



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA**  
**Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales**  
**Carrera de Ingeniería Civil**

## **PRÁCTICA SUPERVISADA**

**“ANÁLISIS DE INFORMACION PLUVIOMÉTRICA  
Y ESTUDIO DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LA  
PROVINCIA DE SALTA”**

**AUTOR: Juan Emilio Rudolf**

**TUTOR INTERNO: Dr. Ing. Carlos Marcelo García**

**TUTORES EXTERNOS: Msc. Ing. Nicolás Federico Guillén**

**Ing. María Magdalena Baraquet**

**AÑO 2017**

## **ANÁLISIS DE INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA Y ESTUDIO DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LA PROVINCIA DE SALTA**

### Resumen

Tanto la variabilidad climática, producto de las fluctuaciones del clima durante períodos de tiempo cortos (años, meses); como el cambio climático, referido a cambios en períodos de tiempo largos debidos a variabilidad natural o a actividad antrópica, están cobrando una importancia significativa. Según algunas investigaciones, estos cambios obedecen mayormente a que el hombre está incrementando de manera exponencial los niveles de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente dióxido de carbono (IPCC, 2001b). Algunas de las tendencias de calentamiento, identificadas por la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2003), no están ligadas directamente con el cambio climático pero sí con cambios globales, que contribuyen al calentamiento global como resultado del uso de materiales modernos de construcción (cambian las propiedades térmicas de la superficie de la tierra), del incremento de la urbanización, de la reducción de la superficie de evaporación-transpiración (incluso incrementa el escurrimiento), de alteraciones en el uso del suelo, de la tala de bosques y del incremento de la cantidad de brillo solar reflejado. Todas estas variaciones del sistema climático tienen notables efectos en el ciclo hidrológico, porque están estrechamente ligadas en un sistema complejo de retroalimentación, de tal forma, que los cambios en el clima inducen modificaciones en los sistemas hidrológicos, que a su vez inducen variaciones climáticas.

En este trabajo, además de definir los conceptos de cambio y variabilidad climática; también se profundiza sobre conceptos básicos de estadística hidrológica, haciendo hincapié en la distinción entre el análisis que se debe hacer sobre una serie estacionaria (análisis de frecuencia clásico) y una serie no estacionaria (nuevo paradigma de análisis de frecuencia). Se analiza al detalle la información pluviométrica actualizada de la provincia de Salta; y mediante el análisis de diferentes variables se analizará la existencia de patrones que demuestren la presencia o no de variabilidad climática en diferentes zonas de la provincia.

## Agradecimientos

A mis padres, que desde un primer momento fueron apoyo total para hacer posible este objetivo, a Papá que supo entender y ceder superando adversidades y a Mamá que mientras estuvo físicamente a nuestro lado fue el pilar de la familia y estoy seguro que de donde estés nos seguís guiando y dando amor.

A Mari y Caro, mis hermanas, compañeras fieles que siempre están para lo que necesite, esta meta cumplida es también de ellas.

A mis sobrinos, que son los soles de la familia.

A toda mi familia, que de alguna manera siempre brindaron su apoyo y estuvieron atentos a lo que necesite, en especial a Juan, Gusti e Ivan, por brindar siempre un lugar.

A mis compañeros, amigos que me dio la facultad, me llevo un gran aprendizaje junto con ellos.

Al Ing. Carlos M. García, por confiar en mí y permitirme realizar esta práctica y llevar a cabo esta experiencia.

A Nico y Magui, porque desde un primer momento estuvieron dedicados a lo que necesite, por darme parte de su tiempo en post de ayudar y enseñar y por la paciencia que tuvieron.

A todo el equipo del CETA por su buen ánimo cada vez que tuve la oportunidad de ir.

## ÍNDICE

<b>1. Capítulo 1: Marco Referencial del Informe.</b>	<b>18</b>
1.1. Introducción.	18
1.1.1. Cambio Climático.	20
1.1.2. Variabilidad Climática.	20
1.2. Descripción de la zona de estudio.	21
1.2.1. Geografía.	22
1.2.2. Recursos Hídricos.	22
1.2.3. Clima.	23
1.3. Objetivos.	24
1.3.1. Objetivos generales.	24
1.3.2. Objetivos específicos.	24
1.4. Metodología del informe.	25
<b>2. Capítulo 2: Conceptos básicos sobre estadística hidrológica.</b>	<b>26</b>
2.1. Introducción	26
2.1.1. Pruebas de estacionariedad de series.	28
2.1.1.1. Prueba de Mann-Kendall.	28
2.1.1.2. Prueba de Mann Kendall modificada.	29
2.1.1.3. Técnica de pre-blanqueo.	30
2.2. Metodología empleada para el análisis de series estacionarias y no estacionarias.	31
2.2.1. Verificación de hipótesis básicas.	31
2.2.1.1. Longitud de serie mínima.	31
2.2.1.2. Presencia de Datos Atípicos.	31
2.2.1.3. Prueba de independencia.	33
2.2.1.4. Prueba de estacionariedad.	34
2.2.1.5. Prueba de homogeneidad a escala anual.	35
2.2.2. Análisis de estadística descriptiva.	36
2.2.3. Análisis de estadística inferencial.	36
2.2.3.1. Análisis inferencial de series estacionarias.	37
2.2.3.2. Análisis inferencial de series no estacionarias	38
<b>3. Capítulo 3: Información pluviométrica analizada.</b>	<b>41</b>
3.1. Localización espacial de las estaciones pluviométricas.	41
3.2. Descripción de datos pluviométricos analizados.	43
3.3. Variables analizadas mediante análisis de frecuencia.	43
<b>4. Capítulo 4: Análisis estadístico completo de los registros de las series seleccionadas.</b>	<b>45</b>
4.1. Resumen de resultados obtenidos.	275
4.2. Contraste entre resultados obtenidos y antecedentes de la zona.	277
<b>5. Capítulo 5: Conclusiones.</b>	<b>279</b>
5.1. Aspectos técnicos.	279
5.2. Aspectos personales.	279

5.3. Perspectivas a futuro.....	280
6. Capítulo 6: Referencias. ....	281

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ejemplo de cambio y variabilidad climática.....	21
Figura 2: Mapa político de la provincia de Salta. ....	21
Figura 3: Mapa hidrológico de la provincia de Salta, Ministerio de Recursos Hídricos de la Nación.....	23
Figura 4: Mapa de zonas climáticas de la provincia de Salta. ....	24
Figura 5: Ejemplo de serie no independiente. ....	27
Figura 6: Ejemplo de serie no homogénea debido a variación de la media (a la izquierda) y debido a la variación del desvío (derecha).....	27
Figura 7: Ejemplo de serie no estacionaria. ....	27
Figura 8: Ejemplo de análisis inferencial de una serie estacionaria de precipitaciones máximas diarias anuales.....	37
Figura 9: Ejemplo de la variación de la relación variable-período de retorno para distintos horizontes de tiempo. ....	39
Figura 10: Ejemplo de análisis inferencial de una serie no estacionaria de precipitaciones totales anuales. ....	39
Figura 11: Localización de las estaciones pluviométricas encontradas. ....	41
Figura 12: Localización de las estaciones pluviométricas analizadas. ....	42
Figura 13: Serie de precipitaciones máximas diarias anuales, Orán. ....	45
Figura 14: Distribución de probabilidades de la precipitación máxima diaria anual, Orán. ....	46
Figura 15: Serie de precipitaciones totales anuales, Orán.....	47
Figura 16: Distribución de probabilidades de la precipitación total anual, Orán.....	48
Figura 17: Serie de días lluviosos al año, Orán. ....	49
Figura 18: Serie de días lluviosos al mes, Orán. ....	50
Figura 19: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al mes, Orán.....	51
Figura 20: Serie de días consecutivos con lluvia, Orán.....	52
Figura 21: Distribución de probabilidades de los días consecutivos con lluvia, Orán. ..	53
Figura 22: Serie de precipitación máxima diaria anual, Valle Grande Peña Alta.....	54
Figura 23: Distribución de Probabilidades de la precipitación máxima diaria anual, Valle Grande Peña Alta.....	55
Figura 24: Serie de precipitaciones totales anuales, Valle Grande Peña Alta.....	56
Figura 25: Distribución de probabilidades de la precipitación total anual, Valle Grande Peña Alta.....	57
Figura 26: Serie de días lluviosos al año, Valle Grande Peña Alta.....	58
Figura 27: Serie de días lluviosos al mes, Valle Grande Peña Alta. ....	59
Figura 28: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al mes. Valle Grande Peña Alta.....	60
Figura 29: Serie de días consecutivos con lluvia Valle Grande Peña Alta.....	61
Figura 30: Distribución de probabilidades de los días consecutivos con lluvia, Valle Grande Peña Alta.....	62
Figura 31: Serie de precipitación máxima diaria anual, Iruya San Isidro.....	63
Figura 32: Distribución de probabilidades de la precipitación máxima diaria anual, Iruya San Isidro. ....	64

Figura 33: Serie de precipitaciones totales anuales, Iruya San Isidro. ....	65
Figura 34: Valores de probabilidad para series no estacionarias de los totales anuales, Iruya San Isidro.....	66
Figura 35: Comparación de periodos de retorno de la precipitación total anual, Iruya San Isidro. ....	67
Figura 36: Serie de días lluviosos al año, Iruya San Isidro.....	68
Figura 37: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al año, Iruya San Isidro. ....	69
Figura 38: Serie de días lluviosos al mes, Iruya San Isidro.....	70
Figura 39: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al mes, Iruya San Isidro. ....	71
Figura 40: Serie de días consecutivos con lluvia, Iruya San Isidro. ....	72
Figura 41: Serie de precipitaciones máximas diarias anuales, Bermejo Trigo Huaico. .	73
Figura 42: Distribución de probabilidades de la precipitación máxima diaria anual, Bermejo Trigo Huaico. ....	74
Figura 43: Serie de precipitaciones totales anuales, Bermejo Trigo Huaico.....	75
Figura 44: Distribución de probabilidades de la precipitación total anual, Bermejo Trigo Huaico.....	76
Figura 45: Serie de días lluviosos al año, Bermejo Trigo Huaico. ....	77
Figura 46: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al año, Bermejo Trigo Huaico.....	78
Figura 47: Serie de días lluviosos al mes, Bermejo Trigo Huaico. ....	79
Figura 48: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al mes, Bermejo Trigo Huaico.....	80
Figura 49: Serie de días consecutivos con lluvia, Bermejo Trigo Huaico.....	81
Figura 50: Distribución de probabilidades de los días consecutivos con lluvia, Bermejo Trigo Huaico.....	82
Figura 51: Serie de precipitaciones máximas diarias anuales, Iruya Las Higueras. ....	83
Figura 52: Distribución de probabilidades de la precipitación máxima diaria anual, Iruya Las Higueras.....	84
Figura 53: Serie de precipitaciones totales anuales, Iruya Las Higueras.....	85
Figura 54: Distribución de probabilidades de la precipitación total anual, Iruya Las Higueras. ....	86
Figura 55: Serie de días lluviosos al año. Iruya Las Higueras. ....	87
Figura 56: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al año, Iruya Las Higueras. ....	88
Figura 57: Serie de días lluviosos al mes, Iruya Las Higueras. ....	89
Figura 58: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al mes, Iruya Las Higueras. ....	90
Figura 59: Serie de días consecutivos con lluvia, Iruya Las Higueras.....	91
Figura 60: Distribución de probabilidades de los días consecutivos con lluvia, Iruya Las Higueras. ....	92
Figura 61: Serie de precipitaciones máximas diarias anuales, Iruya San José.....	93
Figura 62: Distribución de probabilidades de las precipitaciones máximas diarias anuales, Iruya San José.....	94
Figura 63: Serie de precipitación total anual, Iruya San José.....	95

Figura 64: Distribución de probabilidades de las precipitaciones totales anuales, Iruya San José.....	96
Figura 65: Serie de días lluviosos al año, Iruya San José.....	97
Figura 66: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al año, Iruya San José. .....	98
Figura 67: Serie de días lluviosos al mes, Iruya San José. ....	99
Figura 68: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al mes, Iruya San José. .....	100
Figura 69: Serie de días consecutivos con lluvia, Iruya San José. ....	101
Figura 70: Distribución de probabilidades de los días consecutivos con lluvia, Iruya San José.....	102
Figura 71 : Serie de precipitaciones máximas diarias anuales, Iruya Tuc Tuca.....	103
Figura 72: Distribución de probabilidades de la precipitación máxima diaria anual, Iruya Tuc Tuca.....	104
Figura 73: Serie de precipitaciones totales anuales, Iruya Tuc Tuca.....	105
Figura 74: Distribución de probabilidades de la precipitaciones totales anuales, Iruya Tuc Tuca.....	106
Figura 75: Serie de días lluviosos al año, Iruya Tuc Tuca.....	107
Figura 76: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al año, Iruya Tuc Tuca. .....	108
Figura 77: Serie de días lluviosos al mes, Iruya Tuc Tuca. ....	109
Figura 78: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al mes, Iruya Tuc Tuca. .....	110
Figura 79: Serie de días consecutivos con lluvia, Iruya Tuc Tuca. ....	111
Figura 80: Distribución de probabilidades de los días consecutivos con lluvia, Iruya Tuc Tuca. ....	112
Figura 81: Serie de precipitaciones máximas diarias anuales, Iruya El Molino. ....	113
Figura 82: Distribución de probabilidades de la precipitación máxima diaria anual, Iruya El Molino. ....	114
Figura 83: Serie de precipitaciones totales anuales, Iruya El Molino. ....	115
Figura 84: Distribución de probabilidades de las precipitaciones totales anuales, Iruya El Molino. ....	116
Figura 85: Serie de días lluviosos al año, Iruya El Molino. ....	118
Figura 86: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al año, Iruya El Molino. .....	119
Figura 87: Serie de días lluviosos al mes, Iruya El Molino. ....	120
Figura 88: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al mes, Iruya El Molino. .....	121
Figura 89: Serie de días consecutivos con lluvia, Iruya El Molino. ....	122
Figura 90: Distribución de probabilidades de los días consecutivos con lluvia, Iruya El Molino.....	123
Figura 91: Serie de precipitaciones máximas diarias anuales, Iruya. ....	124
Figura 92: Distribución de probabilidades de la precipitación máxima diaria anual, Iruya. ....	125
Figura 93: Serie de precipitaciones totales anuales, Iruya. ....	126



Figura 94: Distribución de probabilidades de las precipitaciones totales anuales, Iruya.	127
Figura 95: Serie de días lluviosos al año, Iruya.	128
Figura 96: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al año, Iruya.	129
Figura 97: Serie de días lluviosos al mes, Iruya.	130
Figura 98: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al mes, Iruya.	131
Figura 99: Valores de días consecutivos con lluvia, Iruya.	132
Figura 100: Distribución de probabilidades de los días consecutivos con lluvia, Iruya.	133
Figura 101: Serie de precipitaciones máximas diarias anuales, Iruya El Nazareno.	134
Figura 102: Distribución de probabilidades de la precipitación máxima diaria anual, Iruya El Nazareno.	135
Figura 103: Serie de precipitaciones totales anuales, Iruya El Nazareno.	136
Figura 104: Valores de probabilidad para series no estacionarias de las precipitaciones totales anuales, Iruya El Nazareno.	137
Figura 105: Comparación de periodos de retorno de la precipitación total anual, Iruya El Nazareno.	138
Figura 106: Serie de días lluviosos al año, Iruya El Nazareno.	139
Figura 107: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al año, Iruya El Nazareno.	140
Figura 108: Serie de días lluviosos al mes, Iruya El Nazareno.	141
Figura 109: Valores de probabilidad para series no estacionarias de los días lluviosos al mes, Iruya El Nazareno.	142
Figura 110: Comparación de periodos de retorno de los días lluviosos al mes, Iruya El Nazareno.	142
Figura 111: Valores de días consecutivos con lluvia, Iruya El Nazareno.	143
Figura 112: Serie de precipitaciones máximas diarias anuales, Iruya Paltorco.	144
Figura 113: Distribución de probabilidades de la precipitación máxima diaria anual, Iruya Paltorco.	145
Figura 114: Serie de precipitaciones totales anuales, Iruya Paltorco.	146
Figura 115: Distribución de probabilidades de la precipitación total anual, Iruya Paltorco.	147
Figura 116: Serie de días lluviosos al año, Iruya Paltorco.	148
Figura 117: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al año, Iruya Paltorco.	149
Figura 118: Serie de días lluviosos al mes, Iruya Paltorco.	150
Figura 119: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al mes, Iruya Paltorco.	151
Figura 120: Serie de días consecutivos con lluvia, Iruya Paltorco.	152
Figura 121: Distribución de probabilidades de los días consecutivos con lluvia, Iruya Paltorco.	153
Figura 122: Serie de precipitaciones máximas diarias anuales, Iruya Poscaya.	154
Figura 123: Valores de probabilidad para series no estacionarias de la precipitación máxima diaria anual, Iruya Poscaya.	155
Figura 124: Comparación de periodos de retorno de la precipitación máxima diaria anual, Iruya Poscaya.	156

Figura 125: Serie de precipitaciones totales anuales, Iruya Poscaya.....	157
Figura 126: Distribución de probabilidades de la precipitación total anual, Iruya Poscaya.....	158
Figura 127: Serie de días lluviosos al año, Iruya Poscaya. ....	159
Figura 128: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al año, Iruya Poscaya. ....	160
Figura 129: Serie de días lluviosos al mes, Iruya Poscaya. ....	161
Figura 130: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al mes, Iruya Poscaya. ....	162
Figura 131: Serie de días consecutivos con lluvia, Iruya Poscaya.....	163
Figura 132: Serie de precipitación máxima diaria anual, Bermejo Bala Puca. ....	164
Figura 133: Distribución de probabilidades de precipitación máxima diaria anual, Bermejo Bala Puca. ....	165
Figura 134: Serie de precipitaciones totales anuales, Bermejo Bala Puca.....	166
Figura 135: Distribución de probabilidades de la precipitación total anual, Bermejo Bala Puca. ....	167
Figura 136: Serie de días lluviosos al año, Bermejo Bala Puca. ....	168
Figura 137: Serie de días lluviosos al mes, Bermejo Bala Puca. ....	169
Figura 138: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al mes, Bermejo Bala Puca. ....	170
Figura 139: Serie de días consecutivos con lluvia, Bermejo Bala Puca.....	171
Figura 140: Distribución de probabilidades de los días consecutivos con lluvia, Bermejo Bala Puca. ....	172
Figura 141: Serie de precipitaciones máximas diarias anuales, Bermejo Alarche.....	173
Figura 142: Distribución de probabilidades de la precipitación máxima diaria anual, Bermejo Alarche.....	174
Figura 143: Serie de precipitaciones totales anuales, Bermejo Alarche. ....	175
Figura 144: Valores de probabilidad para series no estacionarias de la precipitación total anual, Bermejo Alarche.....	176
Figura 145: Comparación de periodos de retorno de la precipitación total anual, Bermejo Alarche. ....	177
Figura 146: Serie de días lluviosos al año, Bermejo Alarche.....	178
Figura 147: Serie de días lluviosos al mes, Bermejo Alarche.....	178
Figura 148: Serie de días consecutivos con lluvia, Bermejo Alarche. ....	179
Figura 149: Valores de probabilidad para series no estacionarias de los días consecutivos con lluvia, Bermejo Alarche.....	180
Figura 150: Comparación de periodos de retorno de los días consecutivos con lluvia, Bermejo Alarche. ....	181
Figura 151: Serie de precipitaciones máximas diarias anuales, Iruya San Antonio. ...	182
Figura 152: Distribución de probabilidades de la precipitación máxima diaria anual, Iruya San Antonio.....	183
Figura 153: Serie de precipitaciones totales anuales, Iruya San Antonio. ....	184
Figura 154: Distribución de probabilidades de la precipitación total anual, Iruya San Antonio.....	185
Figura 155: Serie de días lluviosos al año, Iruya San Antonio.....	186
Figura 156: Serie de días lluviosos al mes, Iruya San Antonio.....	187

Figura 157: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al mes, Iruya San Antonio.....	188
Figura 158: Serie de días consecutivos con lluvia, Iruya San Antonio. ....	189
Figura 159: Valores de probabilidad para series no estacionarias de los días consecutivos con lluvia, Iruya San Antonio. ....	190
Figura 160: Comparación de periodos de retorno de los días consecutivos con lluvia, Iruya San Antonio.....	191
Figura 161: Serie de precipitaciones máximas diarias anuales, Pescado Cuatro Cedros. ....	192
Figura 162: Distribución de probabilidades de la precipitación máxima diaria anual, Pescado Cuatro Cedros. ....	193
Figura 163: Serie de precipitaciones totales anuales, Pescado Cuatro Cedros.....	194
Figura 164: Distribución de probabilidades de la precipitación total anual, Pescado Cuatro Cedros.....	195
Figura 165: Serie de días lluviosos al año, Pescado Cuatro Cedros.....	196
Figura 166: Valores de probabilidad para series no estacionarias de los días lluviosos al año, Pescado Cuatro Cedros. ....	197
Figura 167: Comparación de periodos de retorno de los días lluviosos al año, Pescado Cuatro Cedros.....	198
Figura 168: Serie de días lluviosos al mes, Pescado Cuatro Cedros. ....	199
Figura 169: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al mes, Pescado Cuatro Cedros.....	200
Figura 170: Serie de días consecutivos con lluvia, Pescado Cuatro Cedros.....	201
Figura 171: Distribución de probabilidades de los días consecutivos con lluvia, Pescado Cuatro Cedros. ....	202
Figura 172: Serie de precipitaciones máximas diarias anuales, Tarija Astilleros. ....	203
Figura 173: Distribución de probabilidades de la precipitación máxima diaria anual, Tarija Astilleros. ....	204
Figura 174: Serie de precipitaciones totales anuales, Tarija Astilleros.....	205
Figura 175: Distribución de probabilidades de la precipitación total anual, Tarija Astilleros. ....	206
Figura 176: Serie de días lluviosos al año, Tarija Astilleros. ....	207
Figura 177: Serie de días lluviosos al mes, Tarija Astilleros. ....	208
Figura 178: Serie de días consecutivos con lluvia, Tarija Astilleros.....	208
Figura 179: Serie de precipitaciones máximas anuales, Tarija San Telmo. ....	209
Figura 180: Distribución de probabilidades de la precipitación máxima diaria anual, Tarija San Telmo. ....	210
Figura 181: Serie de precipitaciones totales anuales, Tarija San Telmo.....	211
Figura 182: Distribución de probabilidades de la precipitación total anual, Tarija San Telmo .....	212
Figura 183: Serie de días lluviosos al año. Tarija San Telmo.....	213
Figura 184: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al año, Tarija San Telmo. ....	214
Figura 185: Serie de días lluviosos al mes, Tarija San Telmo. ....	215
Figura 186: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al mes, Tarija San Telmo. ....	216

Figura 187: Serie de días consecutivos con lluvia, Tarija San Telmo.....	217
Figura 188: Serie de precipitaciones máximas diarias anuales, San Francisco Caimancito.....	218
Figura 189: Distribución de probabilidades de la precipitación máxima diaria anual, San Francisco Caimancito. ....	219
Figura 190: Serie de precipitaciones totales anuales, San Francisco Caimancito.....	220
Figura 191: Distribución de probabilidades de la precipitación total anual, San Francisco Caimancito. ....	221
Figura 192: Serie de días lluviosos al año, San Francisco Caimancito. ....	222
Figura 193: Valores de probabilidad para series no estacionarias de los días lluviosos al año, San Francisco Caimancito. ....	223
Figura 194: Comparación de los periodos de retorno de los días lluviosos al año, San Francisco Caimancito. ....	224
Figura 195: Serie de días lluviosos al mes, San Francisco Caimancito. ....	225
Figura 196: Valores de probabilidad para series no estacionarias de los días lluviosos al mes, San Francisco Caimancito. ....	226
Figura 197: Comparación de los periodos de retorno de los días lluviosos al mes, San Francisco Caimancito. ....	227
Figura 198: Comparación de los periodos de retorno de los días consecutivos con lluvia, San Francisco Caimancito. ....	228
Figura 199: Valores de probabilidad para series no estacionarias de los días consecutivos con lluvia, San Francisco Caimancito. ....	229
Figura 200: Comparación de los periodos de retorno de los días consecutivos con lluvia, San Francisco Caimancito. ....	230
Figura 201: Serie de precipitaciones máximas diarias anuales, Mojotoro Güemes. ...	231
Figura 202: Distribución de probabilidades de la precipitación máxima diaria anual, Mojotoro Güemes.....	232
Figura 203: Serie de precipitación total anual, Mojotoro Güemes.....	233
Figura 204: Valores de probabilidad para series no estacionarias de la precipitación total anual, Mojotoro Güemes.....	234
Figura 205: Comparación de los periodos de retorno de la precipitación total anual, Mojotoro Güemes.....	235
Figura 206: Serie de días lluviosos al año, Mojotoro Güemes.....	236
Figura 207: Valores de probabilidad para series no estacionarias de los días lluviosos al año, Mojotoro Güemes.....	237
Figura 208: Comparación de los periodos de retorno de los días lluviosos al año, Mojotoro Güemes.....	238
Figura 209: Serie de días lluviosos al mes, Mojotoro Güemes.....	239
Figura 210: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al mes, Mojotoro Güemes.....	240
Figura 211: Serie de días consecutivos con lluvia, Mojotoro Güemes. ....	241
Figura 212: Valores de probabilidad para series no estacionarias de los días consecutivos con lluvia, Mojotoro Güemes. ....	242
Figura 213: Comparación de los periodos de retorno de los días consecutivos con lluvia, Mojotoro Güemes.....	243

Figura 214: Serie de precipitaciones máximas diarias anuales, Santa Bárbara Jujuy. ....	244
Figura 215: Valores de probabilidad para series no estacionarias las precipitaciones máximas diarias anuales, Santa Bárbara Jujuy. ....	245
Figura 216: Comparación de los periodos de retorno de los la precipitación máxima diaria anual, Santa Bárbara Jujuy. ....	246
Figura 217: Serie de precipitación total anual, Santa Bárbara Jujuy. ....	247
Figura 218: Distribución de probabilidades de la precipitación total anual, Santa Bárbara Jujuy. ....	248
Figura 219: Serie de días lluviosos al año, Santa Bárbara Jujuy. ....	249
Figura 220: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al año, Santa Bárbara Jujuy. ....	250
Figura 221: Serie de días lluviosos al mes, Santa Bárbara Jujuy. ....	251
Figura 222: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al mes, Santa Bárbara Jujuy. ....	252
Figura 223: Serie de días consecutivos con lluvia, Santa Bárbara Jujuy. ....	253
Figura 224: Distribución de probabilidades de los días consecutivos con lluvia, Santa Bárbara Jujuy. ....	254
Figura 225: Serie de precipitaciones máximas diarias anuales, Bermejo Aguas Blancas. ....	255
Figura 226: Distribución de probabilidades de la precipitación máxima diaria anual, Bermejo Aguas Blancas. ....	256
Figura 227: Serie de precipitación total anual, Bermejo Aguas Blancas. ....	257
Figura 228: Valores de probabilidad para series no estacionarias de los totales anuales, Bermejo Aguas Blancas. ....	258
Figura 229: Comparación de periodos de retorno de la precipitación total anual, Bermejo Aguas Blancas. ....	259
Figura 230: Serie de días lluviosos al año, Bermejo Aguas Blancas. ....	260
Figura 231: Serie de días lluviosos al mes, Bermejo Aguas Blancas. ....	260
Figura 232: Valores de probabilidad para series no estacionarias de días lluviosos al mes, Bermejo Aguas Blancas. ....	261
Figura 233: Comparación de periodos de retorno de los días lluviosos al mes, Bermejo Aguas Blancas. ....	262
Figura 234: Comparación de periodos de retorno de los días lluviosos al mes, Bermejo Aguas Blancas. ....	263
Figura 235: Valores de probabilidad para series no estacionarias de días consecutivos con lluvia, Bermejo Aguas Blancas. ....	264
Figura 236: Comparación de periodos de retorno de los días consecutivos con lluvia, Bermejo Aguas Blancas. ....	265
Figura 237: Serie de precipitaciones máximas diarias anuales, La Quiaca Yavi. ....	266
Figura 238: Distribución de probabilidades de la precipitación total anual, La Quiaca Yavi. ....	267
Figura 239: Serie de precipitaciones totales anuales, La Quiaca Yavi. ....	268
Figura 240: Distribución de probabilidades de la precipitación total anual, La Quiaca Yavi. ....	269
Figura 241: Serie de días lluviosos al año, La Quiaca Yavi. ....	270

Figura 242: Serie de días lluviosos al mes, La Quiaca Yavi. ....	271
Figura 243: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al mes, La Quiaca Yavi. ....	272
Figura 244: Serie de días consecutivos con lluvia, La Quiaca Yavi. ....	273
Figura 245: Distribución de probabilidades de los días consecutivos con lluvia, La Quiaca Yavi. ....	274

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores <i>Icri</i> para el Test Mann – Kendall (Kendall, 1938).	29
Tabla 2: Valores <i>Kn</i> para la prueba de datos atípicos (Chow, 1959).	32
Tabla 3: Localizaciones con registros de lámina de lluvia abarcados en este trabajo.	42
Tabla 4: Continuación de Localizaciones con registros de lámina de lluvia abarcados en este trabajo.	43
Tabla 5: Valores de precipitación máxima diaria anual, Orán.	47
Tabla 6: Valores de precipitaciones totales anuales, Orán.	49
Tabla 7: Valores de días lluviosos al mes, Orán.	52
Tabla 8: Valores de días consecutivos con lluvia, Orán.	54
Tabla 9: Valores de precipitación máxima diaria anual, Valle Grande Peña Alta.	56
Tabla 10: Valores de precipitaciones totales anuales, Valle Grande Peña Alta.	58
Tabla 11: Valores de días lluviosos al mes, Valle Grande Peña Alta.	61
Tabla 12: Valores de días consecutivos con lluvia, Valle Grande Peña Alta.	63
Tabla 13: Valores de precipitación máxima diaria anual, Iruya San Isidro.	65
Tabla 14: Valores de días lluviosos al año, Iruya San Isidro.	70
Tabla 15: Valores de días lluviosos al mes, Iruya San Isidro.	72
Tabla 16: Valores de precipitaciones máximas diarias anuales, Bermejo Trigo Huaico.	75
Tabla 17: Valores de precipitación total anual, Bermejo Trigo Huaico.	77
Tabla 18: Valores de días lluviosos al año, Bermejo Trigo Huaico.	79
Tabla 19: Valores de días lluviosos al mes, Bermejo Trigo Huaico.	81
Tabla 20: Valores de días consecutivos con lluvia, Bermejo Trigo Huaico.	83
Tabla 21: Valores de precipitación máxima diaria anual, Iruya Las Higueras.	85
Tabla 22: Valores de precipitación total anual, Iruya Las Higueras.	87
Tabla 23: Valores de los días lluviosos al año, Iruya Las Higueras.	89
Tabla 24: Valores de días lluviosos al mes, Iruya Las Higueras.	91
Tabla 25: Valores de los días consecutivos con lluvia, Iruya Las Higueras.	93
Tabla 26: Valores de precipitación máxima diaria anual, Iruya San José.	95
Tabla 27: Valores de precipitación total anual, Iruya San José.	97
Tabla 28: Valores de días lluviosos al año, Iruya San José.	99
Tabla 29: Valores de días lluviosos al mes, Iruya San José.	101
Tabla 30: Valores de días consecutivos con lluvia, Iruya San José.	103
Tabla 31: Valores de precipitación máxima diaria anual, Iruya Tuc Tuca.	105
Tabla 32: Valores de precipitaciones totales anuales, Iruya Tuc Tuca.	107
Tabla 33: Valores de días lluviosos al año, Iruya Tuc Tuca.	109
Tabla 34: Valores de días lluviosos al mes, Iruya Tuc Tuca.	110
Tabla 35: Valores de días consecutivos con lluvia, Iruya Tuc Tuca.	113
Tabla 36: Valores de precipitación máxima diaria anual, Iruya El Molino.	115
Tabla 37: Valores de precipitaciones totales anuales, Iruya El Molino.	117
Tabla 38: Valores de días lluviosos al año, Iruya El Molino.	119
Tabla 39: Valores de días lluviosos al mes, Iruya El Molino.	122
Tabla 40: Serie de valores de los días consecutivos con lluvia, Iruya El Molino.	124

Tabla 41: Valores de precipitación máxima diaria anual, Iruya.....	126
Tabla 42: Valores de precipitaciones totales anuales, Iruya. ....	128
Tabla 43: Valores de días lluviosos al año, Iruya. ....	130
Tabla 44: Valores de días lluviosos al mes, Iruya.....	132
Tabla 45: Valores de días consecutivos con lluvia, Iruya. ....	134
Tabla 46: Valores de precipitación máxima diaria anual, Iruya El Nazareno.....	136
Tabla 47: Valores de días lluviosos al mes, Iruya El Nazareno.....	141
Tabla 48: Valores de precipitación máxima diaria anual, Iruya Paltorco. ....	146
Tabla 49: Valores de precipitación total anual, Iruya Paltorco. ....	148
Tabla 50: Valores de días lluviosos al año, Iruya Paltorco. ....	150
Tabla 51: Valores de días lluviosos al mes, Iruya Paltorco. ....	152
Tabla 52: Valores de días consecutivos con lluvia, Iruya Paltorco.....	154
Tabla 53: Valores de precipitación total anual, Iruya Poscaya. ....	159
Tabla 54: Valores de días lluviosos al año, Iruya Poscaya. ....	161
Tabla 55: Valores de días lluviosos al mes, Iruya Poscaya. ....	163
Tabla 56: Valores de precipitaciones máximas diarias anuales, Bermejo Bala Puca. ....	166
Tabla 57: Valores de precipitación total anual, Bermejo Bala Puca.....	168
Tabla 58: Valores de días lluviosos al mes, Bermejo Bala Puca.....	171
Tabla 59: Valores de días consecutivos con lluvia, Bermejo Bala Puca. ....	173
Tabla 60: Valores de precipitación máxima diaria anual, Bermejo Alarche. ....	175
Tabla 61: Valores de precipitación máxima diaria anual, Iruya San Antonio. ....	184
Tabla 62: Valores de precipitación total anual, Iruya San Antonio. ....	186
Tabla 63: Valores de días lluviosos al mes, Iruya San Antonio. ....	189
Tabla 64: Valores de precipitación máxima diaria anual, Pescado Cuatro Cedros. ....	194
Tabla 65: Valores de precipitación total anual, Pescado Cuatro Cedros. ....	196
Tabla 66: Valores de días lluviosos al mes, Pescado Cuatro Cedros. ....	201
Tabla 67: Valores de días consecutivos con lluvia, Pescado Cuatro Cedros. ....	203
Tabla 68: Valores de precipitación máxima diaria anual, Tarija Astilleros. ....	205
Tabla 69: Valores de precipitación total anual, Tarija Astilleros. ....	207
Tabla 70: Valores de precipitación máxima diaria anual, Tarija San Telmo. ....	211
Tabla 71: Valores de precipitación total anual, Tarija San Telmo. ....	213
Tabla 72: Valores de días lluviosos al año, Tarija San Telmo. ....	215
Tabla 73: Valores de días lluviosos al mes, Tarija San Telmo. ....	217
Tabla 74: Valores de precipitación máxima diaria anual, San Francisco Caimancito. ....	219
Tabla 75: Valores de precipitación total anual, San Francisco Caimancito. ....	221
Tabla 76: Valores de precipitación máxima diaria anual, Mojotoro Güemes.....	232
Tabla 77: Valores de días lluviosos al mes, Mojotoro Güemes. ....	241
Tabla 78: Valores de precipitación total anual, Jujuy Santa Bárbara.....	248
Tabla 79: Valores de días lluviosos al año, Santa Bárbara Jujuy.....	251
Tabla 80: Valores de días lluviosos al mes, Santa Bárbara Jujuy.....	253
Tabla 81: Valores de días consecutivos con lluvia, Santa Bárbara Jujuy. ....	255
Tabla 82: Valores de precipitación máxima diaria anual, Bermejo Aguas Blancas. ....	257
Tabla 83: Valores de precipitación máxima diaria anual, La Quiaca Yavi.....	268
Tabla 84: Valores de precipitación total anual, La Quiaca Yavi.....	270
Tabla 85: Valores de días lluviosos al mes, La Quiaca Yavi.....	272



Tabla 86: Valores de días consecutivos con lluvia, La Quiaca Yavi. ....	275
Tabla 87: Resumen de variables.....	275

# 1. Capítulo 1: Marco Referencial del Informe.

## 1.1. Introducción.

Tanto la variabilidad climática, producto de las fluctuaciones del clima durante períodos de tiempo cortos (años, meses); como el cambio climático, referido a cambios en períodos de tiempo largos debidos a variabilidad natural o a actividad antrópica, están cobrando una importancia significativa. Según algunas investigaciones, estos cambios obedecen mayormente a que el hombre está incrementando de manera exponencial los niveles de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente dióxido de carbono (IPCC, 2001b). La emisión de GEI y otros gases, como el metano y el óxido nítrico, están causando un impacto negativo sobre la atmósfera, contribuyendo a la alteración de los patrones globales del clima. Los impactos específicos del cambio climático son difíciles de identificar y el debate continúa acerca de cuáles patrones de cambio obedecen a las emisiones de GEI y cuáles a los ciclos climáticos naturales. No obstante, su impacto sobre los sectores más vulnerables de la sociedad, se hace cada vez más evidente.

