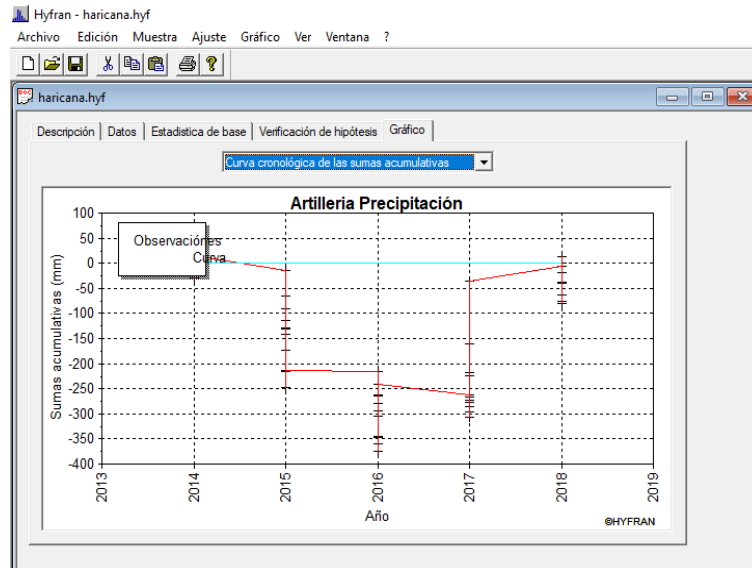
**Figura 47 Histograma datos de precipitación Estación Artillería (IDIGER)**

**Fuente: Autores**



**Figura 48 Curva cronológica datos de precipitación Estación Artillería (IDIGER)**

**Fuente: Autores**



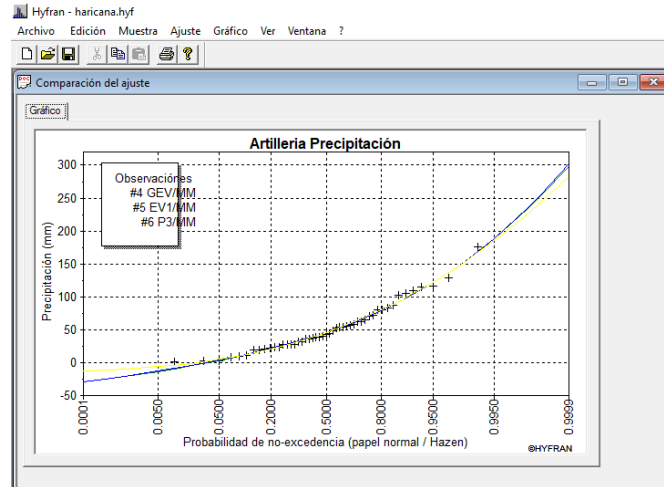
**Figura 49 Curva cronológica de sumas acumulativas datos de precipitación Estación Artillería (IDIGER)**

**Fuente: Autores**



### 4.2.2.3.1 COMPARACIÓN GRÁFICA ENTRE MÉTODOS ESTACIÓN ARTILLERÍA (IDIGER)

Luego de tener la estadística básica descriptiva, se realizaron las funciones de distribución de probabilidad GEV, GUMBEL, PEARSON III de las cuales, se muestra el resultado resumen en la Figura 50 y Figura 51, los resultados obtenidos para cada una de las funciones de distribución de probabilidad se encuentran en detalle en el Apéndice 1 del presente documento.



**Figura 50 Comparación funciones de probabilidad Gev, Gumbel, Pearson III Estación Artillería (IDIGER)**

**Fuente: Autores**

*HYFRAN*  
(c) INRS-Eau, 2002

#### Artillería Precipitación

Numero de observaciones: 49

Periodo de retorno : T= 100

Modelo	Nb. param.	XT	P(Mi)	P(Mi   x)	BIC	AIC
Gumbel (Método de momentos)	2	168.441	33.33	70.22	489.072	485.288
Pearson tipo III (Método de momentos)	3	166.949	33.33	20.17	491.567	485.892
GEV (Método de momentos)	3	167.937	33.33	9.61	493.049	487.373

P(Mi) :Probabilidad a priori  
P(Mi | x):Probabilidad a posteriori (método de Schwartz).  
BIC: criterio de información de Bayes  
AIC: criterio de información de Akaike

Promedio ponderado de los cuantiles : 168.0914

**Figura 51 Criterios de comparación de las distribuciones Estación Artillería (IDIGER)**

**Fuente: Autores**

Teniendo en cuenta la comparación entre las tres funciones de probabilidad GEV, GUMBEL y PEARSON III mostrada en la Figura 50, se obtuvo que la función de distribución de probabilidad que mejor se ajusta es Gumbel como se evidencia en la Tabla 6, considerando esta distribución es recomendable si el coeficiente de asimetría de los eventos registrados es cercano a 1.14 (Álvarez Enojo, 2000); teniendo en cuenta este resultado a continuación, se presenta el análisis estadístico para esta función.

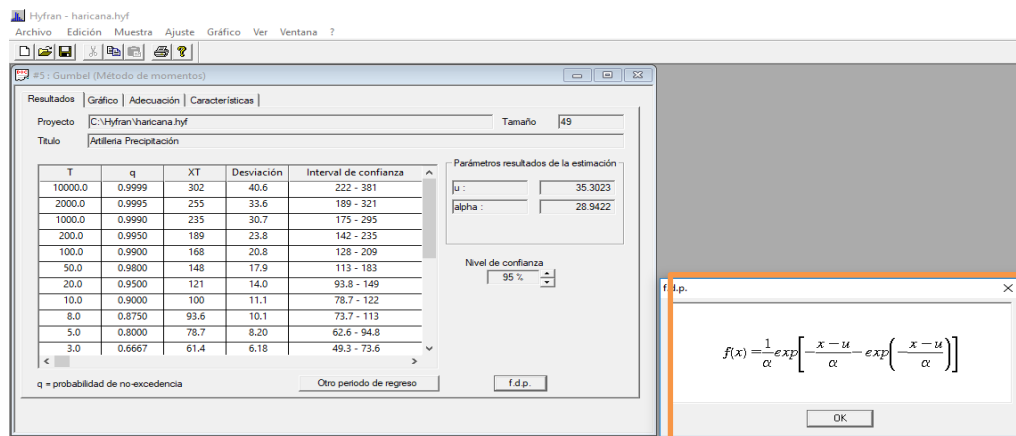
**Tabla 6 Comparación de factores para Funciones de Distribución de Probabilidad en la Estación Artillería – IDIGER**

Artillería - IDIGER	Estadística base	GEV	GUMBEL	PEARSON TIPO III
Desviación Estándar	37.1	37.1	37.1	37.1
Coefficiente de Variación (Cv)	0.714	0.714	0.714	0.714
Coefficiente de Asimetría (Cs)	1.12	1.12	1.14	1.12
Coefficiente de Curtosis (Ck)	3.97	5.29	2.4	4.87

**Fuente: Autores**

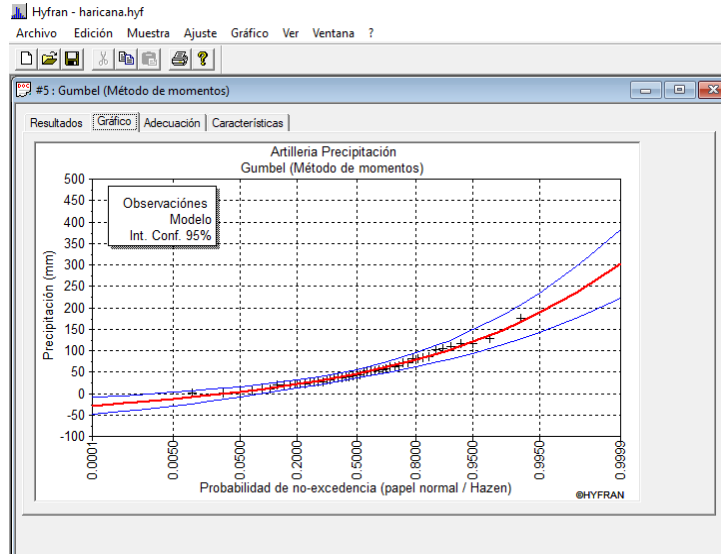
#### 4.2.2.3.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA FUNCIÓN GUMBEL ESTACIÓN ARTILLERÍA (IDIGER)

Para la distribución GUMBEL para calcular valores extremos, se trabajó con la Función de probabilidad (F.D.P) con un nivel de confianza del 95 % indicada en la Figura 52.



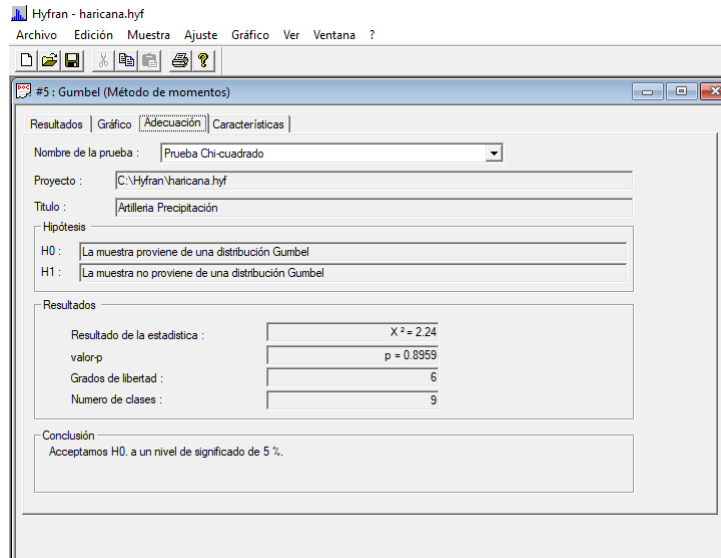
**Figura 52 F.D.P Gumbel Estación Artillería (IDIGER)**

**Fuente: Autores**



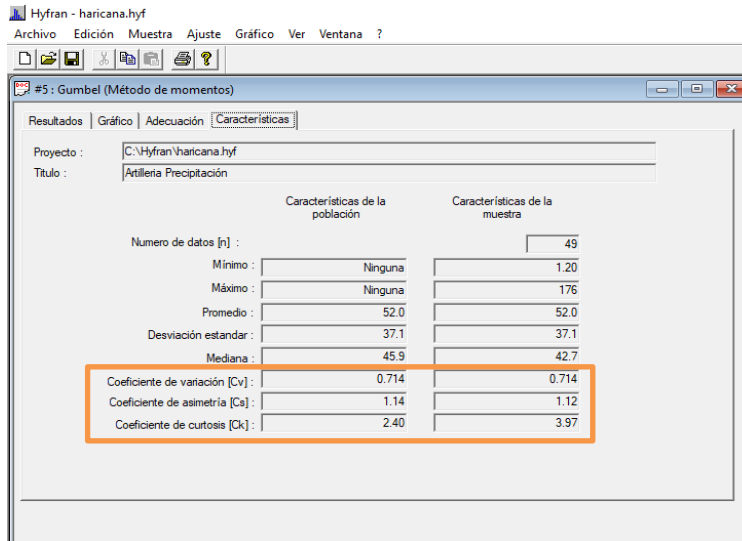
**Figura 53 Gráfica distribución Gumbel Estación Artillería (IDIGER)**

**Fuente: Autores**



**Figura 54 Pruebas de estacionalidad y homogeneidad anual de los datos distribución Gumbel Estación Artillería (IDIGER)**

**Fuente: Autores**

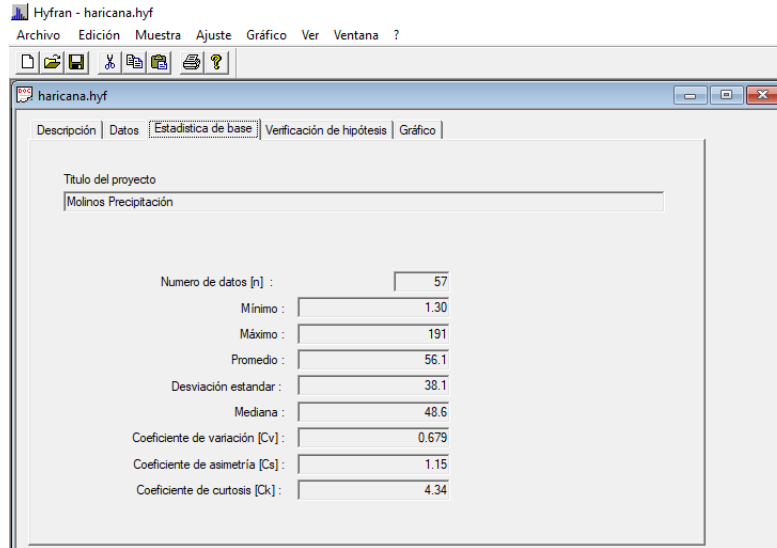


**Figura 55 Resultados distribución Gumbel Estación Artillería (IDIGER)**

**Fuente: Autores**

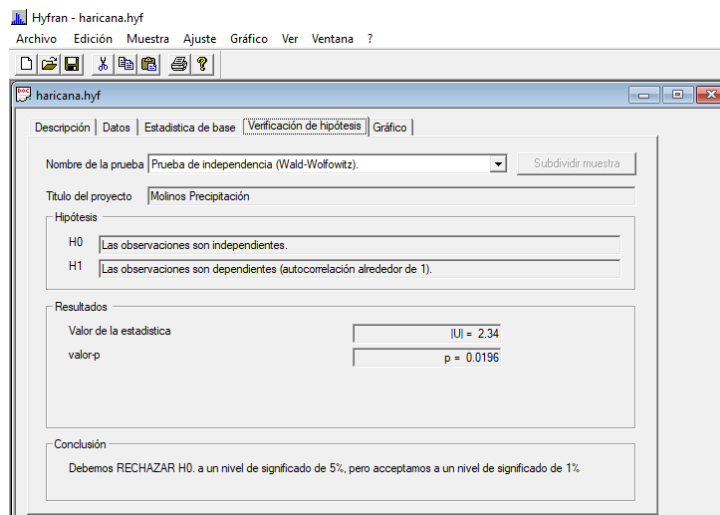
#### **4.2.2.4 ESTACIÓN MOLINOS (PRECIPITACIÓN – IDIGER)**

De la estación Molinos se obtuvieron datos de precipitación (mm) la estación ha tomado datos desde el año 2014 hasta septiembre de 2018, los cuales se detallarán en el Anexo 2 del presente documento. A partir de estos datos se procedió a realizar la organización de los mismos y una vez organizados se trabajó en Hyfran. A continuación, se muestra la estadística descriptiva de los datos de precipitación para la estación Molinos.



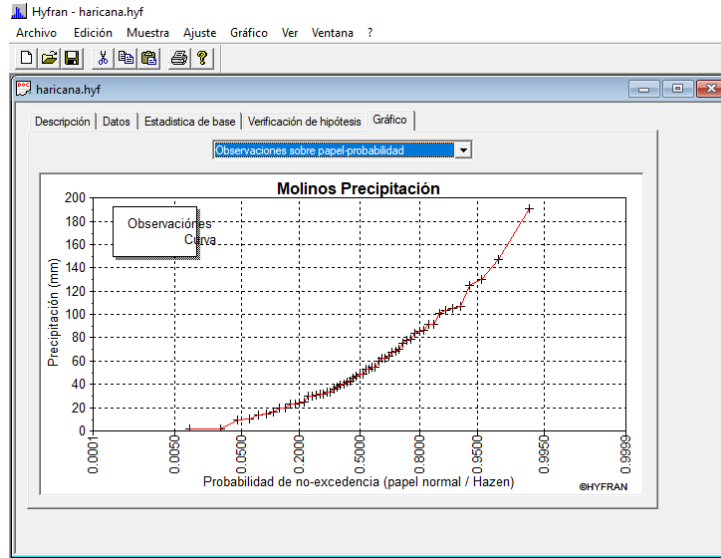
**Figura 56 Estadística base Estación Molinos (IDIGER)**

**Fuente: Autores**



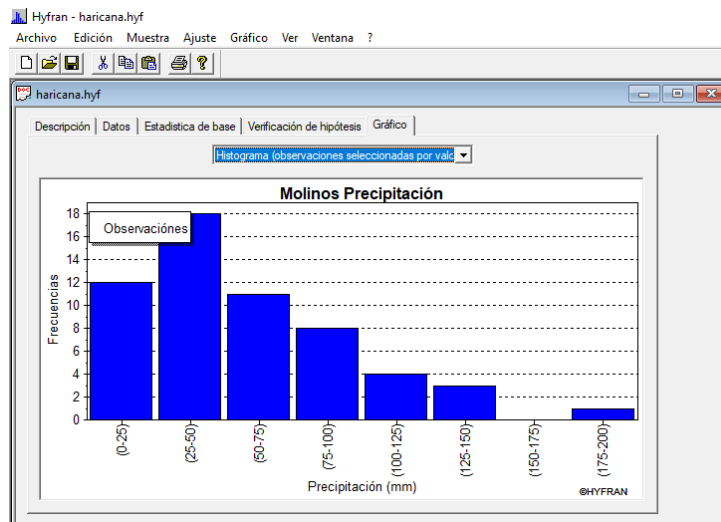
**Figura 57 Pruebas de estacionalidad y homogeneidad anual de los datos Estación Molinos (IDIGER)**

**Fuente: Autores**



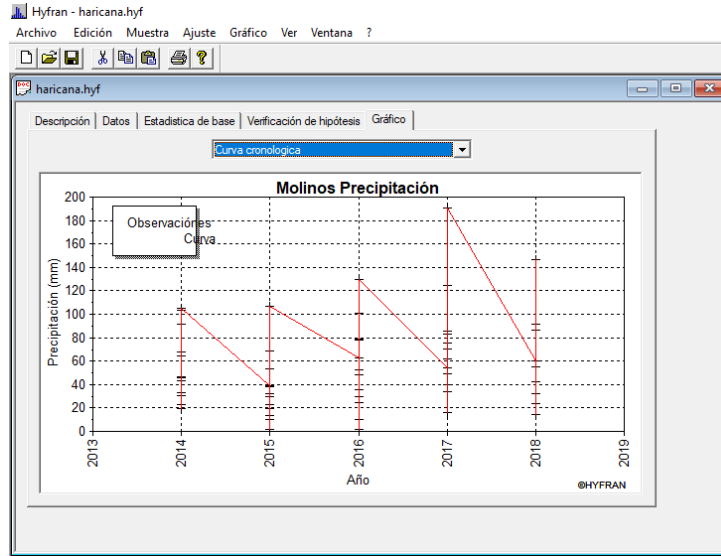
**Figura 58 Comportamiento datos de precipitación Estación Molinos (IDIGER)**

**Fuente: Autores**



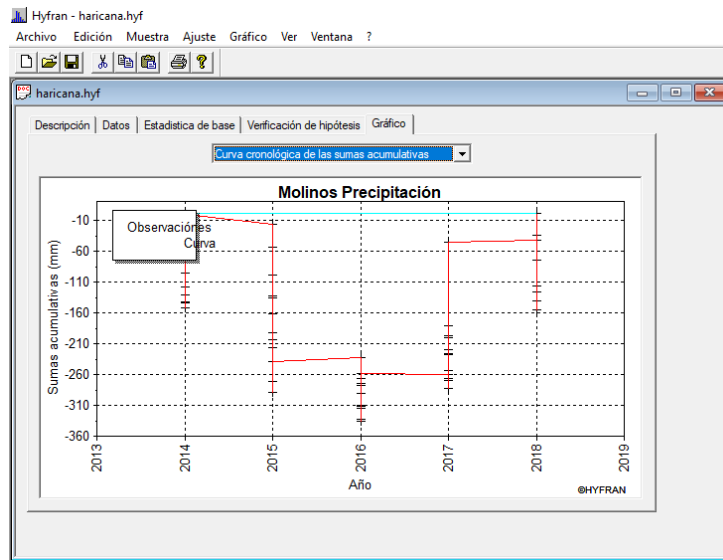
**Figura 59 Histograma datos de precipitación Estación Molinos (IDIGER)**

**Fuente: Autores**



**Figura 60 Curva cronológica datos de precipitación Estación Molinos (IDIGER)**

**Fuente: Autores**

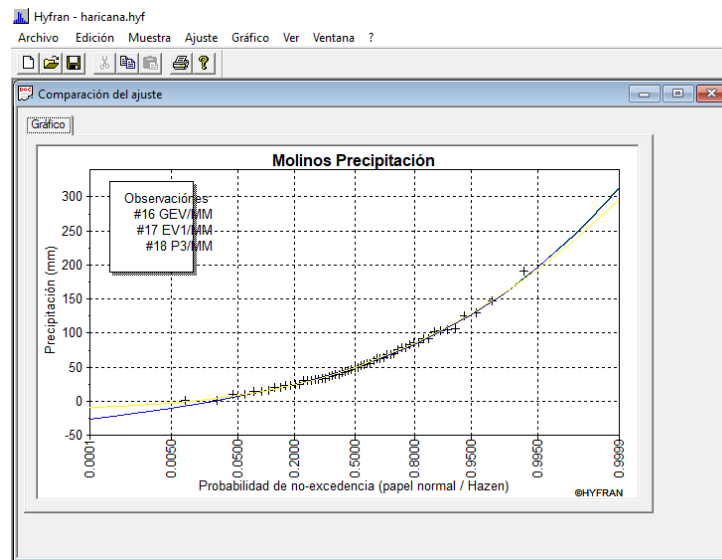


**Figura 61 Curva cronológica de sumas acumulativas datos de precipitación Estación Molinos (IDIGER)**

**Fuente: Autores**

#### 4.2.2.4.1 COMPARACIÓN GRÁFICA ENTRE MÉTODOS ESTACIÓN MOLINOS (IDIGER)

Luego de tener la estadística básica descriptiva, se realizaron las funciones de distribución de probabilidad GEV, GUMBEL, PEARSON III de las cuales se muestra el resultado resumen en la Figura 62 y Figura 63, los resultados obtenidos para cada una de las funciones de distribución de probabilidad se encuentran en detalle en el Apéndice 1 del presente documento.