Algunas de las tendencias de calentamiento, identificadas por la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2003), no están ligadas directamente con el cambio climático pero sí con cambios globales, que contribuyen al calentamiento global como resultado del uso de materiales modernos de construcción (que cambian las propiedades térmicas de la superficie de la tierra), del incremento de la urbanización, de la reducción de la superficie de evaporación-transpiración (que incluso incrementa el escurrimiento), de alteraciones en el uso del suelo, de la tala de bosques y del incremento de la cantidad de brillo solar reflejado. Todas estas variaciones del sistema climático tienen notables efectos en el ciclo hidrológico, porque están estrechamente ligadas en un sistema complejo de retroalimentación, de tal forma, que los cambios en el clima inducen modificaciones en los sistemas hidrológicos, que a su vez inducen variaciones climáticas.

El abastecimiento de agua no sólo es necesario para el sostenimiento de la vida en la Tierra, sino que sirve de insumo para diferentes actividades humanas; su conservación y óptima utilización es de gran importancia en términos de desarrollo económico. Al ser el agua el componente central del sistema climático, así como del ciclo hidrológico, cualquier cambio en el proceso de evaporación y precipitación, puede tener implicaciones importantes en el abastecimiento de agua para consumo humano, agrícola, la biodiversidad y el aumento o disminución de los niveles de los océanos (National Assessment Synthesis Team, 2002).

Según el IPCC (2001a), es muy probable que en muchas partes del mundo se presenten cambios en la cantidad, frecuencia y distribución de la lluvia, la nieve y el escurrimiento, entre el 90 y el 99 % de confianza en las predicciones. Esto conducirá a cambios en la disponibilidad hídrica que implicarán una mayor competencia por los recursos hídricos, mayor intensidad y duración de las sequías, así como una mayor probabilidad de inundaciones con sus efectos en la calidad del agua. Estos fenómenos afectan las actividades socioeconómicas que dependen fuertemente del clima o de la disponibilidad hídrica (Carvajal et al., 2005).

El clima presenta variabilidades en casi todas las escalas de tiempo. En algunas de ellas, la variabilidad climática responde a procesos de naturaleza intrínsecamente aleatoria o a procesos que responden a múltiples y complejas causas que dificultan su predicción. Por ello, el uso de la información climática se basa fundamentalmente en el análisis estadístico de las series de sus elementos.

Hasta no hace mucho tiempo, muchos de los usos de la información climática, descansaba en la premisa que el clima era estacionario, al menos en la escala de décadas, y que por lo tanto el clima futuro sería igual al del pasado inmediato. Así, las series de los elementos climáticos y de sus derivados hidrológicos eran tratadas estadísticamente como estacionarias.

Hoy, la hipótesis de que las series climáticas o de sus derivados son estacionarias no siempre es apropiada. Las acciones antrópicas generan y han generado variaciones en los parámetros climáticos que hacen que la hipótesis casi siempre implícita de que las estadísticas del clima pasado pueden representar las del clima futuro ya no siempre sea válida. Esto hace que todas las metodologías basadas en la presunción de estacionariedad para el cálculo de parámetros de diseño de infraestructuras, la planificación del uso de los recursos hídricos, del territorio, de la actividad forestal o de la agricultura a mediano plazo deben ser revisadas. A la hora de estimar alguna o varias características del clima futuro para algún requerimiento de planificación se debe ser cuidadoso antes de emplear a priori la hipótesis de que el clima es estacionario y por lo tanto se requieren de nuevos métodos tanto para la detección de la existencia de estacionariedad como para el análisis de los datos no estacionarios. A pesar de esta necesidad, no hay aún una metodología totalmente desarrollada y segura para estimar el clima futuro. En rigor, el gran desafío para la climatología mundial durante los próximos años será desarrollar los métodos que permitan anticipar el clima de las próximas décadas en el contexto del intenso cambio climático en curso.

### 1.1.1. Cambio Climático.

El cambio climático es un cambio en los promedios de las variables (tales como temperatura y precipitación), a lo largo de un lapso definido de tiempo. Las propiedades estadísticas de una secuencia de años, décadas, u otro intervalo de tiempo difieren considerablemente respecto de otra secuencia de años, décadas, etc. de referencia.

Los cambios pueden ser a escala global o regional, y también implicar escalas temporales muy variables, pero sobre todo si se trata de un verdadero cambio climático, estará implícito el no retorno a las condiciones promedio de la atmósfera, por lo menos por unas cuantas décadas.

Los cambios climáticos son debidos a causas naturales, y existieron a lo largo de toda la historia planetaria conocida. Lo que puede hacer el hombre no es más que acelerarlos o desacelerarlos en grado mínimo.

### 1.1.2. Variabilidad Climática.

Por variabilidad climática se entiende la variación puntual de una variable alrededor del valor medio, y es muy importante para entender los efectos del cambio climático. La variabilidad climática destaca la variabilidad dentro del clima, o sea las fluctuaciones en las propiedades estadísticas sobre períodos de semanas, meses o años. Esa variabilidad puede ser alta o baja, pero nunca está ausente.

En la escala temporal y más allá del orden de la escala sinóptica (varios días) se puede hablar, por ejemplo, de variabilidad intraestacional, estacional, del ciclo anual o interanual, para caracterizar las señales o elementos que distinguen las condiciones de un área o región con respecto a sus promedios sobre el periodo elegido. En el aspecto espacial, el ejemplo más utilizado de esta variabilidad es la clasificación climática por zonas, cada una de ellas relativamente homogénea en espacio y tiempo con respecto a las variables consideradas, durante periodos de tiempo previamente establecidos.

En la Figura 1 se esquematiza un ejemplo de la presencia de cambio y variabilidad climática en función de la temperatura. En la imagen de la izquierda se puede ver un aumento en el promedio de la temperatura, lo que indicaría presencia de cambio climático; mientras que en la imagen central se muestra un aumento de la variabilidad de la temperatura, indicando entonces una variabilidad climática. Por último, en la imagen de la derecha se muestra una combinación de cambio y variabilidad climática.

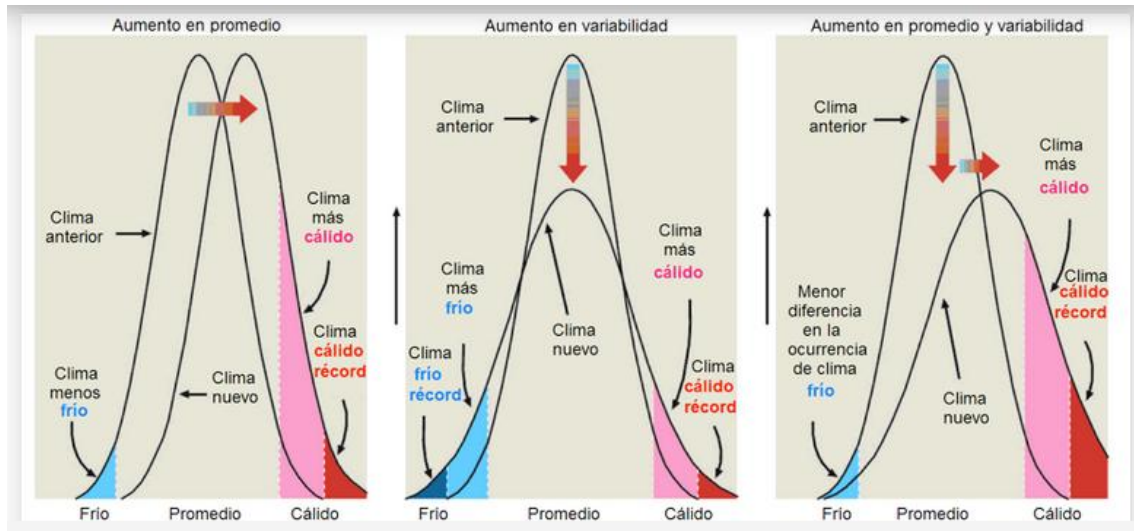


Figura 1: Ejemplo de cambio y variabilidad climática.

## 1.2. Descripción de la zona de estudio.

Salta es una de las 23 provincias que forman la República Argentina, situada en la Región del Norte al noroeste del país. Limita al norte con Jujuy y con Bolivia, al este con Paraguay, Formosa y Chaco, al sur con Santiago del Estero, Tucumán y Catamarca y al oeste con Chile. Cubre 155.488 km<sup>2</sup>, con una población de 1.333.365 habitantes.

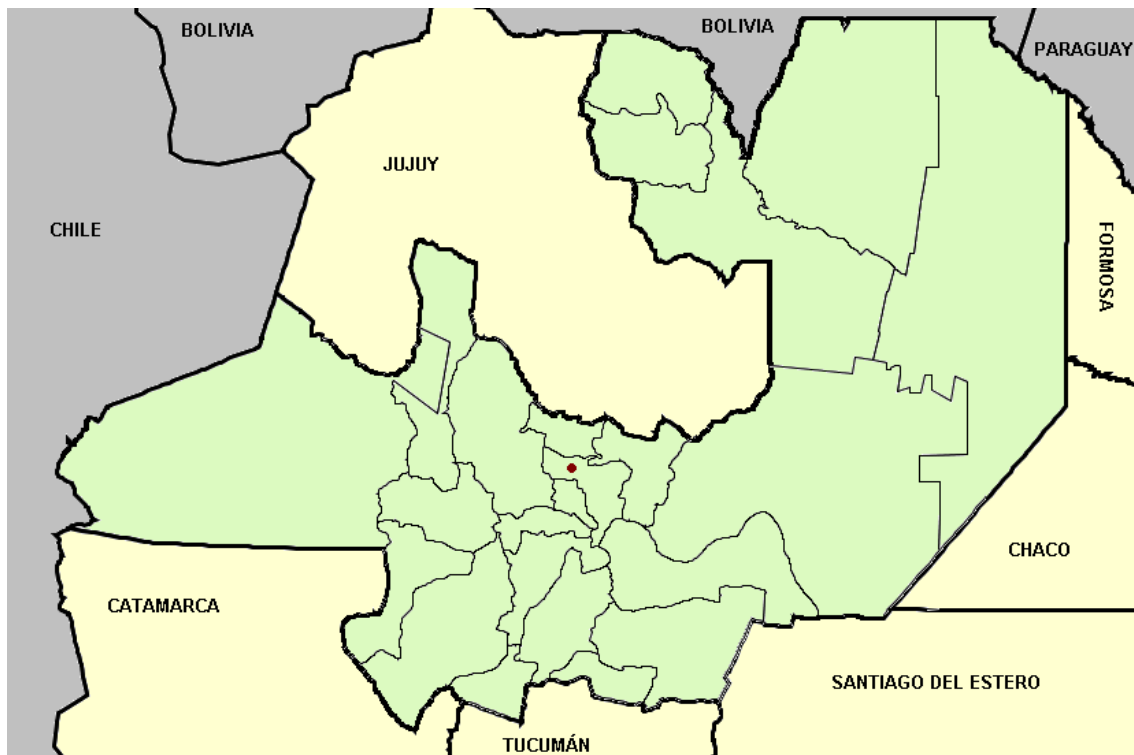


Figura 2: Mapa político de la provincia de Salta.

### 1.2.1. Geografía.

Se distinguen cuatro paisajes diferenciados, de oeste a este:

- Punta o Altiplano: Se caracteriza por la altura, clima árido y escasa cantidad de habitantes, denominada puna de Atacama (norte argentino, junto al norte de Chile y oeste de Bolivia).
- Cordillera Oriental: Conformado por el cordón occidental, es el más elevado, y el cordón oriental, es más bajo y sin cumbres nevadas.
- Sierras Subandinas: De paisaje húmedo y selvático con frecuentes yungas, donde se desarrolla un clima tropical serrano.
- Llanura Chaqueña: Presenta un relieve bajo. Zona denominada como “Chaco Salteño”. Tiene un clima tropical con estación seca, baja densidad de población.

### 1.2.2. Recursos Hídricos.

Con excepción de algunas zonas de la Puna, que forman cuencas endorreicas, la mayor parte de la provincia de Salta se encuentra dentro de la cuenca del Plata.

La provincia de Salta posee importantes cursos de agua, heterogéneamente distribuidos en el territorio. En la Figura 3 se muestran los tres ríos más importantes y caudalosos, son el Pilcomayo, el Bermejo y el Juramento. Afluentes de estos son el río Grande de Tarija, Itau, Yocavil, Horcones, Metan, etc. A esos ríos se le suman enorme cantidad de ríos menos prolongados, arroyos y arroyuelos, que descienden de los faldeos orientales andinos, aprovechando la presencia de red fluvial se han construidos algunos embalses con usinas hidroeléctricas como en Cabra Corral y el dique El Tunal.

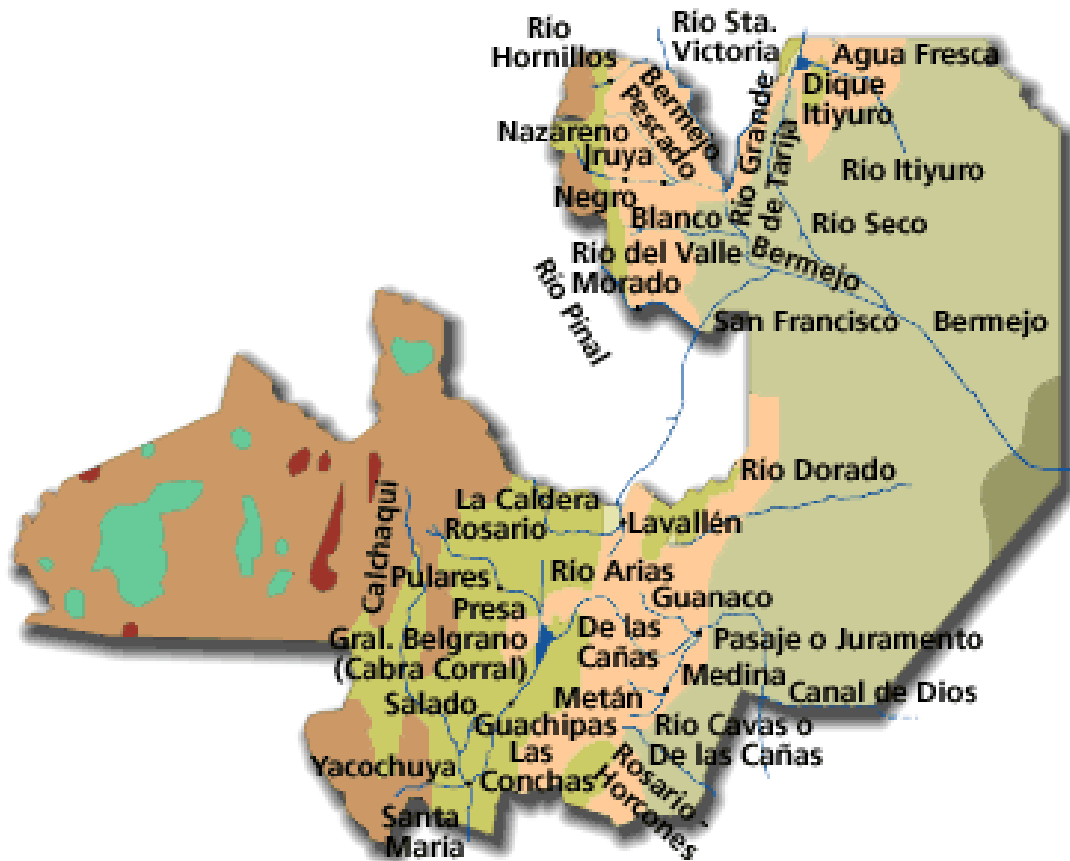


Figura 3: Mapa hidrológico de la provincia de Salta, Ministerio de Recursos Hídricos de la Nación.

### 1.2.3. Clima.

El Noroeste Argentino tiene, en general, un clima de tipo monzónico, influenciado principalmente por el anticiclón del Atlántico. En verano los vientos húmedos del este, al encontrarse con las barreras orográficas de la Cordillera de los Andes, se ven forzados a ascender, enfriándose y así formando nubes, las que producen fuertes precipitaciones. En invierno prácticamente no llueve.

La provincia de Salta presenta un relieve sumamente variado, desde las altas cumbres andino-puneñas hasta los llanos del Chaco árido. Esta gran diversidad provoca una distribución muy irregular de las lluvias, que unida a la gran extensión territorial y las particularidades atmosféricas locales, determinan la presencia de distintos tipos climáticos y ambientes bien contrastados.

Consecuencia de esta variedad es la amplia gama de biomas presentes en la provincia, desde los áridos paisajes puneños hasta las ardientes sábanas chaqueñas o las densas yungas de las sierras sub-andinas.

A continuación en la Figura 4 se presentan los diferentes tipos de clima distribuidos en el territorio de la provincia de Salta. Estos son, árido de montaña, sub-tropical serrano y sub-tropical con estación seca.

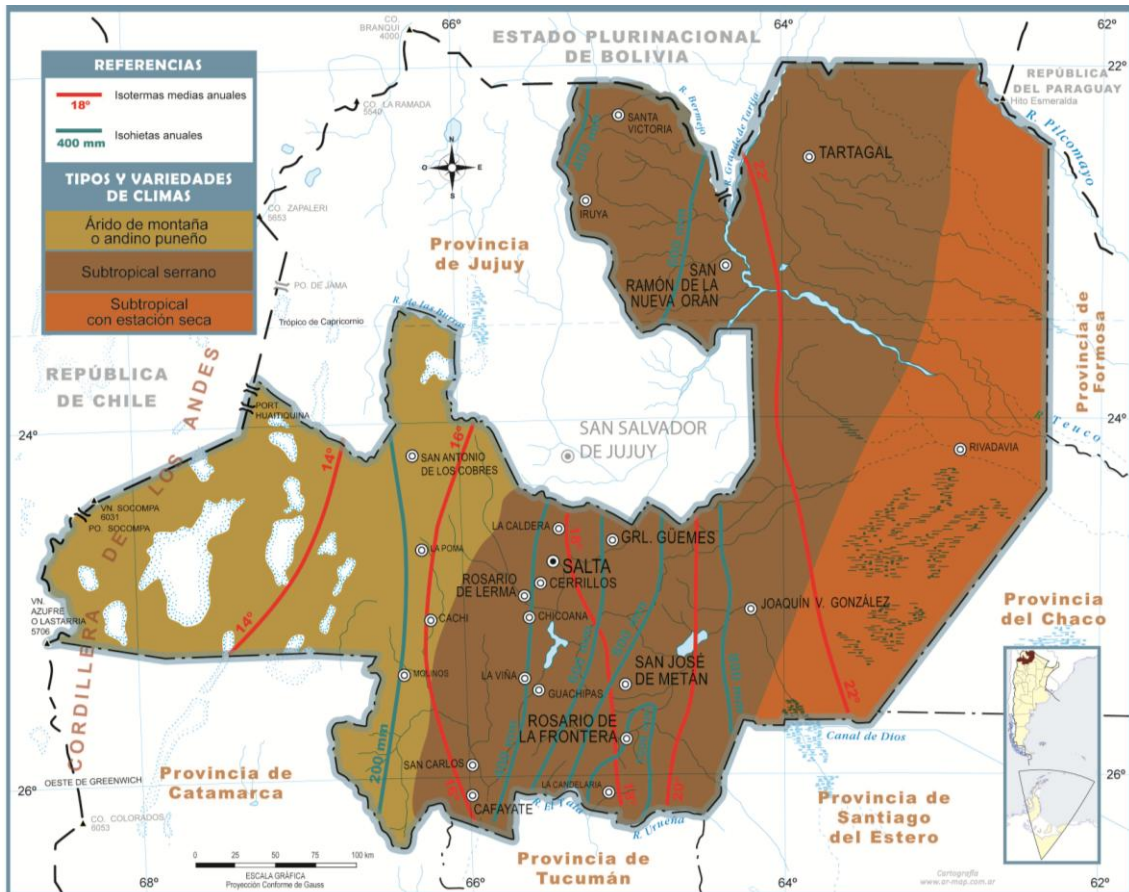


Figura 4: Mapa de zonas climáticas de la provincia de Salta.

## 1.3. Objetivos.

### 1.3.1. Objetivos generales.

El objetivo general del trabajo es analizar la información pluviométrica actualizada existente en la Provincia de Salta y a partir de ella estudiar la variabilidad climática existente en el territorio.

### 1.3.2. Objetivos específicos.

- Definir los conceptos de cambio y variabilidad climática.
- Profundizar sobre conceptos básicos de estadística hidrológica, haciendo hincapié en la distinción entre el análisis que se debe hacer



sobre una serie estacionaria (análisis de frecuencia clásico) y una serie no estacionaria (nuevo paradigma de análisis de frecuencia).

- Recopilar información pluviométrica actualizada de la provincia de Salta para ser analizada al detalle.
- Analizar diferentes variables para determinar la existencia de patrones que demuestren la presencia o no de variabilidad climática en diferentes zonas de la provincia.

## 1.4. Metodología del informe.

En el Capítulo 1 se presenta el marco referencial del informe a través del cual se definen los conceptos fundamentales para el desarrollo del trabajo, vinculados principalmente con el cambio y la variabilidad climática. Además se describe la zona de estudio y se plantean los objetivos generales y particulares del trabajo.

En el Capítulo 2 se definen conceptos básicos sobre estadística hidrológica, y se detalla la metodología empleada durante este trabajo para el análisis tanto de series estacionarias como no estacionarias.

En el Capítulo 3 se muestra la información pluviométrica que será analizada de la provincia de Salta; mientras que en el 4 se presentan los principales resultados alcanzados durante este trabajo. Finalmente, en el Capítulo 5 se resumen las principales conclusiones obtenidas en este informe en cuanto a aspectos técnicos y personales. Se presentan también las perspectivas a futuro.

## **2. Capítulo 2: Conceptos básicos sobre estadística hidrológica.**

### **2.1. Introducción**

El análisis de frecuencia es una metodología mediante la cual se ajusta una distribución de probabilidad a una serie de observaciones para definir las probabilidades de sucesos futuros de algunos eventos de interés; es decir, nos permite relacionar una variable dada con su probabilidad de ocurrencia (y por lo tanto con su período de retorno). El uso de esta metodología desempeña un papel importante en la práctica de la ingeniería.

Esta metodología consta de una serie de etapas que deben ser realizadas para poder finalmente relacionar la variable y la probabilidad: (1) Recopilación y procesamiento de series; (2) Determinación del año hidrológico; (3) Generación de serie hidrológica; (4) Verificación de la serie mediante pruebas estadísticas; (5) Estadística Descriptiva: determinación de parámetros estadísticos; y (6) Estadística Inferencial: ajuste de distribuciones de probabilidad.

Para poder realizar el análisis de frecuencia clásico se debe asegurar que la serie muestral de la que se parte es una variable aleatoria; y para que eso se cumpla deben verificarse algunas pruebas estadísticas, más precisamente las pruebas de datos atípicos, independencia, estacionariedad y homogeneidad.

La prueba de datos atípicos detecta datos que se alejan significativamente de la tendencia que se observa en el resto de la serie. Se supone que los datos se encuentran normalmente distribuidos. La retención o eliminación de estos datos puede afectar significativamente la magnitud de los parámetros estadísticos, especialmente en muestras pequeñas.

Una serie no es independiente cuando un valor está ligado al anterior o posterior, y se observa una correlación entre los valores sucesivos (un ejemplo de serie no independiente se muestra en la Figura 5). A su vez, una serie es no homogénea cuando alguno de sus parámetros de estadística descriptiva (por ejemplo su media, desvío, coeficiente de variación, entre otros) no permanece constante en el tiempo (un ejemplo de serie no homogénea se muestra en la Figura 6).

Además, una serie es no estacionaria si presenta una tendencia temporal significativa (un ejemplo de serie no estacionaria se muestra en la Figura 7). En la práctica, una serie puede presentar tendencia (y por ende es no

estacionaria) debido a diferentes fenómenos tales como variaciones climáticas o efectos de las actividades humanas (por ejemplo a aprovechamientos hidráulicos, cambios de uso del suelo, urbanización, etc.). Según la serie de la que se trate, la no estacionariedad puede generar tendencias ascendentes o descendentes en los registros de datos hidrológicos extremos.

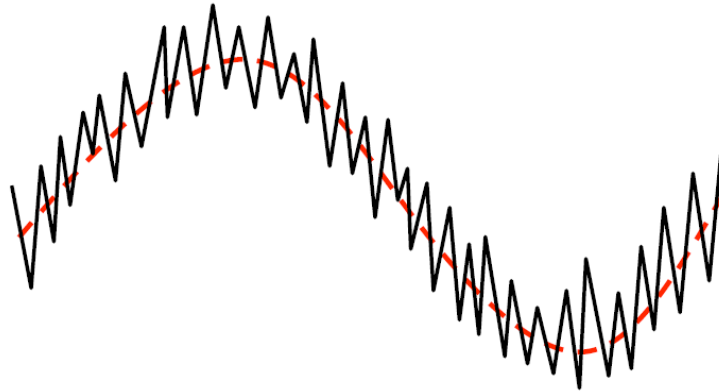


Figura 5: Ejemplo de serie no independiente.

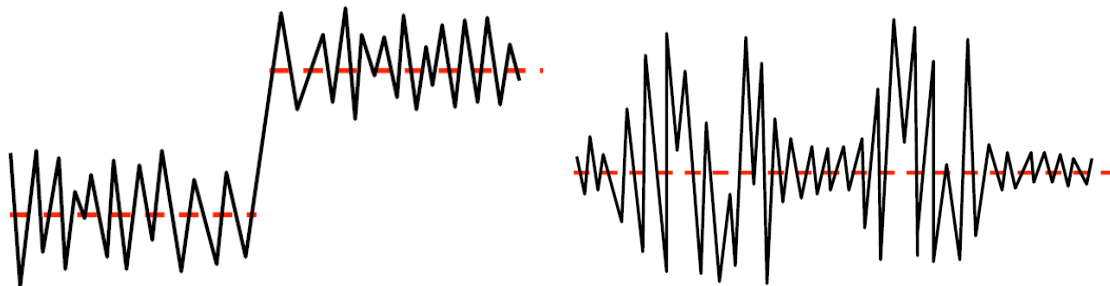


Figura 6: Ejemplo de serie no homogénea debido a variación de la media (a la izquierda) y debido a la variación del desvío (derecha).

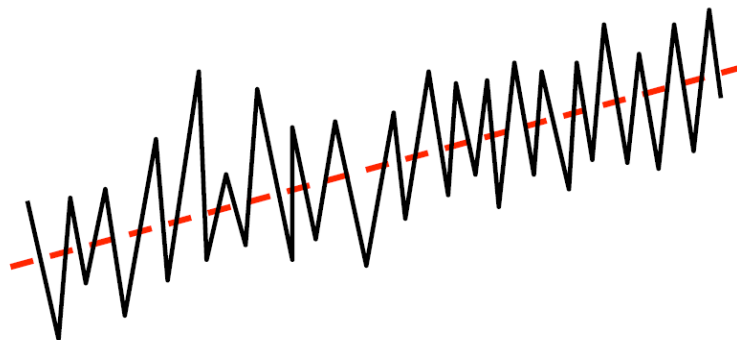


Figura 7: Ejemplo de serie no estacionaria.

### 2.1.1. Pruebas de estacionariedad de series.

Para poder identificar las tendencias que generan no estacionariedad en series hidrológicas, numerosos autores han orientado sus estudios a la identificación de estas tendencias en series de variables hidrometeorológicas.

La prueba no-paramétrica más utilizada en la identificación de tendencias en series de variables hidrometeorológicas es la de Mann-Kendall. El inconveniente que presenta es que la autocorrelación existente en algunas de estas series afecta los resultados de la prueba, causando problemas en la detección y evaluación del nivel de significación. La presencia de autocorrelación positiva tiende a aumentar la probabilidad de detección de tendencia cuando, en efecto, ésta no existe, mientras que la autocorrelación negativa tiende a disminuirla.

Para corregir este efecto, Hamed y Rao (1998) derivan una relación teórica para calcular la varianza del estadístico de la prueba para datos autocorrelacionados y proponen la prueba Mann-Kendall modificada; mientras que Yue, et al. (2002b) presenta una técnica de pre-blanqueo (trend-free prewhitening –TFPW- por sus siglas en inglés) que remueve la correlación serial sin alterar la tendencia presente en la serie.

#### 2.1.1.1. Prueba de Mann-Kendall.

En la prueba de Mann-Kendall, para cada dato de la serie, la cual se encuentra ordenada cronológicamente, se calcula cuantos datos posteriores son superiores. De esta forma:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} s(i) \quad (1)$$

En donde  $s(i)$  es el número de los valores de  $X_j > X_i$ , siendo  $i < j \leq n$ .

Por otro lado se determinan cuantos valores posteriores son menores. Los mismos se determinan de la siguiente manera:

$$T = \sum_{i=1}^{n-1} t(i) \quad (2)$$

En donde  $t(i)$  es el número de valores  $X_j < X_i$ , siendo  $i < j \leq n$ .

Con los valores de  $S$  y  $T$  calculados, se define el índice  $I = S - T$ , que debe ser próximo a cero si se verifica la estacionariedad.

Por lo tanto se deben verificar las siguientes condiciones:

- $I < I_{cri}(\alpha)$ , o sea que el  $I$  calculado sea menor que un valor de  $I$  crítico tabulado en función del tamaño de la muestra y según diferentes niveles de significación.
- Para tamaños de muestra ( $n$ ) mayores a 10, el valor del estadístico se aproxima a una distribución normal. Por lo que se debe utilizar una forma estandarizada del estadístico en donde se transforma el índice  $I$  en el índice  $K$ , definido como:

$$K = \frac{I_{cri}-1}{\left(\frac{n(n-1)(2n+5)}{18}\right)^{0.5}} \quad si \ I > 0 \quad (3)$$

$$K = 0 \quad si \ I = 0 \quad (4)$$

$$K = \frac{I_{cri}+1}{\left(\frac{n(n-1)(2n+5)}{18}\right)^{0.5}} \quad si \ I < 0 \quad (5)$$

Los valores de  $I_{cri}$  son obtenidos de una distribución Normal, los cuales son presentados en la Tabla 1.

$\alpha$	0.01	0.05	0.1
$I_{cri}$	2.33	1.64	1.28

Tabla 1: Valores  $I_{cri}$  para el Test Mann – Kendall (Kendall, 1938).

#### 2.1.1.2. Prueba de Mann Kendall modificada.

La prueba Mann Kendall modificada para series auto correlacionadas propuesta por Hamed y Rao (1998) está basada en la corrección de la varianza de  $S$  en función del número efectivo de observaciones  $N_S$ . La varianza modificada (sobre la cual posteriormente se realiza el mismo test de Mann Kendall para verificar la estacionariedad) es:

$$V^*(S) = Var(S) \cdot \frac{N}{N_S} \quad (6)$$

Para calcular la relación entre  $N$  y  $N_S$ , se utiliza la siguiente formula:

$$\frac{N}{N_S} = 1 + \frac{2}{N \cdot (N-1) \cdot (N-2)} \cdot \sum_{i=1}^{N-1} (N-i) \cdot (N-i-1) \cdot (N-i-2) \cdot \rho_S(i) \quad (7)$$

Donde  $N$  es el número total de observaciones y  $\rho_S(i)$  son los valores significativos de la función de auto correlación de la serie de los órdenes de las observaciones, calculados después de remover la tendencia estimada por algún método no-paramétrico robusto (Sen, 1968).

### 2.1.1.3. Técnica de pre-blanqueo.

El procedimiento de pre-blanqueo propuesto por Yue et al. (2002b) para eliminar el efecto de la correlación serial en la aplicación de la prueba Mann Kendall es denominado pre-blanqueo libre de tendencia. Esta técnica propone remover de la serie estandarizada la tendencia, estimada por algún método robusto (Sen, 1968), antes de calcular el coeficiente de auto correlación de retardo de primer orden ( $\rho_1$ ). De esta forma se resuelve el problema de la influencia de la tendencia en la estimación del coeficiente auto correlación, mientras que la remoción de la tendencia no afecta al proceso auto-regresivo subyacente.

En primer lugar se asume que la tendencia es lineal y se elimina de la serie según:

$$Y_t = X_t - T_t = X_t - a * t \quad (8)$$

Siendo  $X_t$  la serie original ordenada cronológicamente,  $a$  la pendiente del ajuste lineal hecho a la serie y  $t$  la posición de cada uno de los valores de la serie original ordenada cronológicamente (el primer valor tendrá  $t = 0$ , el segundo  $t = 1$ , y así sucesivamente).

Luego se estima el coeficiente de autocorrelación de primer orden ( $\rho_1$ ) de la serie  $Y_t$  y si éste no es significativamente distinto de cero, la serie se considera independiente y la prueba Mann-Kendall se aplica a la serie original para verificar la estacionariedad de la serie. Si  $\rho_1$  es significativamente distinto de cero, la serie  $Y_t$  se pre-blanquea como:

$$Y'_t = Y_t - \rho_1 \cdot Y_{t-1} \quad (9)$$

Posteriormente, la tendencia estimada y la serie  $Y'_t$  compuesta por residuos que deben ser independientes, se combinan como:

$$Y''_t = Y'_t + T_t = Y'_t + a * t \quad (10)$$

Y la prueba Mann-Kendall se aplica a la serie  $Y_t''$  para verificar la estacionariedad de la serie; evitando de esta forma el efecto negativo de la correlación serial.

## 2.2. Metodología empleada para el análisis de series estacionarias y no estacionarias.

A continuación, se detalla la metodología empleada sobre las series analizadas en este trabajo.