**Figura 62 Comparación funciones de probabilidad Gev, Gumbel, Pearson III Estación Molinos (IDIGER)**

**Fuente: Autores**



**Molinos Precipitación**

Numero de observaciones: 57

Período de retorno : T= 100

Modelo	Nb. param.	XT	P(Mi)	P(Mi   x)	BIC	AIC
Gumbel (Método de momentos)	2	175.609	33.33	69.34	571.221	567.135
Pearson tipo III (Método de momentos)	3	174.948	33.33	21.20	573.590	567.461
GEV (Método de momentos)	3	175.722	33.33	9.46	575.205	569.075

P(Mi) :Probabilidad a priori

P(Mi | x):Probabilidad a posteriori (método de Schwartz).

BIC: criterio de información de Bayes

AIC: criterio de información de Akaike

Promedio ponderado de los cuantiles : 175.4795

**Figura 63 Criterios de comparación de las distribuciones Estación Molinos (IDIGER)**

**Fuente: Autores**

Teniendo en cuenta la comparación entre las tres funciones de probabilidad GEV, GUMBEL y PEARSON III mostrada en la Figura 62, se obtuvo que la función de distribución de probabilidad que mejor se ajusta es Gumbel como se evidencia en la Tabla 7, considerando esta distribución es recomendable si el coeficiente de asimetría de los eventos registrados es cercano a 1.14 (Álvarez Enojo, 2000); teniendo en cuenta este resultado a continuación, se presenta el análisis estadístico para esta función.

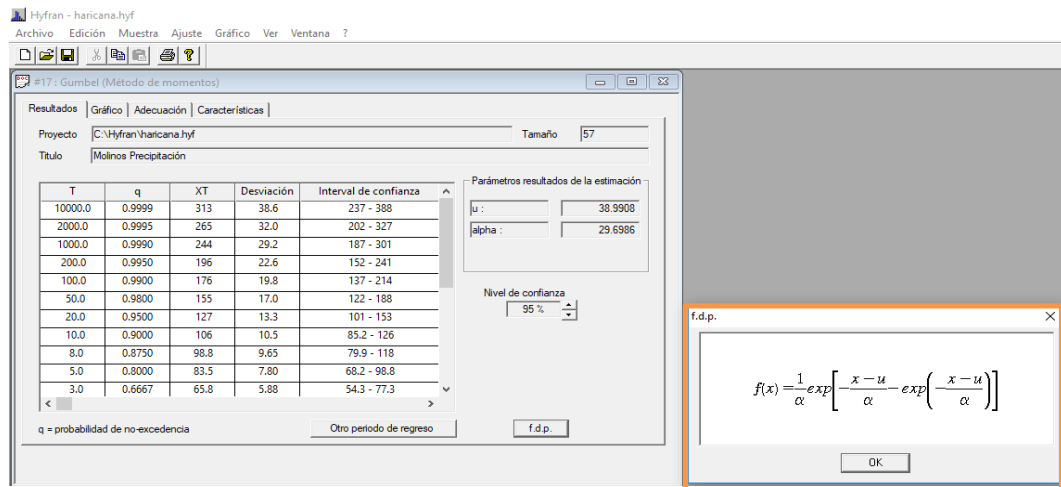
**Tabla 7 Comparación de factores para Funciones de Distribución de Probabilidad en la Estación Molinos – IDIGER**

Molinos - IDIGER	Estadística base	GEV	GUMBEL	PEARSON TIPO III
Desviación Estándar	38.1	38.1	38.1	38.1
Coefficiente de Variación (Cv)	0.679	0.679	0.679	0.679
Coefficiente de Asimetría (Cs)	1.15	0.18	1.14	1.15
Coefficiente de Curtosis (Ck)	4.34	365	2.4	4.99

**Fuente: Autores**

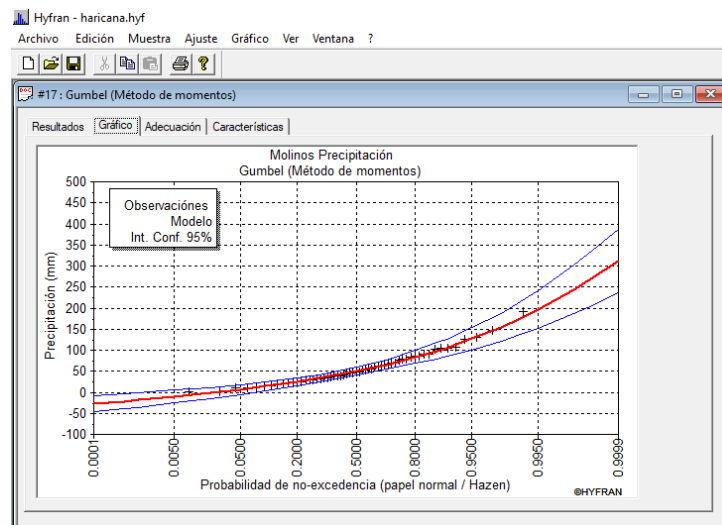
#### 4.2.2.4.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA FUNCIÓN GUMBEL ESTACIÓN MOLINOS (IDIGER)

Para la distribución Gumbel para calcular valores extremos, se trabajó con la Función de probabilidad (F.D.P) con un nivel de confianza del 95 % indicada en la Figura 64.



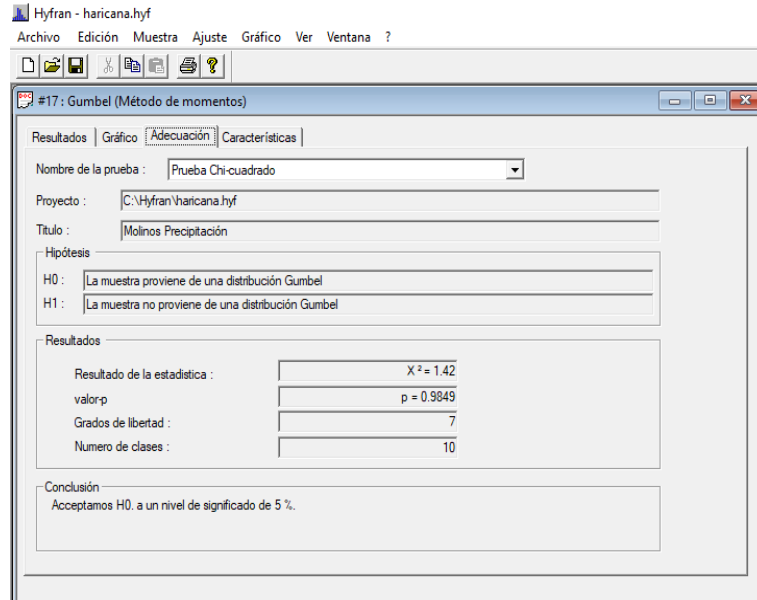
**Figura 64 F.D.P Gumbel Estación Molinos (IDIGER)**

Fuente: Autores



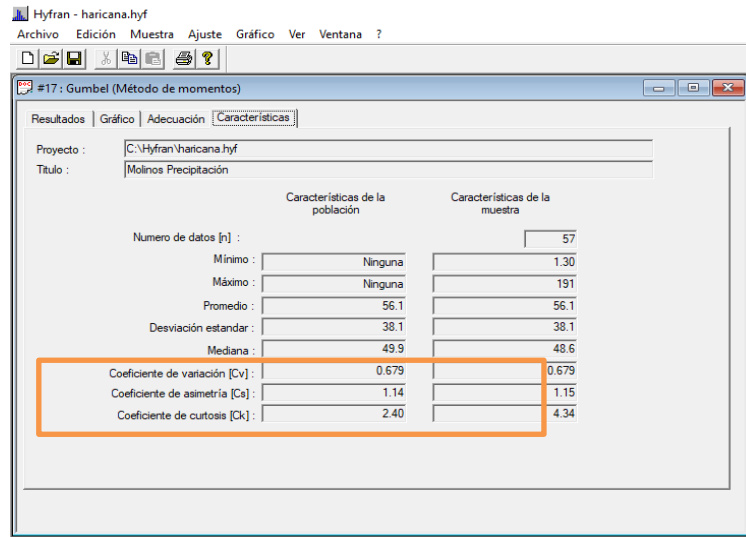
**Figura 65 Gráfica distribución Gumbel Estación Molinos (IDIGER)**

Fuente: Autores



**Figura 66 Pruebas de estacionalidad y homogeneidad anual de los datos distribución Gumbel Estación Molinos (IDIGER)**

**Fuente: Autores**

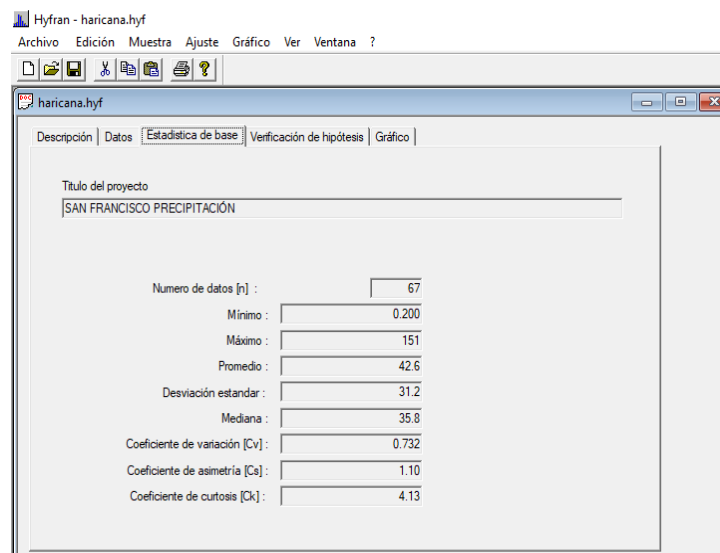


**Figura 67 Resultados distribución Gumbel Estación Molinos (IDIGER)**

**Fuente: Autores**

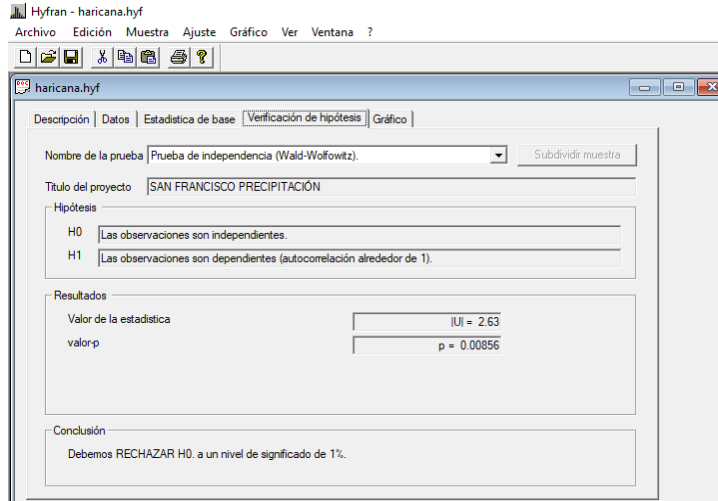
#### 4.2.2.5 ESTACIÓN SAN FRANCISCO (IDIGER)

De la estación San Francisco se obtuvieron datos de precipitación (mm) la estación ha tomado datos desde el año 2013 julio de 2018, los cuales se detallarán en el Anexo 2 del presente documento. A partir de estos datos se procedió a realizar la organización de los mismos y una vez organizados se trabajó en Hyfran. A continuación, se muestra la estadística descriptiva de los datos de precipitación para la estación San Francisco.



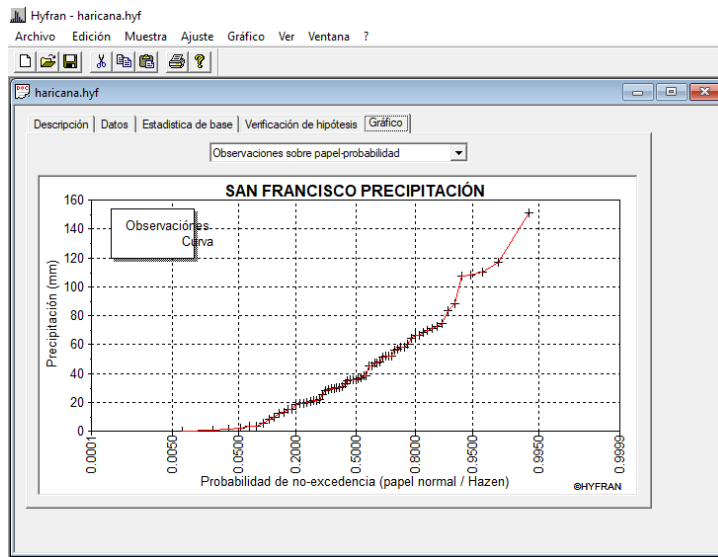
**Figura 68 Estadística base Estación San Francisco (IDIGER)**

**Fuente: Autores**



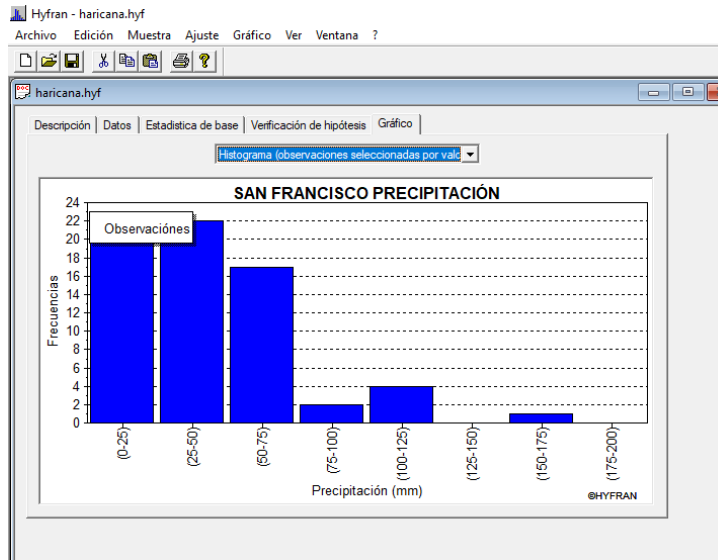
**Figura 69 Pruebas de estacionalidad y homogeneidad anual de los datos Estación San Francisco (IDIGER)**

**Fuente: Autores**



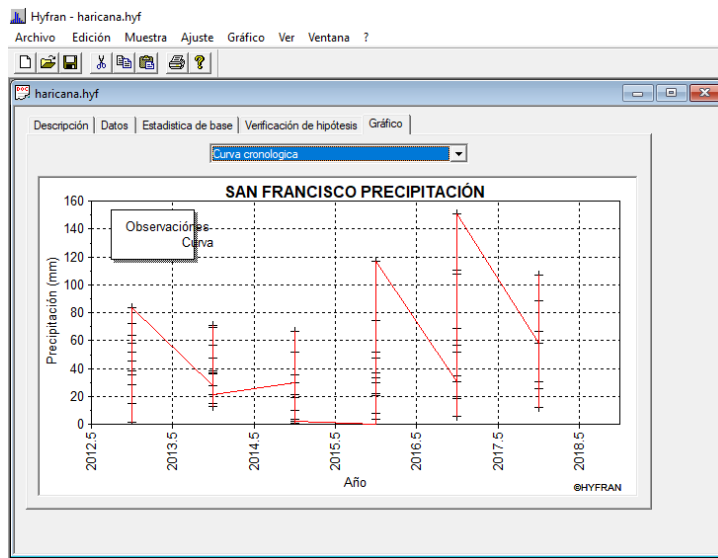
**Figura 70 Comportamiento datos de precipitación Estación San Francisco (IDIGER)**

**Fuente: Autores**



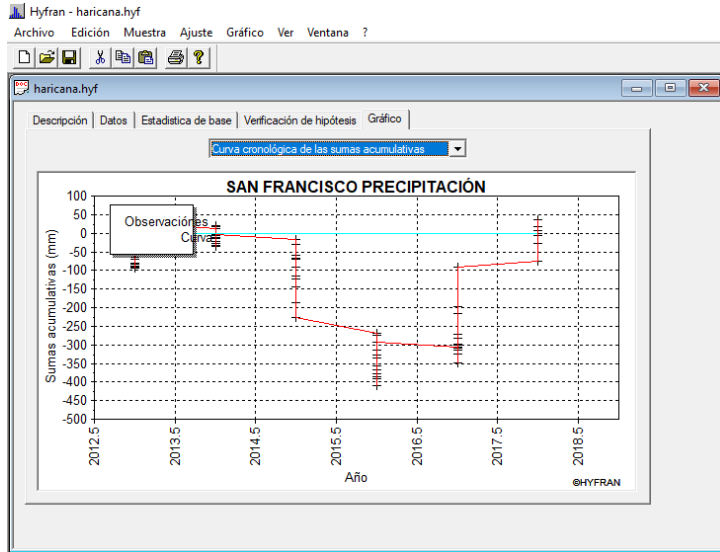
**Figura 71 Histograma datos de precipitación Estación San Francisco (IDIGER)**

**Fuente: Autores**



**Figura 72 Curva cronológica datos de precipitación Estación San Francisco (IDIGER)**

**Fuente: Autores**

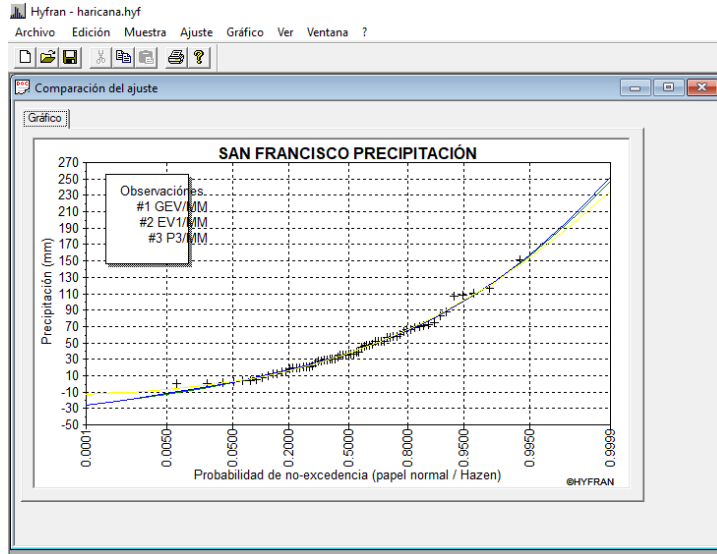


**Figura 73 Curva cronológica de sumas acumulativas datos de precipitación Estación San Francisco (IDIGER)**

**Fuente: Autores**

#### ***4.2.2.5.1 COMPARACIÓN GRÁFICA ENTRE MÉTODOS ESTACIÓN SAN FRANCISCO (IDIGER)***

Luego de tener la estadística básica descriptiva, se realizaron las funciones de distribución de probabilidad GEV, GUMBEL, PEARSON III de las cuales, se muestra el resultado resumen en la Figura 74 y Figura 75; los resultados obtenidos para cada una de las funciones de distribución de probabilidad se encuentran en detalle en el Apéndice 1 del presente documento.