### 2.2.1. Verificación de hipótesis básicas.

En primer lugar, se verificó que cada serie cumpla con la longitud mínima. Luego, a cada una de las series se les realizaron pruebas estadísticas para poder conocer si las mismas eran adecuadas para ser posteriormente analizadas mediante el análisis de frecuencia. Además, se diferenciaron las series estacionarias y no estacionarias.

#### 2.2.1.1. Longitud de serie mínima.

Se decidió la aceptación de todas las estaciones con una longitud de serie mayor o igual a catorce años. La adopción de este criterio se basó en estudios previamente realizados (Caamaño y Daaso, 2003; Catalini et al., 2011 y Guillén 2014)

#### 2.2.1.2. Presencia de Datos Atípicos.

La prueba de datos atípicos detecta datos que se alejan significativamente de la tendencia que se observa en el resto de la serie. Se supone que los datos se encuentran normalmente distribuidos. La retención o eliminación de estos datos puede afectar significativamente la magnitud de los parámetros estadísticos, especialmente en muestras pequeñas.

Los procedimientos para tratar estos datos requieren un criterio que involucra consideraciones matemáticas e hidrológicas. En el presente trabajo se optó por el empleo de la metodología propuesta por Chow (1959), la cual considera una ecuación de frecuencia que puede utilizarse para detectar la presencia de datos atípicos, a saber:

$$Y = \bar{y} \pm Kn Sy \quad (11)$$

Donde  $Y$  es el umbral de dato atípico alto o bajo, en unidades logarítmicas,  $K_n$  es un valor que depende del tamaño de la muestra, el cuál proviene de la distribución normal (Tabla 2),  $\bar{y}$  es la media de los logaritmos de la muestra y  $S_y$  es el desvío estándar los logaritmos de la misma.

Para detectar los datos atípicos, se calculan umbrales superiores e inferiores para cada serie de datos de las estaciones analizadas. Si los logaritmos de los valores en una muestra son mayores que  $Y$  entonces se consideran como datos atípicos altos, análogamente en el caso de ser menores que  $Y$  serán tomados como datos atípicos bajos.

Tamaño de muestra n	$K_n$	Tamaño de muestra n	$K_n$	Tamaño de muestra n	$K_n$	Tamaño de muestra n	$K_n$
10	2,036	24	2,467	38	2,661	60	2,837
11	2,088	25	2,486	39	2,671	65	2,866
12	2,134	26	2,502	40	2,682	70	2,893
13	2,175	27	2,519	41	2,692	75	2,917
14	2,213	28	2,534	42	2,7	80	2,94
15	2,247	29	2,549	43	2,71	85	2,961
16	2,279	30	2,563	44	2,719	90	2,981
17	2,309	31	2,577	45	2,727	95	3
18	2,335	32	2,591	46	2,736	100	3,017
19	2,361	33	2,604	47	2,744	110	3,049
20	2,385	34	2,616	48	2,753	120	3,078
21	2,408	35	2,628	49	2,76	130	3,104
22	2,429	36	2,639	50	2,768	140	3,123
23	2,448	37	2,65	55	2,804		

Tabla 2: Valores  $K_n$  para la prueba de datos atípicos (Chow, 1959).

En síntesis, la metodología para la detección de los datos atípicos consiste en el análisis de las series históricas correspondientes a las distintas variables de las estaciones emplazadas en el territorio en estudio. A dichas series se les aplicó el logaritmo neperiano procediendo a la determinación de la media  $\mu$  y el desvío estándar  $\sigma$ . Aplicando sobre ella la metodología propuesta por Chow (1959).

El procedimiento consiste en depurar los datos atípicos en caso que existan y volver a realizar el análisis; en caso de no encontrar datos atípicos nuevamente la prueba verifica y se continúa. En caso contrario, la prueba no verifica y se descarta los registros de esta estación.



### 2.2.1.3. Prueba de independencia.

Uno de los requisitos para analizar estadísticamente las series de datos es que los mismos sean aleatorios. Se busca que la probabilidad de ocurrencia de uno cualquiera de ellos no dependa de la ocurrencia de los datos que le preceden y que tampoco este influya a los datos que le siguen o datos futuros. Es decir que para el análisis estadístico se requiere que la muestra esté compuesta por datos independientes de los demás.

Una de las pruebas estadísticas de independencia que se conoce es la de Wald-Wolfowitz, que permite verificar la existencia de una auto-correlación significativa de primer orden entre las observaciones. Esta prueba contrasta si dos muestras con datos independientes proceden de poblaciones de la misma distribución. Si esto es así los parámetros poblacionales de ambas muestras son los mismos.

En esta prueba, las hipótesis a contrastar son las siguientes:

$H_0$ : El proceso que genera el conjunto de datos numéricos es aleatorio.

$H_1$ : El proceso que genera el conjunto de datos numéricos no es aleatorio.

En esta prueba se compara cada valor con la media de la muestra. Se le asigna a cada dato un término E o F (éxito o fracaso) según si el valor es mayor o menor que la media.

Para evaluar la aleatoriedad de la muestra, se considera como estadístico de prueba al número de corridas presente en los datos. Una corrida se define como una serie éxitos o fracasos consecutivos. Luego en la muestra completa se puede distinguir:

$R$ : número de corridas.

$n_1$ : número de éxitos, o de valores superiores a la media.

$n_2$ : número de fracasos, o de valores inferiores a la media.

$n$ : número de datos en la muestra.

En la prueba se utiliza el valor estadístico  $Z$  para una prueba de dos extremos. Si  $Z$  es mayor o igual al valor crítico superior, o menor o igual al valor crítico

inferior, la hipótesis nula de aleatoriedad puede ser rechazada al nivel de significancia  $\alpha$ . Sin embargo, si  $Z$  se encuentra entre estos límites, la hipótesis nula de aleatoriedad puede aceptarse.

El valor estadístico  $Z$  se determina de la siguiente manera:

$$Z = \frac{R - \mu r}{\sigma r} \quad (12)$$

Dónde:

$$\mu r = \frac{2n_1 * n_2}{n} + 1 \quad (13)$$

$$\sigma r = \sqrt{\frac{(\mu r - 1) * (\mu r - 2)}{n - 1}} \quad (14)$$

Donde el valor del estadístico  $Z$ , se contrasta con el valor de tabla de la distribución normal para un cierto nivel de significancia establecido.

En el caso que una serie histórica de datos correspondientes a las precipitaciones máximas anuales no verifique esta prueba, se descarta esa estación pluviométrica.

#### 2.2.1.4. Prueba de estacionariedad.

A priori, la prueba utilizada en este trabajo para la identificación de tendencias en las series es la de Mann-Kendall. Como se explicó anteriormente, la autocorrelación existente en algunas de estas series afecta los resultados de esta prueba, por lo tanto, se complementaron los resultados de la misma aplicando también la prueba de Mann-Kendall modificada y la técnica de pre-blanqueo.

En resumen, en primer lugar se aplica la prueba de Mann-Kendall; y si la misma es aceptada se prosigue con el análisis de frecuencia clásico. Por el contrario, si la prueba es rechazada se aplica entonces la prueba de Mann-Kendal modificada y la técnica de pre-blanqueo para verificar la existencia de la tendencia que genera la no estacionariedad. Si estas últimas dos pruebas también son rechazadas, entonces se prosigue con el análisis para series no estacionarias (que se explica posteriormente). Cada una de estas pruebas se explicó en el punto 2.1.1.

### 2.2.1.5. Prueba de homogeneidad a escala anual.

La prueba de homogeneidad a escala anual de Wilcoxon permite comprobar si el promedio de un primer subconjunto de la muestra difiere significativamente del promedio de un segundo subconjunto de la muestra.

En el caso que una serie histórica de datos correspondientes a las precipitaciones máximas anuales no verifique esta prueba, se descarta esa estación pluviométrica.

Para efectuar esta prueba se debe sustituir las observaciones de las dos muestras de tamaños  $n_1$  y  $n_2$ , por sus rangos combinados. Los rangos son asignados de tal manera que el rango 1 se asigna a la más pequeña de las  $n = n_1 + n_2$  observaciones combinadas, el rango 2 se le asigna a la siguiente más alta y así sucesivamente, de modo que el rango  $n$  queda asignado a la observación más grande. Si varias observaciones tienen el mismo valor, se asigna a cada una de estas el promedio de los rangos que, en otra circunstancia, se les habría asignado.

La estadística de la prueba de Wilcoxon  $T_1$ , es simplemente la suma de los rangos asignados a las  $n_1$  observaciones de la muestra más pequeña. Para cualquier valor entero  $n$ , la sumade los  $n$  primeros enteros consecutivos puede calcularse fácilmente como  $n(n + 1)/2$ . La estadística de prueba  $T_1$ , más la suma de los rangos asignados a los  $n_2$  elementos de la segunda muestra,  $T_2$ , por consiguiente, debe ser igual a este valor, es decir;

$$T_1 + T_2 = \frac{n(n+1)}{2} \quad (15)$$

De modo que esta ecuación puede ser empleada como verificación del procedimiento de asignación de rangos.

La prueba de la hipótesis nula puede ser de dos extremos o de un extremo, dependiendo de si se está probando si las dos medianas de población son exclusivamente diferentes o si una es mayor que la otra.

La estadística de prueba,  $T_1$ , está distribuida de manera aproximadamente normal. Se puede emplear la siguiente fórmula de aproximación de muestra grande para probar la hipótesis nula:

$$|Z| = \frac{T_1 - \mu T_1}{\sigma T_1} \quad (16)$$

El valor medio de la estadística de prueba T1, puede calcularse con:

$$\mu T1 = \frac{n1(n+1)}{2} \quad (17)$$

y la desviación estándar de la estadística de prueba T1, se puede calcular con:

$$\sigma T1 = \sqrt{\frac{n1n2(n+1)}{12}} \quad (18)$$

Basándose en el nivel de significación seleccionado  $\alpha$ , la hipótesis nula puede ser rechazada si el valor Z calculado cae en la región de rechazo apropiada.

### 2.2.2. Análisis de estadística descriptiva.

El objetivo de la estadística descriptiva es extraer la información esencial de un conjunto de datos, describiendo una muestra de datos con un conjunto pequeño de parámetros.

Los parámetros estadísticos calculados en este trabajo para cada serie histórica fueron el máximo, el mínimo, la media, el desvío, la varianza, el coeficiente de asimetría y el coeficiente de curtosis.

### 2.2.3. Análisis de estadística inferencial.

En la naturaleza, la mayoría de los fenómenos hidrológicos constituyen procesos aleatorios y dado que la planificación y el diseño están basados en eventos futuros, cuya magnitud y tiempo de ocurrencia no pueden predecirse, se debe recurrir al estudio de las probabilidades o frecuencias con que un determinado evento puede ser igualado o excedido.

La estadística inferencial estima las características estadísticas de una población a partir del análisis estadístico de una muestra. La estimación de las características de la población se realiza a partir de la determinación o ajuste de la función de distribución de probabilidad por métodos empíricos y/o teóricos.

Una distribución de probabilidad es una función que representa la probabilidad de ocurrencia de una variable aleatoria. Mediante un ajuste de una distribución de un conjunto de datos hidrológicos, una gran cantidad de información

estadística de la muestra puede resumirse en forma compacta en la función y en sus parámetros asociados.

Una vez definida la función de distribución de probabilidad óptima para caracterizar la población de lámina de lluvia diaria máxima anual, se estiman los valores de las variables para distintas probabilidades de ocurrencia o períodos de retorno.

### 2.2.3.1. Análisis inferencial de series estacionarias.

Cuando se realiza estadística inferencial sobre una serie estacionaria, se relaciona la variable analizada con una recurrencia dada; es decir para cada tiempo de retorno el análisis arroja el valor de la variable con su respectivo intervalo de confianza. A continuación se muestra un ejemplo de este caso:

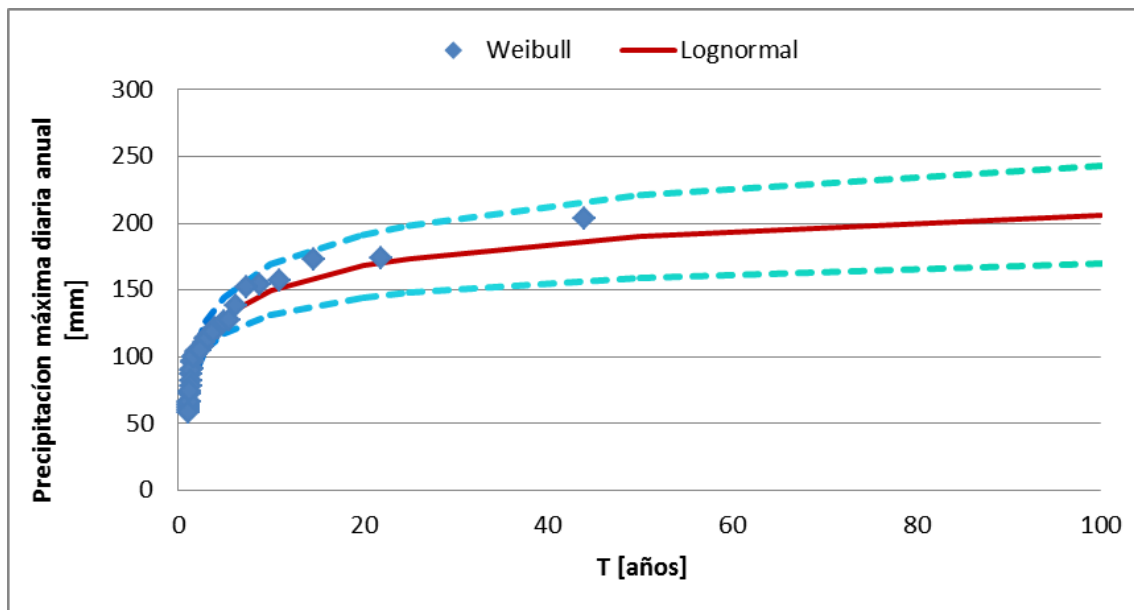


Figura 8: Ejemplo de análisis inferencial de una serie estacionaria de precipitaciones máximas diarias anuales.

### Función de distribución de probabilidad empírica.

Los valores extremos son independientes entre sí, y es necesario asignar un valor de probabilidad empírica a cada dato. Para ello se ordenan los  $N$  registros históricos de forma decreciente sin importar la fecha de ocurrencia, y a cada uno de estos registros se le asigna una probabilidad en función del orden  $m$  en la lista ordenada.

Existen varias funciones de distribución de probabilidad empíricas históricamente utilizadas; y una de ellas es la de Weibull (1951), que estableció

una función de distribución de probabilidad empírica en el que la probabilidad de ocurrencia (porcentaje de veces durante el cual un determinado evento es igual o mayor a la cantidad indicada) de un evento dado se corresponde con la siguiente expresión:

$$p = \frac{m}{(N+1)} \quad (19)$$

Donde  $N$  corresponde al número total de datos de una serie (años de registro) y  $m$  representa el número de orden de la serie ordenada en forma creciente. Si analizamos la ecuación anteriormente mostrada, se observa que la función empírica de Weibull asigna una probabilidad de ocurrencia igual a  $1/(N + 1)$  al mayor de los datos históricos y  $N/(N + 1)$  al menor. Por otra parte se llama probabilidad de no excedencia o no ocurrencia a  $1 - p$ .

#### Ajuste de los datos a una función de distribución de probabilidad teórica.

En este trabajo se ajustó cada serie histórica de datos a 6 funciones de distribución de probabilidad diferentes y luego se evaluó cuál es la más adecuada para que represente a la población de las distintas variables analizadas de cada estación pluviométrica.

Las funciones utilizadas fueron: Valores extremos generalizada -GEV- (aplicando el método de momentos y de máxima verosimilitud), Gumbel (aplicando el método de momentos y de máxima verosimilitud), Lognormal (método de máxima verosimilitud) y Log Pearson III (método de momentos).

#### 2.2.3.2. Análisis inferencial de series no estacionarias

A diferencia del caso anterior, cuando se realiza estadística inferencial sobre una serie no estacionaria, también se relaciona la variable analizada con una recurrencia dada; pero para distintos horizontes de tiempo el análisis arroja para un tiempo de retorno el valor de la variable con su respectivo intervalo de confianza; es decir que la recurrencia de un evento ya no es estática en el tiempo sino que es variable.

El software utilizado se denomina Non-Stationary Extreme Value Analysis (NEVA) (Linyin Cheng, y Amir Agha Kouchak - University of California, Irvine). Si bien sirve tanto para series estacionarias como no estacionarias, el programa solo fue utilizado para estos últimos casos. La función de distribución de probabilidad teórica que el software ajusta a las series es la función de Valores Extremos Generalizada (GEV).

Como se mencionó anteriormente, al aplicar análisis de frecuencia a una serie no estacionaria se obtiene para un horizonte de tiempo dado una relación variable-período de retorno; pero la misma es cambiante para distintos horizontes de tiempo, se muestra un ejemplo de esto en la Figura 9.

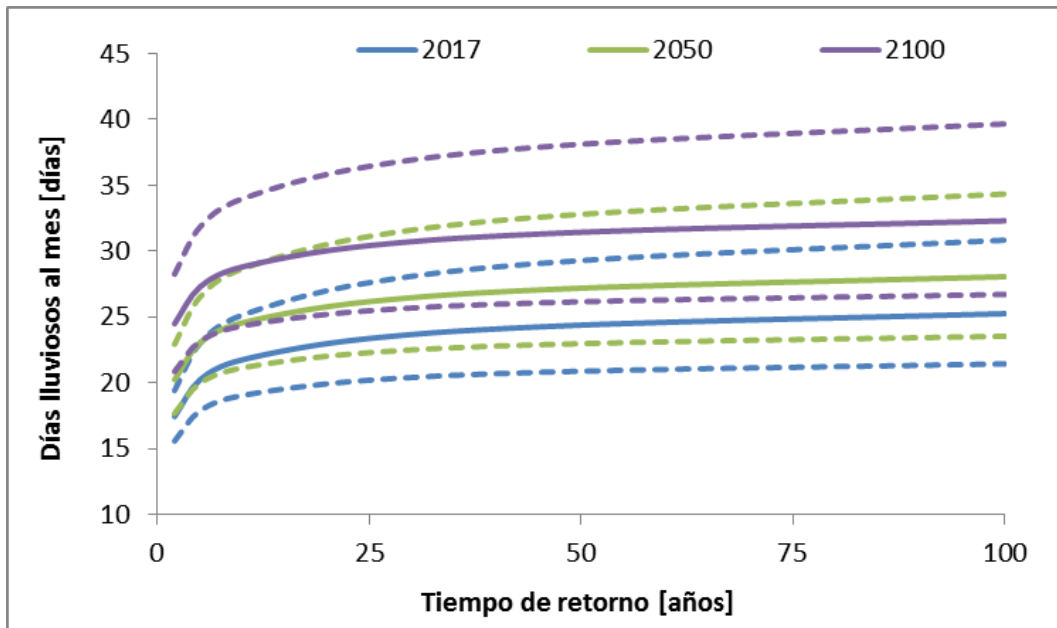


Figura 9: Ejemplo de la variación de la relación variable-período de retorno para distintos horizontes de tiempo.

Además, el período de retorno correspondiente a un determinado valor de la variable analizada cambia a medida que pasa el tiempo (aumentando o disminuyendo según la tendencia de la serie sea decreciente o creciente respectivamente). Un ejemplo de lo aquí explicado se muestra en la Figura 10.

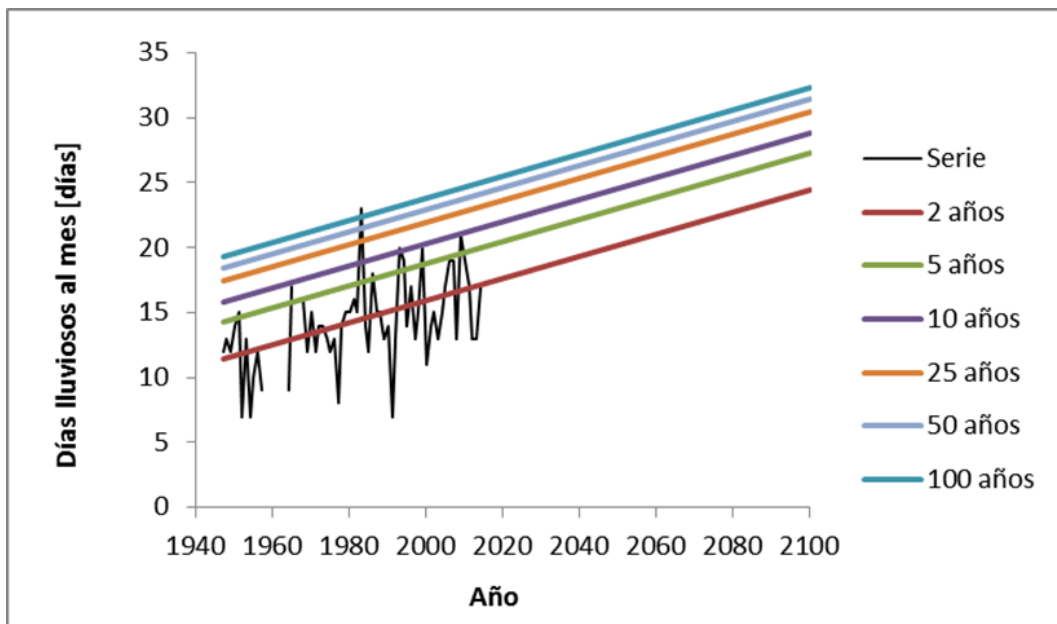


Figura 10: Ejemplo de análisis inferencial de una serie no estacionaria de precipitaciones totales anuales.

Vale aclarar que al inicio de este trabajo, se analizó una serie estacionaria aplicando NEVA y aplicando FACETA (software desarrollado por el grupo de trabajo para series estacionarias) y se verificó que se alcanzaron los mismos resultados.



### 3. Capítulo 3: Información pluviométrica analizada.

#### 3.1. Localización espacial de las estaciones pluviométricas.

Inicialmente, Guillén (2014) recopiló en la provincia de Salta 91 registros pluviométricos (Figura 11). Si bien en ese trabajo se contaba con una buena cantidad de datos y bien distribuidos en el territorio, no todos ellos poseen información actualizada. En la Figura, se muestran las 23 estaciones que cumplen con el requisito de tener registros hasta el año 2014, 2015 o 2016. De esta última figura se observa que en una pequeña parte de la provincia se cuenta con datos actualizados. Para complementar las estaciones que en este trabajo se analizaran, se sumaron las de la provincia de Jujuy con datos actualizados. Esto se hizo para poder cubrir en una mejor manera el territorio analizado y poder concluir más correctamente sobre la existencia o no de variabilidad climática en la zona de estudio.

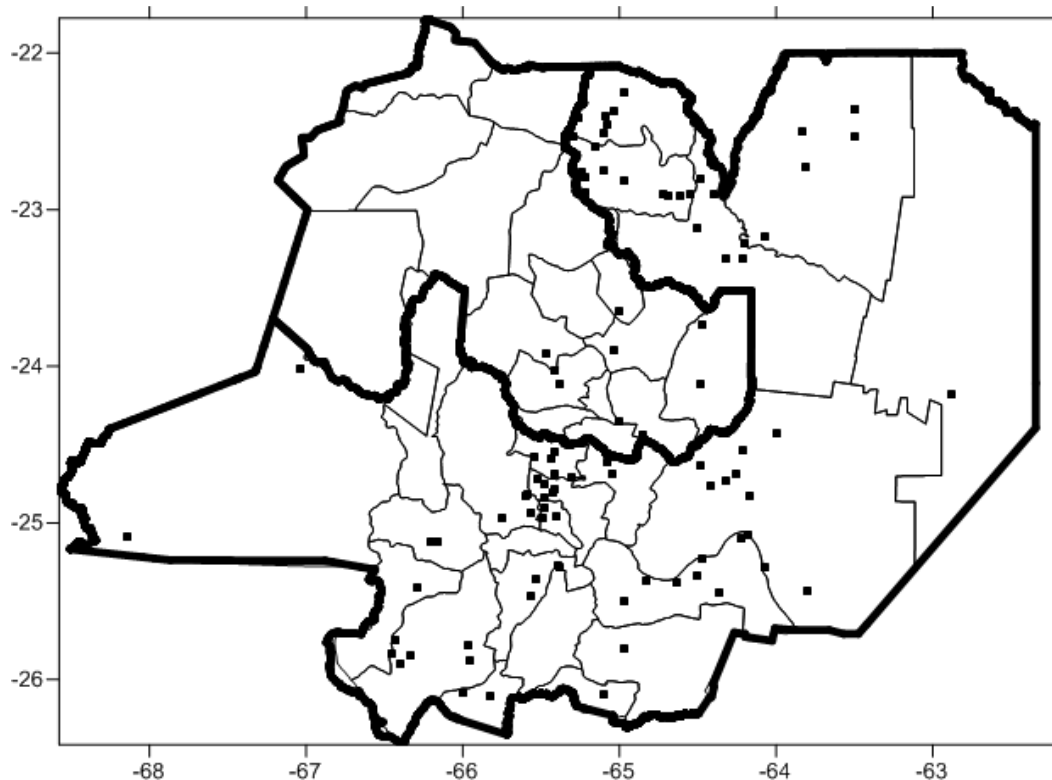


Figura 11: Localización de las estaciones pluviométricas encontradas.

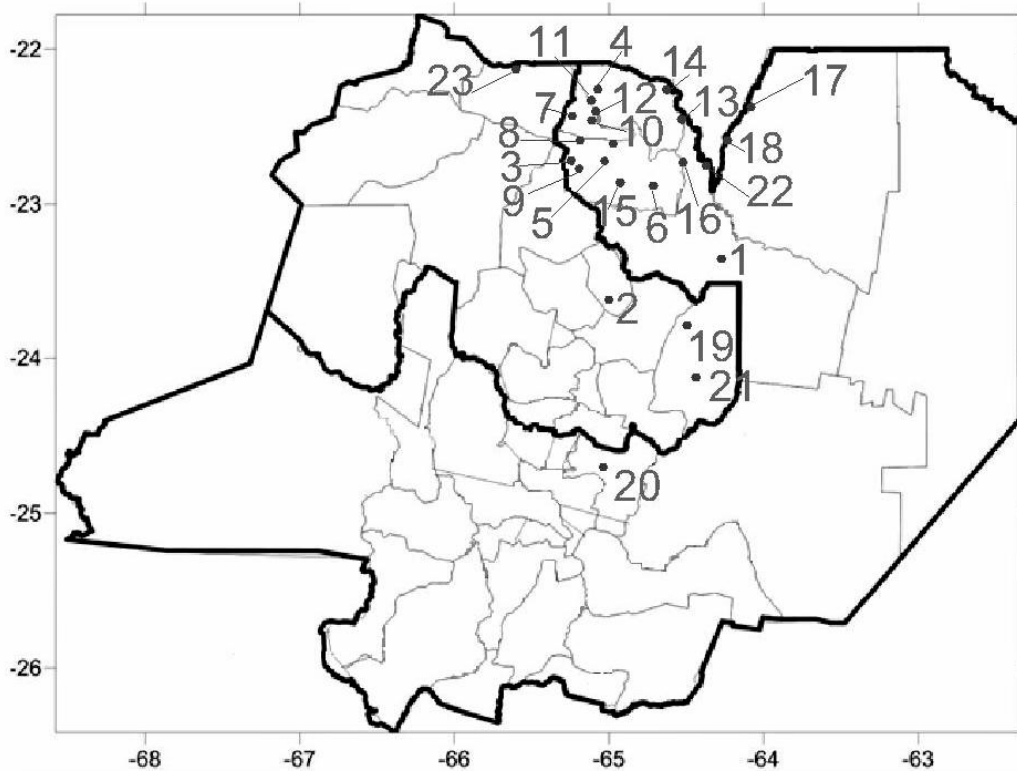


Figura 12: Localización de las estaciones pluviométricas analizadas.

A continuación, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y en la

Estacion Nº	Estacion	Provincia	Longitud	Latitud
16	Pescado Cuatro Cedros	Salta	-64,48	-22,8
17	Tarija Astilleros	Salta	-64,1	-22,37
18	Tarija San Telmo	Salta	-64,24	-22,57
19	San Francisco Caimancito	Jujuy	-64,47	-23,73
20	Mojotoro Guemes	Salta	-65,04	-24,69
21	Santa Bárbara	Jujuy	-64,48	-24,12
22	Bermejo Aguas Blancas	Salta	-64,36	-22,73
23	La Quiaca Yavi	Jujuy	-65,6	-22,11

Tabla 4 se muestran las localizaciones con registros de lluvia diaria abarcados en este trabajo:

Estacion Nº	Estacion	Provincia	Longitud	Latitud
1	Orán	Salta	-64,32	-23,32
2	Valle Grande Peña Alta	Jujuy	-65,00	-23,65
3	Iruya San Isidro	Salta	-65,24	-22,76
4	Bermejo Trigo Huaico	Salta	-65,04	-22,38
5	Iruya Las Higueras	Salta	-65,1	-22,75
6	Iruya San José	Salta	-62,72	-22,9
7	Iruya Tuc Tuca	Salta	-65,26	-22,42
8	Iruya El Molino	Salta	-65,15	-22,6
9	Iruya Iruya	Salta	-65,22	-22,79
10	Iruya El Nazareno	Salta	-65,1	-22,51
11	Iruya Paltorco	Salta	-65,09	-22,41
12	Iruya Poscaya	Salta	-65,08	-22,46
13	Bermejo Bala Puca	Salta	-64,43	-22,52
14	Bermejo Alarche	Salta	-64,58	-22,27
15	Iruya San Antonio	Salta	-64,97	-22,82

Tabla 3: Localizaciones con registros de lámina de lluvia abarcados en este trabajo.

Estacion Nº	Estacion	Provincia	Longitud	Latitud
16	Pescado Cuatro Cedros	Salta	-64,48	-22,8
17	Tarija Astilleros	Salta	-64,1	-22,37
18	Tarija San Telmo	Salta	-64,24	-22,57
19	San Francisco Caimancito	Jujuy	-64,47	-23,73
20	Mojotoro Guemes	Salta	-65,04	-24,69
21	Santa Bárbara	Jujuy	-64,48	-24,12
22	Bermejo Aguas Blancas	Salta	-64,36	-22,73
23	La Quiaca Yavi	Jujuy	-65,6	-22,11

Tabla 4: Continuación de Localizaciones con registros de lámina de lluvia abarcados en este trabajo.

### 3.2. Descripción de datos pluviométricos analizados.

La mayor cantidad de las estaciones pluviométricas se encuentran en la faja central de la zona de estudio.

La escasa disponibilidad de datos con que se cuenta en la zona del oeste de Salta y Jujuy es debido a que en esa zona son muy escasas las precipitaciones. La escasez de lluvia se debe a que los vientos procedentes del Atlántico cargados de humedad pasan por encima de la llanura chaqueña (este de Salta) hasta encontrar las primeras elevaciones de las sierras sub-andinas.

Al contacto con ellas, se produce la descarga de las nubes con abundantes precipitaciones, lo cual genera en las laderas orientales el crecimiento de una vegetación selvática. Sin embargo, la humedad no pasa al otro lado de las sierras, es decir, a las laderas occidentales, donde el clima, por el contrario, es muy seco. La escasez de lluvias justifica la baja disposición de estaciones pluviométricas en la zona de Puna del Noroeste Argentino.

### 3.3. Variables analizadas mediante análisis de frecuencia.

De cada estación pluviométrica se cuenta con el registro histórico de datos, los mismos son las láminas de lluvia de cada día del año desde que se empezó a tomar registro, hay casos donde las series de datos están incompletas con años faltantes de datos y en otras la serie es completa. Con estas series es posible analizar cinco variables climáticas, aclarando que se toma como año hidrológico desde el mes de Julio hasta el mes de Junio, las cuales son:

1. Precipitación máxima diaria anual: Se busca el máximo registro de precipitación diaria por cada año de la serie.
2. Precipitación total anual: Se suman las precipitaciones correspondientes a cada mes registrado en la serie, a posterior se suman las precipitaciones de esos meses que forman el año hidrológico y se obtiene así la precipitación total anual.
3. Días lluviosos al año: Por cada mes correspondiente al año hidrológico, se cuentan los días en donde hubo precipitaciones, sumando los días obtenidos de cada mes tenemos los días lluviosos al año.
4. Días lluviosos al mes: Tomando el calendario hidrológico, se tienen los meses con sus días lluviosos correspondientes, se busca el mes donde el conteo de días lluviosos fue mayor y se toma ese como dato de días lluviosos al mes.
5. Días consecutivos con lluvia: Tomando el calendario hidrológico, se tienen los meses con el máximo de días consecutivos con lluvia, se toma aquel mes que tenga el máximo valor de esa variable correspondiente a ese año hidrológico.