**Figura 74 Comparación funciones de probabilidad Gev, Gumbel, Pearson III Estación San Francisco (IDIGER)**

**Fuente: Autores**

*HYFRAN*  
(c) INRS-Eau, 2002

**SAN FRANCISCO PRECIPITACIÓN**

Numero de observaciones: 67

Periodo de retorno : T= 100

Modelo	Nb. param	XT	P(Mi)	P(Mi   x)	BIC	AIC
Gumbel (Método de momentos)	2	140.411	33.33	70.47	644.464	640.054
Pearson tipo III (Método de momentos)	3	138.776	33.33	21.60	646.829	640.215
GEV (Método de momentos)	3	139.637	33.33	7.93	648.833	642.219

P(Mi) :Probabilidad a priori  
P(Mi | x):Probabilidad a posteriori (método de Schwartz).  
BIC: criterio de información de Bayes  
AIC: criterio de información de Akaike

Promedio ponderado de los cuantiles : 139.9966

**Figura 75 Criterios de comparación de las distribuciones Estación San Francisco (IDIGER)**

**Fuente: Autores**

Teniendo en cuenta la comparación entre las tres funciones de probabilidad GEV, GUMBEL y PEARSON III mostrada en la Figura 74, se obtuvo que la función de distribución de



probabilidad que mejor se ajusta es Gumbel como se aprecia en la Tabla 8, considerando esta distribución es recomendable si el coeficiente de asimetría de los eventos registrados es cercano a 1.14 (Álvarez Enojo, 2000); teniendo en cuenta este resultado a continuación, se presenta el análisis estadístico para esta función.

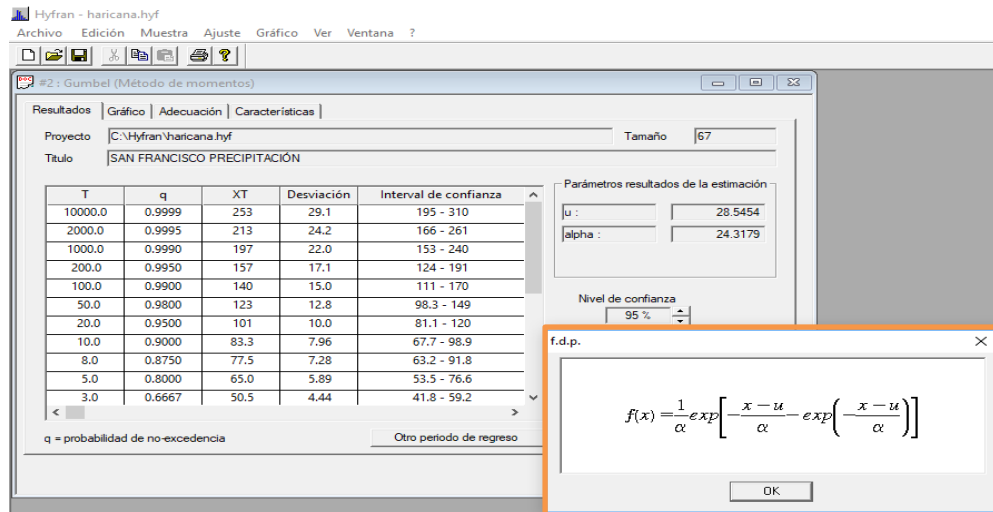
**Tabla 8 Comparación de factores para Funciones de Distribución de Probabilidad en la Estación San Francisco – IDIGER**

San Francisco - IDIGER	Estadística base	GEV	GUMBEL	PEARSON TIPO III
Desviación Estándar	31.2	31.2	31.2	31.2
Coefficiente de Variación (Cv)	0.732	0.732	0.732	0.732
Coefficiente de Asimetría (Cs)	1.1	1.1	1.14	1.1
Coefficiente de Curtosis (Ck)	4.13	5.2	2.4	4.8

Fuente: Autores

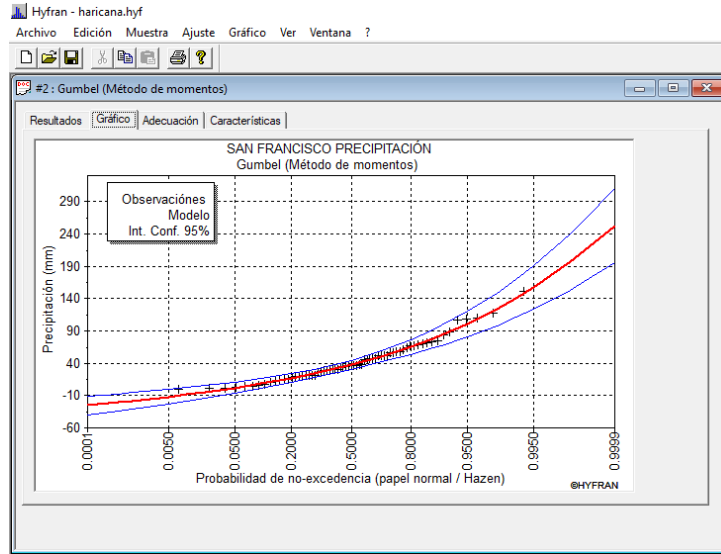
#### 4.2.2.5.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA FUNCIÓN GUMBEL ESTACIÓN SAN FRANCISCO (IDIGER)

Para la distribución Gumbel para calcular valores extremos, se trabajó con la Función de probabilidad (F.D.P) con un nivel de confianza del 95 % indicada en la Figura 76.



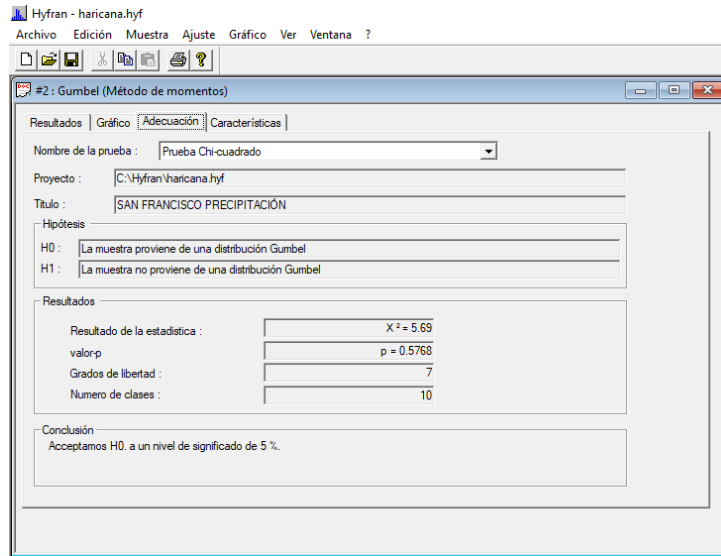
**Figura 76 F.D.P Gumbel Estación San Francisco (IDIGER)**

Fuente: Autores



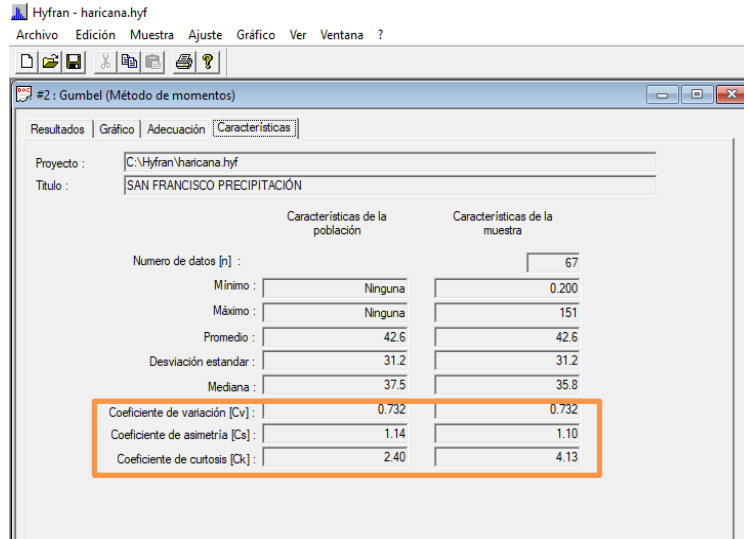
**Figura 77 Gráfica distribución Gumbel Estación San Francisco (IDIGER)**

**Fuente: Autores**



**Figura 78 Pruebas de estacionalidad y homogeneidad anual de los datos distribución Gumbel Estación San Francisco (IDIGER)**

**Fuente: Autores**

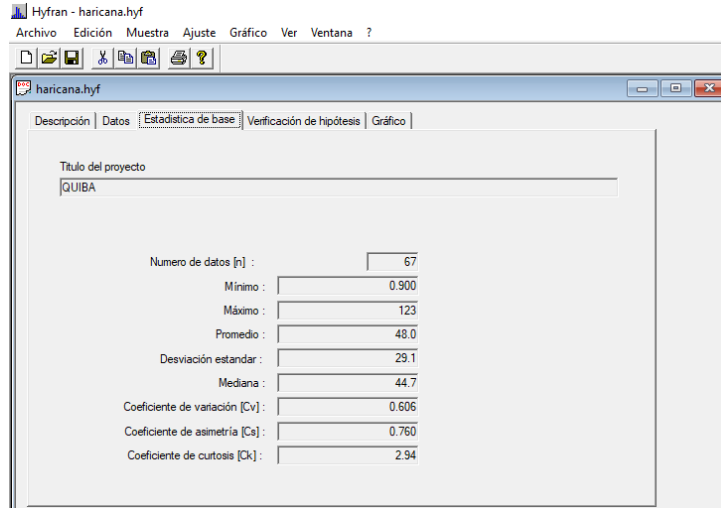


**Figura 79 Resultados distribución Gumbel Estación San Francisco (IDIGER)**

**Fuente: Autores**

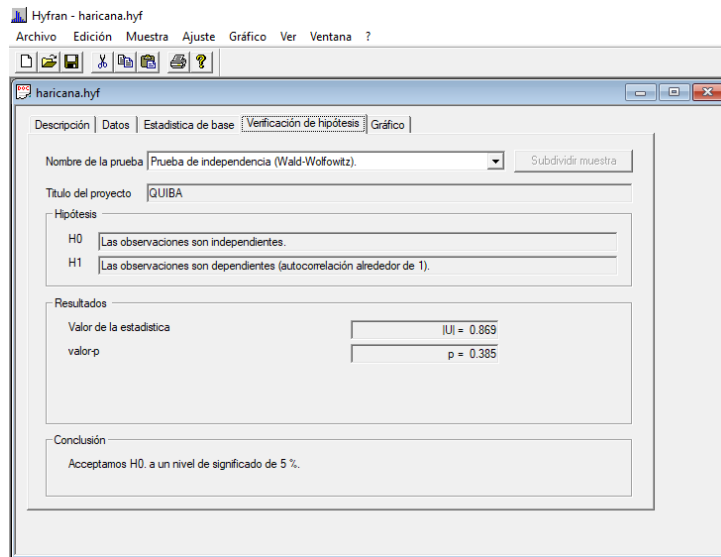
#### **4.2.2.6 ESTACIÓN QUIBA (IDIGER)**

De la estación Quiba se obtuvieron datos de precipitación (mm) la estación ha tomado datos desde el año 2013 hasta julio de 2018, los cuales se detallarán en el Anexo 2 del presente documento. A partir de estos datos se procedió a realizar la organización de los mismos y una vez organizados se trabajó en Hyfran. A continuación, se muestra la estadística descriptiva de los datos de precipitación para la estación Quiba.



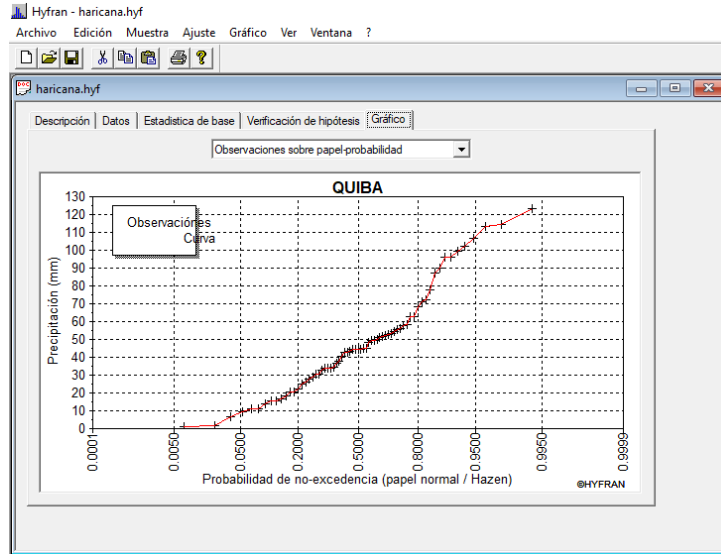
**Figura 80 Estadística base Estación Quiba (IDIGER)**

**Fuente: Autores**



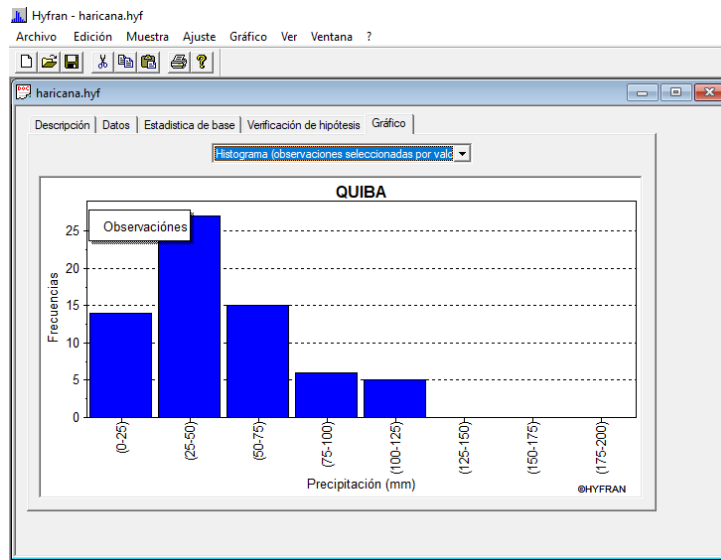
**Figura 81 Pruebas de estacionalidad y homogeneidad anual de los datos Estación Quiba (IDIGER)**

**Fuente: Autores**



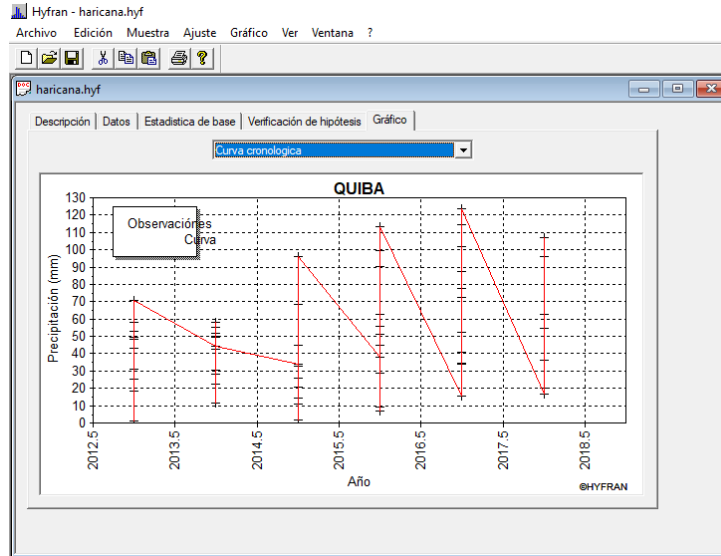
**Figura 82 Comportamiento datos de precipitación Estación Quiba (IDIGER)**

**Fuente: Autores**



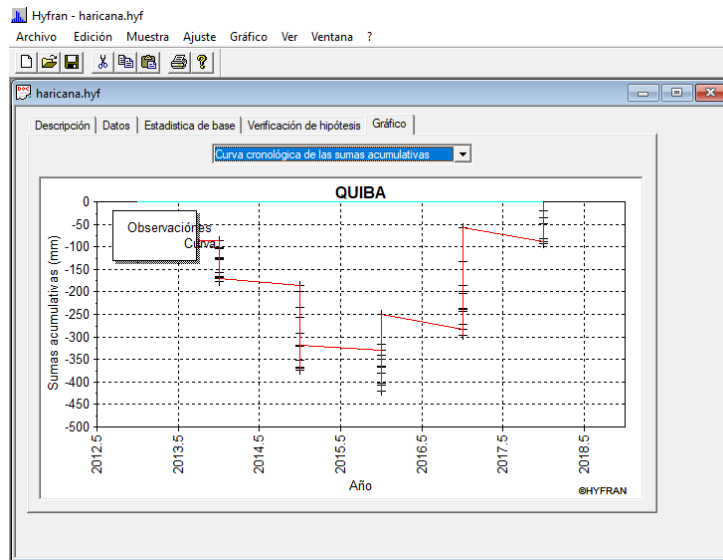
**Figura 83 Histograma datos de precipitación Estación Quiba (IDIGER)**

**Fuente: Autores**



**Figura 84 Curva cronológica datos de precipitación Estación Quiba (IDIGER)**

**Fuente: Autores**

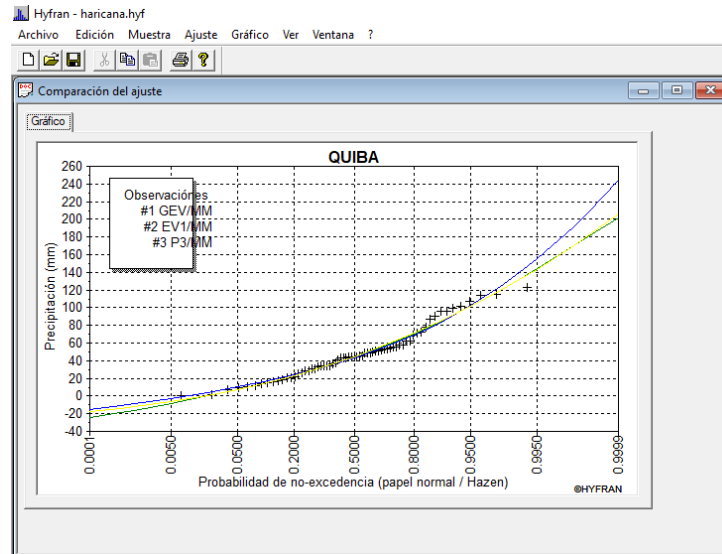


**Figura 85 Curva cronológica de sumas acumulativas datos de precipitación Estación Quiba (IDIGER)**

**Fuente: Autores**

#### 4.2.2.6.1 COMPARACIÓN GRÁFICA ENTRE MÉTODOS ESTACIÓN QUIBA (IDIGER)

Luego de tener la estadística básica descriptiva, se realizaron las funciones de distribución de probabilidad GEV, GUMBEL, PEARSON III de las cuales, se muestra el resultado resumen en la Figura 86 y Figura 87, los resultados obtenidos para cada una de las funciones de distribución de probabilidad se encuentran en detalle en el Apéndice 1 del presente documento.



**Figura 86 Comparación funciones de probabilidad Gev, Gumbel, Pearson III Estación Quiba (IDIGER)**

**Fuente: Autores**

**HYFRAN**  
(c) INRS-Eau, 2002

**QUIBA**

Numero de observaciones: 67

Periodo de retorno : T= 100

Modelo	Nb. param.	XT	P(Mi)	P(Mi   x)	BIC	AIC
Gumbel (Método de momentos)	2	139.448	33.33	81.69	640.888	636.479
Pearson tipo III (Método de momentos)	3	131.514	33.33	9.71	645.147	638.533
GEV (Método de momentos)	3	132.252	33.33	8.60	645.391	638.777

P(Mi) :Probabilidad a priori  
P(Mi | x):Probabilidad a posteriori (método de Schwartz).  
BIC: criterio de información de Bayes  
AIC: criterio de información de Akaike

Promedio ponderado de los cuantiles : 138.0590

**Figura 87 Criterios de comparación de las distribuciones Estación Quiba (IDIGER)**

**Fuente: Autores**

Teniendo en cuenta la comparación entre las tres funciones de probabilidad GEV, GUMBEL y PEARSON III mostrada en la Figura 86, se obtuvo que la función de distribución de probabilidad que mejor se ajusta es Gumbel, como se aprecia en la se aprecia en la Tabla 9, considerando esta distribución es recomendable si el coeficiente de asimetría de los eventos registrados es cercano a 1.14 (Álvarez Enojo, 2000), con base en este resultado, a continuación, se presenta el análisis estadístico para esta función.

**Tabla 9 Comparación de factores para Funciones de Distribución de Probabilidad en la Estación Quiba – IDIGER**

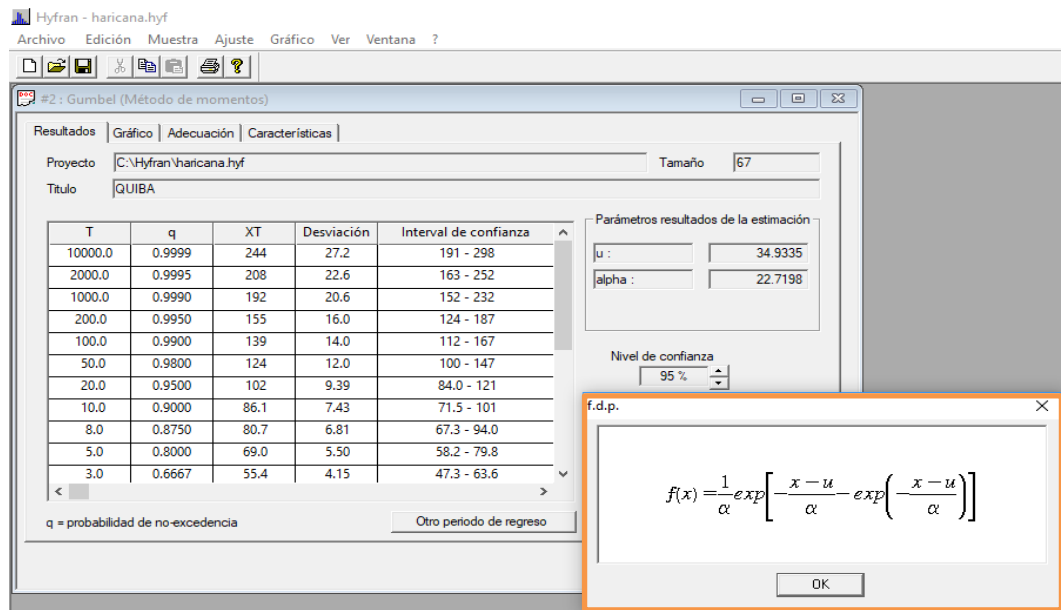
Quiba - IDIGER	Estadística base	GEV	GUMBEL	PEARSON TIPO III
Desviación Estándar	29.1	29.1	29.1	29.1
Coficiente de Variación (Cv)	0.606	0.606	0.606	0.606
Coficiente de Asimetría (Cs)	0.76	0.76	1.14	0.76
Coficiente de Curtosis (Ck)	2.94	3.91	2.4	3.87

**Fuente: Autores**



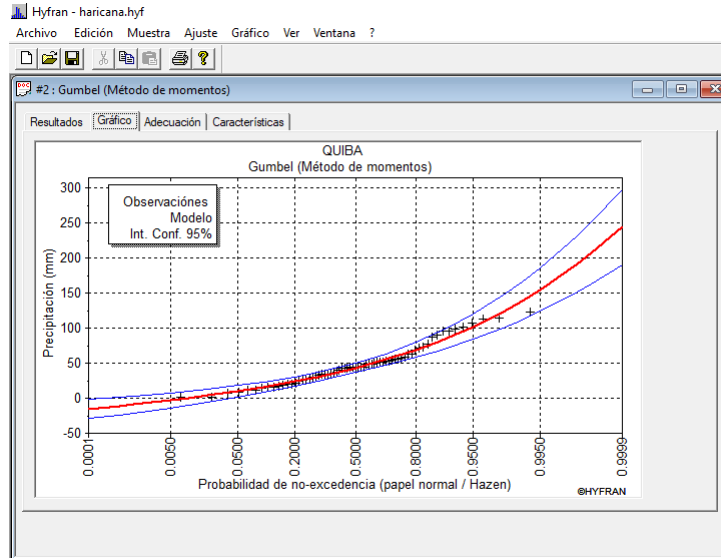
#### 4.2.2.6.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA FUNCIÓN GUMBEL ESTACIÓN QUIBA (IDIGER)

Para la distribución Gumbel para calcular valores extremos, se trabajó con la Función de probabilidad (F.D.P) con un nivel de confianza del 95 % indicada en la Figura 88.



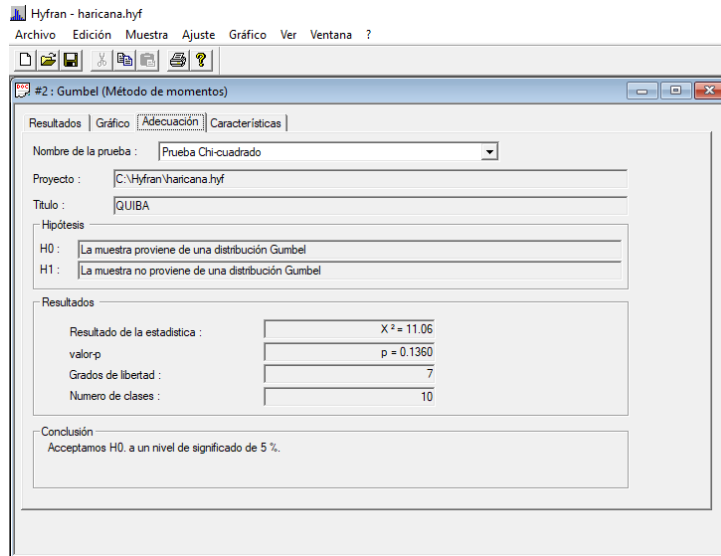
**Figura 88 F.D.P Gumbel Estación Quiba (IDIGER)**

**Fuente: Autores**



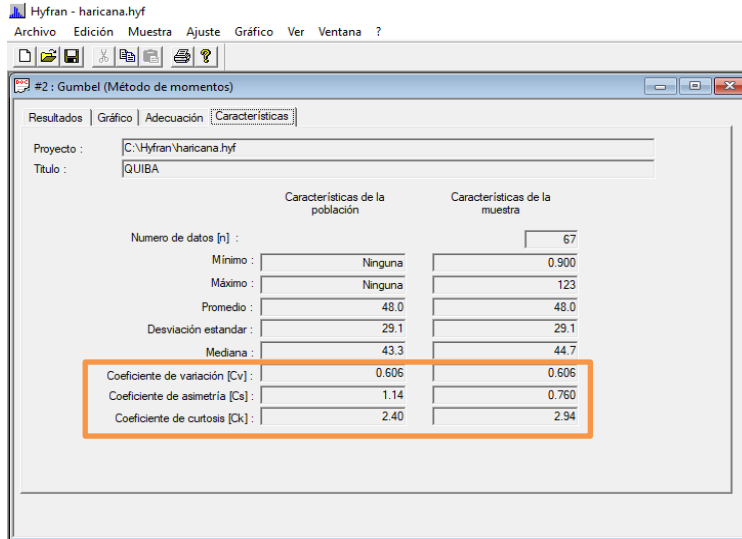
**Figura 89 Gráfica distribución Gumbel Estación Quiba (IDIGER)**

**Fuente: Autores**



**Figura 90 Pruebas de estacionalidad y homogeneidad anual de los datos distribución Gumbel Estación Quiba (IDIGER)**

**Fuente: Autores**



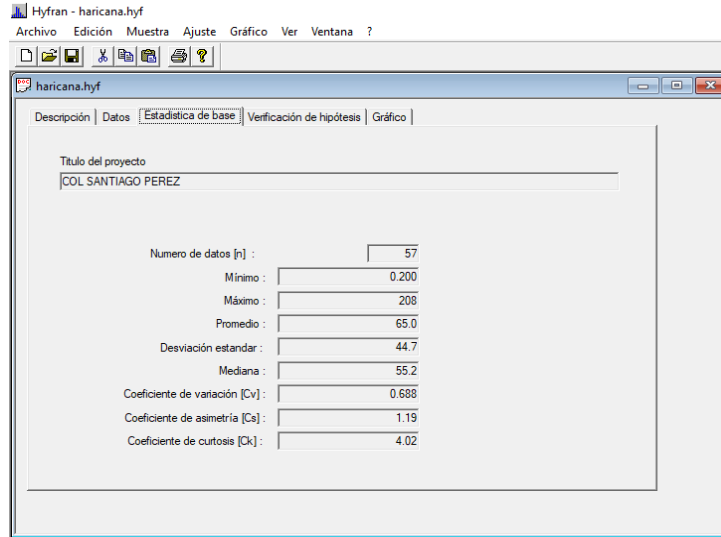
**Figura 91 Resultados distribución Gumbel Estación Quiba (IDIGER)**

**Fuente: Autores**

## **4.2.3 ESTACIONES INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM)**

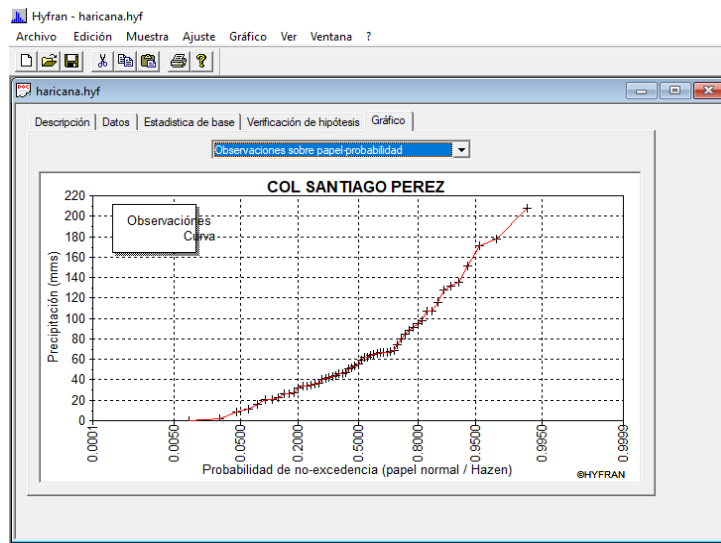
### **4.2.3.1 ESTACIÓN COLEGIO SANTIAGO PÉREZ (IDEAM)**

De la estación Colegio Santiago Pérez se obtuvieron datos de precipitación (mm) para un total de 5 años del 2011 hasta el primer semestre de 2015, los cuales se detallarán en el Anexo 3 del presente documento. A partir de estos datos se procedió a realizar la organización de los mismos y una vez organizados se trabajó en Hyfran. A continuación, se muestra la estadística descriptiva de los datos de precipitación para la Estación Colegio Santiago Pérez.



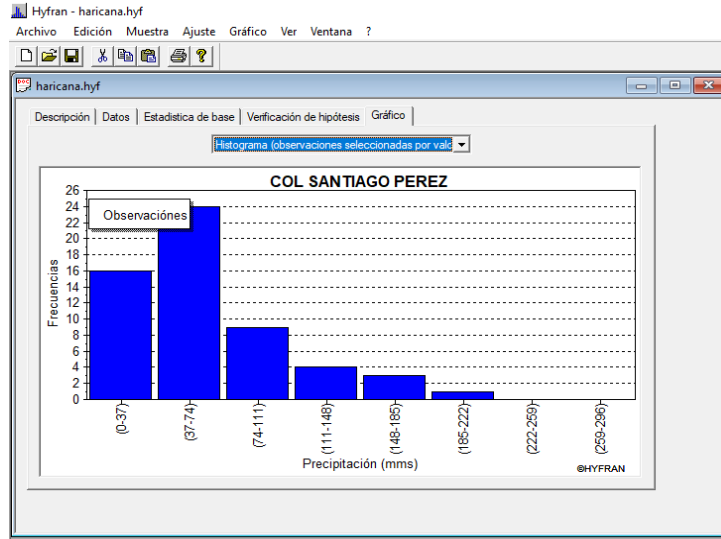
**Figura 92 Estadística base Estación Colegio Santiago Pérez (IDEAM)**

**Fuente: Autores**



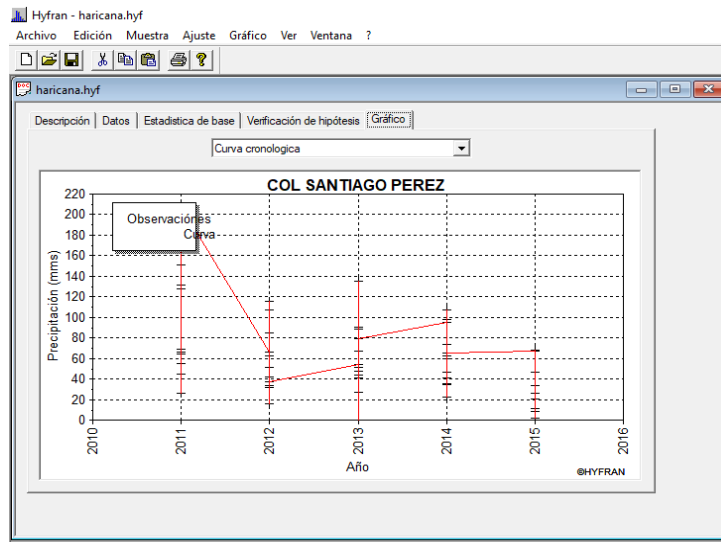
**Figura 93 Comportamiento datos de precipitación Estación Colegio Santiago Pérez (IDEAM)**

**Fuente: Autores**



**Figura 94 Histograma datos de precipitación Estación Colegio Santiago Pérez (IDEAM)**

**Fuente: Autores**

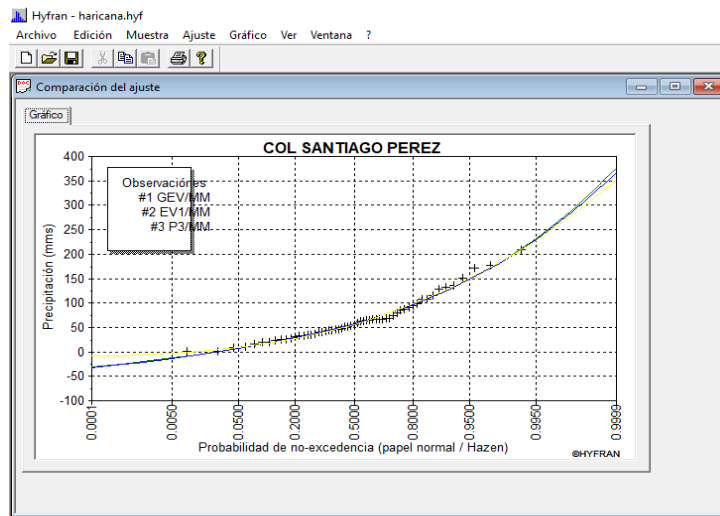


**Figura 95 Curva cronológica datos de precipitación Estación Colegio Santiago Pérez (IDEAM)**

**Fuente: Autores**

#### 4.2.3.1.1 COMPARACIÓN GRÁFICA ENTRE MÉTODOS ESTACIÓN COLEGIO SANTIAGO PÉREZ (IDEAM)

Luego de tener la estadística básica descriptiva, se realizaron las funciones de distribución de probabilidad GEV, GUMBEL, PEARSON III de las cuales se muestra el resultado resumen en la Figura 96 y Figura 97; los resultados obtenidos para cada una de las funciones de distribución de probabilidad se encuentran en detalle en el Apéndice 1 del presente documento.



**Figura 96 Comparación funciones de probabilidad Gev, Gumbel, Pearson III Estación Colegio Santiago Pérez (IDEAM)**

**Fuente: Autores**

**COL SANTIAGO PEREZ**

Numero de observaciones: 57

Período de retorno : T= 100

Modelo	Nb. param.	XT	P(Mi)	P(Mi   x)	BIC	AIC
Gumbel (Método de momentos)	2	205.378	33.33	70.21	588.075	583.989
Pearson tipo III (Método de momentos)	3	205.706	33.33	19.33	590.655	584.526
GEV (Método de momentos)	3	206.656	33.33	10.47	591.881	585.752

P(Mi) :Probabilidad a priori

P(Mi | x):Probabilidad a posteriori (método de Schwartz).