## 4. Capítulo 4: Análisis estadístico completo de los registros de las series seleccionadas.

### Estación: 1 - Orán – Salta.

Esta estación cuenta con registros históricos de precipitación diaria desde el año 1970 hasta el año 2013 sin datos faltantes (44 años de datos). A continuación, se presentan cada uno de los análisis realizados sobre las diferentes variables de interés:

#### 1. Precipitación Máxima Diaria Anual.

La serie hidrológica de precipitaciones máximas diarias anuales analizada es la que se muestra en la Figura 13:

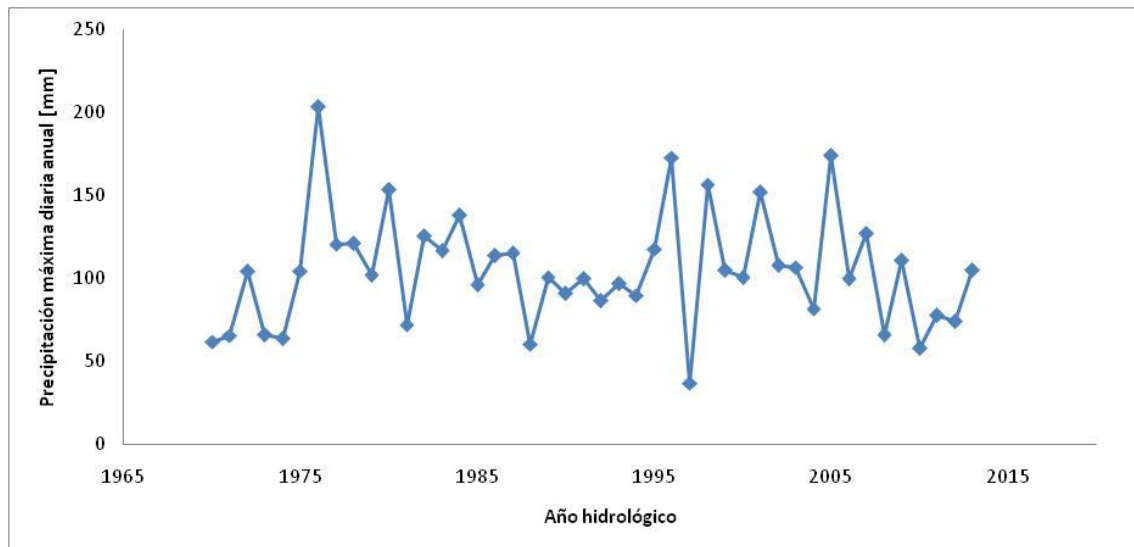


Figura 13: Serie de precipitaciones máximas diarias anuales, Orán.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 37.0 mm en el año 1997 y un máximo de 203.6 mm en el año 1976. El valor promedio de la serie es de 104.7 mm y posee un desvío estándar de 34.3 mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie se encontró un dato atípico correspondiente a 37.0 mm en el año 1997. Este dato atípico puede deberse a que ese año hidrológico fue demasiado seco o bien que hay faltante de datos pluviométricos registrados en ese periodo. Este último dato fue eliminado de la serie y se aplicó nuevamente el test el cual no arrojó ningún otro dato atípico. En base a esto último, la serie que finalmente fue analizada contaba 43 datos, con un mínimo de 58 mm en el año 2010 y un máximo de 203.6 mm en el año 1976. El valor promedio de la serie es de 106.2 mm y posee un desvío estándar de 33.1 mm.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Log-Normal. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 14:

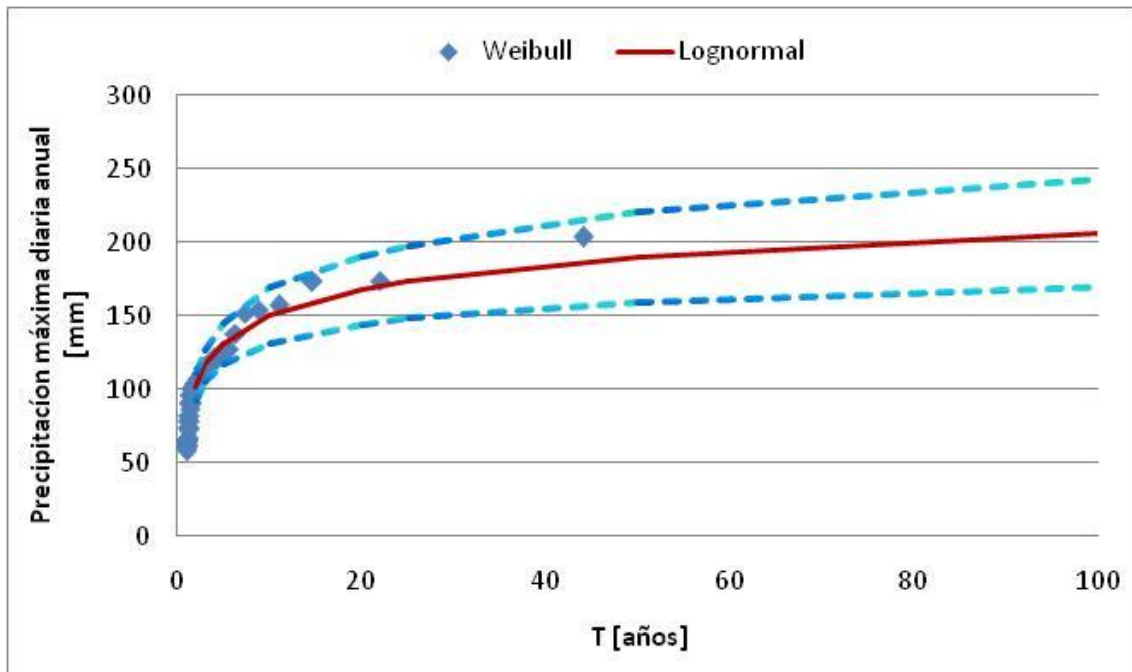


Figura 14: Distribución de probabilidades de la precipitación máxima diaria anual, Orán.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y la precipitación máxima diaria anual se puede ver que la FDP Teórica Log-Normal arroja valores de precipitación menores a los de la FDP empírica de Weibull para tiempos de retorno mayores a los 45 años. Esto puede deberse a que el valor máximo de la serie (203.6 mm) es muy probable que corresponda a una recurrencia del orden de 100 años o aún mayor; y por razones de falta de muestreo (extensión de la serie) al aplicar la fórmula de Weibull aparece erróneamente asociado a 44 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 18%, para 50 años es del 16%, para 25

años es del 14%, para 20 años es del 14%, para 10 años es del 13%, para 5 años es del 11% y para 2 años es de 9%.

A continuación, en la Tabla 5, se presentan los valores de precipitación máxima diaria anual obtenidos a partir de la función Log-Normal con sus respectivos intervalos de confianza:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[mm]		
2	92.2	102.0	111.0
3	105.0	116.0	127.0
5	117.0	131.0	145.0
10	131.0	150.0	169.0
20	144.0	168.0	191.0
25	148.0	173.0	198.0
50	159.0	190.0	221.0
100	170.0	206.0	243.0

Tabla 5: Valores de precipitación máxima diaria anual, Orán.

## 2. Precipitación Total Anual.

La serie hidrológica de precipitaciones totales anuales analizada es la que se muestra en la Figura 15:

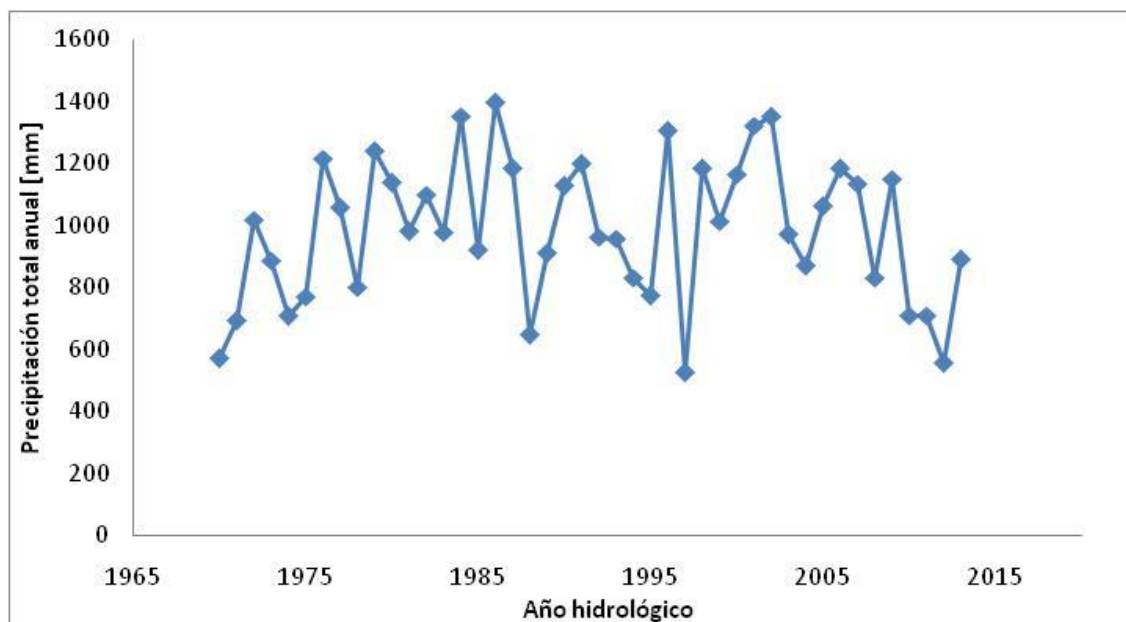


Figura 15: Serie de precipitaciones totales anuales, Orán.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 526.9 mm en el año 1997 y un máximo de 1395.3 mm en el año 1986. El valor promedio de la serie es de 984.9 mm y posee un desvío estándar de 231.1 mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y

homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad de esta variable en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Log-Normal. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 16:

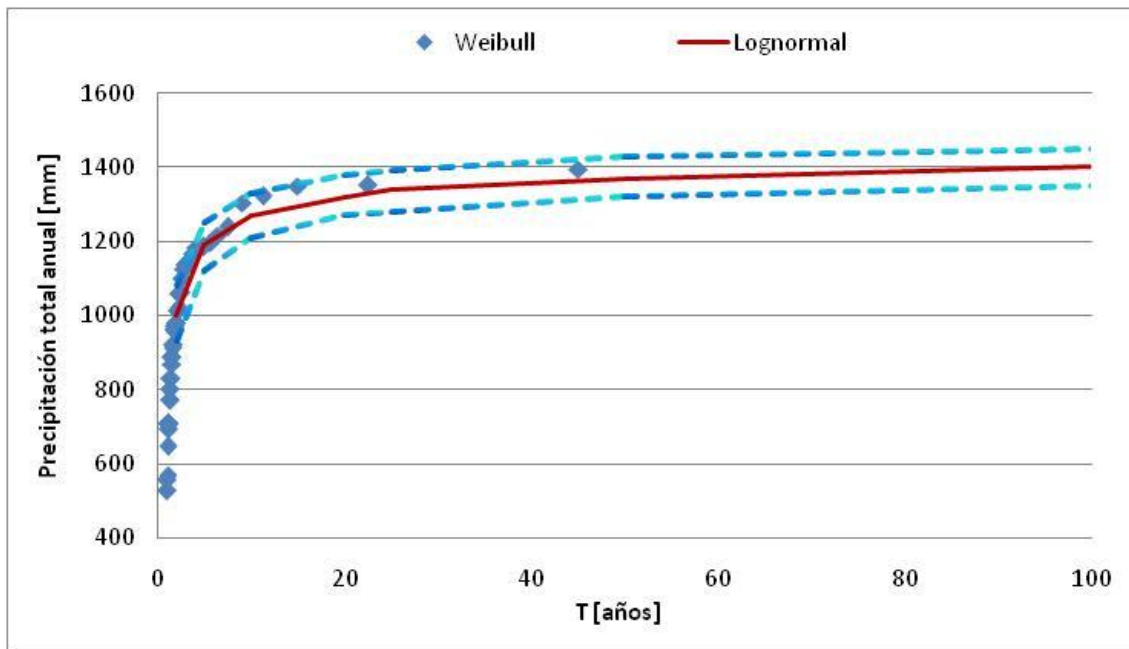


Figura 16: Distribución de probabilidades de la precipitación total anual, Orán.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y la precipitación total anual se puede ver que la FDP Teórica Log-Normal arroja valores de precipitación menores a los de la FDP empírica de Weibull para tiempos de retorno mayores a los 10 años. Esto puede deberse a que el valor máximo de la serie (1395.3 mm) es muy probable que corresponda a una recurrencia del orden de 100 años; y por razones de falta de muestreo (extensión de la serie) al aplicar la fórmula de Weibull aparece erróneamente asociado a 44 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 4%, para 50 años es del 4%, para 25 años



es del 4%, para 20 años es del 5%, para 10 años es del 5%, para 5 años es del 5% y para 2 años es de 8%.

A continuación, en la Tabla 6, se presentan los valores de precipitación total anual obtenidos a partir de la función Log-Normal con sus respectivos intervalos de confianza:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[mm]		
2	<b>931</b>	<b>1000</b>	<b>1080</b>
5	<b>1120</b>	<b>1190</b>	<b>1250</b>
10	<b>1210</b>	<b>1270</b>	<b>1330</b>
20	<b>1270</b>	<b>1320</b>	<b>1380</b>
25	<b>1280</b>	<b>1340</b>	<b>1390</b>
50	<b>1320</b>	<b>1370</b>	<b>1430</b>
100	<b>1350</b>	<b>1400</b>	<b>1450</b>

Tabla 6: Valores de precipitaciones totales anuales, Orán.

### 3. Días lluviosos al año.

La serie hidrológica de días lluviosos al año analizada es la que se muestra en la Figura 17:

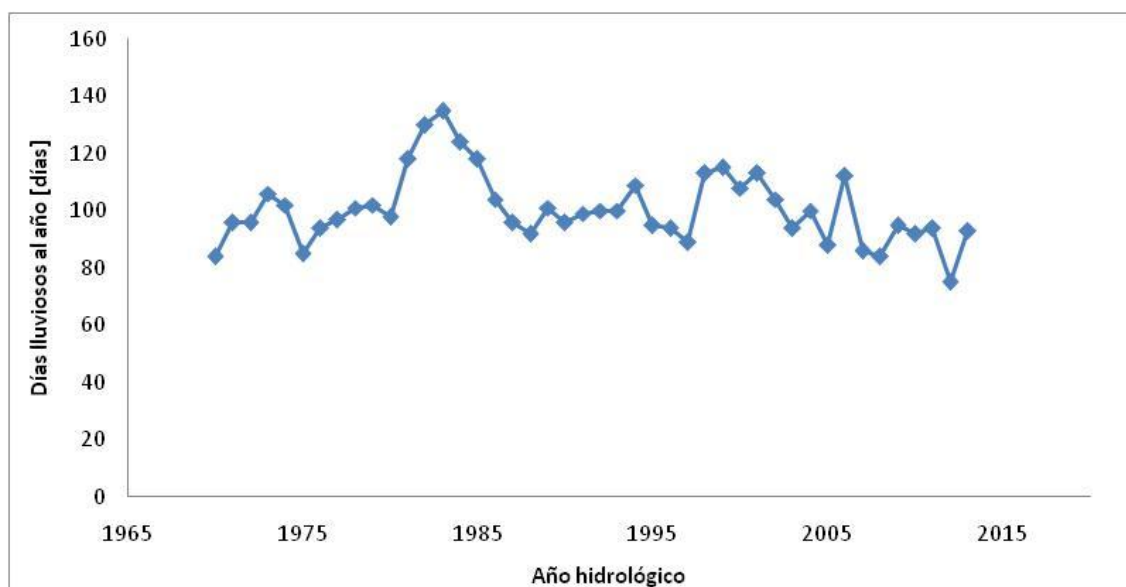


Figura 17: Serie de días lluviosos al año, Orán.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 75 días en el año 2012 y un máximo de 135 días en el año 1983. El valor promedio de la serie es de 100 días y posee un desvío estándar de 12 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico, pero no se verificó las hipótesis de independencia. Por lo tanto, la serie se descartó y no se prosiguió con el análisis.

#### 4. Días lluviosos al mes.

La serie hidrológica de días lluviosos al mes analizada es la que se muestra en la Figura 18:

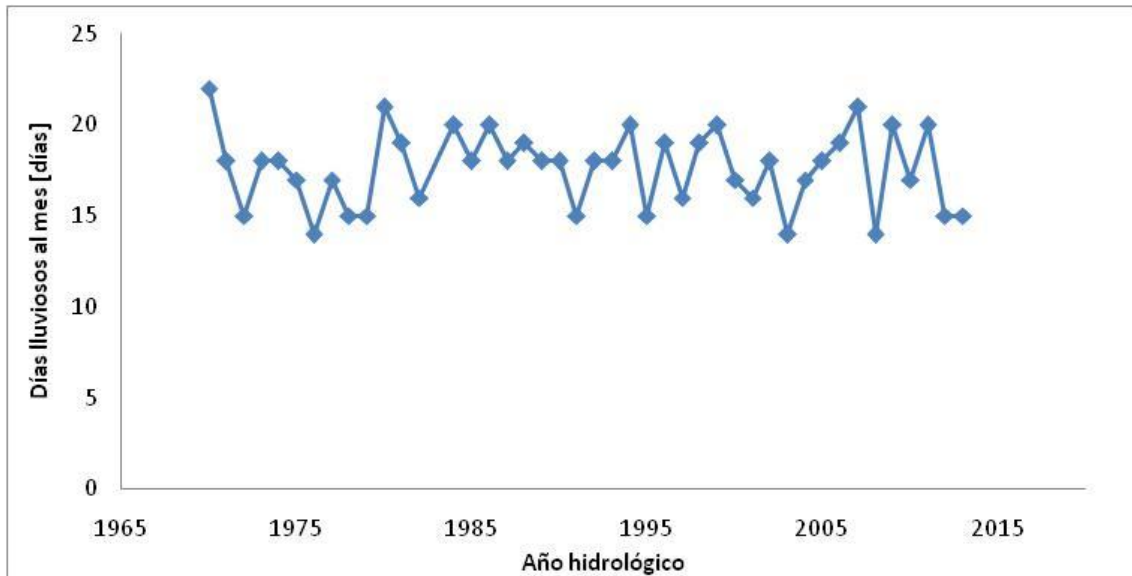


Figura 18: Serie de días lluviosos al mes, Orán.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 14 días en el año 2003 y un máximo de 22 días en el año 1970. El valor promedio de la serie es de 18 días y posee un desvío estándar de 2 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Gumbel por el método de máxima verosimilitud. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 19.

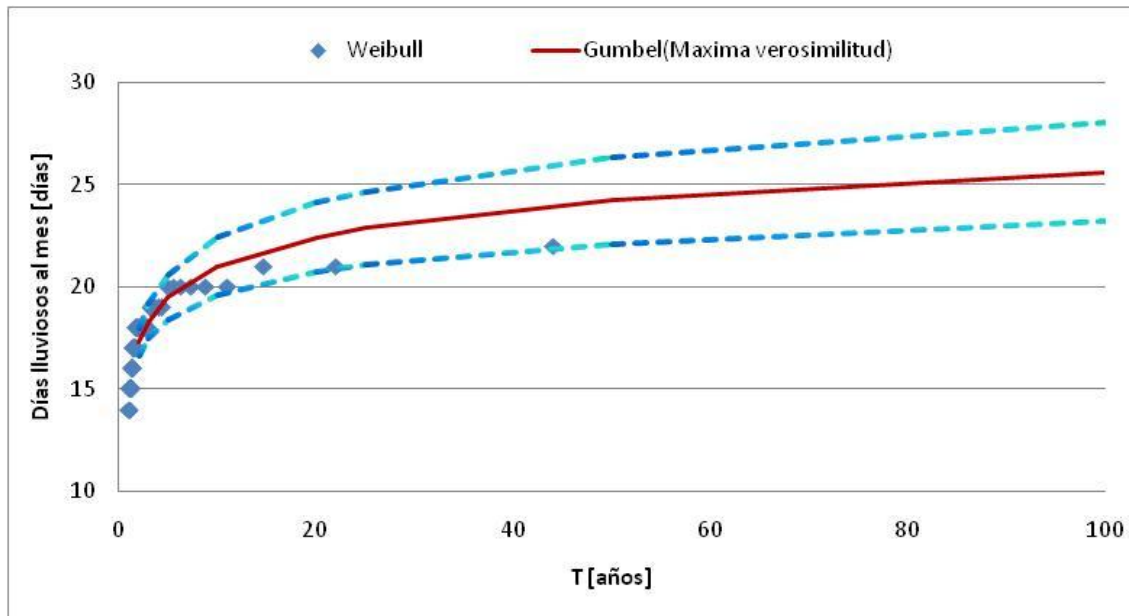


Figura 19: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al mes, Orán.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días lluviosos al mes se puede ver que la FDP Teórica Gumbel por el método de máxima verosimilitud arroja valores mayores a los de la FDP empírica de Weibull para tiempos de retorno mayores a los 15 años. Como se está analizando una variable discreta (y no continua ya que los días lluviosos son un número entero), al ajustar una FDP Teórica a la serie el resultado de las pruebas de bondad de ajuste es bajo. Además, al ajustar Weibull se observa que los valores máximos de la serie tienden a una asíntota (22 días lluviosos al mes aproximadamente) y por eso a medida que aumenta la recurrencia esta variable ya no crece significativamente en su magnitud.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 10%, para 50 años es del 10%, para 25 años es del 9%, para 20 años es del 8%, para 10 años es del 7%, para 5 años es del 6% y para 2 años es de 4%.

A continuación, en la Tabla 7, se presentan los valores de días lluviosos al mes obtenidos a partir de la función Gumbel por el método de máxima verosimilitud con sus respectivos intervalos de confianza:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[días]		
2	17	17	18
5	18	20	21
10	20	21	22
20	21	22	24
25	21	23	25
50	22	24	26
100	23	26	28

Tabla 7: Valores de días lluviosos al mes, Orán.

### 5. Días consecutivos con lluvia

La serie hidrológica de días consecutivos con lluvia es la que se muestra en la Figura 20:

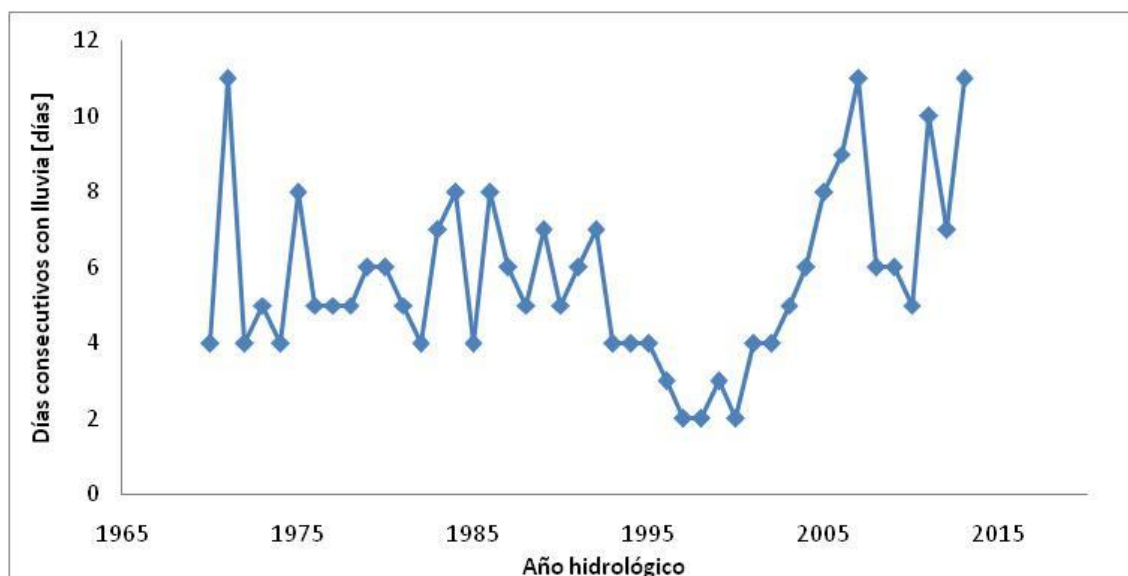


Figura 20: Serie de días consecutivos con lluvia, Orán.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 2 días en los años 1997, 1998 y 2000; un máximo de 11 días en los años 2007 y 2013. El valor promedio de la serie es de 6 días y posee un desvío estándar de 2 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Log-Normal.

Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 21:

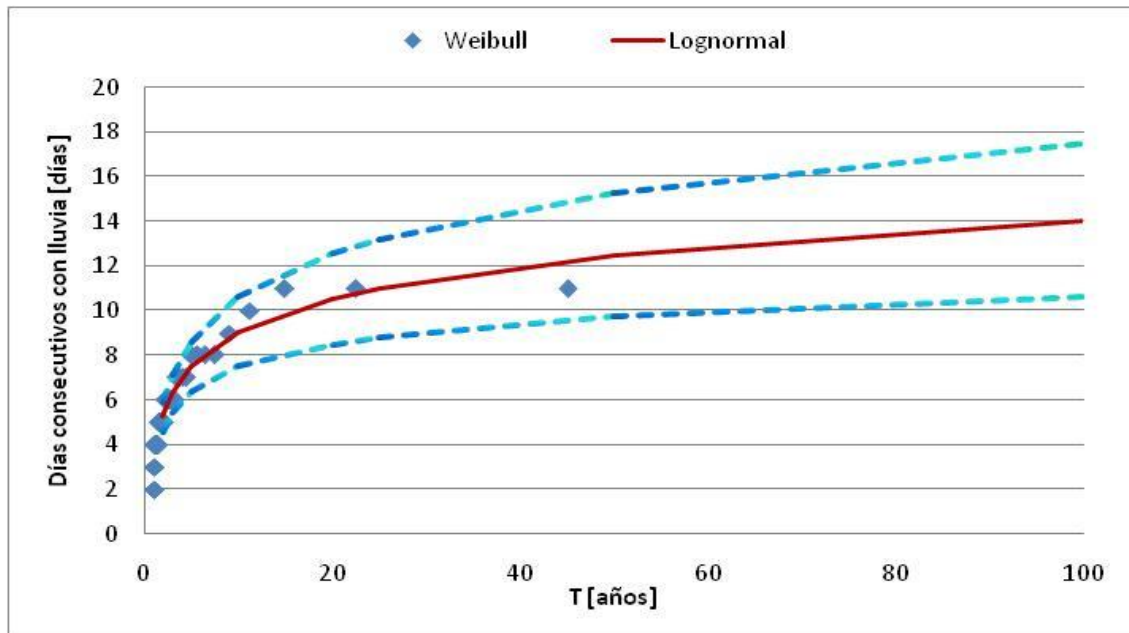


Figura 21: Distribución de probabilidades de los días consecutivos con lluvia, Orán.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días consecutivos con lluvia se puede ver que como se está analizando una variable discreta (y no continua, ya que los días consecutivos con lluvia son un número entero), al ajustar una FDP Teórica a la serie el resultado de las pruebas de bondad de ajuste es bajo. Además, al ajustar Weibull se observa que los valores máximos de la serie tienden a una asíntota (11 días consecutivos con lluvia aproximadamente) y por eso a medida que aumenta la recurrencia esta variable ya no crece significativamente en su magnitud.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 25%, para 50 años es del 22%, para 25 años es del 20%, para 20 años es del 20%, para 10 años es del 17%, para 5 años es del 15% y para 2 años es de 13%.

A continuación, en la Tabla 8, se presentan los valores de días consecutivos con lluvia obtenidos a partir de la función Log-Normal con sus respectivos intervalos de confianza:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[días]		
2	5	5	6
5	6	7	9
10	8	9	11
20	9	11	13
25	9	11	13
50	10	13	15
100	11	14	18

Tabla 8: Valores de días consecutivos con lluvia, Orán.

### Estación: 2–Valle Grande Peña Alta– Jujuy.

Esta estación cuenta con registros históricos de precipitación diaria desde el año 1970 hasta el año 1991 con datos faltantes en el año 1991 (21 años de datos).

A continuación, se presentan cada uno de los análisis realizados sobre las diferentes variables de interés:

#### 1. Precipitación Máxima Diaria Anual.

La serie hidrológica de precipitaciones máximas diarias anuales analizada es la que se muestra en la Figura 22:

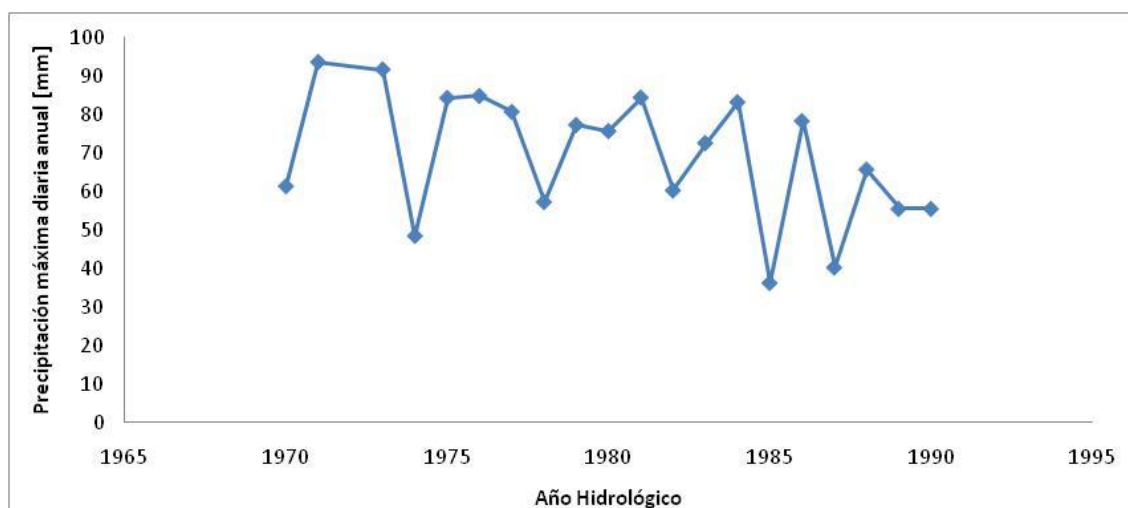


Figura 22: Serie de precipitación máxima diaria anual, Valle Grande Peña Alta.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 36.2 mm en el año 1985 y un máximo de 155.3 mm en el año 1972. El valor promedio de la serie es de 73.4 mm y posee un desvío estándar de 24.9 mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie se encontró un dato atípico correspondiente a 155.3 mm en el año 1972. Este dato atípico puede deberse a que ese año hidrológico fue demasiado húmedo. Este último dato fue eliminado de la serie y se aplicó nuevamente el test el cual no arrojó ningún

otro dato atípico. En base a esto último, la serie que finalmente fue analizada contaba 20 datos, con un mínimo de 36.2 mm en el año 1985 y un máximo de 93.5 mm en el año 1971. El valor promedio de la serie es de 69.3 mm y posee un desvío estándar de 16.8 mm. Por otro lado, se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar, se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es GEV por el método de los momentos. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 23:

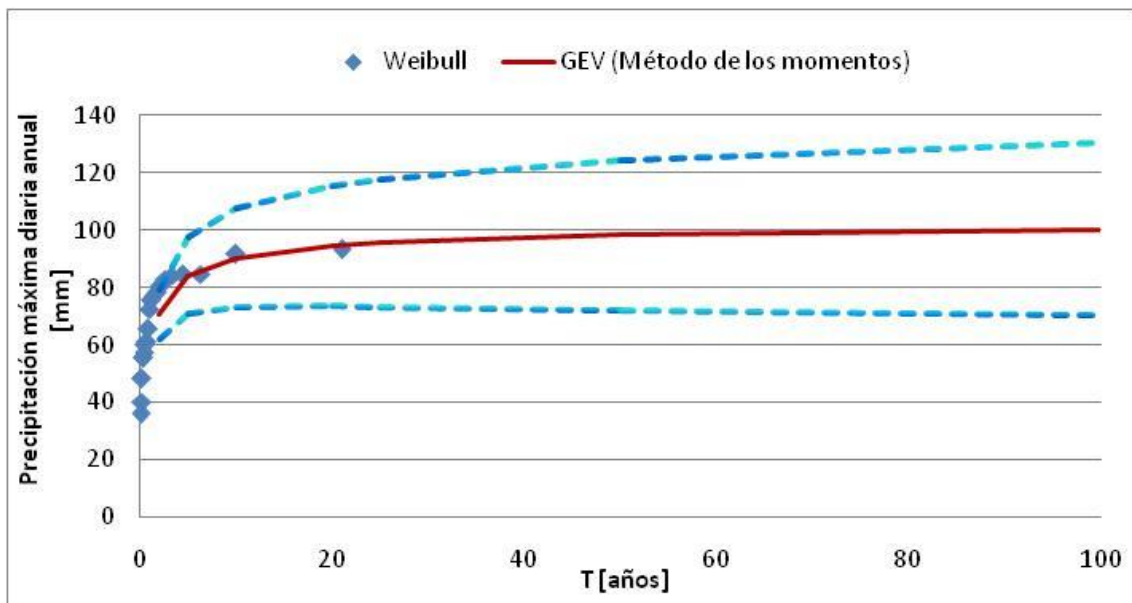


Figura 23: Distribución de Probabilidades de la precipitación máxima diaria anual, Valle Grande Peña Alta.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y la precipitación máxima diaria anual se puede ver que la FDP Teórica GEV por el método de los momentos ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que la lámina máxima (93.5 mm) tiene una recurrencia del orden de los 20 a 25 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa

diferencia por el valor medio) es del 30%, para 50 años es del 27%, para 25 años es del 23%, para 22 años es del 22%, para 10 años es del 19%, para 5 años es del 16% y para 2 años es de 12%.

A continuación, en la Tabla 9, se presentan los valores de precipitación máxima diaria anual obtenidos a partir de la función GEV por el método de los momentos con sus respectivos intervalos de confianza:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[mm]		
2	61.9	70.6	79.3
5	70.9	84.3	97.7
10	73.1	90.3	107.4
20	73.4	94.4	115.5
25	73.3	95.5	117.8
50	72.1	98.3	124.4
100	70.2	100.3	130.3

Tabla 9: Valores de precipitación máxima diaria anual, Valle Grande Peña Alta.

## 2. Precipitación Total Anual.

La serie hidrológica de precipitaciones totales anuales analizada es la que se muestra en la Figura 24:

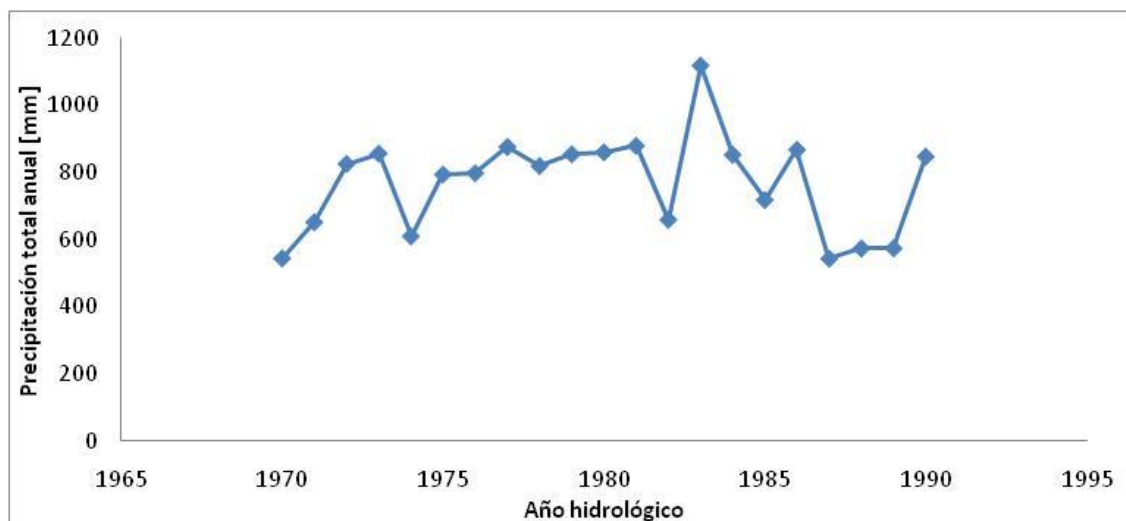


Figura 24: Serie de precipitaciones totales anuales, Valle Grande Peña Alta.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 542.9 mm en el año 1970 y un máximo de 1118.6 mm en el año 1983. El valor promedio de la serie es de 767.5 mm y posee un desvío estándar de 146.8 mm.

Por otro lado, se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.



Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar, se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es GEV por el método de máxima verosimilitud. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 25:

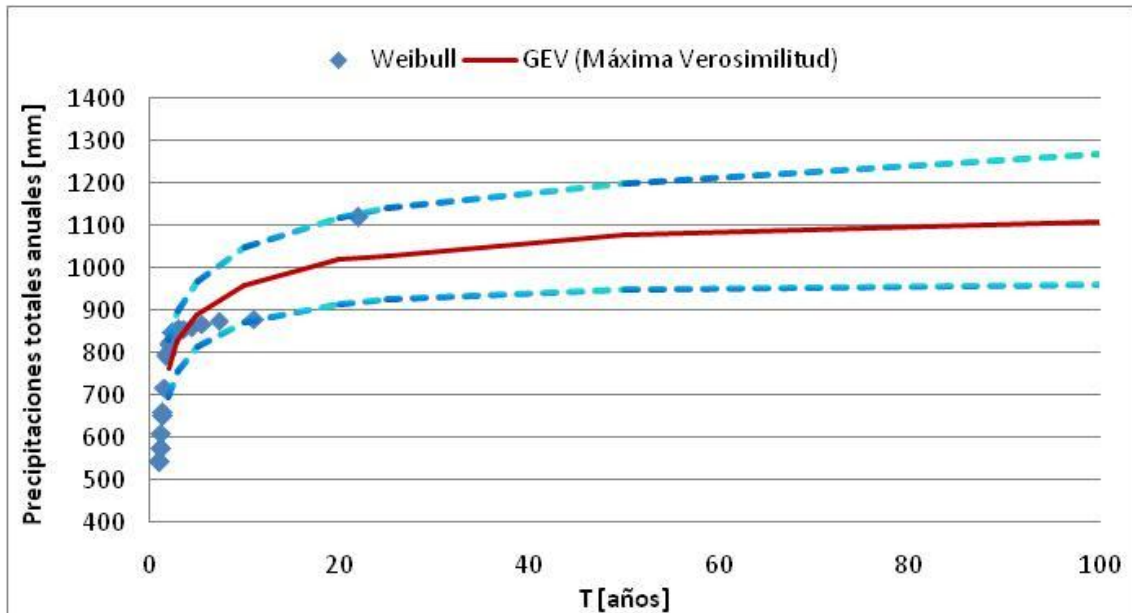


Figura 25: Distribución de probabilidades de la precipitación total anual, Valle Grande Peña Alta.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y las precipitaciones totales anuales se puede ver que la FDP Teórica GEV por el método de máxima verosimilitud ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que el valor máximo (1118.6 mm) tiene una recurrencia del orden de los 100 años o aún mayor.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 14%, para 50 años es del 11%, para 25 años es del 11%, para 20 años es del 10%, para 10 años es del 9%, para 5 años es del 9% y para 2 años es de 9%.