BIC: criterio de información de Bayes

AIC: criterio de información de Akaike

Promedio ponderado de los cuantiles : 205.5750

**Figura 97 Criterios de comparación de las distribuciones Estación Colegio Santiago Pérez (IDEAM)**

**Fuente: Autores**

Teniendo en cuenta la comparación entre las tres funciones de probabilidad GEV, GUMBEL y PEARSON III mostrada en la Figura 96, se obtuvo que la función de distribución de probabilidad que mejor se ajusta es Gumbel, como se aprecia en la se aprecia en la Tabla 10, considerando esta distribución es recomendable si el coeficiente de asimetría de los eventos registrados es cercano a 1.14 (Álvarez Enojo, 2000); con base en este resultado, a continuación, se presenta el análisis estadístico para esta función.

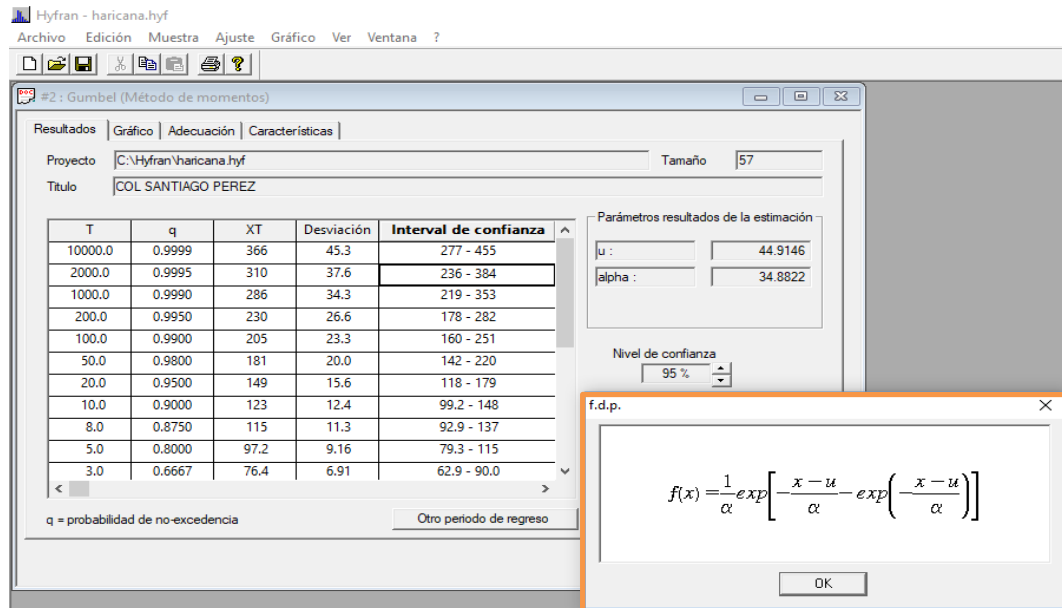
**Tabla 10 Comparación de factores para Funciones de Distribución de Probabilidad en la Estación Colegio Santiago Pérez – IDEAM**

Colegio Santiago Pérez - IDEAM	Estadística base	GEV	GUMBEL	PEARSON TIPO III
Desviación Estándar	44.7	44.7	44.7	44.7
Coefficiente de Variación (Cv)	0.688	0.688	0.688	0.688
Coefficiente de Asimetría (Cs)	1.19	1.18	1.14	1.19
Coefficiente de Curtosis (Ck)	4.02	6.93	2.4	5.13

**Fuente: Autores**

#### 4.2.3.1.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA FUNCIÓN GUMBEL ESTACIÓN COLEGIO SANTIAGO PÉREZ (IDEAM)

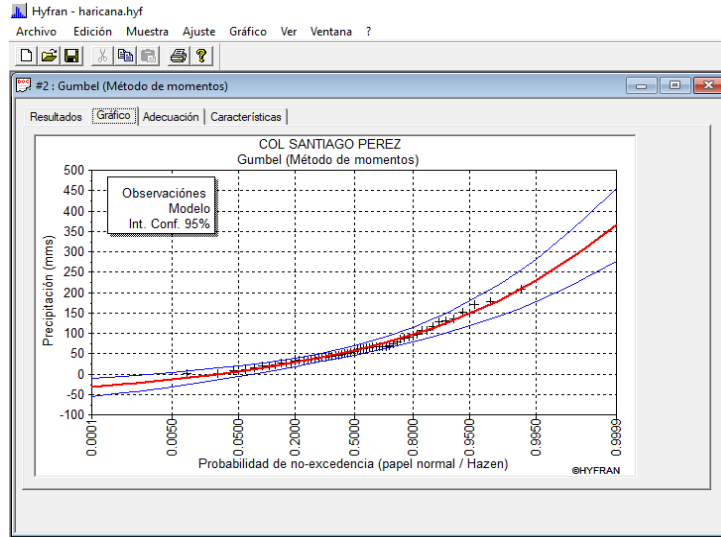
Para la distribución GUMBEL para calcular valores extremos, se trabajó con la Función de probabilidad (F.D.P) con un nivel de confianza del 95 % indicada en la Figura 98.



**Figura 98 F.D.P Gumbel Estación Colegio Santiago Pérez (IDEAM)**

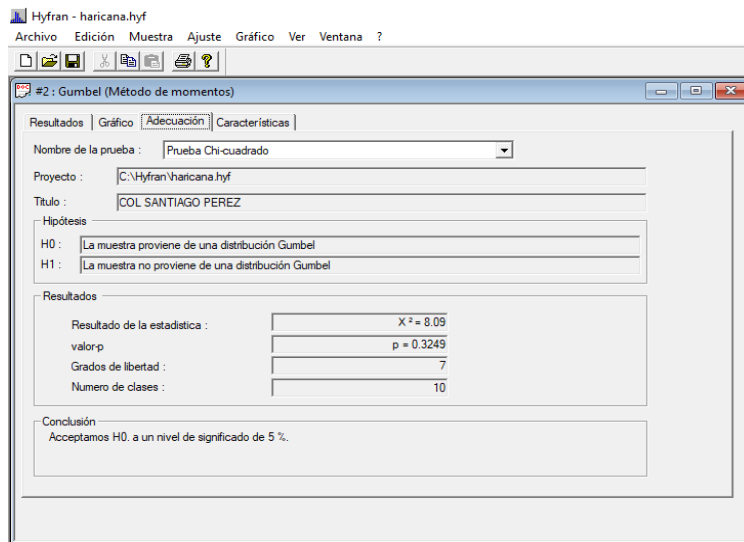
**Fuente: Autores**





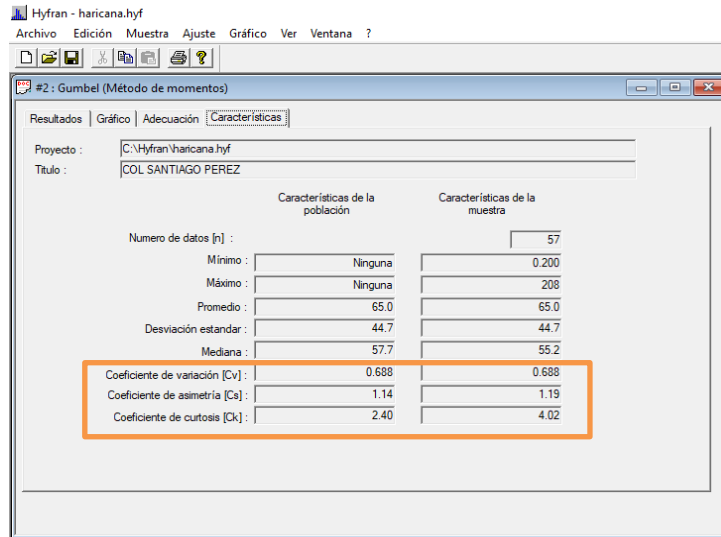
**Figura 99 Gráfica distribución Gumbel Estación Colegio Santiago Pérez (IDEAM)**

**Fuente: Autores**



**Figura 100 Pruebas de estacionalidad y homogeneidad anual de los datos distribución Gumbel Estación Colegio Santiago Pérez (IDEAM)**

**Fuente: Autores**

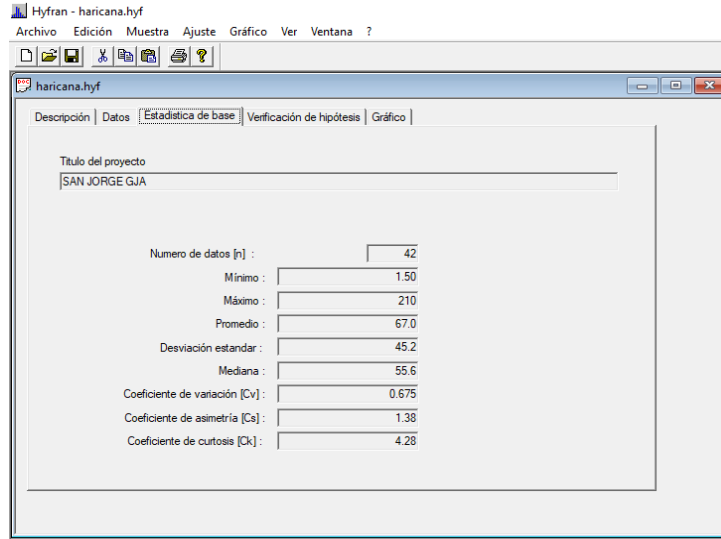


**Figura 101 Resultados distribución Gumbel Colegio Santiago Pérez (IDEAM)**

**Fuente: Autores**

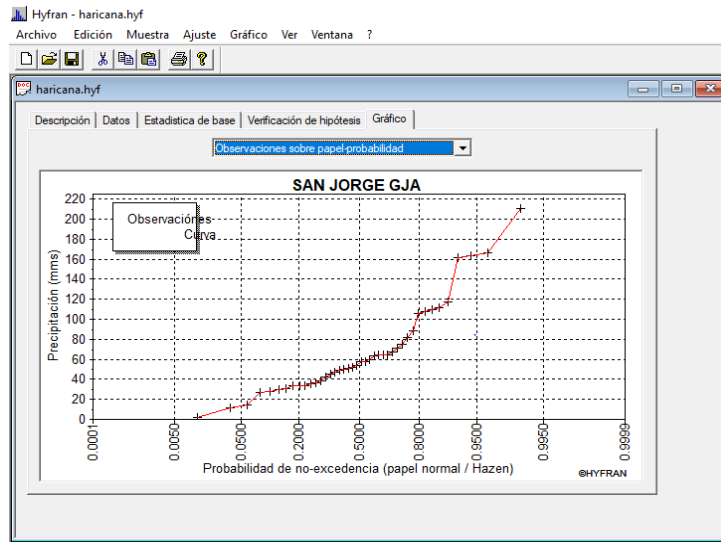
#### **4.2.3.2 ESTACIÓN SAN JORGE GJA (IDEAM)**

De la estación San Jorge GJA se obtuvieron datos de precipitación (mm) para un total de 5 años del 2011 hasta el primer semestre de 2015, los cuales se detallarán en el Anexo 3 del presente documento. A partir de estos datos se procedió a realizar la organización de los mismos y una vez organizados se trabajó en Hyfran. A continuación, se muestra la estadística descriptiva de los datos de precipitación para la Estación San Jorge GJA.



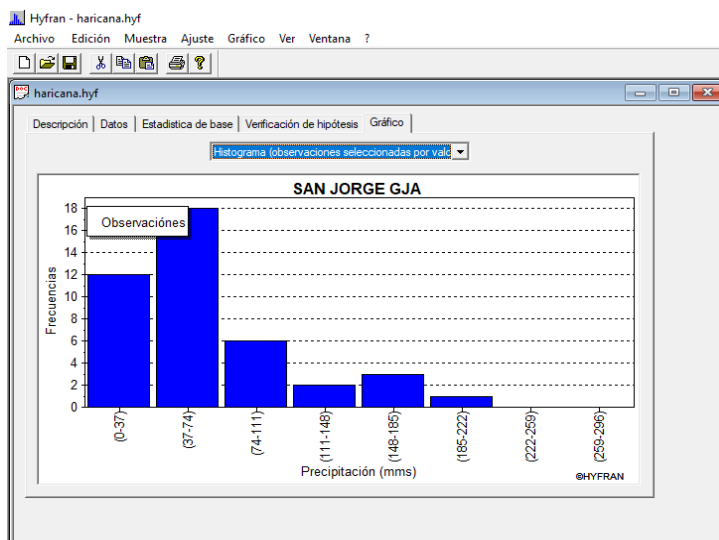
**Figura 102 Estadística base Estación San Jorge GJA (IDEAM)**

**Fuente: Autores**



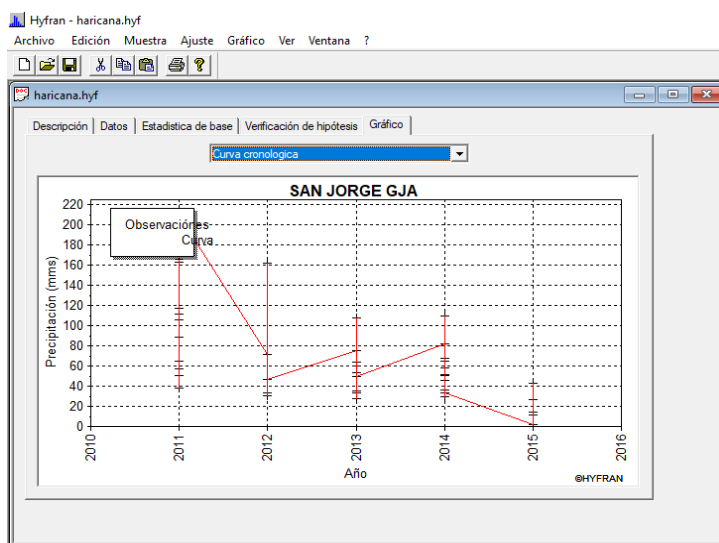
**Figura 103 Comportamiento datos de precipitación Estación San Jorge GJA (IDEAM)**

**Fuente: Autores**



**Figura 104 Histograma datos de precipitación Estación San Jorge GJA (IDEAM)**

**Fuente: Autores**

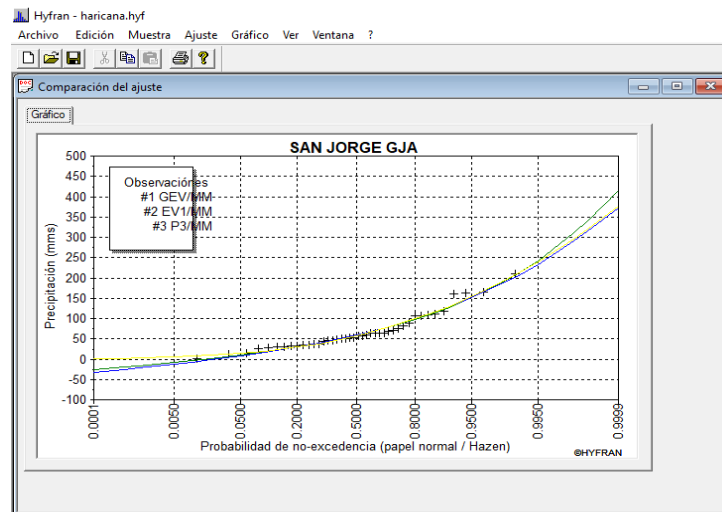


**Figura 105 Curva cronológica datos de precipitación Estación San Jorge GJA (IDEAM)**

**Fuente: Autores**

#### 4.2.3.2.1 COMPARACIÓN GRÁFICA ENTRE MÉTODOS ESTACIÓN SAN JORGE GJA

Luego de tener la estadística básica descriptiva, se realizaron las funciones de distribución de probabilidad GEV, GUMBEL, PEARSON III de las cuales, se muestra el resultado resumen en la Figura 106 y Figura 107; los resultados obtenidos para cada una de las funciones de distribución de probabilidad se encuentran en detalle en el Apéndice 1 del presente documento.



**Figura 106 Comparación funciones de probabilidad Gev, Gumbel, Pearson III Estación San Jorge GJA (IDEAM)**

**Fuente: Autores**

**SAN JORGE GJA**

Numero de observaciones: 42

Período de retorno : T= 100

Modelo	Nb. param.	XT	P(Mi)	P(Mi   x)	BIC	AIC
Gumbel (Método de momentos)	2	208.906	33.33	78.54	433.315	429.840
GEV (Método de momentos)	3	214.560	33.33	21.46	435.909	430.696
Pearson tipo III (Método de momentos)	3	214.538	33.33	N/D	N/D	N/D

P(Mi) :Probabilidad a priori

P(Mi | x):Probabilidad a posteriori (método de Schwartz).

BIC: criterio de información de Bayes

AIC: criterio de información de Akaike

Promedio ponderado de los cuantiles : 210.1194

**Figura 107 Criterios de comparación de las distribuciones Estación San Jorge GJA (IDEAM)**

**Fuente: Autores**

Teniendo en cuenta la comparación entre las tres funciones de probabilidad GEV, GUMBEL y PEARSON III mostrada en la Figura 106, se obtuvo que la función de distribución de probabilidad que mejor se ajusta es Gumbel como se aprecia en la se aprecia en la Tabla 11, considerando esta distribución es recomendable si el coeficiente de asimetría de los eventos registrados es cercano a 1.14 (Álvarez Enojo, 2000); con base en este resultado, a continuación, se presenta el análisis estadístico para esta función.

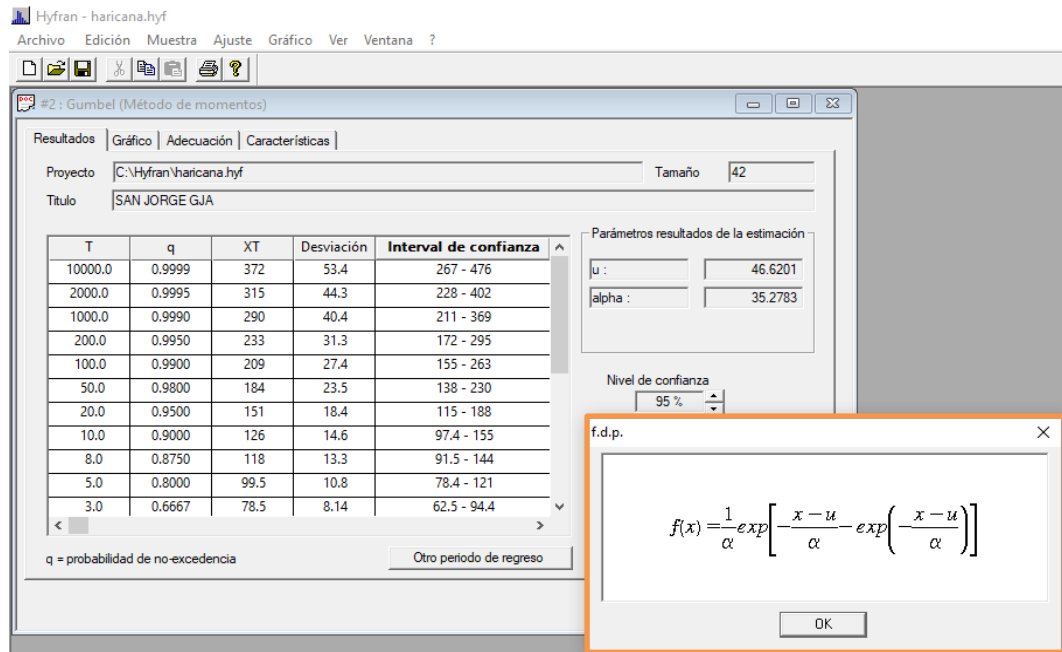
**Tabla 11 Comparación de factores para Funciones de Distribución de Probabilidad en la Estación San Jorge GJA – IDEAM**

San Jorge GJA- IDEAM	Estadística base	GEV	GUMBEL	PEARSON TIPO III
Desviación Estándar	45.2	45.2	45.2	45.2
Coefficiente de Variación (Cv)	0.675	0.675	0.675	0.675
Coefficiente de Asimetría (Cs)	1.38	1.38	1.14	1.38
Coefficiente de Curtosis (Ck)	4.28	6.75	2.4	5.87

**Fuente: Autores**

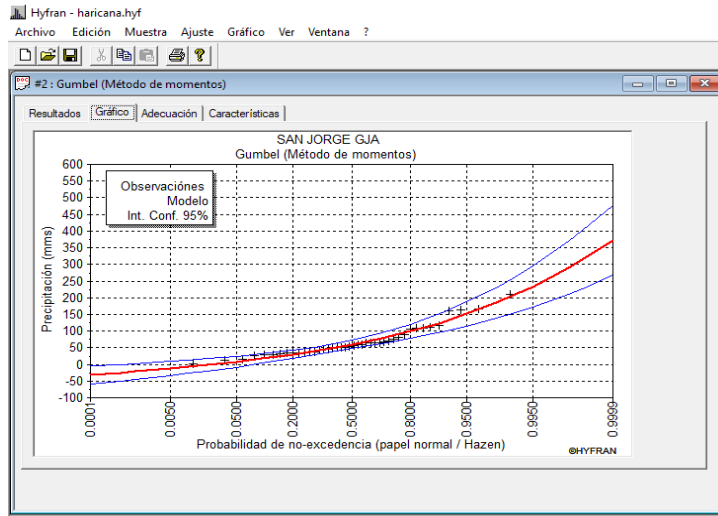
#### 4.2.3.2.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA FUNCIÓN GUMBEL ESTACIÓN SAN JORGE GJA (IDEAM)

Para la distribución GUMBEL para calcular valores extremos, se trabajó con la Función de probabilidad (F.D.P) con un nivel de confianza del 95 % indicada en la Figura 108.