A continuación, en la Tabla 10, se presentan los valores de precipitación total anual obtenidos a partir de la función GEV por el método de máxima verosimilitud con sus respectivos intervalos de confianza:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[mm]		
2	695	762	829
5	814	891	967
10	873	959	1050
20	915	1020	1120
25	925	1030	1140
50	948	1080	1200
100	961	1110	1270

Tabla 10: Valores de precipitaciones totales anuales, Valle Grande Peña Alta.

### 3. Días lluviosos al año.

La serie hidrológica de días lluviosos al año analizada es la que se muestra en la Figura 26:

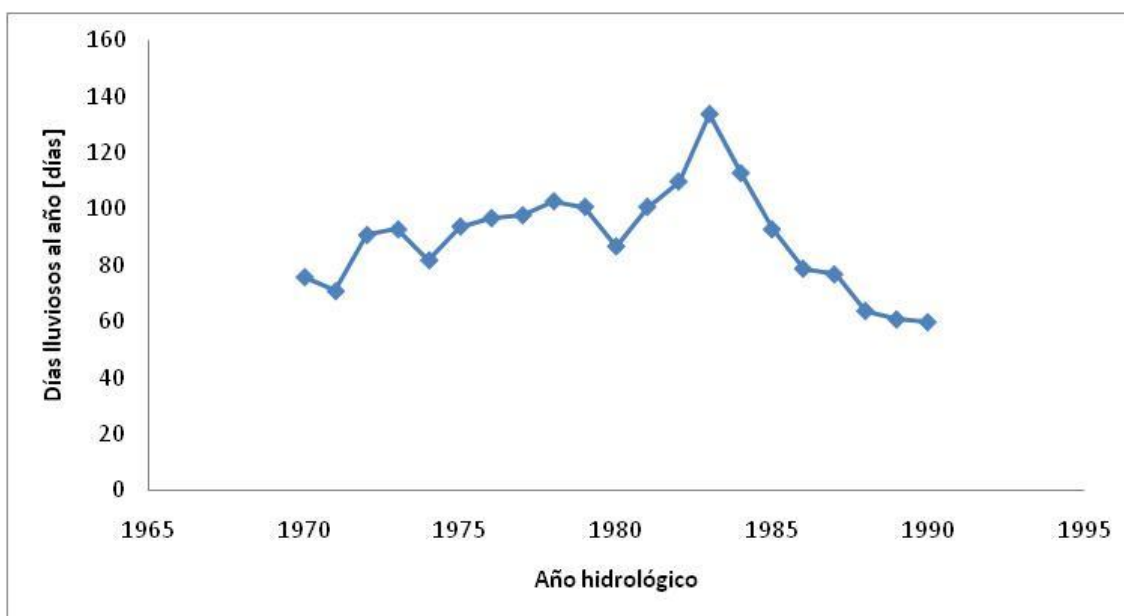


Figura 26: Serie de días lluviosos al año, Valle Grande Peña Alta.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 60 días en el año 1990 y un máximo de 134 días en el año 1983. El valor promedio de la serie es de 90 días y posee un desvío estándar de 18 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico, pero no se verificó la hipótesis de independencia. Por lo tanto, la serie se descartó y no se prosiguió con el análisis.

#### 4. Días lluviosos al mes.

La serie hidrológica de días lluviosos al mes analizada es la que se muestra en la Figura 27:

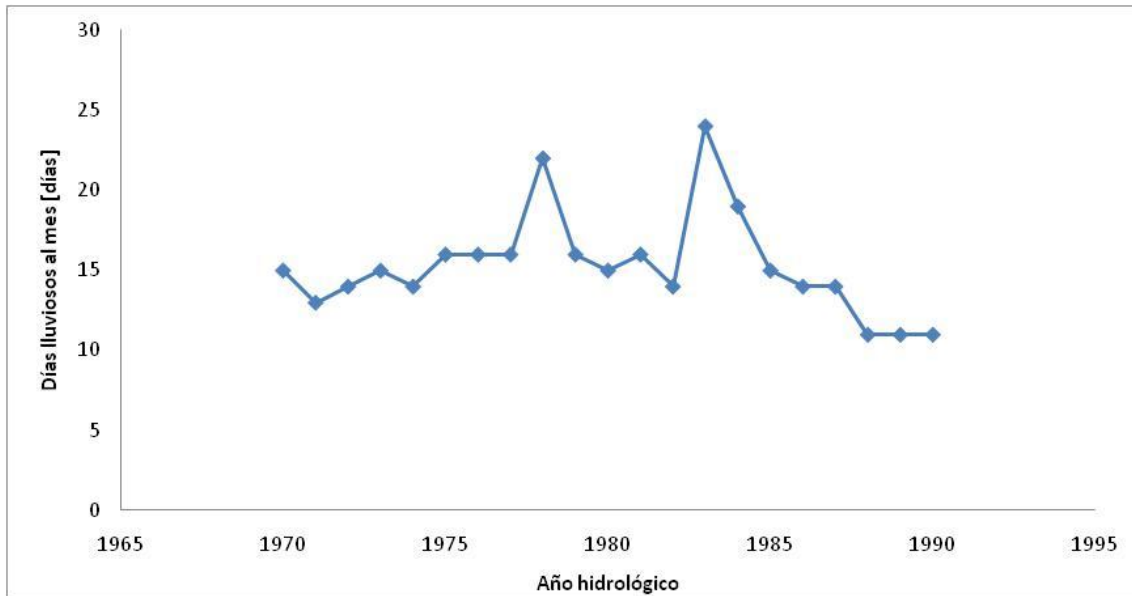


Figura 27: Serie de días lluviosos al mes, Valle Grande Peña Alta.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 11 días en los años 1988, 1989 y 1990; y un máximo de 24 días en el año 1983. El valor promedio de la serie es de 15 días y posee un desvío estándar de 3 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Log-Normal. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 28 que se muestra a continuación.

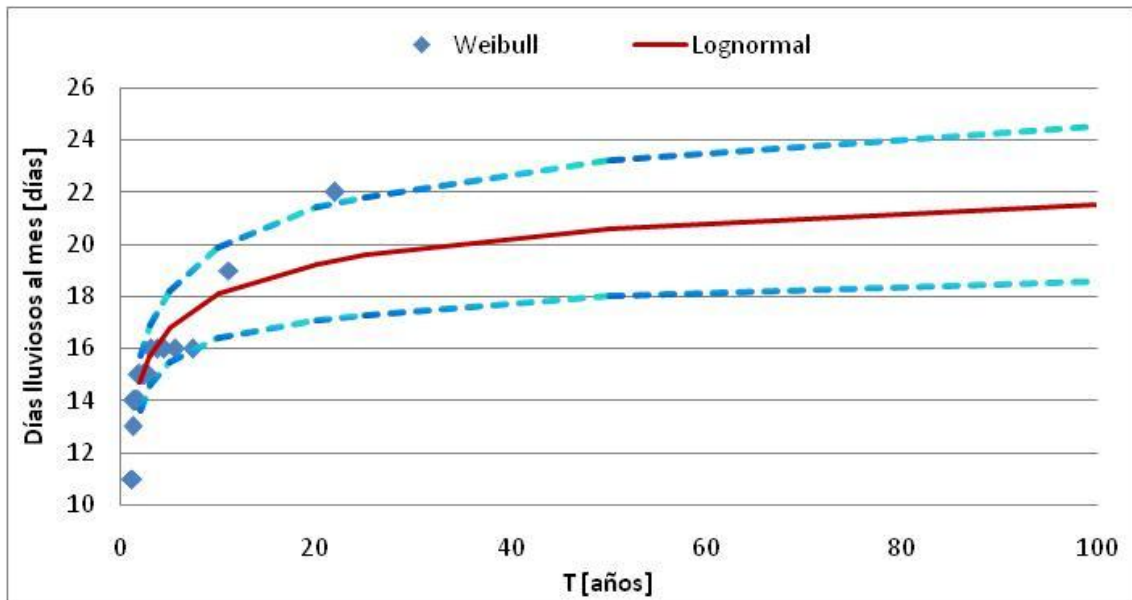


Figura 28: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al mes. Valle Grande Peña Alta.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días lluviosos al mes se puede ver que la FDP Teórica Log-Normal ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que el valor máximo (24 días) tiene una recurrencia del orden de los 100 años o aún mayor.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 14%, para 50 años es del 13%, para 25 años es del 11%, para 20 años es del 11%, para 10 años es del 10%, para 5 años es del 8% y para 2 años es de 7%.

A continuación, en la Tabla 11, se presentan los valores de días lluviosos al mes obtenidos a partir de la función Log-Normal con sus respectivos intervalos de confianza.

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[días]		
2	14	15	16
5	16	17	18
10	16	18	20
20	17	19	21
25	17	20	22
50	18	21	23
100	19	22	25

Tabla 11: Valores de días lluviosos al mes, Valle Grande Peña Alta.

### 5. Días consecutivos con lluvia

La serie hidrológica de días consecutivos con lluvia es la que se muestra en la Figura 29:

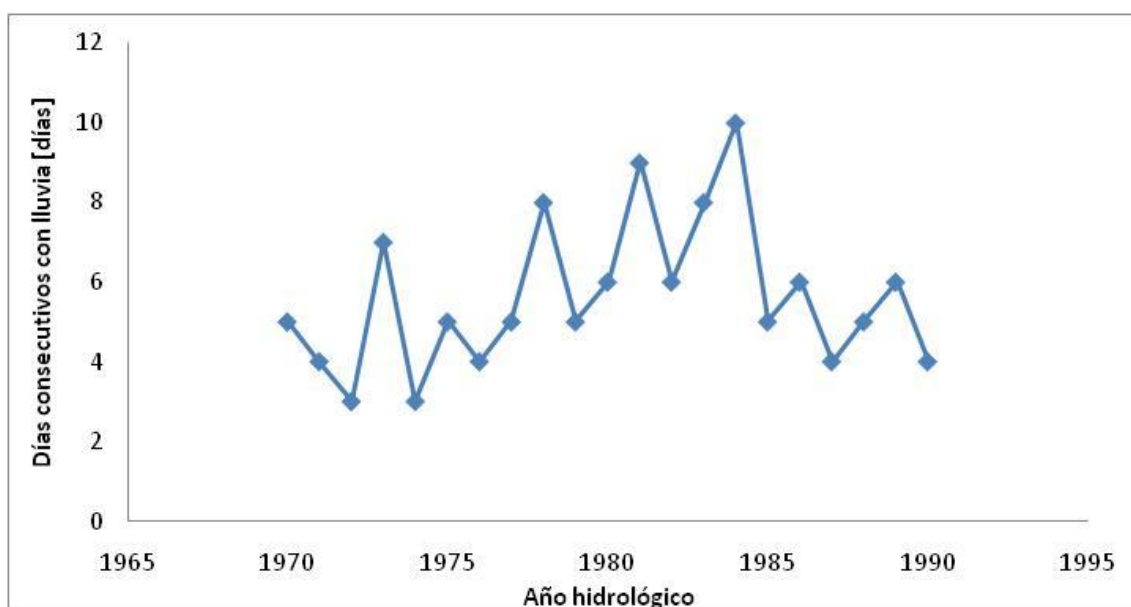


Figura 29: Serie de días consecutivos con lluvia Valle Grande Peña Alta.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 3 días en los años 1974 y 1972; y un máximo de 11 días en el año 1984. El valor promedio de la serie es de 6 días y posee un desvío estándar de 2 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la

función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Log-Normal. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 30:

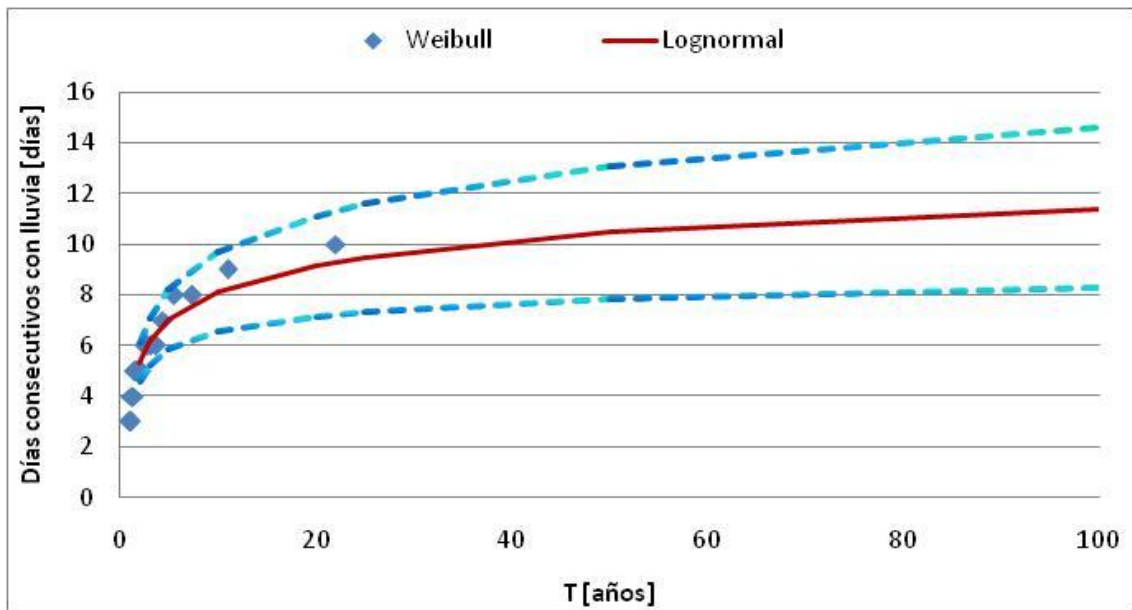


Figura 30: Distribución de probabilidades de los días consecutivos con lluvia, Valle Grande Peña Alta.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días consecutivos con lluvia se puede ver que la FDP Teórica Log-Normal arroja valores menores a los de la FDP empírica de Weibull para tiempos de retorno mayores a los 10 años. Esto puede deberse a que el valor máximo de la serie (11 días) es muy probable que corresponda a una recurrencia del orden de 100 años o aún mayor; y por razones de falta de muestreo (extensión de la serie) al aplicar la fórmula de Weibull aparece erróneamente asociado a 22 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 28%, para 50 años es del 25%, para 25 años es del 22%, para 20 años es del 21%, para 10 años es del 19%, para 5 años es del 17% y para 2 años es de 14%.

A continuación, en la Tabla 12, se presentan los valores de días consecutivos con lluvia obtenidos a partir de la función Log-Normal con sus respectivos intervalos de confianza:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[días]		
2	5	5	6
5	6	7	8
10	7	8	10
20	7	9	11
25	7	9	12
50	8	11	13
100	8	11	15

Tabla 12: Valores de días consecutivos con lluvia, Valle Grande Peña Alta.

### Estación: 3 –Iruya San Isidro–Salta

Esta estación cuenta con registros históricos de precipitación diaria desde el año 1983 hasta el año 2014 sin datos faltantes (32 años de datos).

A continuación, se presentan cada uno de los análisis realizados sobre las diferentes variables de interés:

#### 1. Precipitación Máxima Diaria Anual.

La serie hidrológica de precipitaciones máximas diarias anuales analizada es la que se muestra en la Figura 31:

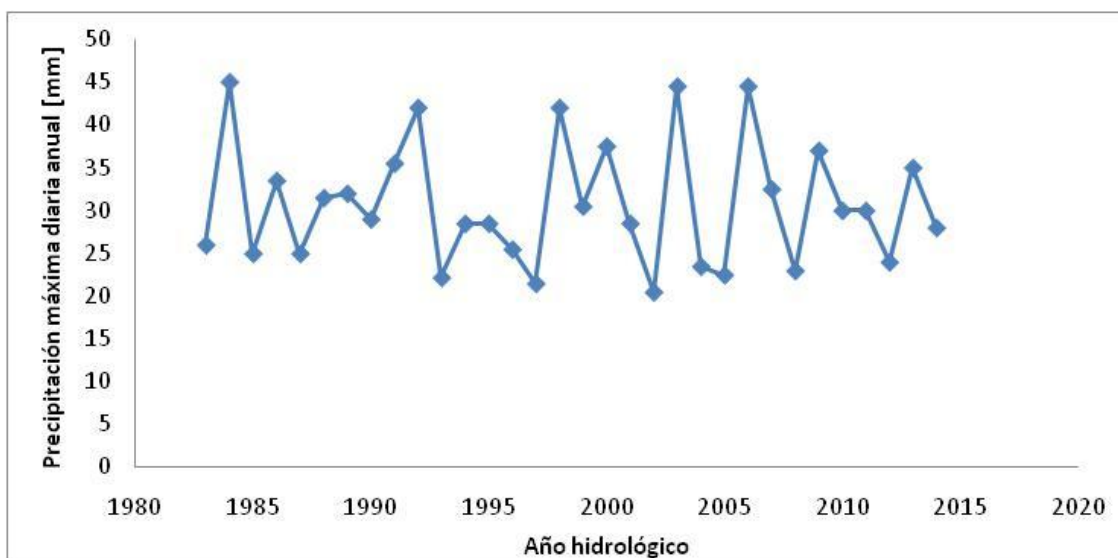


Figura 31: Serie de precipitación máxima diaria anual, Iruya San Isidro.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 21.5 mm en el año 1997 y un máximo de 45.0 mm en el año 1984. El valor promedio de la serie es de 30.8 mm y posee un desvío estándar de 7.2 mm.

Por otro lado, se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar, se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Gumbel por el método de los momentos. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 32:

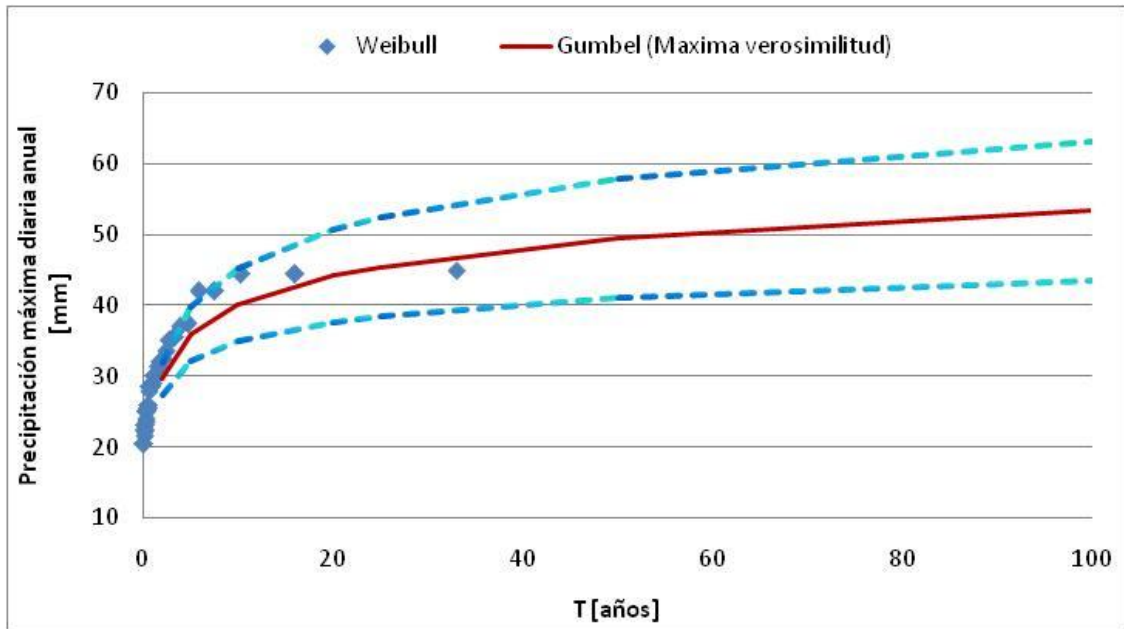


Figura 32: Distribución de probabilidades de la precipitación máxima diaria anual, Iruya San Isidro.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y la precipitación máxima diaria anual se puede ver que la FDP Teórica Gumbel por el método de máxima verosimilitud ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que la lámina máxima (45 mm) tiene una recurrencia del orden de los 20 a 25 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 15%, para 50 años es del 15%, para 25 años es del 13%, para 20 años es del 13%, para 10 años es del 11%, para 5 años es del 10% y para 2 años es de 7%.



A continuación, en la Tabla 13, se presentan los valores de precipitación máxima diaria anual obtenidos a partir de la función Gumbel por el método de los momentos con sus respectivos intervalos de confianza:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[mm]		
2	27.3	29.6	31.9
5	32.1	35.9	39.8
10	34.9	40.1	45.3
20	37.6	44.2	50.8
25	38.4	45.5	52.5
50	41.0	49.4	57.8
100	43.6	53.3	63.1

Tabla 13: Valores de precipitación máxima diaria anual, Iruya San Isidro.

## 2. Precipitación Total Anual.

La serie hidrológica de precipitaciones totales anuales analizada es la que se muestra en la Figura 33:

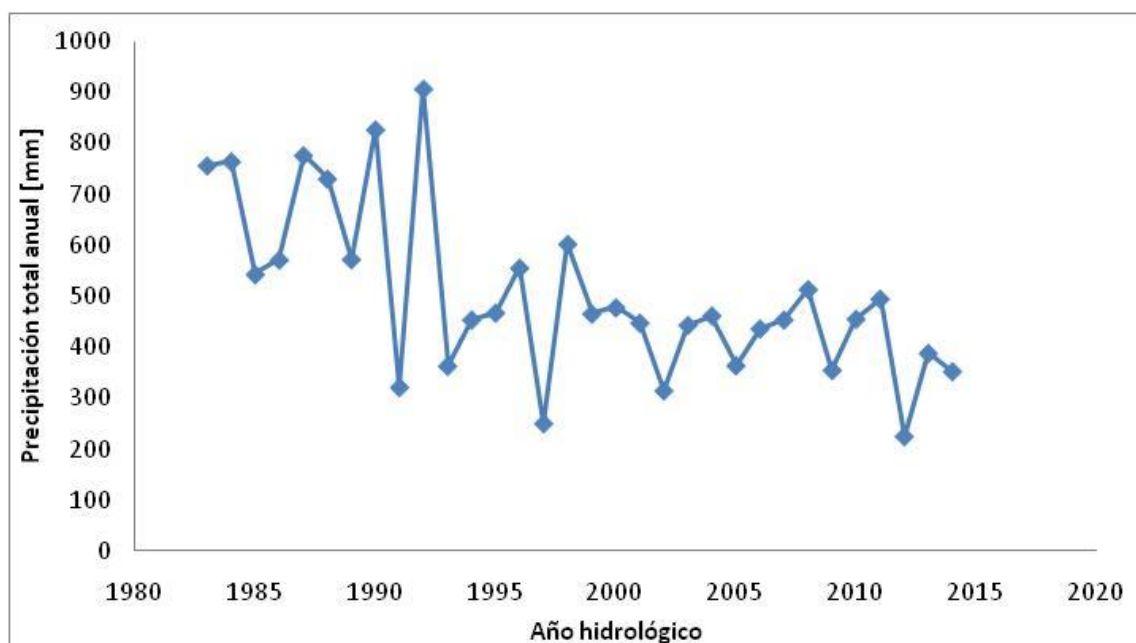


Figura 33: Serie de precipitaciones totales anuales, Iruya San Isidro.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 225.0 mm en el año 2012 y un máximo de 907.0 mm en el año 1992. El valor promedio de la serie es de 503.6 mm y posee un desvío estándar de 168.5 mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificó las hipótesis de independencia, pero no verificaron las hipótesis de estacionariedad y homogeneidad.

Luego de que la serie rechazó el test de Mann-Kendall, se sometió a la misma a la prueba de Mann-Kendall modificada y a la técnica de pre-blanqueo de

manera tal de verificar si la no estacionariedad arrojada por Mann-Kendall era correcta. Tanto la prueba de Mann-Kendall modificada como la técnica de preblanqueo indicaron que existe una tendencia en la serie analizada, por lo tanto se procedió a realizar el análisis de serie no estacionaria mediante la utilización del Software NEVA.

En la Figura 34 se muestra la variación de los valores medios de las diferentes recurrencias en el tiempo al realizar el análisis no estacionario de la serie:

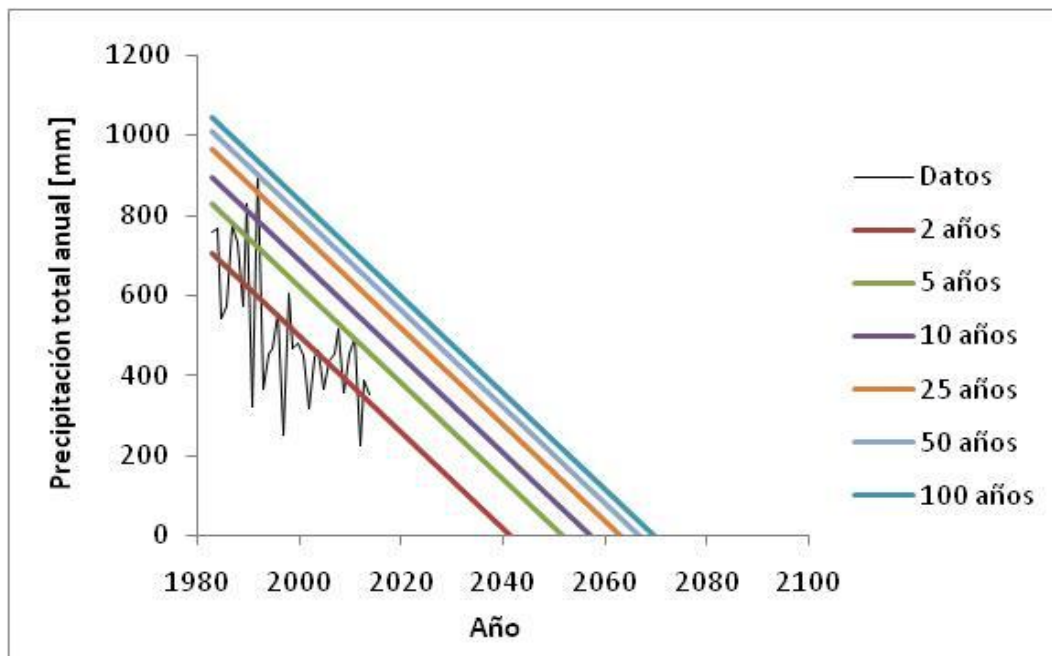


Figura 34: Valores de probabilidad para series no estacionarias de los totales anuales, Iruya San Isidro.

En la Figura 34 se puede ver con una línea negra como la serie de precipitaciones totales anuales se comporta a lo largo del tiempo, desde el año 1983 hasta el año 2014 (registro muestreado). Además se ve cómo se va modificando el valor medio del período de retorno a medida que pasa el tiempo. Por ejemplo, un valor de 800 mm anuales tenía un período de retorno de 5 años en el año 1985; mientras que en el año 2005 la recurrencia de este valor subió a 100 años. También se observa que debido a la tendencia de gran magnitud existente en esta serie aparecen inconsistencias en el análisis de frecuencia luego del año 2040; ya que a partir de ese año aparecerían valores negativos de precipitaciones totales anuales relacionados a los tiempos de retorno.

A continuación, en la Figura 35 se muestran para 2 horizontes de tiempo dado como varía la relación entre la variable y el tiempo de retorno con su respectivo intervalo de confianza:

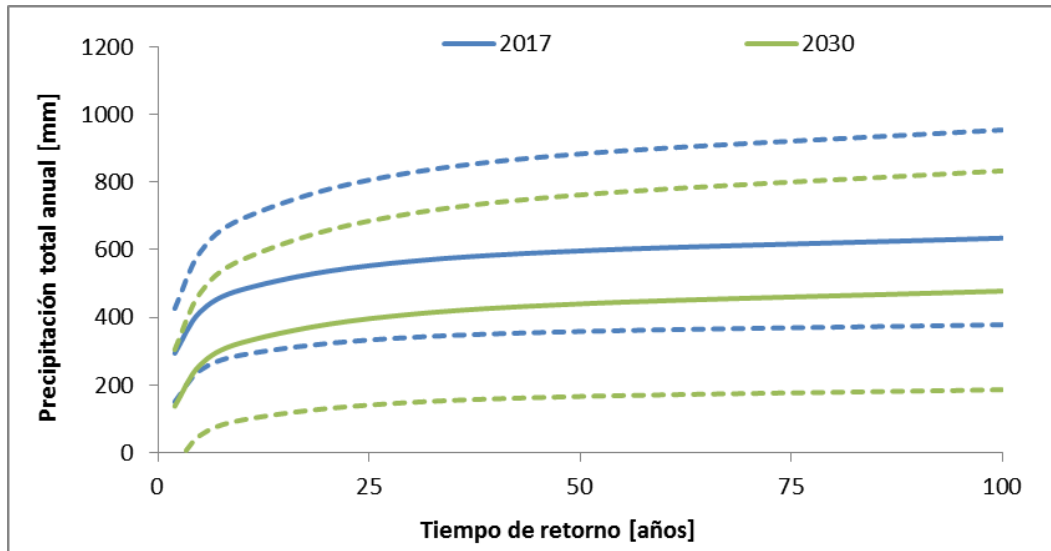


Figura 35: Comparación de periodos de retorno de la precipitación total anual, Iruya San Isidro.

De la última figura se puede ver que en la actualidad (año 2017) para un período de retorno de 50 años se asocia un valor de precipitación anual de 600.0 mm, mientras que para el año 2030 se espera que este valor disminuya a 400.0 mm. Es decir, para un mismo período de retorno el valor de precipitación total anual disminuye.

Además se observa que a medida que avanza el horizonte de tiempo en el cual se haga el análisis, el intervalo de confianza crece significativamente: mientras que para el horizonte 2017 la magnitud del intervalo para  $T=100$  años vale 50%, en el año 2030 este valor aumenta a 74%.

### 3. Días lluviosos al año.

La serie hidrológica de días lluviosos al año analizada es la que se muestra en la Figura 36.

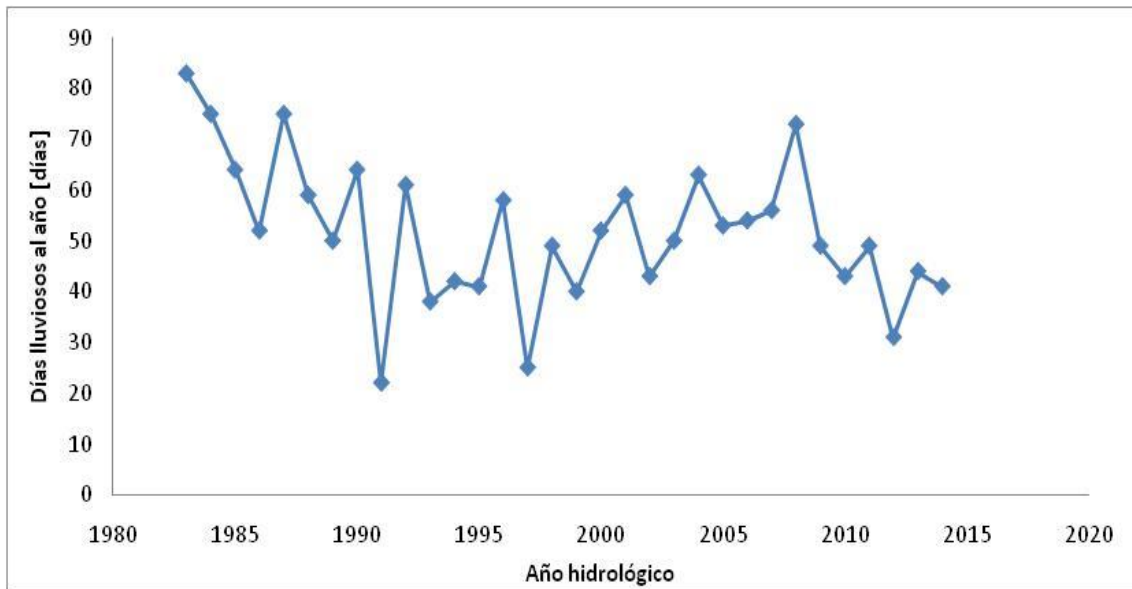


Figura 36: Serie de días lluviosos al año, Iruya San Isidro.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 22 días en el año 1991 y un máximo de 83 días en el año 1983. El valor promedio de la serie es de 52 días y posee un desvío estándar de 14 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar, se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Gumbel por el método de los momentos. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 37 que se muestra a continuación.

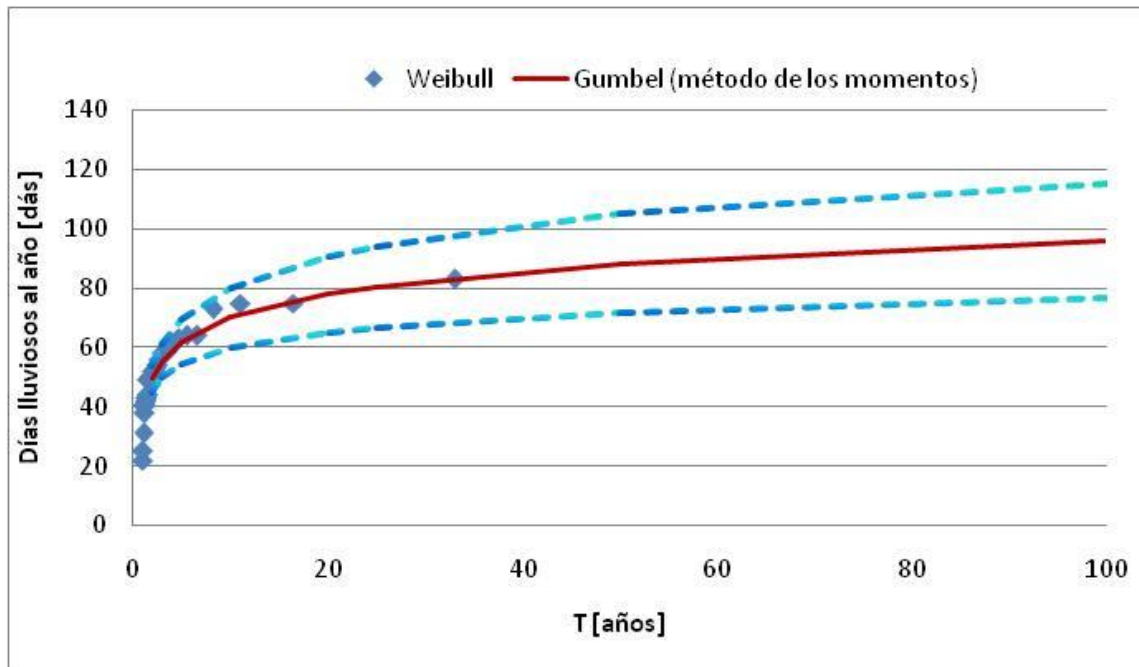


Figura 37: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al año, Iruya San Isidro.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días lluviosos al año se puede ver que la FDP Teórica Gumbel por el método de los momentos ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que el valor máximo de la serie (83 días) tiene una recurrencia del orden de los 33 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 17%, para 50 años es del 16%, para 25 años es del 15%, para 20 años es del 14%, para 10 años es del 13%, para 5 años es del 11% y para 2 años es de 8%.