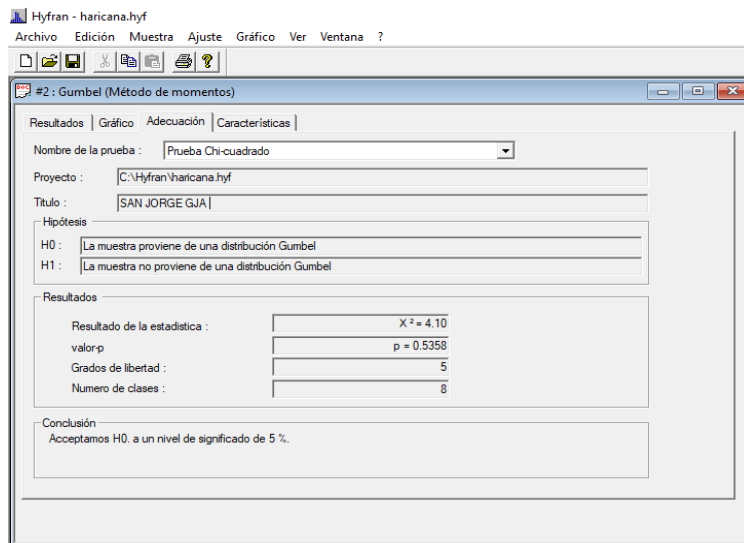
**Figura 108 F.D.P Gumbel Estación San Jorge GJA (IDEAM)**

**Fuente: Autores**



**Figura 109 Gráfica distribución Gumbel Estación San Jorge GJA (IDEAM)**

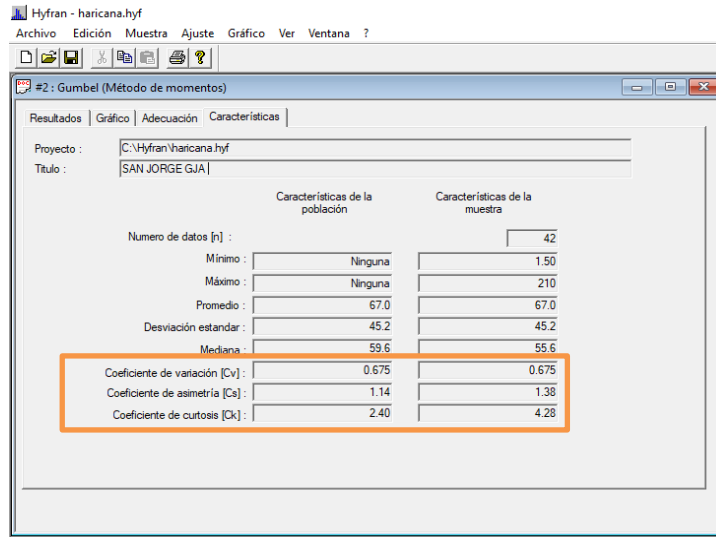
**Fuente: Autores**



**Figura 110 Pruebas de estacionalidad y homogeneidad anual de los datos distribución Gumbel Estación San Jorge GJA (IDEAM)**

**Fuente: Autores**





**Figura 111 Resultados distribución Gumbel San Jorge GJA (IDEAM)**

**Fuente: Autores**

#### **4.3 ANÁLISIS DE LA FUNCIÓN DE PROBABILIDAD QUE MAS SE AJUSTA EN LAS ESTACIONES DE LA QUEBRADA CHIGUAZA**

Del procesamiento anterior realizado para los datos de precipitación que se obtuvieron de las diferentes entidades (IDIGER, E.A.A.B, IDEAM), se realizó el análisis de las funciones de distribución de probabilidad GEV, GUMBEL, PEARSON III y de allí se halló la función de probabilidad que más se ajustaba a los datos recolectados. Esta probabilidad fue el resultado del análisis de la estadística base en donde se tuvo en cuenta la desviación estándar (Distancia promedio de los datos) y el valor de los coeficientes de variación, asimetría y curtosis.

Adicionalmente se realizó una verificación de hipótesis empleando la prueba estadística de Smirnov Kolmogorov que es una prueba no paramétrica que determina la bondad de ajuste de dos distribuciones de probabilidad entre sí y paralelamente se generó gráficas para comprender el comportamiento de los datos de cada estación junto con su respectivo histograma.

A continuación, en la Tabla 12 se presenta un consolidado de la función de probabilidad que más se ajustó por estación.

**Tabla 12 Consolidado de la función de probabilidad que más se ajustó por estación**

<b>QUEBRADA CHIGUAZA</b>	
<b>Estación</b>	<b>Función de Probabilidad</b>
Estación Moralba – IDIGER	Gumbel
Estación Alemania Unificada – IDIGER	Gumbel
Estación Artillería – IDIGER	Gumbel
Estación Molinos – IDIGER	Gumbel
Estación Colegio Santiago Pérez – IDEAM	Gumbel

**Fuente: Autores**

Como se evidencia en la Tabla 12, de las 5 estaciones ubicadas en la Quebrada Chiguaza, en las 5 estaciones la función de probabilidad que más se ajustó fue GUMBEL.

Para el caso de estas estaciones el valor del coeficiente de asimetría de los eventos registrados fue cercano a 1.14 lo cual es un parámetro recomendable para emplear esta función (Álvarez Enojo, 2000) y adicionalmente se tuvo en cuenta que esta función ha sido utilizada con buenos resultados para valores extremos independientes de variables meteorológicas y parece ajustarse bastante bien a los valores máximos de la precipitación en diferentes intervalos de tiempo.

#### **4.4 ANÁLISIS DE LA FUNCIÓN DE PROBABILIDAD QUE MAS SE AJUSTA EN LAS ESTACIONES DE LA QUEBRADA LIMAS**

El procedimiento mencionado anteriormente se repitió para las estaciones ubicadas en la cuenca Limas, con los datos obtenidos de las diferentes entidades (E.A.A.B, IDIGER, IDEAM), se realizó el análisis de las funciones de distribución de probabilidad GEV, GUMBEL, PEARSON III teniendo en cuenta la desviación estándar (Distancia promedio de los datos) y el valor de los coeficientes de variación, asimetría y curtosis, se encontró la función de distribución de probabilidad que mejor se ajusta a los mismos.

Al igual que en la cuenca Chiguaza se realizó una verificación de hipótesis empleando la prueba estadística en Smirnov Kolmogorov, y se generaron las gráficas para comprender el comportamiento de los datos de cada estación junto con su respectivo histograma.

A continuación, en la Tabla 13 se presenta un consolidado de la función de probabilidad que más se ajustó por estación.

**Tabla 13 Consolidado de la función de probabilidad que más se ajustó por estación**

<b>QUEBRADA LIMAS</b>	
<b>Estación</b>	<b>Función de Probabilidad</b>
Estación Quiba – EEAA	Gumbel
Estación San Francisco – IDIGER	Gumbel
Estación Quiba – IDIGER	Gumbel
Estación San Jorge GJA – IDEAM	Gumbel

**Fuente: Autores**

Como se evidencia en la Tabla 13, las 4 estaciones ubicadas en la Quebrada Limas, arrojaron como resultado que la función de probabilidad que más se ajustó fue GUMBEL.

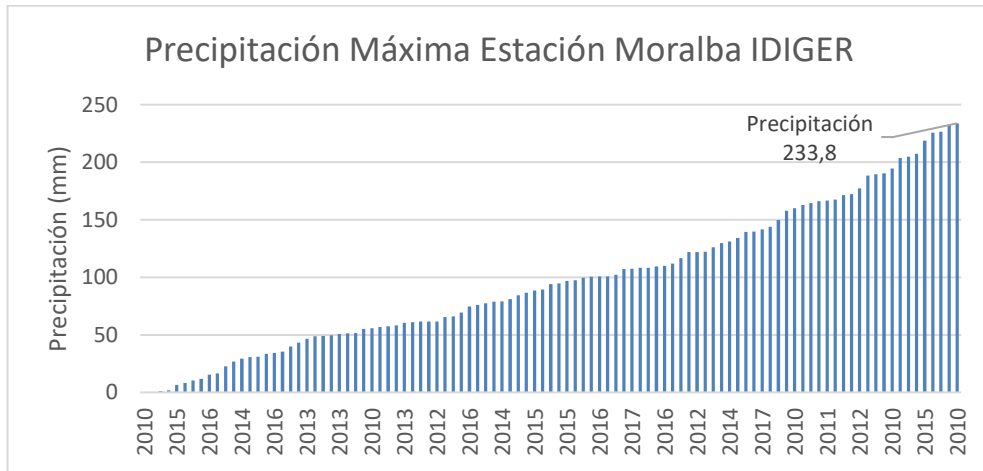
Para el caso de estas estaciones el valor del coeficiente de asimetría de los eventos registrados fue cercano a 1.14 lo cual es un parámetro recomendable para emplear esta función (Álvarez Enojo, 2000) y adicionalmente se tuvo en cuenta que esta función ha sido utilizada con buenos resultados para valores extremos independientes de variables meteorológicas y parece ajustarse bastante bien a los valores máximos de la precipitación en diferentes intervalos de tiempo.

#### **4.5 ANÁLISIS DE LOS DATOS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA**

Para cada una de las estaciones se halló la precipitación máxima, esto con el fin de comprender la variación de las precipitaciones de acuerdo a ciertos ciclos temporales determinados por los movimientos de rotación y traslación terrestres y por la localización geográfica de las

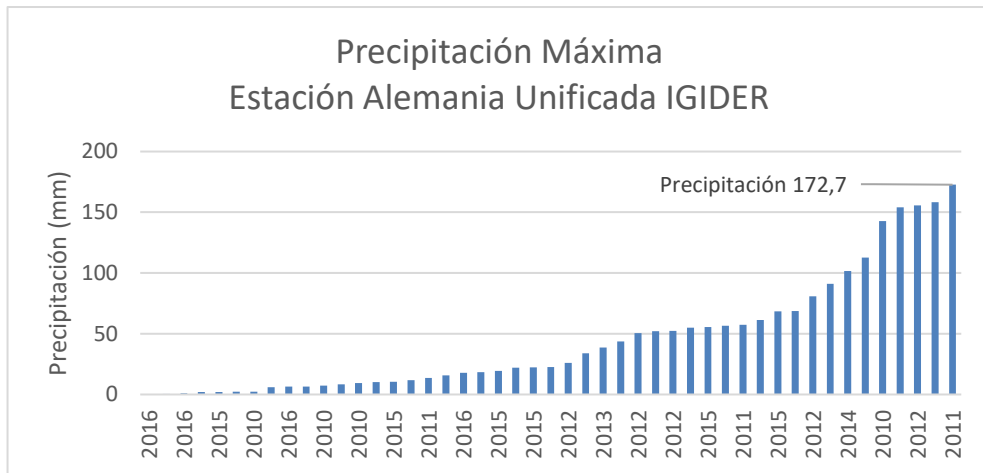
quebradas. A continuación, se presenta las gráficas de precipitación máxima, discriminados por las estaciones que hacen parte de la Quebrada Chiguaza y Quebrada Limas:

#### 4.5.1 ESTACIONES DE LA QUEBRADA CHIGUAZA



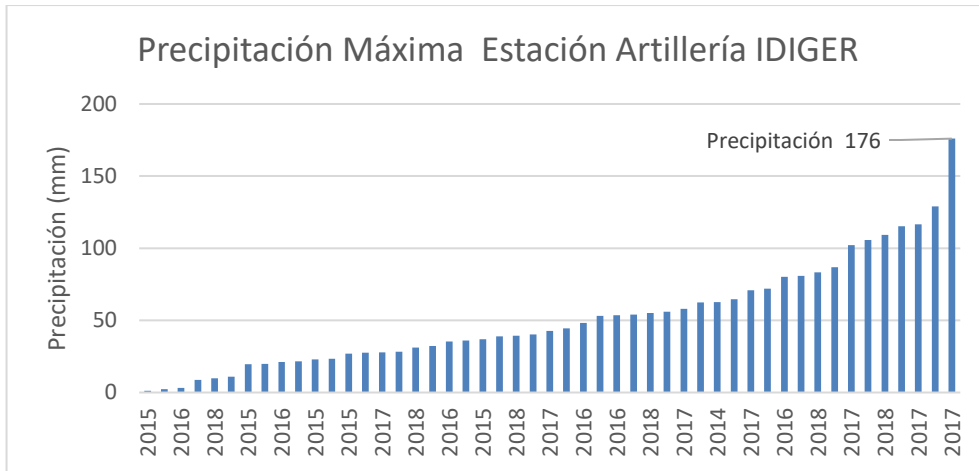
**Figura 112 Precipitación Máxima Estación Moralba IDIGER**

**Fuente: Autores**



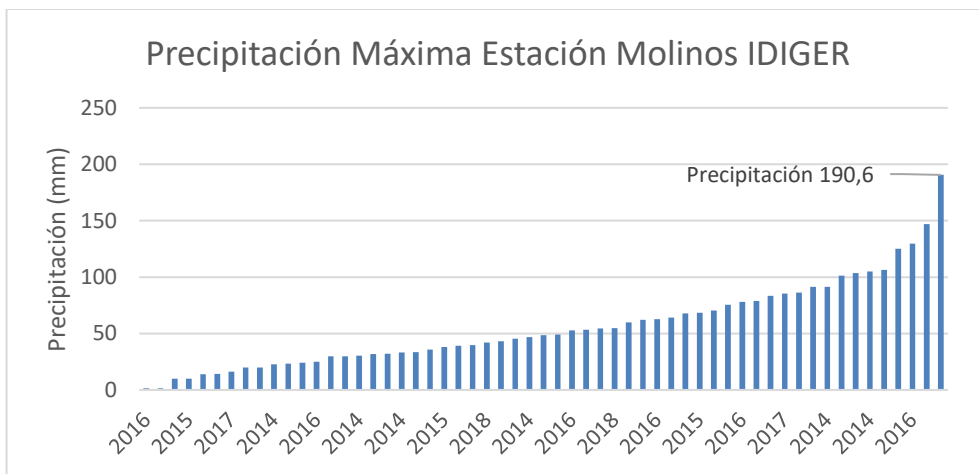
**Figura 113. Precipitación Máxima Estación Alemania Unificada IGIDER**

**Fuente: Autores**



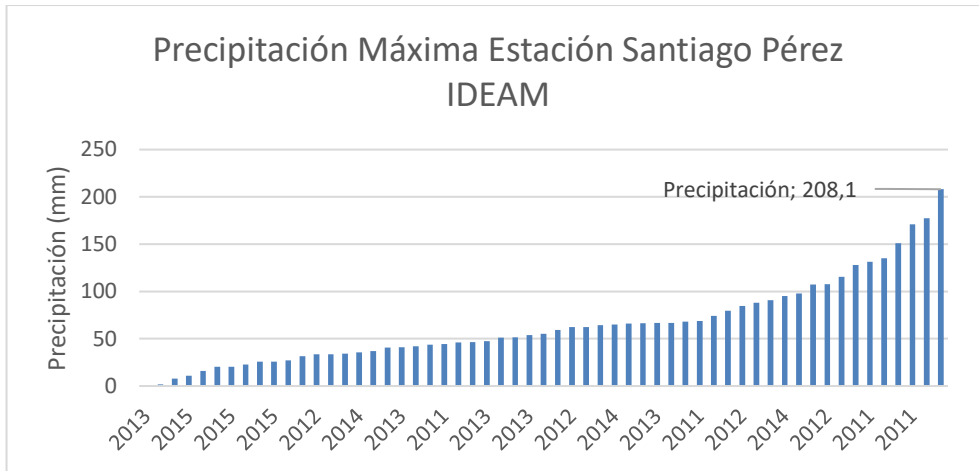
**Figura 114 Precipitación Máxima Estación Artillería IDIGER**

**Fuente: Autores**



**Figura 115 Precipitación Máxima Estación Molinos IDIGER**

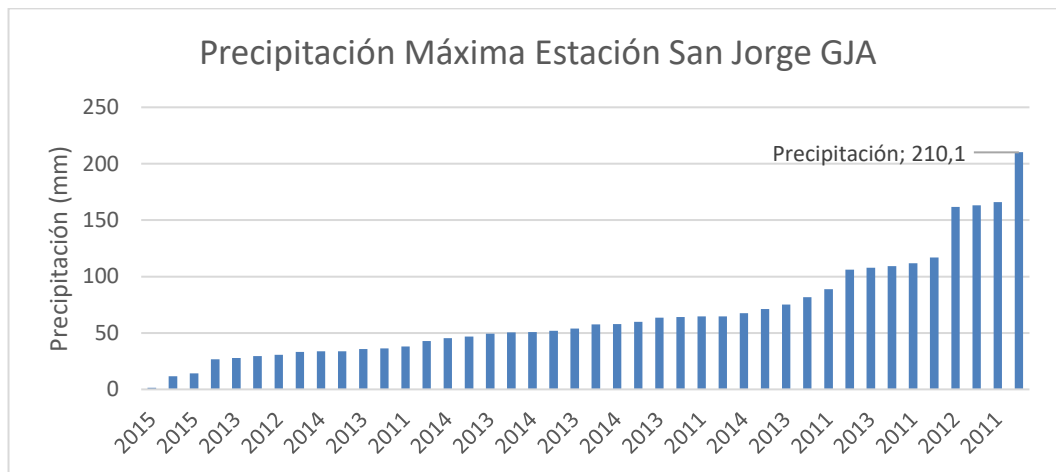
**Fuente: Autores**



**Figura 116 Precipitación Máxima Estación Santiago Pérez IDEAM**

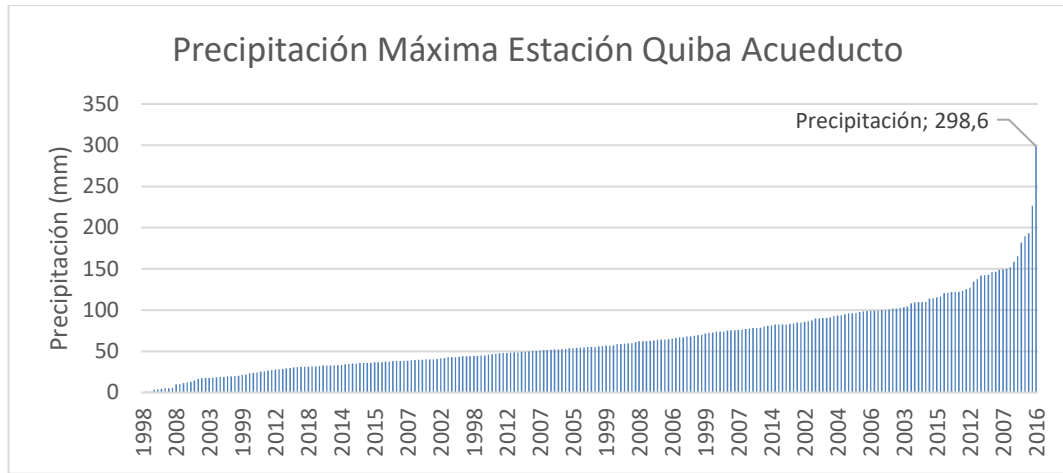
**Fuente: Autores**

#### 4.5.2 ESTACIONES DE LA QUEBRADA QUIBA



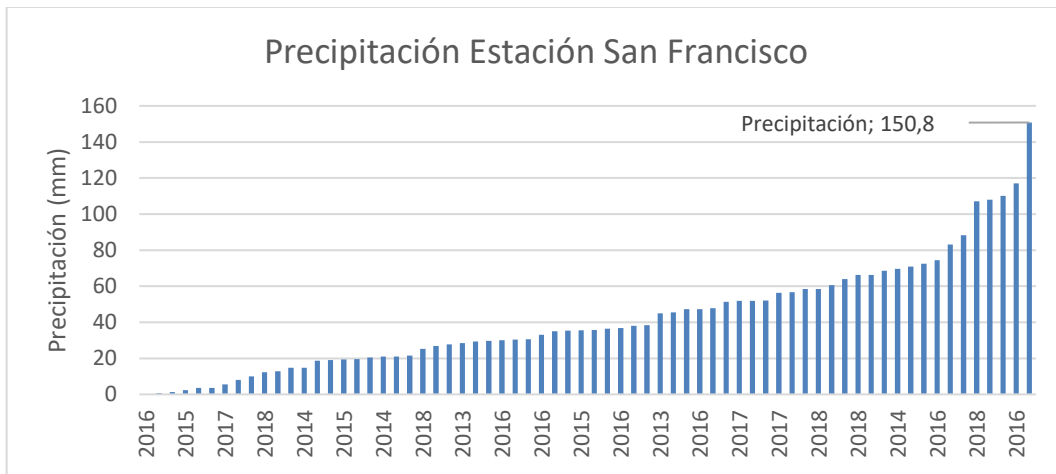
**Figura 117 Precipitación Máxima Estación San Jorge GJA IDEAM**

**Fuente: Autores**



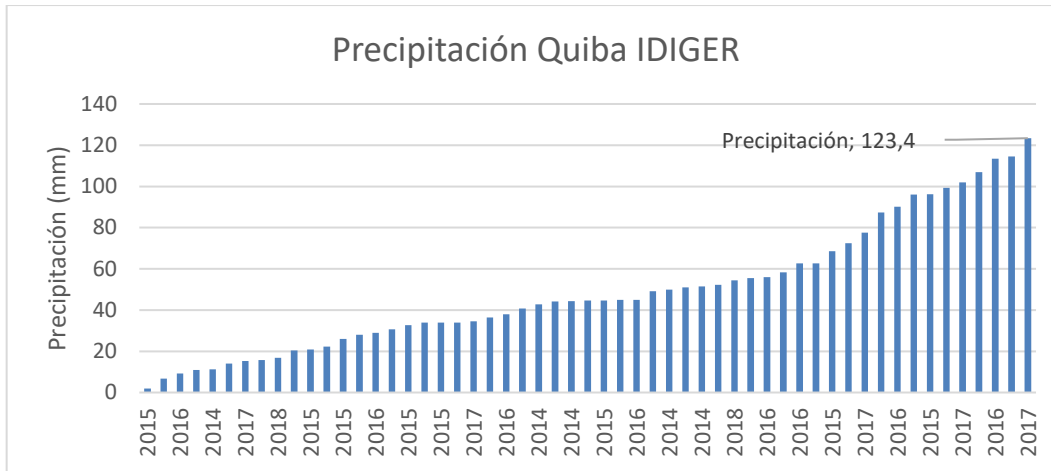
**Figura 118. Precipitación Máxima Estación Quiba Acueducto**

**Fuente: Autores**



**Figura 119. Precipitación Máxima Estación San Francisco**

**Fuente: Autores**



**Figura 120. Precipitación Máxima Estación Quiba - IDIGER**

**Fuente: Autores**

En la, Figura 112, Figura 113, Figura 116 y Figura 117 se evidencia que las mayores precipitaciones se presentaron en los años 2010 y 2011, reflejo de la temporada que produjo fuertes aguaceros originados por el fenómeno de La Niña particularmente durante la segunda temporada de lluvias de 2010 y primera temporada de lluvias de 2011, se señaló la presencia de “La Niña” 2010-2011, cuya repercusión en el clima de Colombia fue bastante notoria, generando emergencias asociadas a inundaciones lentas, crecientes súbitas y deslizamientos de tierra, con las consecuentes pérdidas humanas y materiales. (IDEAM - Euscátegui Christian; Hurtado Gonzalo, 2012)

En la Figura 118, también se puede inferir que del año 1998 se presenta un índice muy bajo de precipitación, en concordancia con los eventos del 1995 y 2000 en donde se presentaron racionamientos de agua en una parte importante del país, porque las fuentes hídricas se encontraban secas o con niveles supremamente bajos que obligaron a las autoridades locales a tomar este tipo de medidas. Para mitigar el efecto del Niño. (El Tiempo, 1998)

Con referencia a la Figura 114, Figura 115, Figura 118, Figura 119 y Figura 120 estas estaciones tienen disponibilidad de datos a partir del año 2014, de estas graficas se puede inferir que las precipitaciones máximas se presentaron en los años 2016 y 2017, El director del IDEAM



explicó que la temporada de lluvias, coincide con la segunda temporada de huracanes que afecta especialmente a los Estados Unidos, fenómeno que “Está directamente asociado a la mayor humedad en varias regiones del país, lo que originará una mayor intensidad de lluvias en varias de las ciudades capitales, incluida Bogotá”. (El País, 2017)

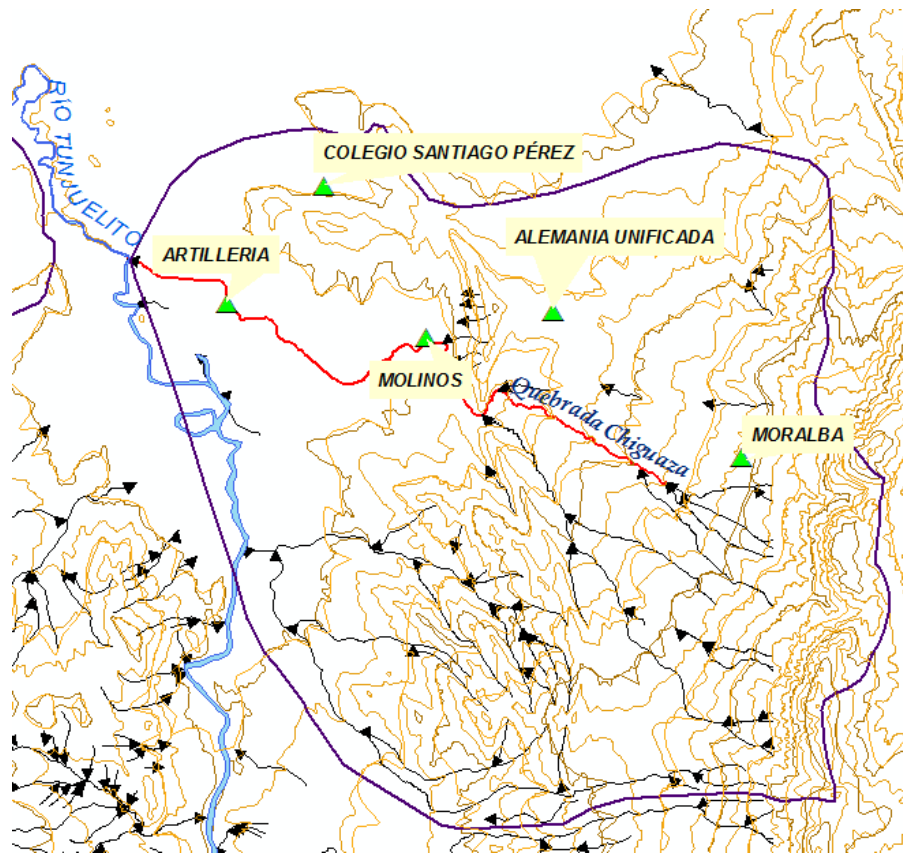
En concordancia con lo expuesto anteriormente, se deduce que las gráficas reflejan los distintos fenómenos que han alterado los patrones la lluvia en diferentes años, es decir los datos tienen concordancia con las variaciones climáticas que se han venido presentando, para este caso de estudio en la precipitación.

## **4.6 CURVAS ISOYETAS**

Con el fin de analizar la distribución geográfica de las estaciones ubicadas en el curso de la Quebrada Chiguaza y Limas se generó las curvas isoyetas ya que es un método que permite la consideración de los efectos orográficos en el cálculo de la lluvia media sobre la cuenca y provee una buena estimación e indica si las estaciones pluviométricas están distribuidas uniformemente dentro de la cuenca.

### **4.6.1 QUEBRADA CHIGUAZA**

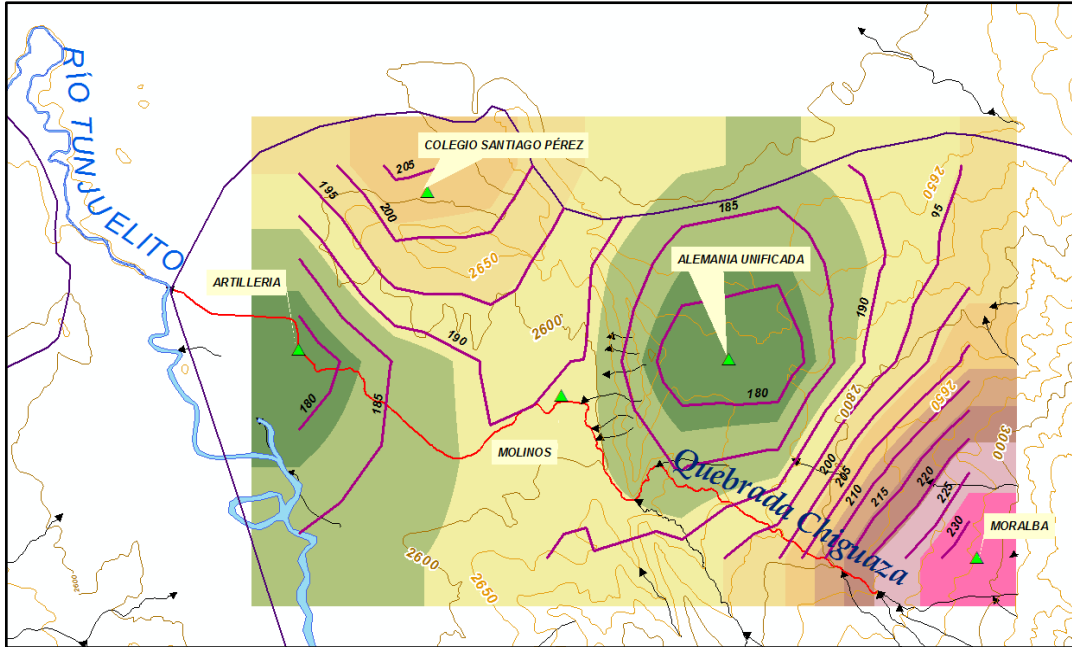
A continuación, se presenta en la Figura 121 la cuenca generada para la quebrada Chiguaza.



**Figura 121. Cuenca Quebrada Chiguaza**

**Fuente: Autores**

En la Figura 122, se presenta las curvas isoyetas generada para la Quebrada Chiguaza



**Figura 122. Curvas Isoyetas (Quebrada Chiguaza)**

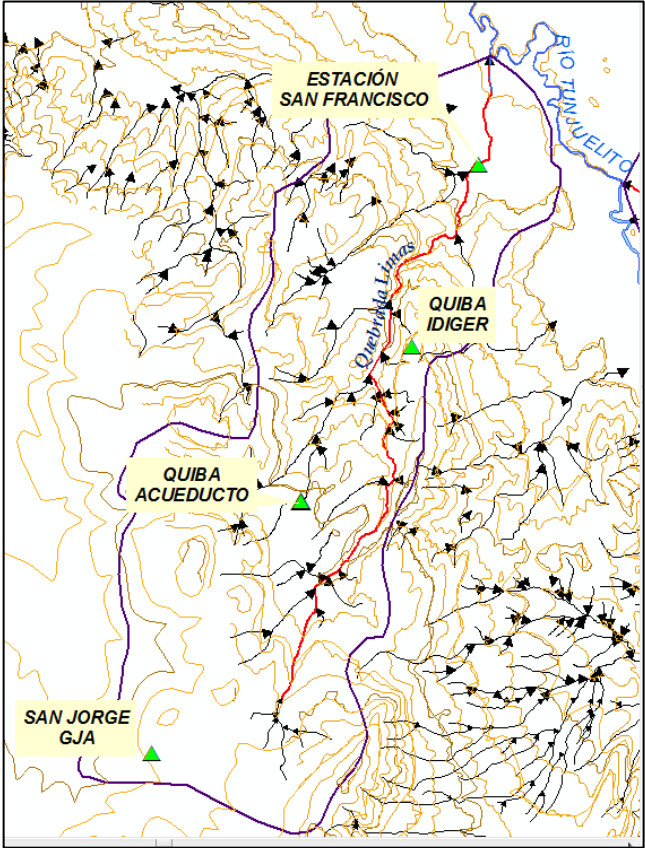
**Fuente: Autores**

Teniendo en cuenta las curvas isoyetas mostradas en la Figura 122, se puede evidenciar que la cuenca está conformada por dos tipos de terreno, la parte baja de la cuenca es bastante plana y la variación de las medidas pluviométricas entre las estaciones es pequeña, un ejemplo de este comportamiento se presenta en la estación Alemania Unificada, la cual presenta valores de precipitación mensual de 172.7 mm, en tanto la estación Artillería presenta valores de precipitación mensual de 176 mm; por otro lado en la parte alta de la cuenca se puede evidenciar que la precipitación es mucho mayor como se registra en la estación Moralba, con precipitaciones mensuales de 233.8 mm, comportamiento que se refleja en las curvas isoyetas en el área aferente a esta estación.

En la Figura 122 se refleja que la estación que menos incidencia tiene en la generación de las curvas isoyetas es la Estación Molinos (IDIGER), resultado de la poca información que hay recolectada hasta el momento puesto que solo se dispone información desde el 2014.

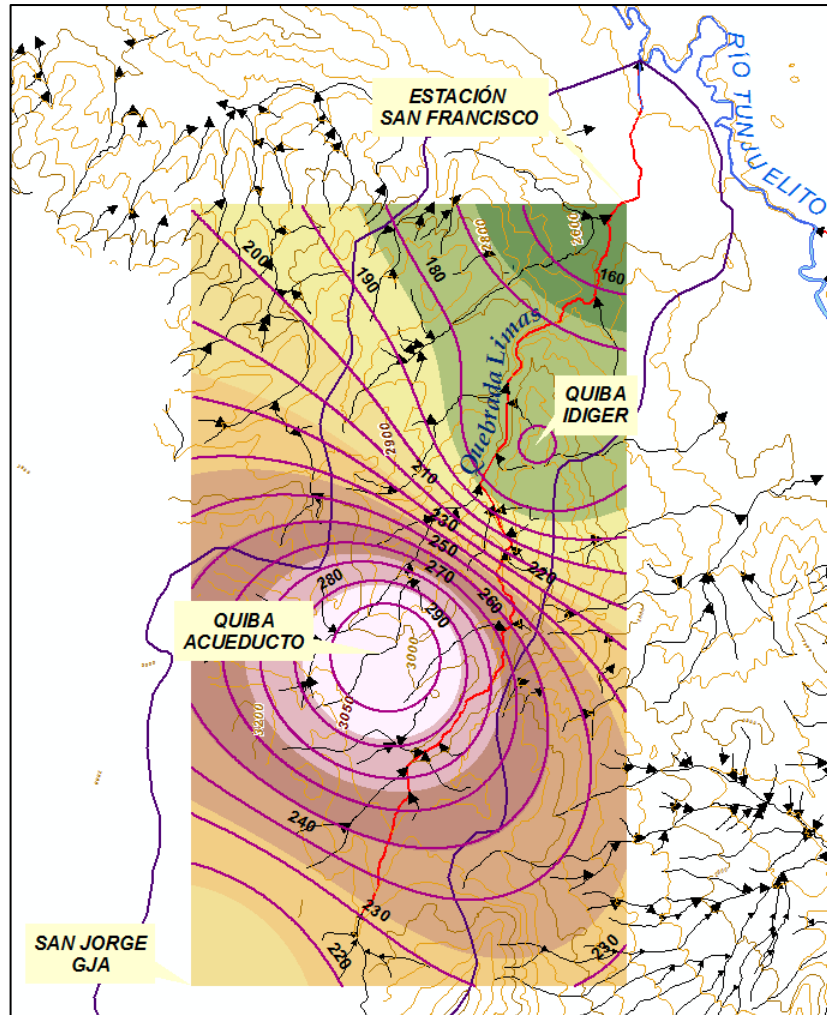
**4.6.2 QUEBRADA LIMAS**

En la Figura 123 se puede apreciar la cuenca generada para la quebrada Limas.



**Figura 123. Cuenca Quebrada Limas**

**Fuente: Autores**



**Figura 124. Curvas Isoyetas (Quebrada Limas)**  
**Fuente: Autores**

Con respecto a las curvas isoyetas generadas en la Figura 124, se puede apreciar que la ubicación de la Estación Quiba Acueducto, corresponde a una zona en donde se presenta mayor influencia de las curvas isoyetas, ya que se encuentran índices más altos de precipitación con valores de 298.6 mm mensuales, en concordancia con su ubicación (Punto más alto de la cuenca). Las estaciones en general muestran una buena distribución, lo cual es clave para la captura de la información ya que se tienen estaciones en todo el curso de la cuenca, recopilando información en los puntos altos y bajos del terreno, como es el caso de la estación San Francisco, la cual presenta

valores mensuales de precipitaciones de 150.8 mm, lo cual se reflejó en la conformación de las curvas isoyetas.