A continuación, en la Tabla 14, se presentan los valores de días lluviosos al año obtenidos a partir de la función Gumbel por el método de los momentos con sus respectivos intervalos de confianza.

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[días]		
2	45	50	54
5	54	62	69
10	60	70	80
20	65	78	91
25	67	81	94
50	72	88	105
100	77	96	115

Tabla 14: Valores de días lluviosos al año, Iruya San Isidro.

#### 4. Días lluviosos al mes.

La serie hidrológica de días lluviosos al mes analizada es la que se muestra en la Figura 38:

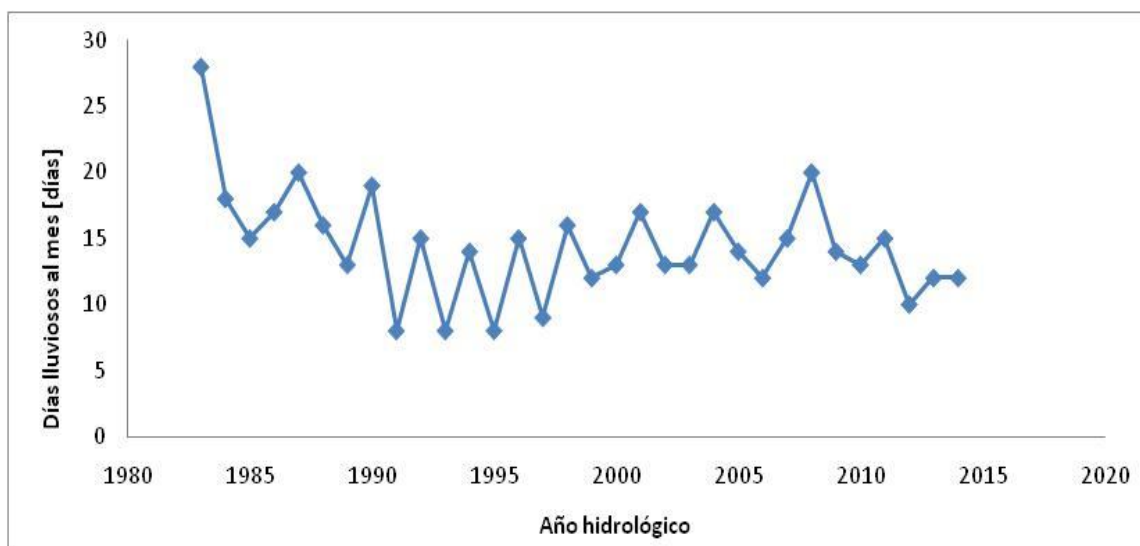


Figura 38: Serie de días lluviosos al mes, Iruya San Isidro.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 8 días en los años 1991 y 1995; y un máximo de 28 días en el año 1983. El valor promedio de la serie es de 14 días y posee un desvío estándar de 4 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Gumbel por el método de los momentos. Se puede ver la relación entre la variable y las

diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 39:

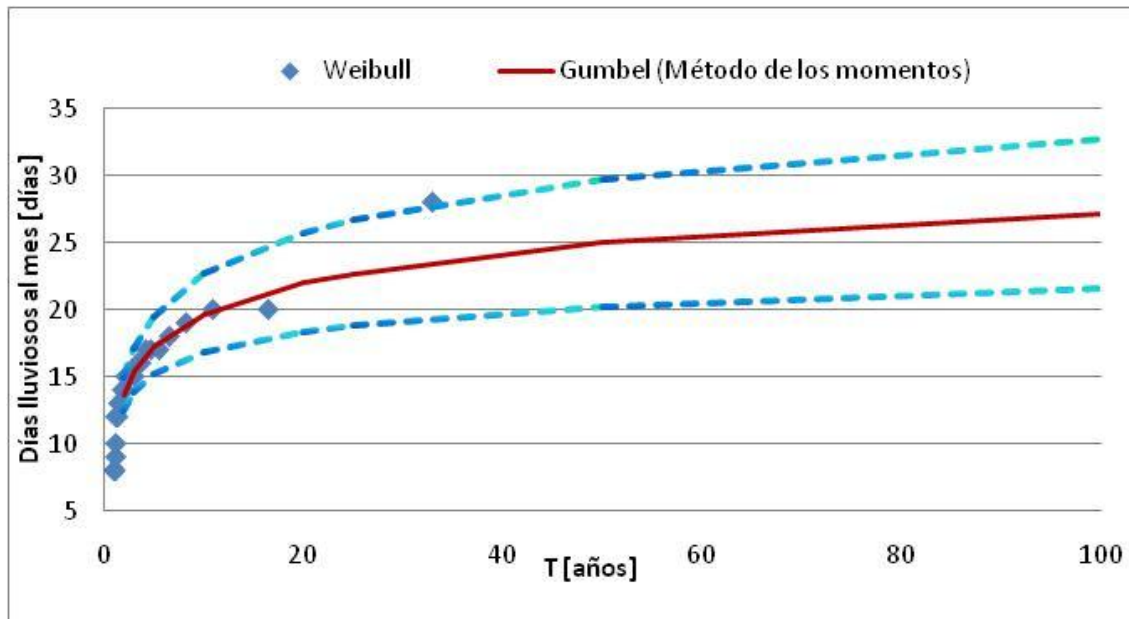


Figura 39: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al mes, Iruya San Isidro.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días lluviosos al mes se puede ver que la FDP Teórica Gumbel por el método de los momentos ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que el valor máximo (28 días) tiene una recurrencia del orden de los 100 años o aún mayor.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 17%, para 50 años es del 16%, para 25 años es del 15%, para 20 años es del 14%, para 10 años es del 13%, para 5 años es del 11% y para 2 años es de 9%.

A continuación, en la Tabla 15, se presentan los valores de días obtenidos a partir de la función Gumbel por el método de los momentos con sus respectivos intervalos de confianza:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[días]		
2	12	14	15
5	15	17	20
10	17	20	23
20	18	22	26
25	19	23	27
50	20	25	30
100	22	27	33

Tabla 15: Valores de días lluviosos al mes, Iruya San Isidro.

### 5. Días consecutivos con lluvia

La serie hidrológica de días consecutivos con lluvia es la que se muestra en la Figura 40:

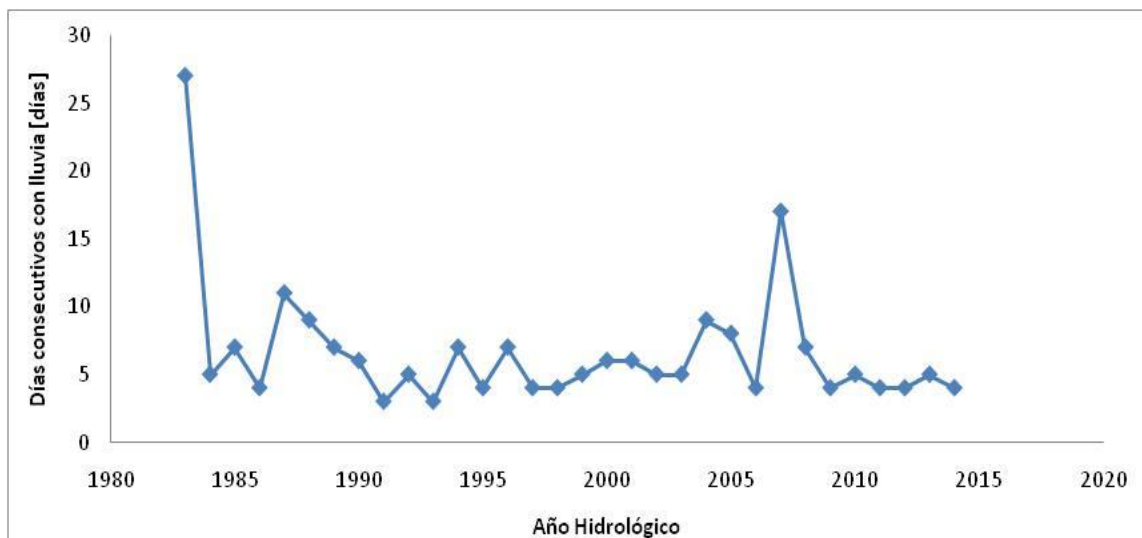


Figura 40: Serie de días consecutivos con lluvia, Iruya San Isidro.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 3 días en el año 1993 y un máximo de 27 días en el año 1983. El valor promedio de la serie es de 7 días y posee un desvío estándar de 5 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie se encontró un dato atípico correspondiente a 27 días en el año 1983. Este dato atípico puede deberse a que ese año hidrológico fue demasiado húmedo. Este último dato fue eliminado de la serie y se aplicó nuevamente el test el cual arrojó nuevamente otro dato atípico, 17 en el año 2007. En base a esto último, la serie finalmente fue descartada y no se prosiguió con el análisis.



## Estación: 4 – Bermejo Trigo Huaico–Salta

Esta estación cuenta con registros históricos de precipitación diaria desde el año 1984 hasta el año 2014 sin datos faltantes (31 años de datos).

A continuación, se presentan cada uno de los análisis realizados sobre las diferentes variables de interés:

### 1. Precipitación Máxima Diaria Anual.

La serie hidrológica de precipitaciones máximas diarias anuales analizada es la que se muestra en la Figura 41:

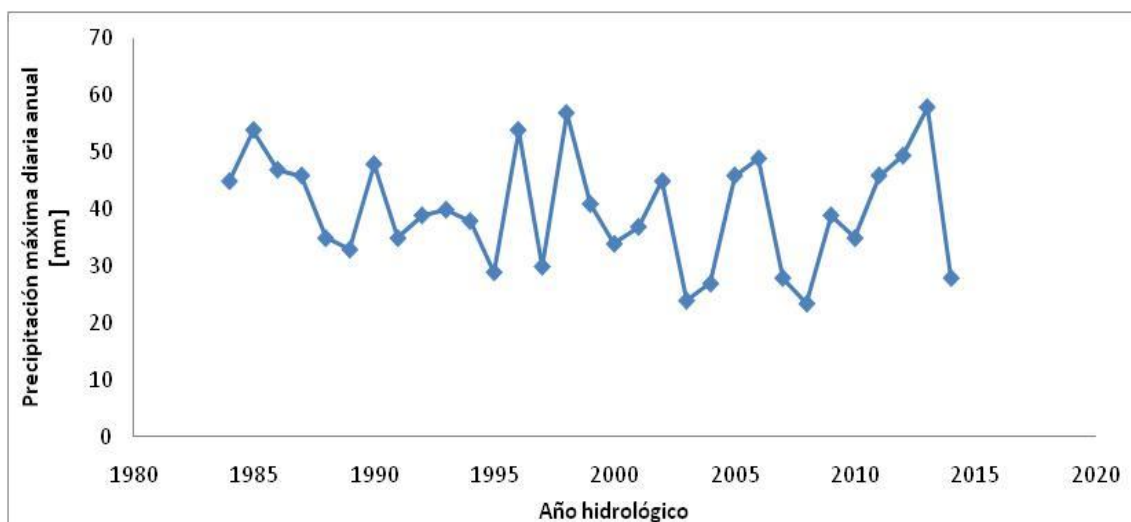


Figura 41: Serie de precipitaciones máximas diarias anuales, Bermejo Trigo Huaico.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 23.5 mm en el año 2008 y un máximo de 58.0 mm en el año 2013. El valor promedio de la serie es de 40.0 mm y posee un desvío estándar de 9.7 mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar, se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es GEV por el método de los momentos. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 42:

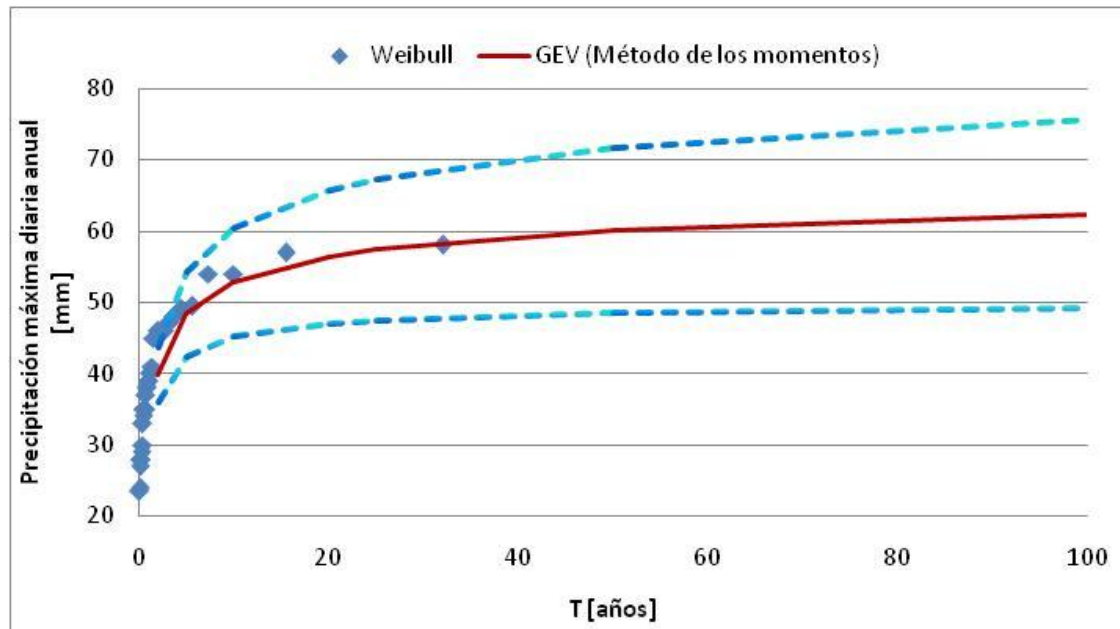


Figura 42: Distribución de probabilidades de la precipitación máxima diaria anual, Bermejo Trigo Huaico.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y la precipitación máxima diaria anual se puede ver que la FDP Teórica GEV por el método de los momentos ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que la lámina máxima (58.0 mm) tiene una recurrencia del orden de los 30 a 35 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 21%, para 50 años es del 19%, para 25 años es del 17%, para 20 años es del 17%, para 10 años es del 14%, para 5 años es del 12% y para 2 años es de 10%.

A continuación, en la Tabla 16, se presentan los valores de precipitación máxima diaria anual obtenidos a partir de la función GEV por el método de los momentos con sus respectivos intervalos de confianza:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[mm]		
2	35.9	39.8	43.7
5	42.4	48.4	54.3
10	45.2	52.8	60.5
20	47.1	56.4	65.7
25	47.5	57.4	67.3
50	48.5	60.1	71.7
100	49.1	62.4	75.7

Tabla 16: Valores de precipitaciones máximas diarias anuales, Bermejo Trigo Huaico.

## 2. Precipitación Total Anual.

La serie hidrológica de precipitaciones totales anuales analizada es la que se muestra en la Figura 43:

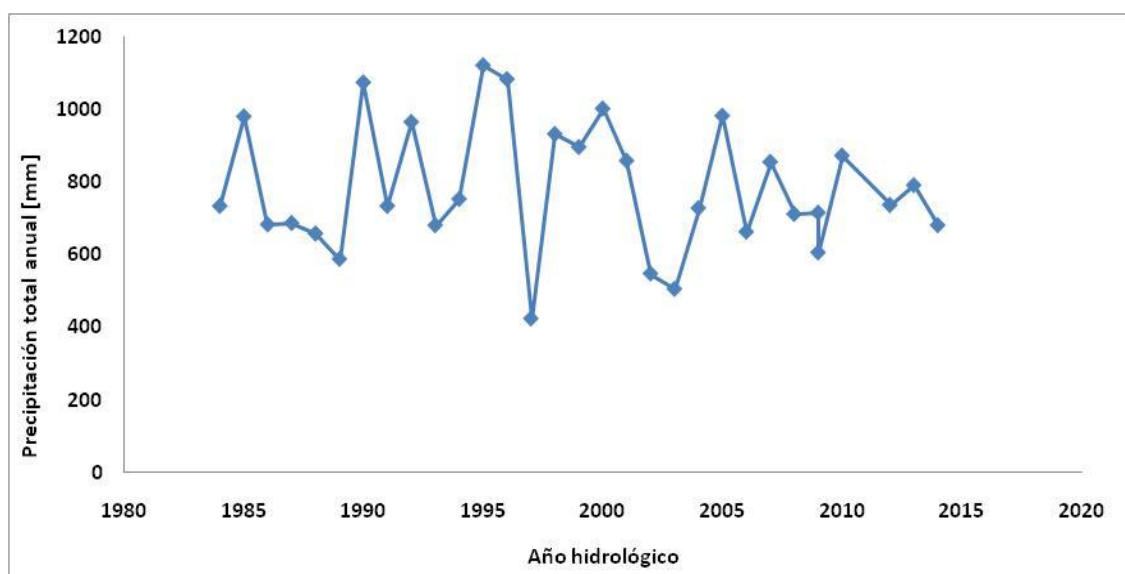


Figura 43: Serie de precipitaciones totales anuales, Bermejo Trigo Huaico.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 424.0 mm en el año 1997 y un máximo de 1121.0 mm en el año 1995. El valor promedio de la serie es de 782.2 mm y posee un desvío estándar de 175.5 mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar, se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Gumbel por

el método de máxima verosimilitud. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 44:

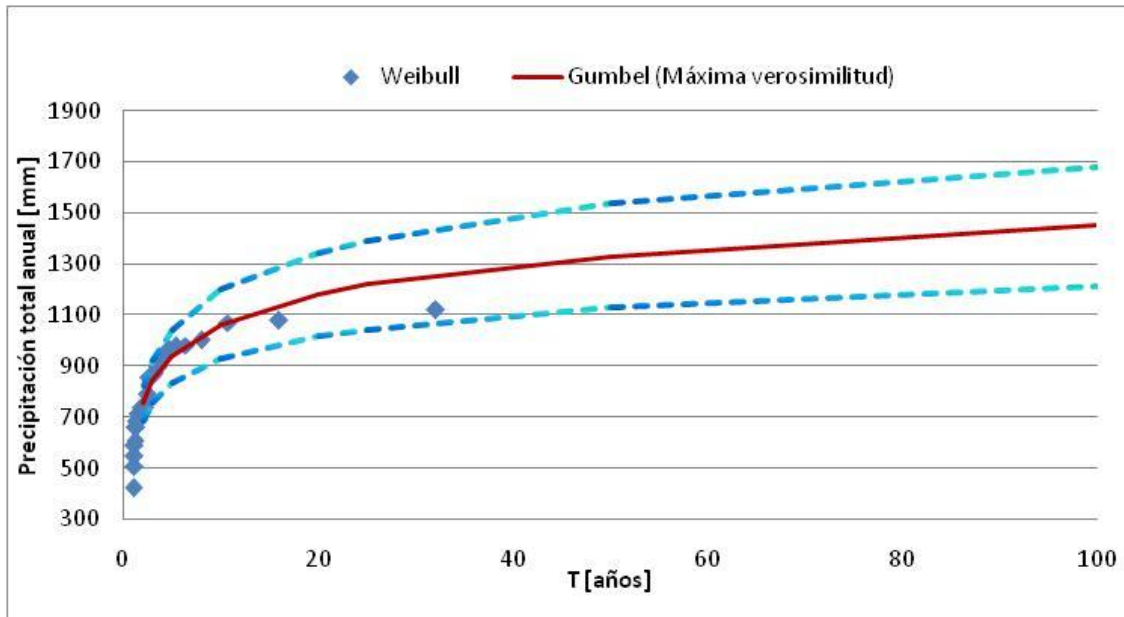


Figura 44: Distribución de probabilidades de la precipitación total anual, Bermejo Trigo Huaico.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y la precipitación total anual se puede ver que la FDP Teórica Gumbel por el método de máxima verosimilitud ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que la lámina máxima (1121.0 mm) tiene una recurrencia del orden de los 10 a 20 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 16%, para 50 años es del 16%, para 25 años es del 14%, para 20 años es del 14%, para 10 años es del 13%, para 5 años es del 11% y para 2 años es de 9%.

A continuación, en la Tabla 17, se presentan los valores de precipitación total anual obtenidos a partir de la función Gumbel por el método de máxima verosimilitud con sus respectivos intervalos de confianza en forma de tabla:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[mm]		
2	689	756	823
5	836	940	1040
10	928	1060	1200
20	1020	1180	1340
25	1040	1220	1390
50	1130	1330	1540
100	1210	1450	1680

Tabla 17: Valores de precipitación total anual, Bermejo Trigo Huaico.

### 3. Días lluviosos al año.

La serie hidrológica de días lluviosos al año analizada es la que se muestra en la Figura 45:

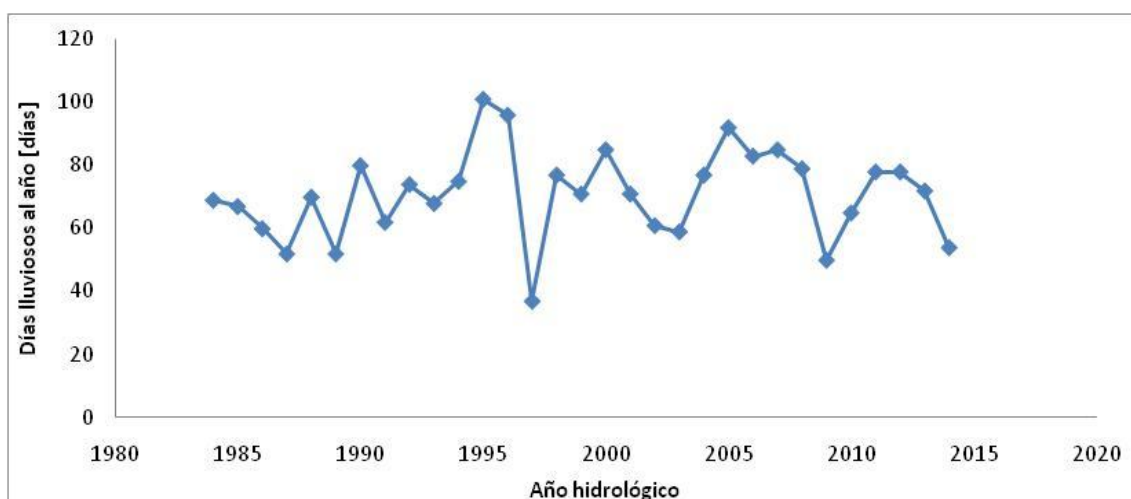


Figura 45: Serie de días lluviosos al año, Bermejo Trigo Huaico.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 37 días en el año 1997 y un máximo de 101 días en el año 1995. El valor promedio de la serie es de 71 días y posee un desvío estándar de 14 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie se encontró un dato atípico correspondiente a 37 días en el año 1997. Este dato atípico puede deberse a que ese año hidrológico fue demasiado seco o bien que hay faltante de datos pluviométricos registrados en ese periodo. Este último dato fue eliminado de la serie y se aplicó nuevamente el test el cual no arrojó ningún otro dato atípico. En base a esto último, la serie que finalmente fue analizada contaba 30 datos, con un mínimo de 50 días en el año 2009 y un máximo de 101 días en el año 1995. El valor promedio de la serie es de 72 días y posee un desvío estándar de 13 días.

Por otro lado, se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar, se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Log-Normal. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 46:

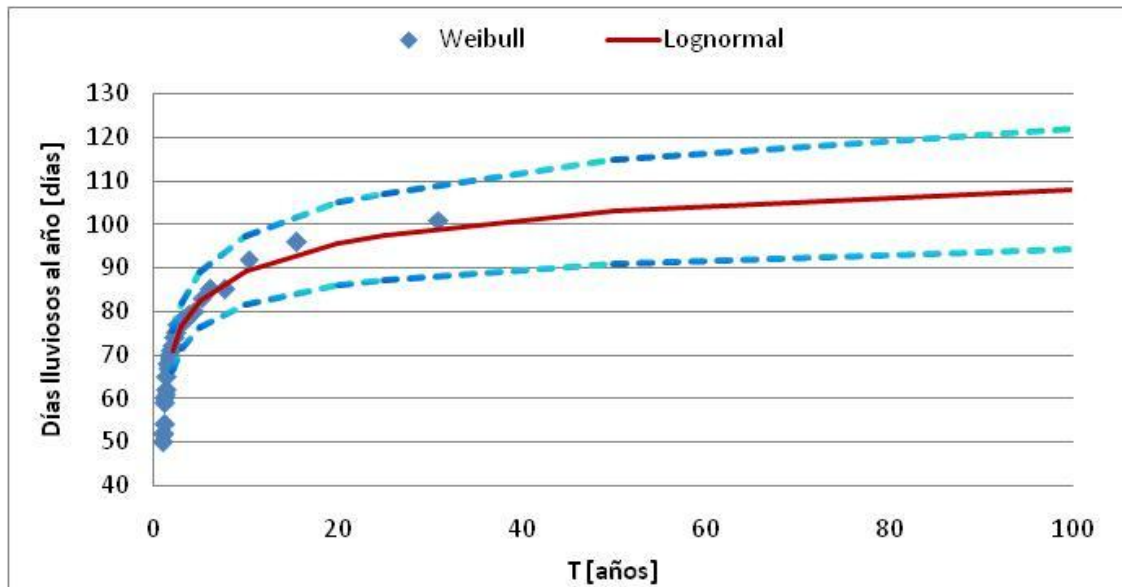


Figura 46: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al año, Bermejo Trigo Huaico.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días lluviosos al año se puede ver que la FDP Teórica Log-Normal ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que el valor máximo de la serie (101 días) tiene una recurrencia del orden de los 30 a 35 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 13%, para 50 años es del 12%, para 25 años es del 10%, para 20 años es del 10%, para 10 años es del 9%, para 5 años es del 8% y para 2 años es de 6%.

A continuación, en la Tabla 18, se presentan los valores de días lluviosos al año obtenidos a partir de la función Log-Normal con sus respectivos intervalos de confianza:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[días]		
2	66.4	71	75.6
5	76.4	82.6	88.9
10	81.6	89.4	97.3
20	86	95.5	105
25	87.2	97.3	107
50	91	103	115
100	94.4	108	122

Tabla 18: Valores de días lluviosos al año, Bermejo Trigo Huaico.

#### 4. Días Lluviosos al mes.

La serie hidrológica de días lluviosos al mes analizada es la que se muestra en la Figura 47:

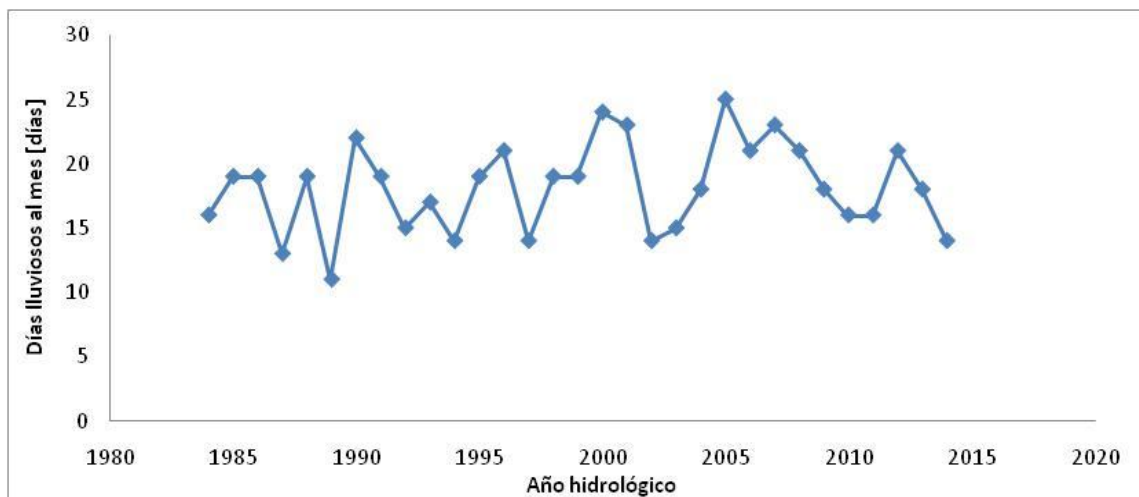


Figura 47: Serie de días lluviosos al mes, Bermejo Trigo Huaico.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 11 días en el año 1989, y un máximo de 25 días en el año 2005. El valor promedio de la serie es de 18 días y posee un desvío estándar de 4 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Gumbel por el método de máxima verosimilitud. Se puede ver la relación entre la variable y

las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 48:

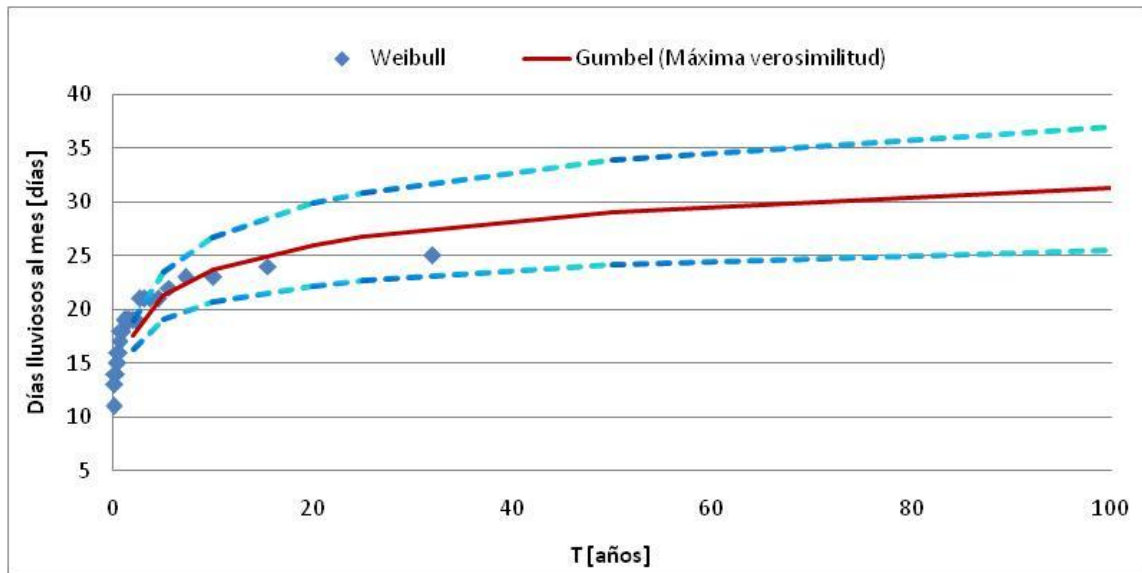


Figura 48: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al mes, Bermejo Trigo Huaico.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días lluviosos al mes se puede ver que la FDP Teórica Gumbel por el método de máxima verosimilitud ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que el valor máximo (25 días) tiene una recurrencia del orden de los 20 a 25 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 18%, para 50 años es del 17%, para 25 años es del 15%, para 20 años es del 15%, para 10 años es del 13%, para 5 años es del 11% y para 2 años es de 8%.

A continuación, en la Tabla 19, se presentan los valores de días obtenidos a partir de la función Gumbel por el método de máxima verosimilitud con sus respectivos intervalos de confianza en forma de tabla:



T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[días]		
2	16	18	19
5	19	21	24
10	21	24	27
20	22	26	30
25	23	27	31
50	24	29	34
100	26	31	37

Tabla 19: Valores de días lluviosos al mes, Bermejo Trigo Huaico.

### 5. Días consecutivos con lluvia

La serie hidrológica de días consecutivos con lluvia es la que se muestra en la Figura 49:

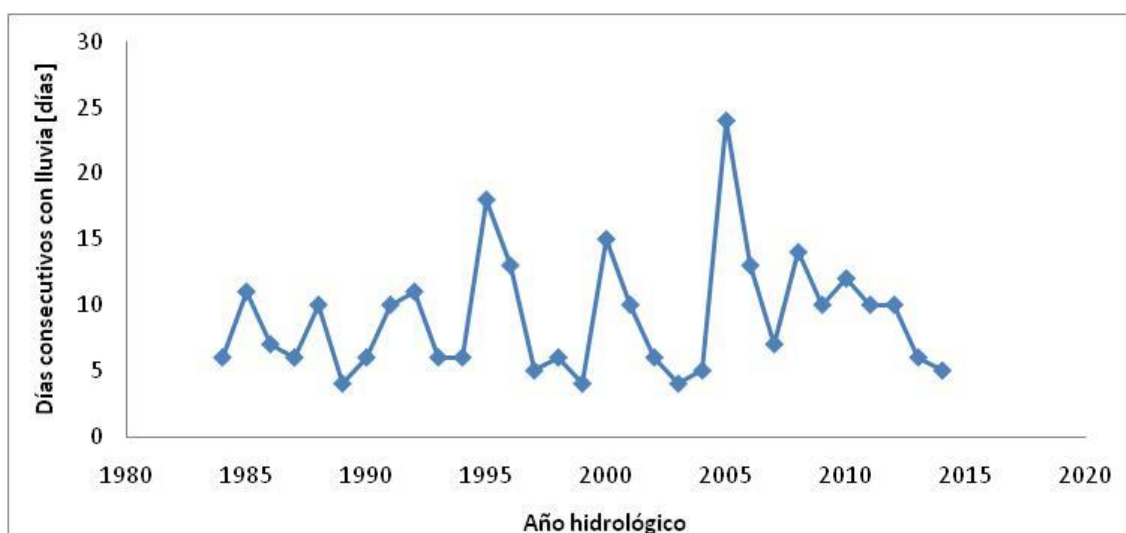


Figura 49: Serie de días consecutivos con lluvia, Bermejo Trigo Huaico.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 4 días en los años 1989, 1999 y 2003; y un máximo de 24 días en el año 2005. El valor promedio de la serie es de 9 días y posee un desvío estándar de 5 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontraron datos atípicos y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Gumbel por el método de máxima verosimilitud. Se puede ver la relación entre la variable y

las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 50:

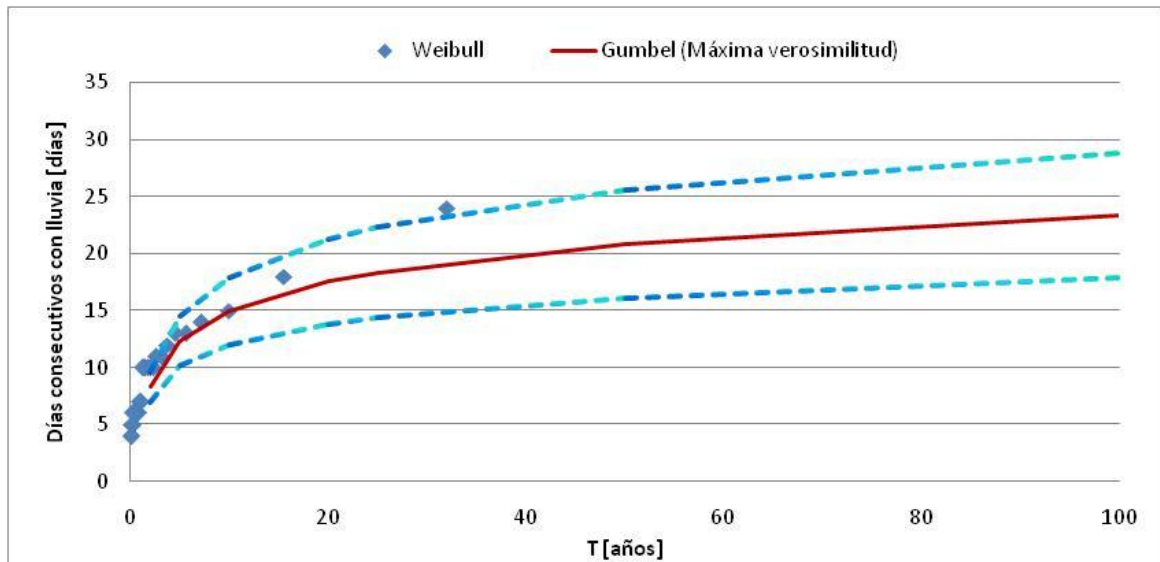


Figura 50: Distribución de probabilidades de los días consecutivos con lluvia, Bermejo Trigo Huaico.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días consecutivos con lluvia se puede ver que la FDP Teórica Gumbel por el método de máxima verosimilitud ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que el valor máximo (24 días) tiene una recurrencia del orden de los 100 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 24%, para 50 años es del 23%, para 25 años es del 22%, para 20 años es del 21%, para 10 años es del 20%, para 5 años es del 18% y para 2 años es de 16%.