La Figura 121 y Figura 122 de la quebrada Chiguaza, presenta de una forma clara tanto la conformación del relieve como la incidencia de la precipitación según el tipo de terreno, en la estación Alemania Unificada y Artillería, la conformación de las isoyetas ilustra el comportamiento de la precipitación, lo cual es consecuente con el terreno plano de esta zona y los valores menores de precipitación, al observar el conjunto de curvas isoyetas de la Quebrada Chiguaza se evidencia una representación más clara de las zonas de lluvia, en comparación con la Figura 123 y Figura 124 en donde hay un índice más alto de isoyetas debido al tipo del terreno, esto teniendo en cuenta que para la quebrada Limas la topografía es de características abruptas, en consecuencia se tiene mayor número de drenajes afluentes lo cual hace que la conformación de curvas en esta zona sea mucho más densa.

Es importante resaltar que la quebrada Limas, tiene una parte de su cauce canalizado y se encuentra en una zona de alto conflicto social, lo que hace que el monitoreo se dificulte en gran medida teniendo en cuenta lo anterior, se puede inferir que esta problemática podría repercutir en la toma y control de información.

## 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En cuanto al diagnóstico que se realizó con respecto a la ubicación de las estaciones en las quebradas Chiguaza y Limas, las estaciones que tienen inferencia en las quebradas son las mostradas en la Figura 121 y Figura 123, en estas se puede evidenciar la distribución de las estaciones que actualmente capturan información en el curso de las quebradas Limas y Chiguaza a partir de estas estaciones se realizó el análisis de datos, teniendo en cuenta única y exclusivamente los datos de pluviometría. En las figuras anteriormente nombradas se evidencia que las estaciones tienen una distribución adecuada con respecto al curso de la quebrada que hacen parte, puesto que abarcan la totalidad de la quebrada e incluyen los drenajes afluentes a la misma, es decir capturan información de toda la quebrada en los puntos altos y bajos del terreno, por tanto, se concluye que tienen una adecuada distribución espacial. Con respecto a lo anterior en la Figura 122 y Figura 124 las curvas isoyetas son reflejo de la buena ubicación de las estaciones, ya que con estas se puede hacer una buena interpretación de la precipitación en las cuencas, ya que en los puntos más altos se hacen más densas las curvas, reflejo de que en esos puntos se presenta mayores valores de precipitación a diferencia de las zonas planas en donde se presentan con un intervalo mayor, estas curvas sirven como elemento esencial para entender el comportamiento de la precipitación con respecto a la orografía de la zona de estudio, para el caso de la quebrada limas y Chiguaza muestra de forma clara el comportamiento de la precipitación en las áreas de estudio.

Con respecto a los datos proporcionados por las diferentes entidades (E.A.A.B, IDIGER, IDEAM), los resultados provenientes de los diferentes análisis realizados a la información, reflejaron que los datos tienen concordancia con las variaciones climáticas que se han venido presentando por los fenómenos que han alterado los patrones la lluvia en diferentes años, por tanto, la distribución de las estaciones es acorde a la necesidad de la quebrada. Se considera pertinente concluir que no hay necesidad de instalar más estaciones, pero si hay que intensificar el control de las mismas porque de nada sirve tener la disposición de estaciones si estas no funcionan correctamente, adicionalmente se está perdiendo información que puede ser clave para complementar futuros proyectos. Como se evidencia en el Anexo 3 en estaciones como SAN

JORGE GJA, se capturo información desde el año 1960 y hasta el mes de mayo de 2017 de allí en adelante se evidencia la brecha que hubo en cuanto a los datos recolectados, por otro lado en las Figura 113, y Figura 114, se puede apreciar la poca información recolectada en estas estaciones, del análisis estadístico hecho y de las gráficas anteriormente nombradas se puede inferir que debido a la deficiencia de los datos existe una necesidad de monitoreo, seguimiento y control más no hay necesidad de implementar nuevas estaciones puesto que con las que hay se hace un cubrimiento total de la información de la cuenca.

Por todo lo antes mencionado se pudo establecer que no existe ausencia de estaciones pluviométricas que dificulten tener un monitoreo completo para la generación de alertas tempranas en estas cuencas, por el contrario, se evidencian dificultades relacionadas con el seguimiento y mantenimiento de las estaciones existentes, lo que se ve reflejado en datos de precipitaciones incompletos y con alto grado de incertidumbre, a tener en cuenta en estudios y generación de alertas tempranas.

Finalmente, vale la pena destacar que: la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá E.A.A.B., fue la evidenció mayor cantidad de datos en el tiempo y pese a que solamente cuenta con una estación para medir precipitación, actualmente esta se mantiene en funcionamiento, por otro lado el Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático – IDIGER, presenta mayor cantidad de estaciones en las cuencas de estudio, sin embargo los datos obtenidos se encuentran en un promedio de 6 años de información; por otro lado el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, cuenta con dos estaciones en el área estudiada en este proyecto, sin embargo de la información obtenida de las mismas, se encuentran reportes hasta 2016 y 2017, con datos incompletos y sin continuidad. Teniendo en cuenta este comparativo y siendo que el IDIGER tiene mayor cantidad de estaciones a lo largo de las cuencas, estas al tener un mejor control y monitoreo podrían llevar a obtener información clave para el desarrollo de futuros proyectos.



Se recomienda ejercer un control y mantenimiento más continuo en las estaciones, con esta labor se podría mejorar la calidad de la información, lo cual contribuiría en gran medida en la elaboración de futuros proyectos que pretendan trabajar con los datos obtenidos de las diferentes estaciones.

Para trabajar con la información suministrada por las diferentes entidades de los anexos 1, 2 y 3, se recomienda realizar el complemento de los datos por cualquiera de las metodologías empleadas para ello, tales como método IDW o Inverso de la distancia.

Teniendo en cuenta que la distribución de las estaciones es adecuada, puesto que abarca la totalidad de las dos quebradas, a partir de un buen control se puede obtener una cantidad considerable de información, con la que se podrían realizar modelaciones que permitan generar estudios más profundos.

## BIBLIOGRAFÍA

Alcaldía Mayor de Bogotá / Dirección de Prevención y Atención de Emergencias - DPAAE. (2003). *Cuidemos Nuestros Ríos y Quebradas*. Bogotá, D.C, Colombia: Dirección de Prevención y Atención de Emergencias - DPAAE.

Alcaldía Mayor de Bogotá D. C; Localidad 19 Ciudad Bolívar. (2017). Análisis de Condiciones, Calidad de Vida, Salud y Enfermedad, . Bogotá, D.C. Obtenido de <http://www.saludcapital.gov.co/DSP/Diagnosticos%20distritales%20y%20locales/Local/2017/Subred%20Sur/CIUDAD%20BOL%C3%8DVAR.pdf>

Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2016). *Informe de Gestión 2015*. Bogotá D.C. Obtenido de [http://www.ambientebogota.gov.co/c/document\\_library/get\\_file?uuid=cb052072-376a-431c-85ae-b9e269bcddb&groupId=2888592](http://www.ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=cb052072-376a-431c-85ae-b9e269bcddb&groupId=2888592)

Álvarez Enojo, M. A. (2000). Tesis Doctoral Análisis regional de frecuencia aplicado a las precipitaciones máximas y avenidas. Santiago de Compostela. España: Universidad de Santiago de Compostela. Obtenido de [ftp://ceres.udc.es/master\\_en\\_ingenieria\\_del\\_agua/master%20antiguo\\_antes%20del%202012/Primer\\_Curso/Regulacion\\_del\\_Recurso\\_Y\\_Gestion\\_de\\_Situaciones\\_Extremas/Clase%20Manuel%20Alvarez/TESIS%20AN%C3%81LISIS%20REGIONAL/Tesis\\_1.pdf](ftp://ceres.udc.es/master_en_ingenieria_del_agua/master%20antiguo_antes%20del%202012/Primer_Curso/Regulacion_del_Recurso_Y_Gestion_de_Situaciones_Extremas/Clase%20Manuel%20Alvarez/TESIS%20AN%C3%81LISIS%20REGIONAL/Tesis_1.pdf)

Christian Euscátegui; Gonzalo Hurtado - IDEAM. (2012). Análisis del Impacto del Fenómeno “La Niña” 2010-2011 en la Hidroclimatología del País. *Análisis del Impacto del Fenómeno “La Niña” 2010-2011 en la Hidroclimatología del País*. Bogotá D.C, Colombia. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418818/An%C3%A1lisis+Impacto+La+Ni%C3%B1a.pdf/640a4a18-4a2a-4a25-b7d5-b3768e0a768a>

Cioruta, B., Coman, M., & Alin, C. (Mayo de 2013). Considerations regarding the last 3-5 years hydro meteorological conditions from the Baia Mare area. *Intenational Conference of Scientific Paper*. Brasov, Rumania. Obtenido de [http://www.afahc.ro/ro/afases/2013/eng\\_el/Cioruta\\_Coman\\_Cioruta.pdf](http://www.afahc.ro/ro/afases/2013/eng_el/Cioruta_Coman_Cioruta.pdf)

CLGR-CC, C. L. (2017). *Caracterización General de Escenarios de Riesgo - Localidad San Cristóbal*. Bogotá, D.C. Obtenido de <http://www.idiger.gov.co/documents/220605/221366/IDENTIFICACI%2B%C3%B4N+Y+PRIORIZACI%2B%C3%B4N+DE+ESCENARIOS+DE+RIESGO.pdf/78288b58-4bea-4484-b46e-eaf2cbbb9d7c>

Comegna, L., Damiano, E., Greco, R., Guida, A., Olivares, L., & Picarelli, L. (2016). Field hydrological monitoring of a sloping shallow pyroclastic deposit. *Canadian Geotechnical Journal*. Obtenido de <https://tspace.library.utoronto.ca/bitstream/1807/71987/1/cgj-2015-0344.pdf>

Consejo Local de Gestión del Riesgo de Desastres - CLGRD. (2017 - 2018). *Caracterización General de Escenarios de Riesgo - Localidad Rafael Uribe Uribe*. Bogotá D.C. Obtenido de <http://www.idiger.gov.co/documents/220605/257531/IDENTIFICACION+Y+PRIORIZACION.pdf>

El Espectador. Hernández Osorio, Carlos. (13 de Julio de 2015). *Desafiando el riesgo de la quebrada Limas*. Obtenido de El Espectador: <https://www.elespectador.com/noticias/bogota/desafiando-el-riesgo-de-quebrada-limas-articulo-572377>

El País. (14 de Septiembre de 2017). Este jueves comienza oficialmente la segunda temporada de lluvias en Colombia. *El País.com.co*. Obtenido de

<https://www.elpais.com.co/colombia/este-jueves-comienza-oficialmente-la-segunda-temporada-de-lluvias-en-colombia.html>

El Tiempo. (14 de Enero de 1998). Emergencia En 117 Municipios por Falta de Agua. *El Tiempo*.  
Obtenido de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-791085>

El Tiempo Navia, Jose. (24 de Febrero de 1999). *La Chiguaza: Riesgo Inminente*. Obtenido de El  
Tiempo: <http://m.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-875783>

Enciso, A. M., Escobar, Y. C., & Sandoval, M. C. (2016). Hydrological analysis of historical  
floods in the upper valley of Cauca river. *Scielo Colombia*, 47-58. Obtenido de  
<http://www.scielo.org.co/pdf/inco/v18n1/v18n1a05.pdf>

Forero, L. E. (24 de Julio de 2015). Trabajo de Grado. *Calibración de los modelos hidrológico e  
hidráulico para el Sistema de alerta temprana para inundación por desbordamiento para  
la quebrada Chiguaza*. Bogotá, D.C, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.

Habibi, B., Meddi, M., Torfs, P. J., & Remaoun, M. (2018). Characterisation and prediction of  
meteorological drought using stochastic models in the semi-arid Chélif–Zahrez basin  
(Algeria). *The Journal of Hydrology: Regional Studies*, 15-31. Obtenido de [https://www-  
sciencedirect-com.ezproxyucdc.ucatolica.edu.co/science/article/pii/S2214581816303482](https://www-sciencedirect-com.ezproxyucdc.ucatolica.edu.co/science/article/pii/S2214581816303482)

Hernández, Andrés Ramírez; Corporación Construyendo Hábitat. (5 de Mayo de 2009). Análisis  
de los conflictos ambientales en interfases urbano-rurales. *Generalidades desde dos  
territorios de Bogotá*. Bogotá, D.C. Obtenido de  
[http://www.observatorioambientalcar.co/m/archivos/1393433003dialnet-  
analisisdelosconflictosambietaleseninterfasesurban-3364594\(5\).pdf](http://www.observatorioambientalcar.co/m/archivos/1393433003dialnet-analisisdelosconflictosambietaleseninterfasesurban-3364594(5).pdf)

Herrán Álvarez, Marcela Patricia Universidad Santo Tomás. (Marzo de 2017). Estudio para la Determinación de la Franja Inundable de la Subcuenca Quebrada Chiguaza Perteneciente a la Cuenca del Rio Tunjuelo. Bogotá, D.C., Colombia. Obtenido de <file:///E:/Proyecto%20de%20Grado/Bib/Estudio%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20la%20franja%20inundable%20de%20la%20subcuenca%20Quebrada%20Chiguaza%20perteneciente%20a%20la%20cuenca%20del%20r%C3%ADo%20tunjuelito.pdf>

Herrera Molina, C. A., & IDEA, U. N. (2017). Concepto de ambiente en las comunidades relacionadas con las quebradas de Ciudad Bolívar: Un análisis desde la educación ambiental. Bogotá, D.C. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/60981/7/CamiloA.HerreraMolina.2017.pdf>

IDEAM - Euscátegui Christian; Hurtado Gonzalo. (2012). Análisis del Impacto del Fenómeno “La Niña” 2010-2011 en la Hidroclimatología del País. Bogotá D.C., Colombia. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418818/An%C3%A1lisis+Impacto+La+Ni%C3%B1a.pdf/640a4a18-4a2a-4a25-b7d5-b3768e0a768a>

IDEAM Costa Posada, Carlos; Rivera, Hebert Gonzalo; Romero Pinzón, Henry; Olaya Triana, Guillermo; Wilches Suárez, Hernando; Contreras Trujillo, Claudia; Niño Romero, Raul; Sanchez, F. D. (2007). Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua. Bogotá, D.C., Colombia. Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021172/Protocoloparaelmonitoreoyseguimientodelagua.pdf>

José Edgar Montealegre Bocanegra - IDEAM. (2007). *Modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia*. Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales, IDEAM, Bogotá. Obtenido de

<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/440517/Modelo+Institucional+El+Ni%C3%B1o+-+La+Ni%C3%B1a.pdf/232c8740-c6ee-4a73-a8f7-17e49c5edda0>

Jury, M. R. (2017). Evaluation of satellite-model proxies for hydro-meteorological services in the upper Zambezi. *The Journal of Hydrology: Regional Studies*, 91-109. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214581816300763>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (s.f.). *Sistema de información ambiental de Colombia - SIAC*. Recuperado el 2018, de [siac.gov.co: http://www.siac.gov.co/ninoynina](http://www.siac.gov.co/ninoynina)

Moreno Villamil, D. F., & Montenegro Gualtero, N. I. (2013). *Análisis de la calidad del agua de la quebrada Limas, localidad de Ciudad Bolívar*. Bogotá D.C: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Nied, M., Schröter, K., Lüdtke, S., Nguye, V. D., & Merz, B. (Febrero de 2017). ¿What are the hydro-meteorological controls on flood characteristics? *The Journal of Hydrology*, 310-326. Obtenido de <https://www-sciencedirect-com.ezproxyucdc.ucatolica.edu.co/science/article/pii/S0022169416307922>

Organización Meteorológica Mundial OMM-N°8. (2010). Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos. *OMM-N°(8)*, 2008. Obtenido de [https://library.wmo.int/pmb\\_ged/wmo\\_8-2014\\_es.pdf](https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_8-2014_es.pdf)

PCE Instruments. (s.f.). Recuperado el 2018, de <http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/que-estacion-meteorologica.htm>

Saaty, T. L. (2000). *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory With the Analytic Hierarchy Process*. U.S.A: RWS Publications Universidad de Pittsburgh.

- Secretaría de Hacienda; Departamento Administrativo de Planeación. (2004). *Diagnóstico físico y socioeconómico de las localidades de Bogotá, D.C. - Recorriendo San Cristóbal*. Bogotá D.C.: Edición Ltda. Obtenido de [http://www.shd.gov.co/shd/sites/default/files/documentos/recorriendo\\_san\\_cristobal.pdf](http://www.shd.gov.co/shd/sites/default/files/documentos/recorriendo_san_cristobal.pdf)
- Secretaría Distrital de Cultura, Recreación y Deportes. Observatorio de Culturas. (2008). *Localidad de Rafael Uribe Uribe – Ficha Básica*. Bogotá D.C. Obtenido de <http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/observatorio/documentos/localidades/rafaelUribe.pdf>
- Secretaría Distrital de Planeación. (2009). *Diagnóstico de los aspectos físicos, demográficos y socioeconómicos - Conociendo la localidad de San Cristóbal*. Bogotá D.C. Obtenido de <http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/InformacionEnLinea/InformacionDescargableUPZs/San%20Cristobal/Monograf%EDa/04%20Localidad%20de%20San%20Crist%F3bal.pdf>
- Universidad Nacional de Colombia. Instituto de Estudios Ambientales - IDEA. (2009). *Agenda Ambiental Localidad 19 Ciudad Bolívar*. Obtenido de Observatorio Ambiental de Bogotá: <file:///E:/Proyecto%20de%20Grado/CiudadBolivarAgendaAmbientaLocal.pdf>
- Valdés Quintero, J. C., Parra Toro, J. C., & Herrera Cadavid, S. (2013). Modelación espacial para la ubicación de estaciones meteorológicas en cuencas hidrográficas. *Revista Politécnica ISSN*, 9, 9-18. Obtenido de <http://revistas.elpoli.edu.co/index.php/pol/article/view/336>
- Wang, D., Borthwick, A. G., He, H., Wang, Y., Zhu, J., Lu, Y., . . . He, R. (2018). A hybrid wavelet de-noising and Rank-Set Pair Analysis approach for forecasting hydro-meteorological time series. *The Journal of Hydrology: Regional Studies*, 269-281. Obtenido de <https://www-sciencedirect-com.ezproxyucdc.ucatolica.edu.co/science/article/pii/S0013935117311921>

World Meteorological Organization. (1994). Guide to Hydrological Practices. *Data Acquisition and Processing, Analysis, Forecasting and Other Applications*, WMO No. 168. Obtenido de <http://cwc.gov.in/main/downloads/WMOENG.pdf>

Yoon, S.-S., & Lee, B. (2017). Effects of Using High-Density Rain Gauge Networks and Weather Radar Data on Urban. *Hydrological Analyses - Water MDPI*. Obtenido de <file:///F:/Proyecto%20de%20Grado/Articulos/hydrology/pdf3%20water-09-00931-v3.pdf>

Zahudi, Z. M., Adnan, M. S., Amat, N. F., Erfen, Y., & Ali, N. C. (2015). Climate Change Impacts on Rainfall Distribution at Teluk Intan. *Applied Mechanics and Materials*, 773-774, 1296-1300. Obtenido de <https://www.scientific.net/AMM.773-774.1296>



## **APÉNDICES**

### **1. ANÁLISIS DE ESTACIONES**

## ANEXOS

1. DATOS E.A.A.B.
2. DATOS IDIGER.
3. DATOS IDEAM.