A continuación, en la Tabla 20, se presentan los valores de días obtenidos a partir de la función Gumbel por el método de máxima verosimilitud con sus respectivos intervalos de confianza en forma de tabla:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[días]		
2	7	8	10
5	10	12	14
10	12	15	18
20	14	18	21
25	14	18	22
50	16	21	26
100	18	23	29

Tabla 20: Valores de días consecutivos con lluvia, Bermejo Trigo Huaico.

### Estación: 5 – Iruya Las Higueras–Salta

Esta estación cuenta con registros históricos de precipitación diaria desde el año 1982 hasta el año 2014 sin datos faltantes (33 años de datos).

A continuación, se presentan cada uno de los análisis realizados sobre las diferentes variables de interés:

#### 1. Precipitación Máxima Diaria Anual.

La serie hidrológica de precipitaciones máximas diarias anuales analizada es la que se muestra en la Figura 51:

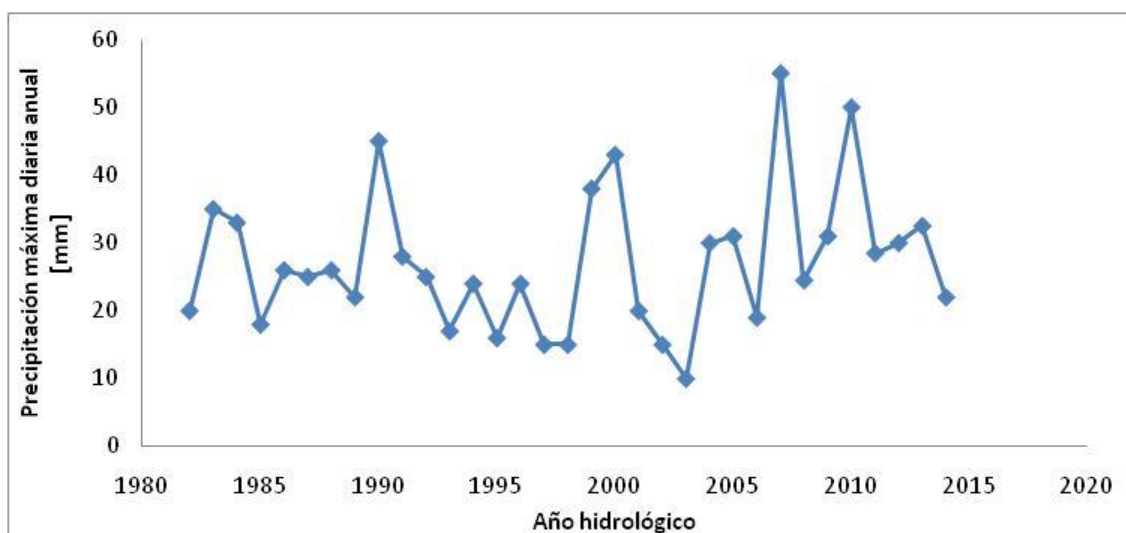


Figura 51: Serie de precipitaciones máximas diarias anuales, Iruya Las Higueras.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 10.0 mm en el año 2003 y un máximo de 55.0 mm en el año 2007. El valor promedio de la serie es de 27.1 mm y posee un desvío estándar de 10.4mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar, se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Log-Normal. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 52:

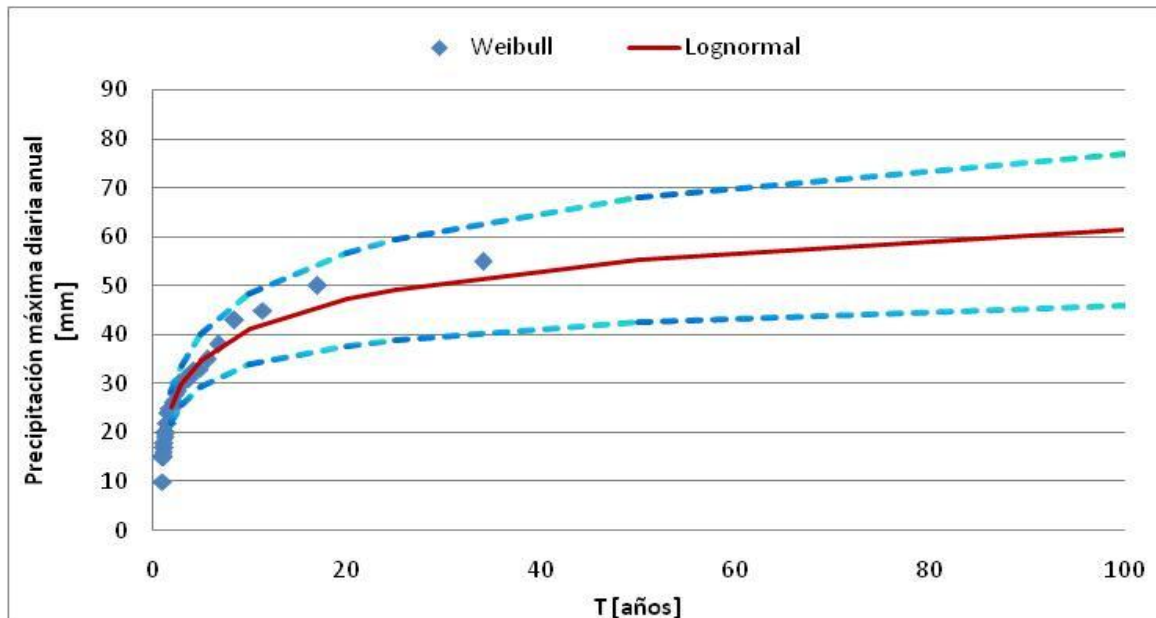


Figura 52: Distribución de probabilidades de la precipitación máxima diaria anual, Iruya Las Higueras.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y la precipitación máxima diaria anual puede ver que la FDP Teórica Log-Normal arroja valores de precipitación menores a los de la FDP empírica de Weibull para tiempos de retorno mayores a los 10 años. Esto puede deberse a que el valor máximo de la serie (55.0 mm) es muy probable que corresponda a una recurrencia del orden de 100 años o aún mayor; y por razones de falta de muestreo (extensión de la serie) al aplicar la fórmula de Weibull aparece erróneamente asociado a 33 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 20%, para 50 años es del 19%, para 25

años es del 17%, para 20 años es del 17%, para 10 años es del 15%, para 5 años es del 13% y para 2 años es de 11%.

A continuación, en la Tabla 21, se presentan los valores de precipitación máxima diaria anual obtenidos a partir de la función Log-Normal con sus respectivos intervalos de confianza:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[mm]		
2	22.0	25.3	28.5
5	29.5	34.8	40.1
10	33.9	41.2	48.5
20	37.8	47.3	56.8
25	39.0	49.3	59.5
50	42.5	55.3	68.1
100	45.8	61.3	76.9

Tabla 21: Valores de precipitación máxima diaria anual, Iruya Las Higueras.

## 2. Precipitación Total Anual.

La serie hidrológica de precipitaciones totales anuales analizada es la que se muestra en la Figura 53:

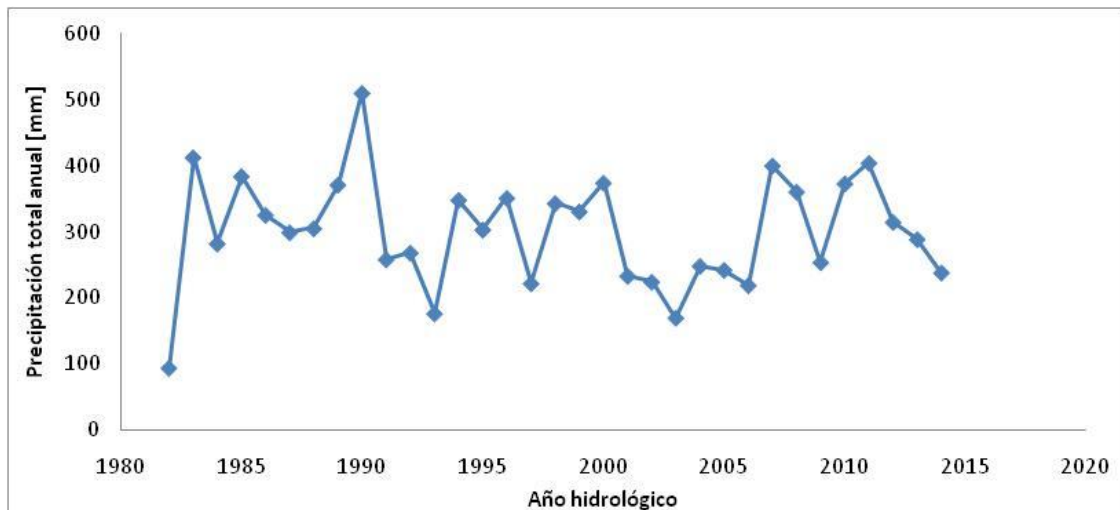


Figura 53: Serie de precipitaciones totales anuales, Iruya Las Higueras.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 93.5 mm en el año 1982 y un máximo de 510.0 mm en el año 1990. El valor promedio de la serie es de 300.7 mm y posee un desvío estándar de 84.1 mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie se encontró un dato atípico correspondiente a 93.5 mm en el año 1982. Este dato atípico puede deberse a que ese año hidrológico fue demasiado seco o bien que hay faltante de datos pluviométricos registrados en ese periodo. Este último dato fue eliminado de la serie y se aplicó nuevamente el test el cual no arrojó ningún otro dato atípico. En base a esto último, la serie que finalmente fue analizada

contaba 32 datos, con un mínimo de 169.5 mm en el año 2003 y un máximo de 510.0 mm en el año 1990. El valor promedio de la serie es de 307.2 mm y posee un desvío estándar de 76.6 mm. Por otro lado, se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, pruebas se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar, se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es GEV por el método de los momentos. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 54:

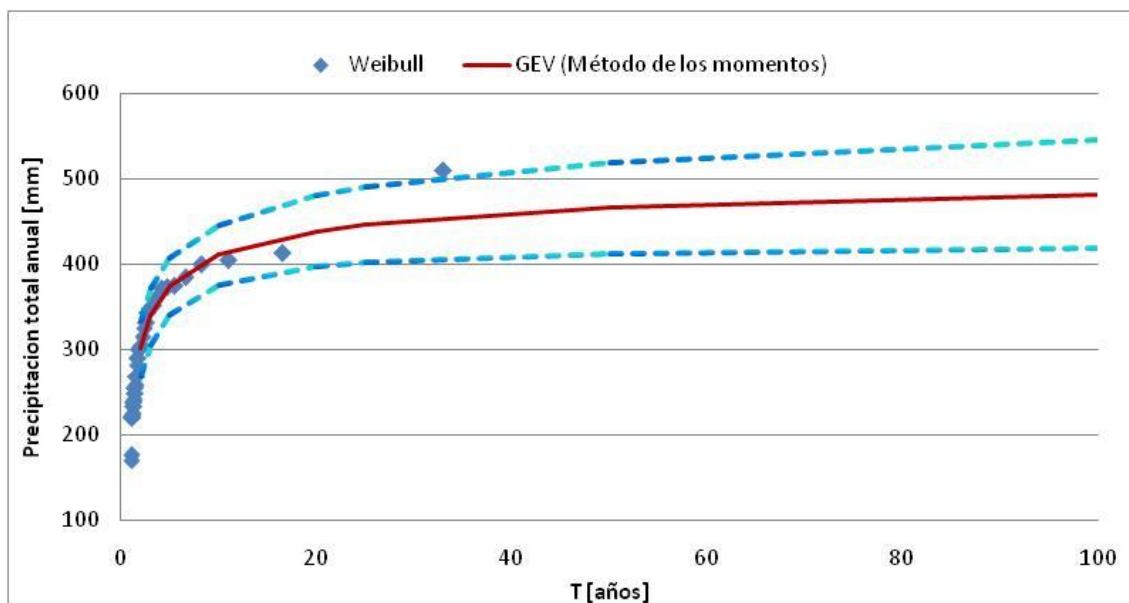


Figura 54: Distribución de probabilidades de la precipitación total anual, Iruya Las Higueras.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y la precipitación total anual se puede ver que la FDP Teórica GEV por el método de los momentos ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que la lámina máxima (510 mm) tiene una recurrencia de más de 100 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa

diferencia por el valor medio) es del 12%, para 50 años es del 10%, para 25 años es del 9%, para 20 años es del 9%, para 10 años es del 8%, para 5 años es del 8% y para 2 años es de 10%.

A continuación, en la Tabla 22, se presentan los valores de precipitación total anual obtenidos a partir de la función GEV por el método de los momentos con sus respectivos intervalos de confianza en forma de tabla:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[mm]		
2	269	301	334
5	341	374	408
10	375	411	446
20	397	438	480
25	402	446	490
50	413	466	519
100	419	482	546

Tabla 22: Valores de precipitación total anual, Iruya Las Higueras.

### 3. Días lluviosos al año.

La serie hidrológica de días lluviosos al año analizada es la que se muestra en la Figura 55:

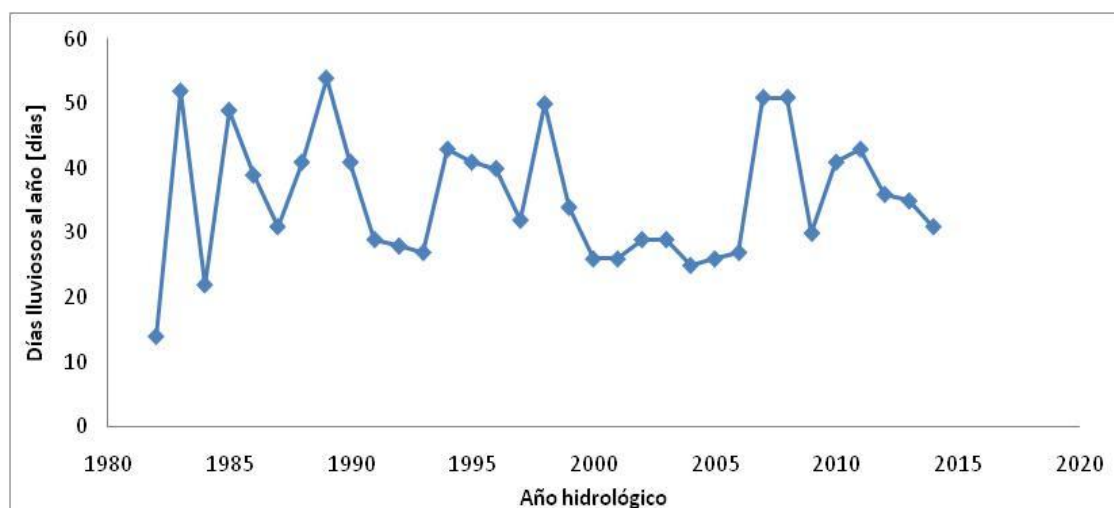


Figura 55: Serie de días lluviosos al año. Iruya Las Higueras.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 14 días en el año 1982 y un máximo de 54 días en el año 1989. El valor promedio de la serie es de 36 días y posee un desvío estándar de 10 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie se encontró un dato atípico correspondiente a 14 días en el año 1982. Este dato atípico puede deberse a que ese año hidrológico fue demasiado seco o bien que hay faltante de datos pluviométricos registrados en ese periodo. Este último dato fue eliminado de la serie y se aplicó nuevamente el test el cual no arrojó ningún

otro dato atípico. En base a esto último, la serie que finalmente fue analizada contaba 32 datos, con un mínimo de 22 días en el año 1984 y un máximo de 54 días en el año 1989. El valor promedio de la serie es de 36 días y posee un desvío estándar de 9 días. Por otro lado, se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar, se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Gumbel por el método de máxima verosimilitud. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 56:

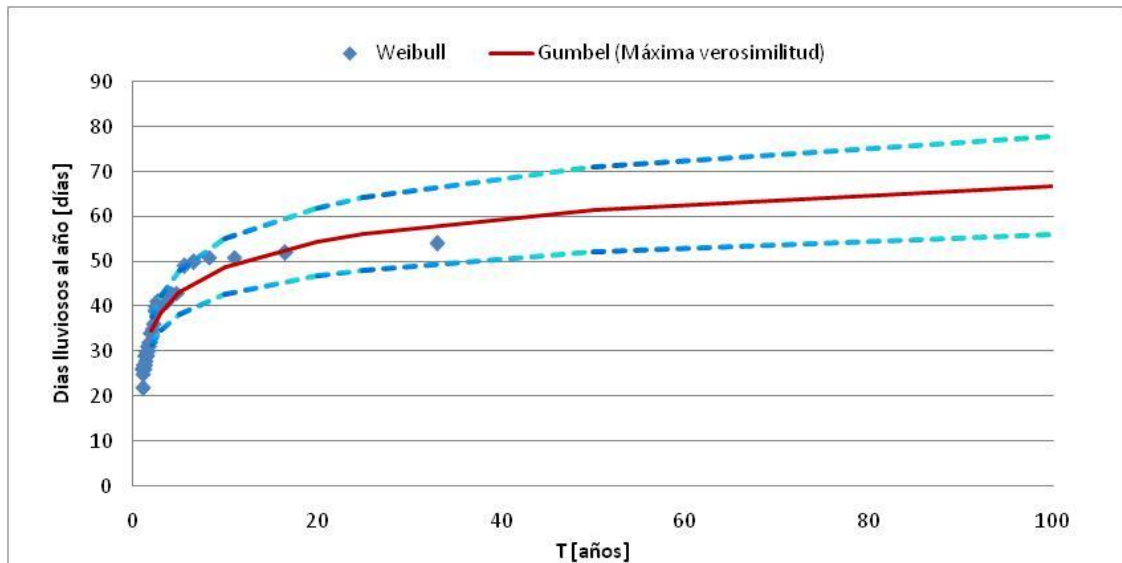


Figura 56: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al año, Iruya Las Higueras.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días lluviosos al año se puede ver que la FDP Teórica Gumbel por el método de máxima verosimilitud ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que el valor máximo (54 días) tiene una recurrencia del orden de los 20 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa



diferencia por el valor medio) es del 16%, para 50 años es del 15%, para 25 años es del 14%, para 20 años es del 14%, para 10 años es del 13%, para 5 años es del 11% y para 2 años es de 9%.

A continuación, en la Tabla 23, se presentan los valores de días obtenidos a partir de la función Gumbel por el método de máxima verosimilitud con sus respectivos intervalos de confianza:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[días]		
2	32	35	38
5	38	43	48
10	43	49	55
20	47	54	62
25	48	56	64
50	52	62	71
100	56	67	78

Tabla 23: Valores de los días lluviosos al año, Iruya Las Higueras.

#### 4. Días lluviosos al mes.

La serie hidrológica de días lluviosos al mes analizada es la que se muestra en la Figura 57:

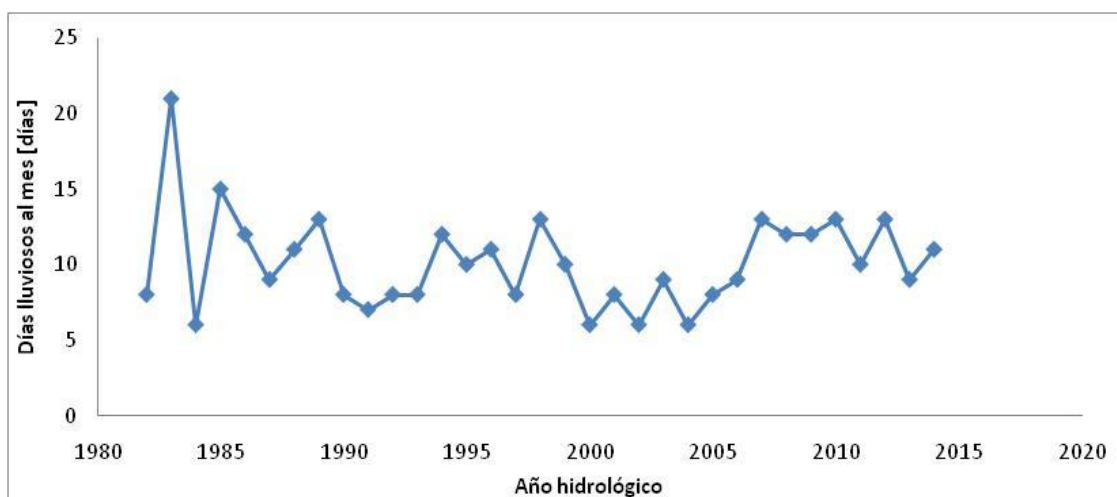


Figura 57: Serie de días lluviosos al mes, Iruya Las Higueras.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 6 días en los años 1984, 2000, 2002 y 2004; y un máximo de 21 días en el año 1983. El valor promedio de la serie es de 10 días y posee un desvío estándar de 3 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie se encontró un dato atípico correspondiente a 21 días en el año 1983. Este dato atípico puede deberse a que ese año hidrológico fue demasiado húmedo. Este último dato fue eliminado de la serie y se aplicó nuevamente el test el cual no arrojó ningún otro dato atípico. En base a esto último, la serie que finalmente fue analizada

contaba 32 datos, con un mínimo de 6 días en los años 1984, 2000, 2002 y 2004; y un máximo de 15 días en el año 1985. El valor promedio de la serie es de 10 días y posee un desvío estándar de 2 días. Por otro lado, se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Gumbel por el método de los momentos. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 58:

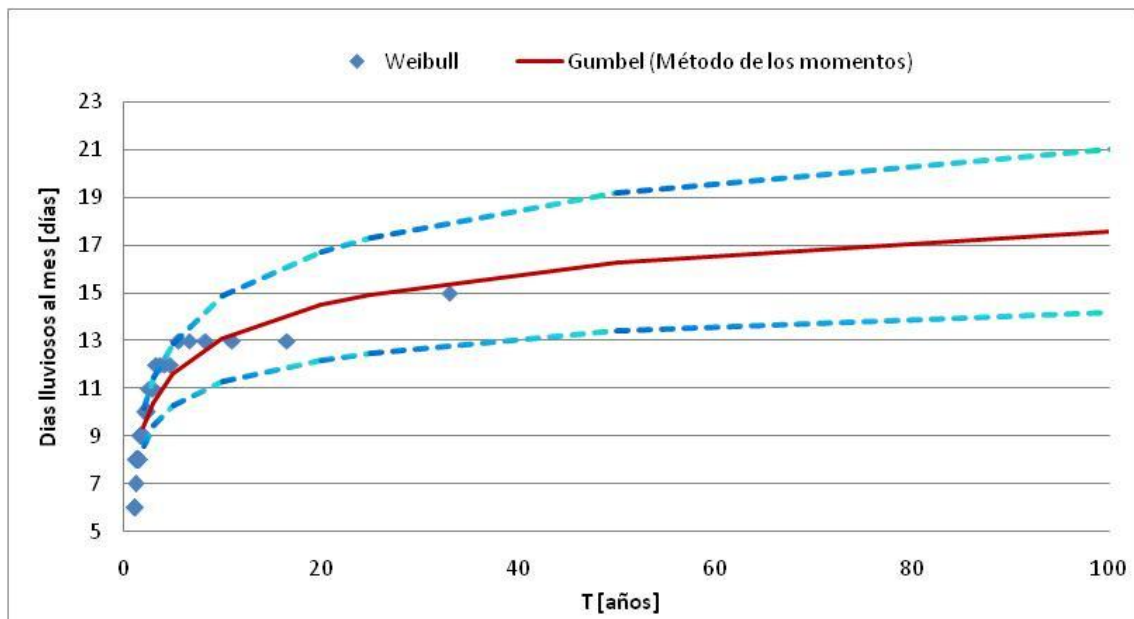


Figura 58: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al mes, Iruya Las Higueras.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días lluviosos al mes se puede ver que la FDP Teórica Gumbel por el método de los momentos ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que el valor máximo (15 días) tiene una recurrencia del orden de los 25 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa

diferencia por el valor medio) es del 19%, para 50 años es del 18%, para 25 años es del 16%, para 20 años es del 15%, para 10 años es del 14%, para 5 años es del 11% y para 2 años es de 9%.

A continuación, en la Tabla 24, se presentan los valores de días obtenidos a partir de la función Gumbel por el método de los momentos con sus respectivos intervalos de confianza en forma de tabla:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[días]		
2	9	9	10
5	10	12	13
10	11	13	15
20	12	15	17
25	13	15	17
50	13	16	19
100	14	18	21

Tabla 24: Valores de días lluviosos al mes, Iruya Las Higueras.

### 5. Días consecutivos con lluvia

La serie hidrológica de días consecutivos con lluvia es la que se muestra en la Figura 59:

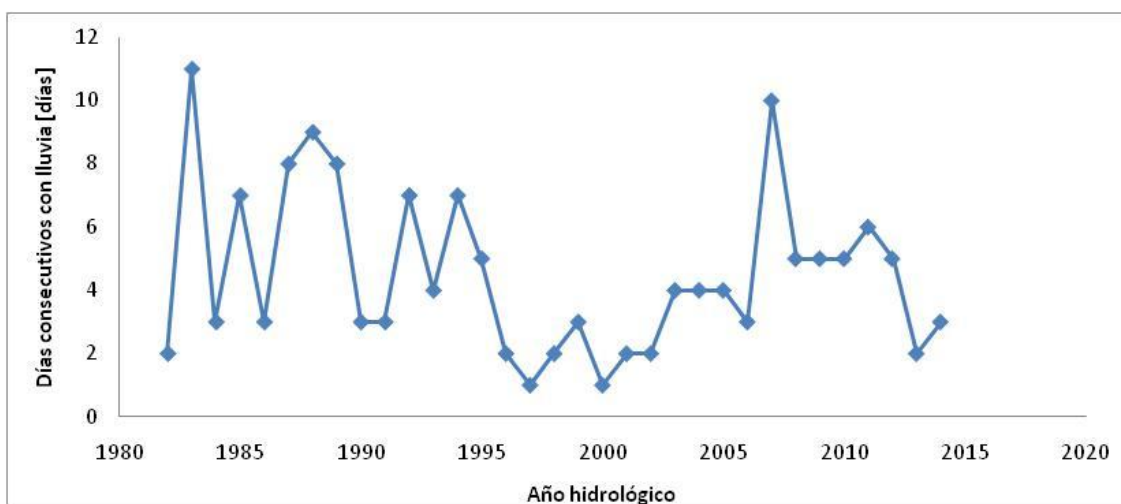


Figura 59: Serie de días consecutivos con lluvia, Iruya Las Higueras.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 1 día en el año 1997, y un máximo de 11 días en el año 1983. El valor promedio de la serie es de 5 días y posee un desvío estándar de 3 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontraron datos atípicos y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Gumbel por el método de máxima verosimilitud. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 60:

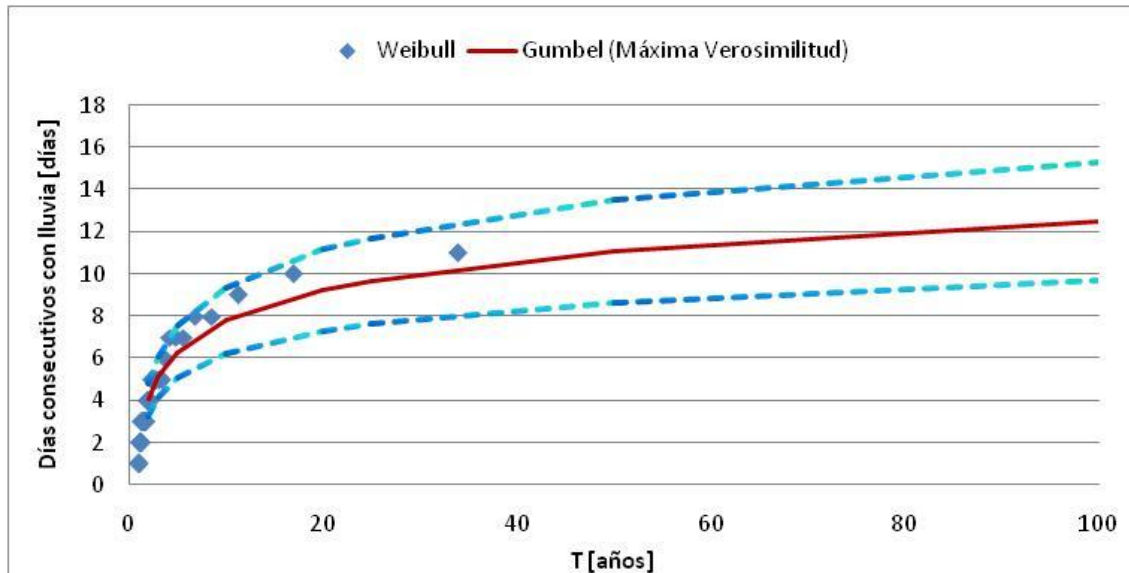


Figura 60: Distribución de probabilidades de los días consecutivos con lluvia, Iruya Las Higueras.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días consecutivos con lluvia se puede ver que la FDP Teórica Gumbel por el método de máxima verosimilitud arroja valores menores a los de la FDP empírica de Weibull para tiempos de retorno mayores a los 10 años. Esto puede deberse a que el valor máximo de la serie (11 días) es muy probable que corresponda a una recurrencia del orden de 100 años o aún mayor; y por razones de falta de muestreo (extensión de la serie) al aplicar la fórmula de Weibull aparece erróneamente asociado a 34 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 22%, para 50 años es del 22%, para 25

años es del 21%, para 20 años es del 21%, para 10 años es del 20%, para 5 años es del 20% y para 2 años es de 20%.

A continuación, en la Tabla 25, se presentan los valores de días consecutivos con lluvia obtenidos a partir de la función Gumbel por el método de máxima verosimilitud con sus respectivos intervalos de confianza:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[días]		
2	3	4	5
5	5	6	8
10	6	8	9
20	7	9	11
25	8	10	12
50	9	11	14
100	10	13	15

Tabla 25: Valores de los días consecutivos con lluvia, Iruya Las Higueras.

### Estación: 6 – Iruya San José - Salta

Esta estación cuenta con registros históricos de precipitación diaria desde el año 1980 hasta el año 2014 sin datos faltantes (35 años de datos).

A continuación se presentan cada uno de los análisis realizados sobre las diferentes variables de interés:

#### 1. Precipitación Máxima Diaria Anual.

La serie hidrológica de precipitaciones máximas diarias anuales analizada es la que se muestra en la Figura 61:

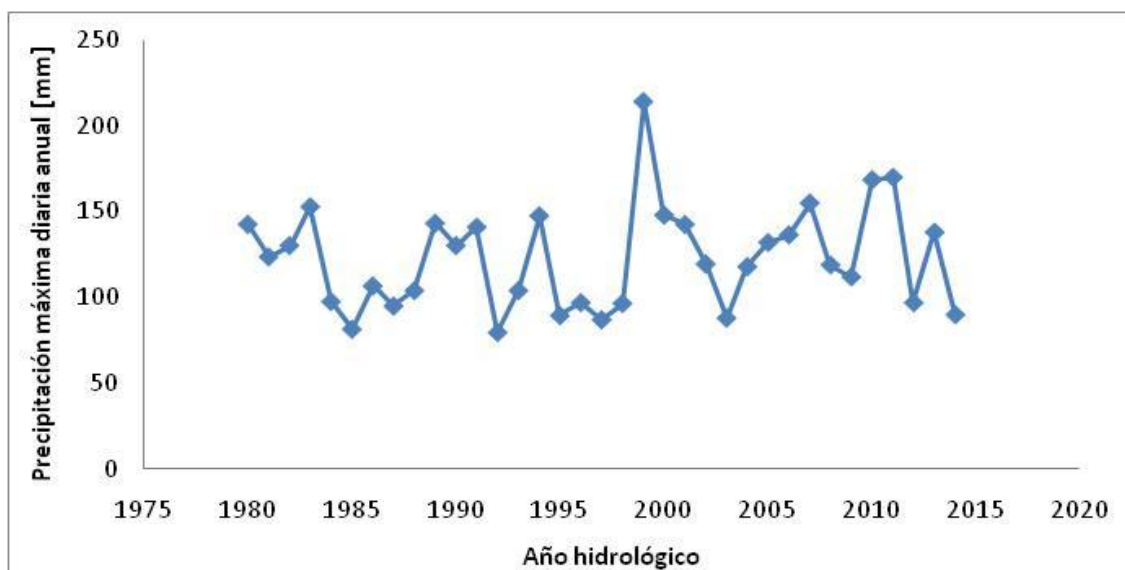


Figura 61: Serie de precipitaciones máximas diarias anuales, Iruya San José.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 79.6 mm en el año 1992 y un máximo de 214.0 mm en el año 1999. El valor promedio de la serie es de 122.8 mm y posee un desvío estándar de 30.1 mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Log-Normal. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 62:

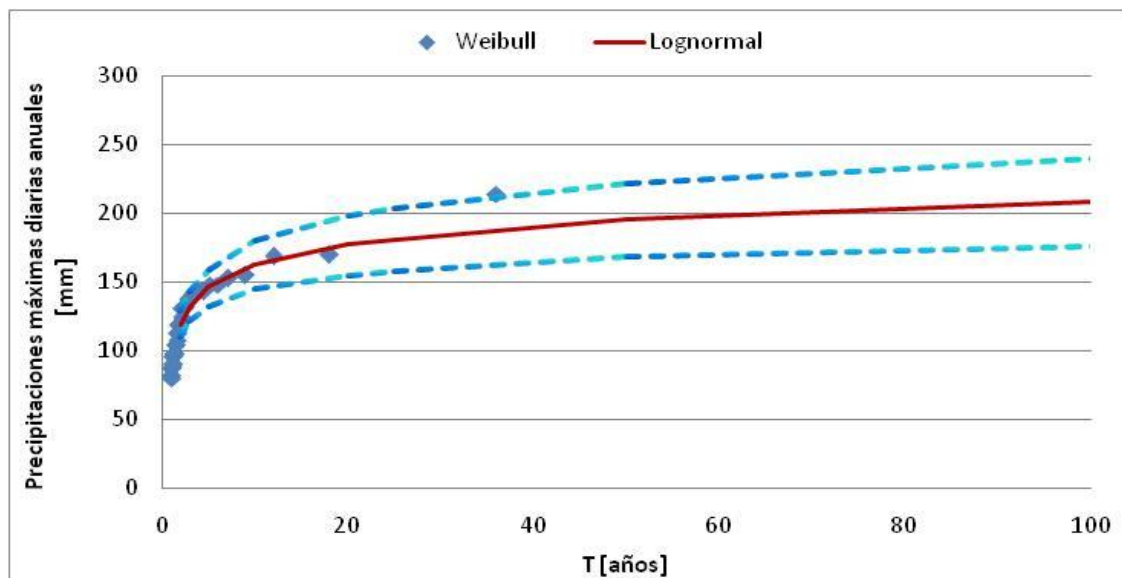


Figura 62: Distribución de probabilidades de las precipitaciones máximas diarias anuales, Iruya San José.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y la precipitación máxima diaria anual se puede ver que la FDP Teórica Log-Normal ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que la lámina máxima (214 mm) tiene una recurrencia de más de 100 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza).

Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 13%, para 50 años es del 12%, para 25 años es del 11%, para 20 años es del 11%, para 10 años es del 10%, para 5 años es del 8% y para 2 años es de 8%.

A continuación, en la Tabla 26, se presentan los valores de precipitación máxima diaria anual obtenidos a partir de la función Log-Normal con sus respectivos intervalos de confianza:

T [años]	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
	[mm]		
2	110	119	129
5	132	146	159
10	145	162	180
20	155	177	198
25	158	181	204
50	168	195	222
100	176	208	240

Tabla 26: Valores de precipitación máxima diaria anual, Iruya San José.

## 2. Precipitación Total Anual.

La serie hidrológica de precipitaciones totales anuales analizada es la que se muestra en la Figura 63:

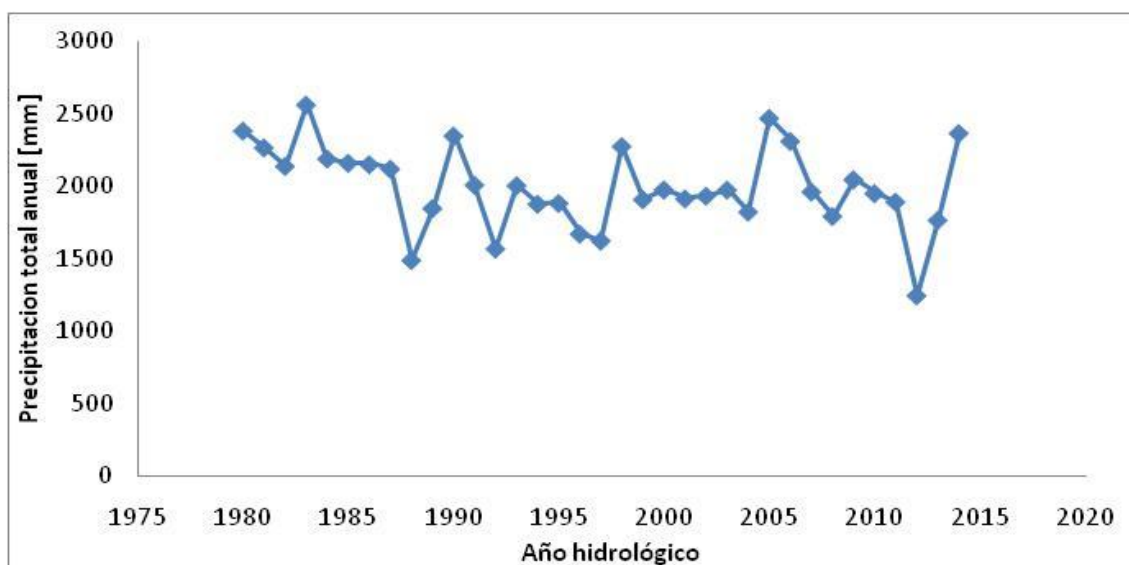


Figura 63: Serie de precipitación total anual, Iruya San José.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 1241.5 mm en el año 2012 y un máximo de 2563.7 mm en el año 1983. El valor promedio de la serie es de 1996.5 mm y posee un desvío estándar de 287.4 mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie se encontró un dato atípico correspondiente a 1241.5 mm en el año 2012. Este dato atípico puede

deberse a que ese año hidrológico fue demasiado seco o bien que hay faltante de datos pluviométricos registrados en ese periodo. Este último dato fue eliminado de la serie y se aplicó nuevamente el test el cual no arrojó ningún otro dato atípico. En base a esto último, la serie que finalmente fue analizada contaba 34 datos, con un mínimo de 1485.4 mm en el año 1988 y un máximo de 2563.7 mm en el año 1983. El valor promedio de la serie es de 2018.7 mm y posee un desvío estándar de 259.6 mm. Por otro lado se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar, se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Log-Normal. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 64:

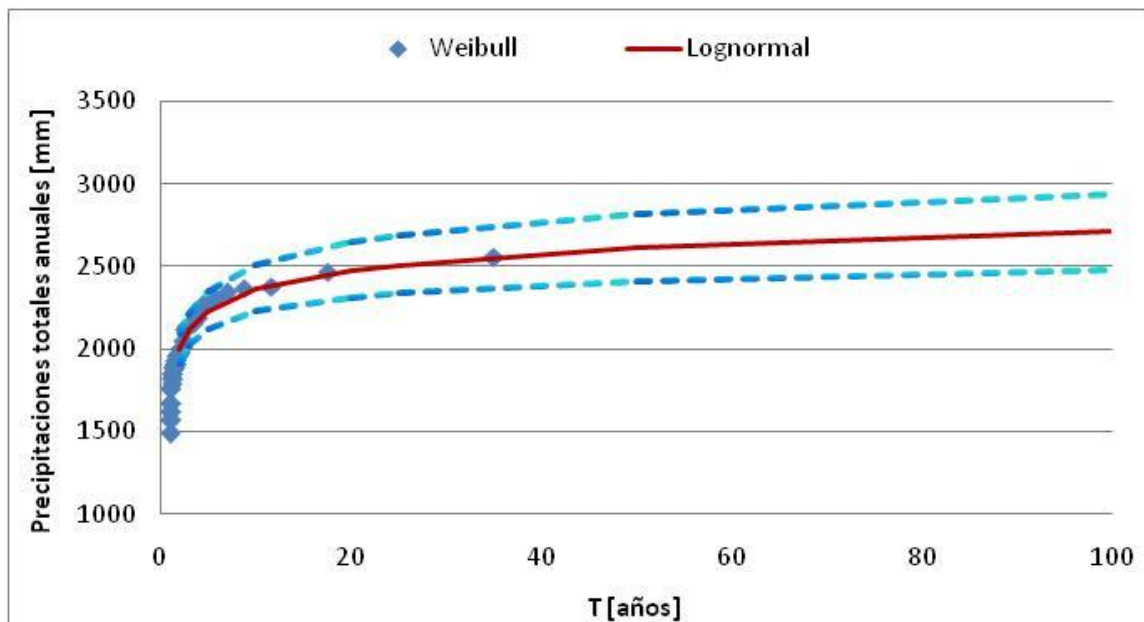


Figura 64: Distribución de probabilidades de las precipitaciones totales anuales, Iruya San José.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y la precipitación total anual se puede ver que la FDP Teórica Log-Normal ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que la lámina máxima (2560.0 mm) tiene una recurrencia del orden de los 35 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la



serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 8%, para 50 años es del 7%, para 25 años es del 7%, para 20 años es del 6%, para 10 años es del 6%, para 5 años es del 5% y para 2 años es de 4%.

A continuación, en la Tabla 27, se presentan los valores de precipitación total anual obtenidos a partir de la función Log-Normal con sus respectivos intervalos de confianza:

T [años]	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
	[mm]		
2	1910	2000	2090
5	2120	2230	2350
10	2230	2370	2510
20	2310	2480	2650
25	2340	2510	2690
50	2410	2620	2820
100	2480	2710	2940

Tabla 27: Valores de precipitación total anual, Iruya San José.

### 3. Días lluviosos al año.

La serie hidrológica de los días lluviosos al año analizada es la que se muestra en la Figura 65:

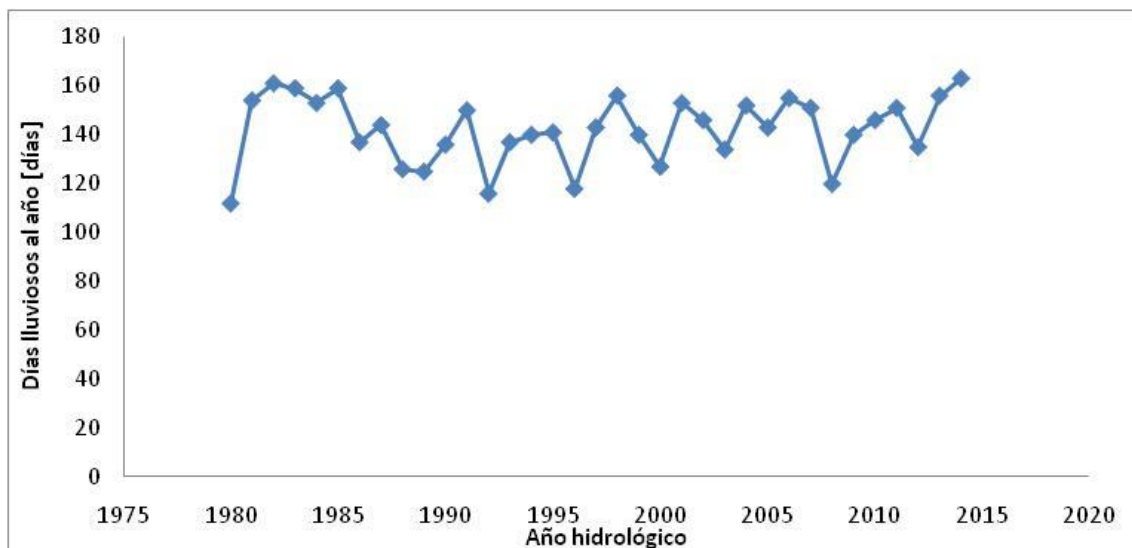


Figura 65: Serie de días lluviosos al año, Iruya San José.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 112 días en el año 1980 y un máximo de 163 días en el año 2014. El valor promedio de la serie es de 142 días y posee un desvío estándar de 14 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar, se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es GEV por el método de los momentos. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 66:

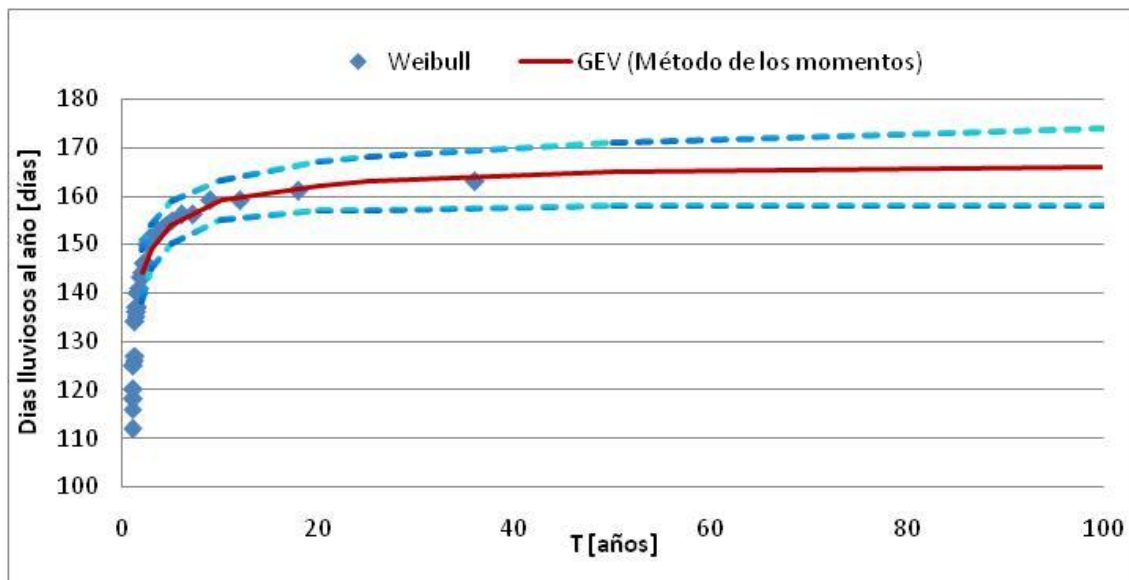


Figura 66: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al año, Iruya San José.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días lluviosos al año se puede ver que la FDP Teórica GEV por el método de los momentos ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que el valor máximo (163 días) tiene una recurrencia del orden de los 25 a 35 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 5%, para 50 años es del 4%, para 25 años es del 3%, para 20 años es del 3%, para 10 años es del 2%, para 5 años es del 3% y para 2 años es de 3%.

A continuación, en la Tabla 28, se presentan los valores de días obtenidos a partir de la función GEV por el método de los momentos con sus respectivos intervalos de confianza en forma de tabla:

T [años]	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
	[días]		
2	138	144	149
5	150	154	159
10	155	159	163
20	157	162	167
25	157	163	168
50	158	165	171
100	158	166	174

Tabla 28: Valores de días lluviosos al año, Iruya San José.

#### 4. Días Lluviosos al mes.

La serie hidrológica de días lluviosos al mes analizada es la que se muestra en la Figura 67:

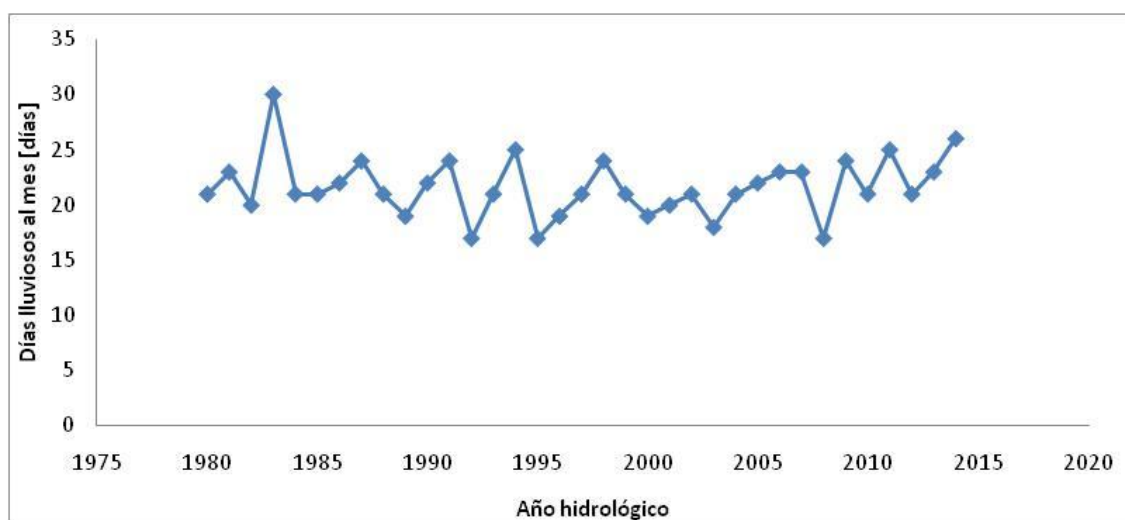


Figura 67: Serie de días lluviosos al mes, Iruya San José.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 17 días en el año 1992, y un máximo de 30 días en el año 1983. El valor promedio de la serie es de 22 días y posee un desvío estándar de 3 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie se encontró un dato atípico correspondiente a 30 días en el año 1983. Este dato atípico puede deberse a que ese año hidrológico fue demasiado húmedo. Este último dato fue eliminado de la serie y se aplicó nuevamente el test el cual no arrojó ningún otro dato atípico. En base a esto último, la serie que finalmente fue analizada contaba 34 datos, con un mínimo de 17 días en el año 1992, y un máximo de 26 días en el año 2014. El valor promedio de la serie es de 21 días y posee un desvío estándar de 2 días. Por otro lado se verificaron las hipótesis de

independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es GEV por el método de máxima verosimilitud. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 68:

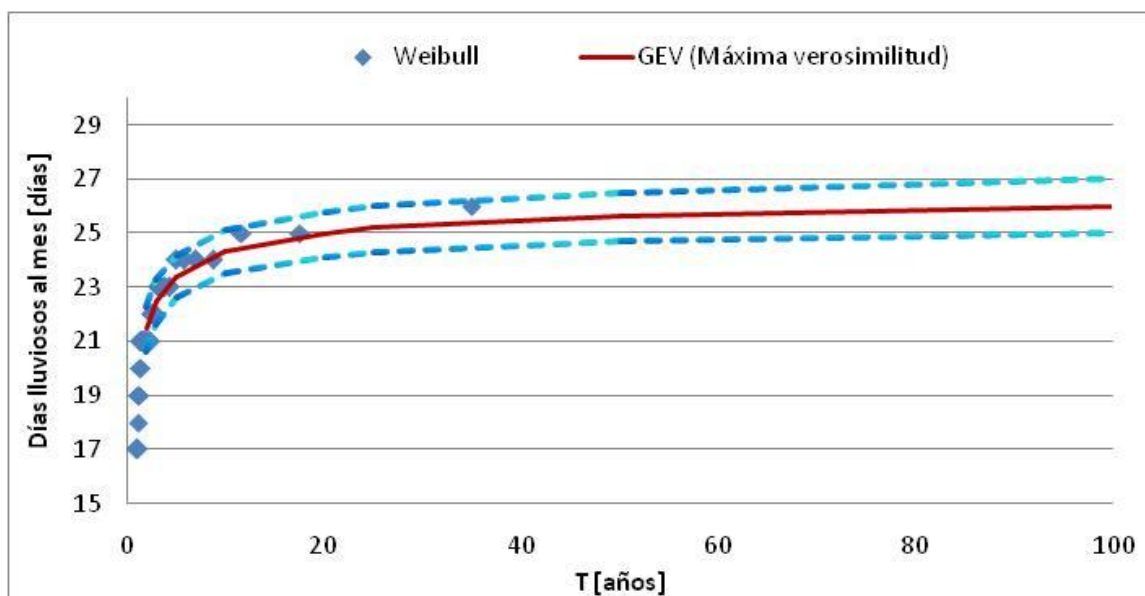


Figura 68: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al mes, Iruya San José.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días lluviosos al mes se puede ver que la FDP Teórica GEV por el método de máxima verosimilitud ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que el valor máximo (26 días) tiene una recurrencia del orden de los 100 años o aún mayor.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 4%, para 50 años es del 3%, para 25 años es del 3%, para 20 años es del 3%, para 10 años es del 3%, para 5 años es del 3% y para 2 años es de 4%.

A continuación, en la Tabla 29, se presentan los valores de días obtenidos a partir de la función GEV por el método de máxima verosimilitud con sus respectivos intervalos de confianza:

T [años]	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
	[días]		
2	21	22	22
5	23	23	24
10	24	24	25
20	24	25	26
25	24	25	26
50	25	26	27
100	25	26	27

Tabla 29: Valores de días lluviosos al mes, Iruya San José.

### 5. Días consecutivos con lluvia

La serie hidrológica de días consecutivos con lluvia es la que se muestra en la Figura 69:

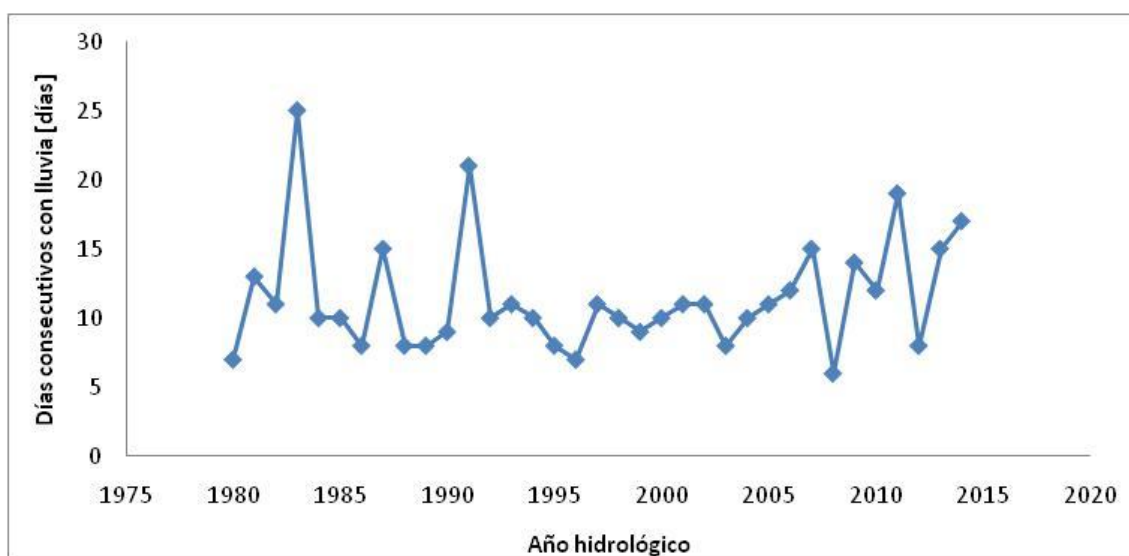


Figura 69: Serie de días consecutivos con lluvia, Iruya San José.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 6 días en el año 2008, y un máximo de 25 días en el año 1983. El valor promedio de la serie es de 11 días y posee un desvío estándar de 4 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontraron datos atípicos y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de

retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Gumbel por el método de máxima verosimilitud. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 70:

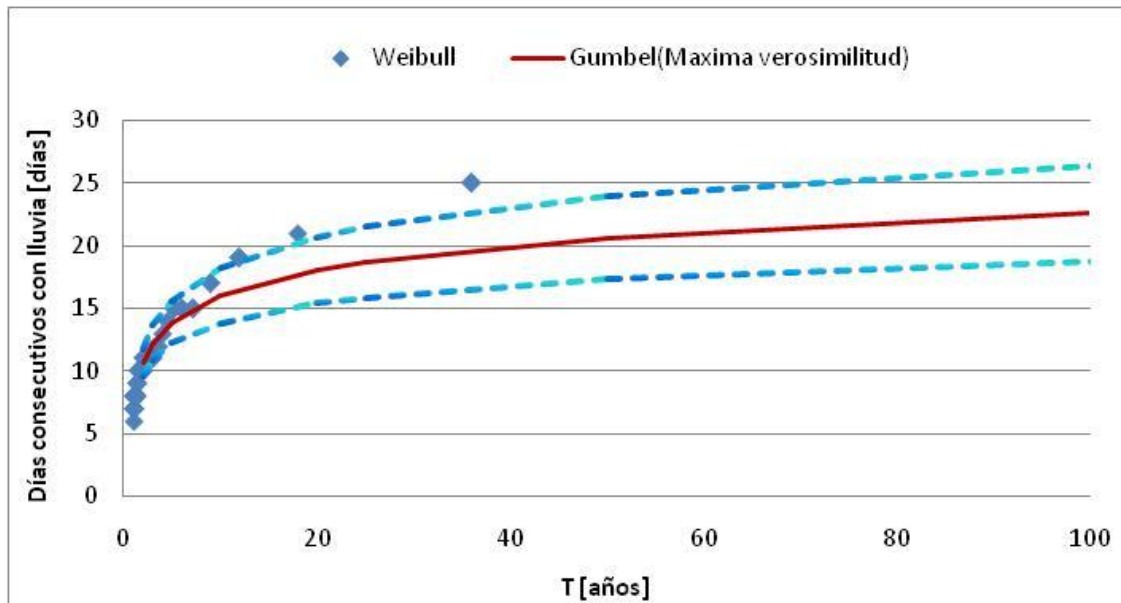


Figura 70: Distribución de probabilidades de los días consecutivos con lluvia, Iruya San José.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días consecutivos con lluvia se puede ver que la FDP Teórica Gumbel arroja valores menores a los de la FDP empírica de Weibull para tiempos de retorno mayores a los 10 años. Esto puede deberse a que el valor máximo de la serie (25 días) es muy probable que corresponda a una recurrencia mayor a 100 años; y por razones de falta de muestreo (extensión de la serie) al aplicar la fórmula de Weibull aparece erróneamente asociado a 36 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 14%, para 50 años es del 14%, para 25 años es del 13%, para 20 años es del 13%, para 10 años es del 12%, para 5 años es del 11% y para 2 años es de 9%.

A continuación, en la Tabla 30, se presentan los valores de días obtenidos a partir de la función Gumbel por el método de máxima verosimilitud con sus respectivos intervalos de confianza:

T [años]	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
	[días]		
2	10	11	12
5	12	14	16
10	14	16	18
20	15	18	21
25	16	19	22
50	17	21	24
100	19	23	26

Tabla 30: Valores de días consecutivos con lluvia, Iruya San José.

### Estación: 7 – Iruya Tuc Tuca - Salta

Esta estación cuenta con registros históricos de precipitación diaria desde el año 1982 hasta el año 2014 sin datos faltantes (33 años de datos).

A continuación se presentan cada uno de los análisis realizados sobre las diferentes variables de interés:

#### 1. Precipitación Máxima Diaria Anual.

La serie hidrológica de precipitaciones máximas diarias anuales analizada es la que se muestra en la Figura 71:

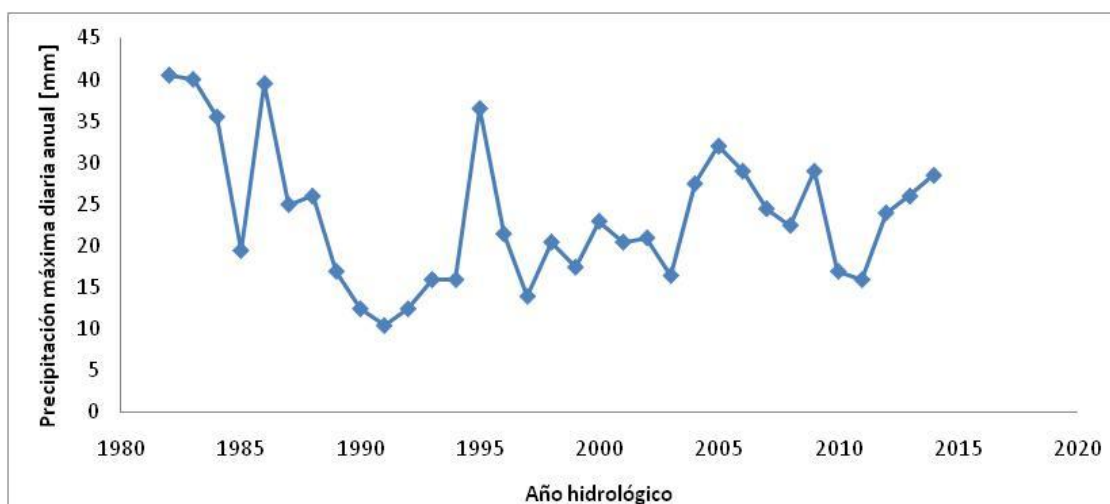


Figura 71 : Serie de precipitaciones máximas diarias anuales, Iruya Tuc Tuca.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 10.5 mm en el año 1992 y un máximo de 40.5 mm en el año 1982. El valor promedio de la serie es de 23.6 mm y posee un desvío estándar de 8.3 mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y

homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, pruebas se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es GEV por el método de los momentos. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza la Figura 72:

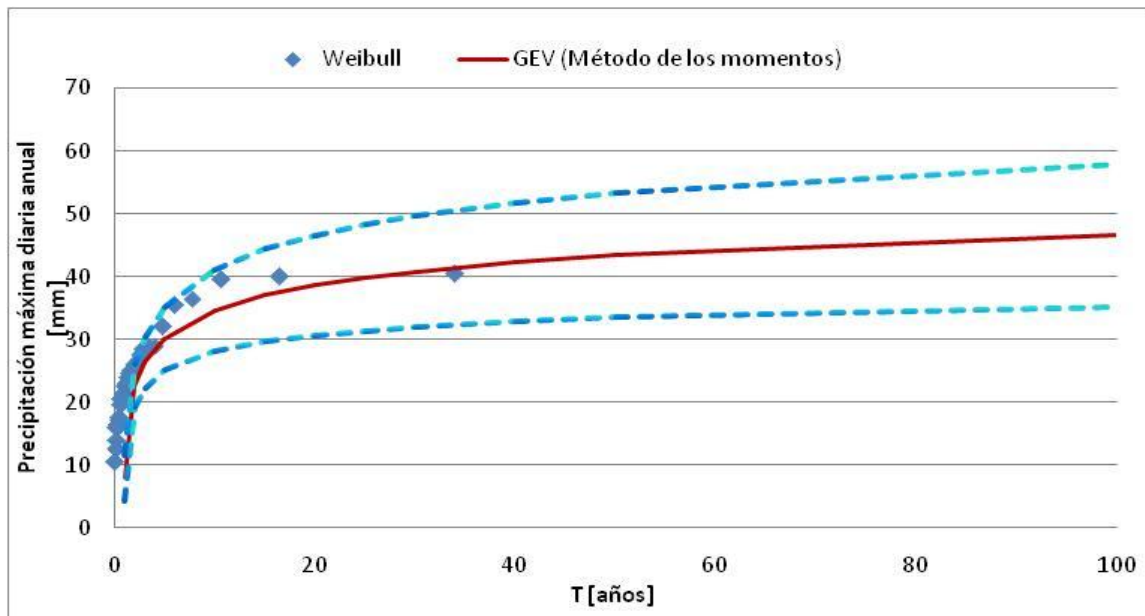


Figura 72: Distribución de probabilidades de la precipitación máxima diaria anual, Iruya Tuc Tucua.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y la precipitación máxima diaria anual se puede ver que la FDP Teórica GEV por el método de los momentos ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que el valor máximo (40.5) tiene una recurrencia del orden de los 25 a 30 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 24%, para 50 años es del 23%, para 25 años es del 21%, para 20 años es del 21%, para 10 años es del 19%, para 5 años es del 17% y para 2 años es de 15%.



A continuación, en la Tabla 31, se presentan los valores de precipitación máxima diaria anual obtenidos a partir de la función GEV por el método de los momentos con sus respectivos intervalos de confianza en forma de tabla:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[mm]		
2	19.4	22.7	26.0
5	25.1	30.2	35.2
10	28.2	34.7	41.2
20	30.7	38.6	46.6
25	31.4	39.8	48.3
50	33.5	43.4	53.2
100	35.24	46.60	57.96

Tabla 31: Valores de precipitación máxima diaria anual, Iruya Tuc Tuca.

## 2. Precipitación Total Anual.

La serie hidrológica de precipitaciones totales anuales analizada es la que se muestra en la Figura 73:

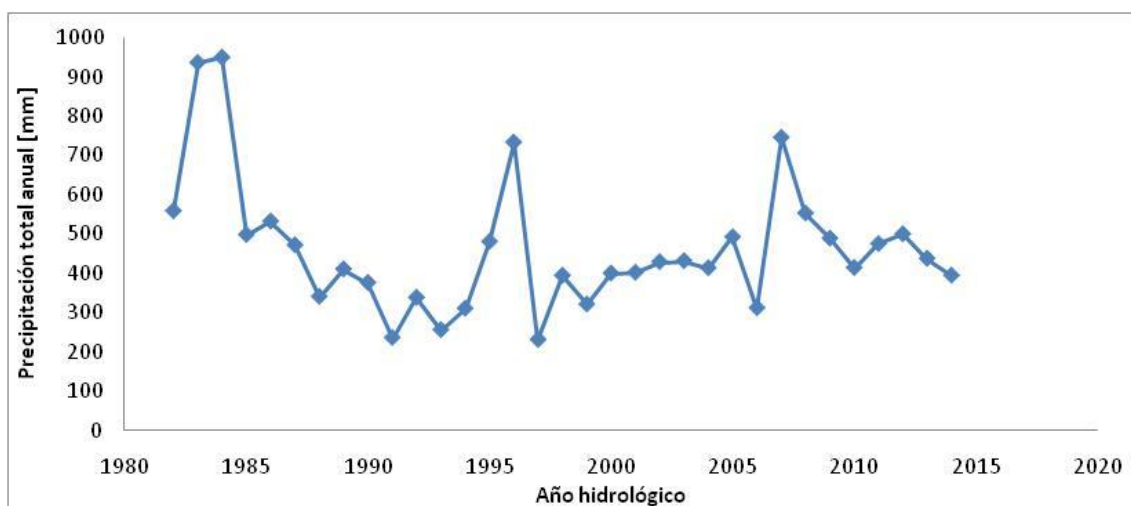


Figura 73: Serie de precipitaciones totales anuales, Iruya Tuc Tuca.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 230.6 mm en el año 1997 y un máximo de 950.5 mm en el año 1984. El valor promedio de la serie es de 462.5 mm y posee un desvío estándar de 169.9 mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar, se aplica la función de distribución de probabilidad

empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Log-Normal. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 74:

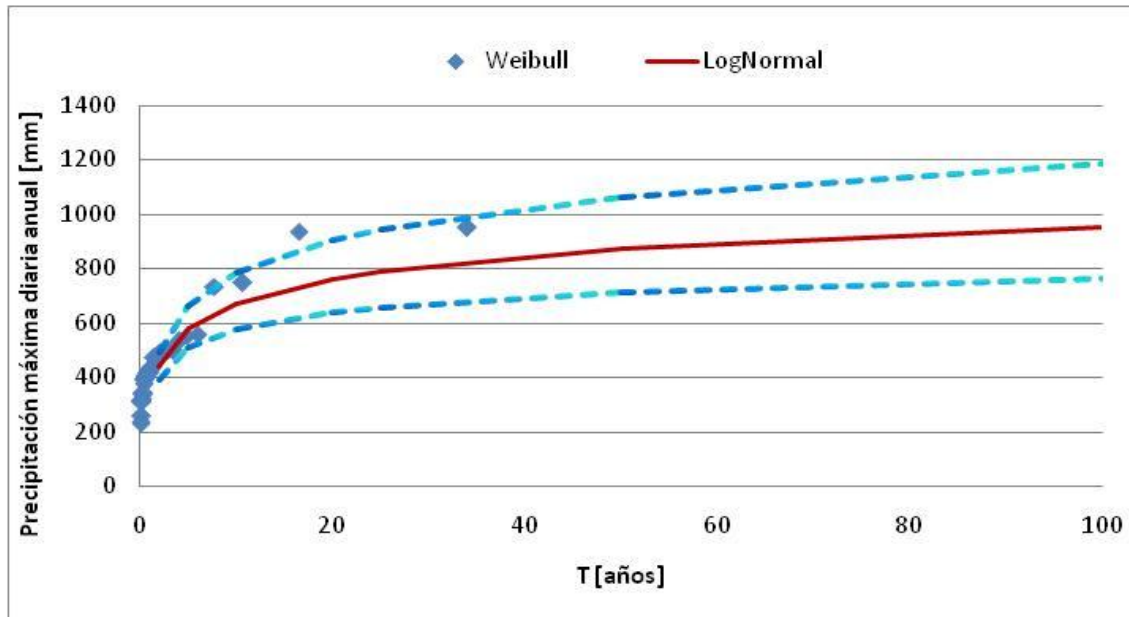


Figura 74: Distribución de probabilidades de la precipitaciones totales anuales, Iruya Tuc Tuca.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y la precipitación total anual se puede ver que la FDP Teórica Log-Normal arroja valores de precipitación menores a los de la FDP empírica de Weibull para tiempos de retorno mayores a los 10 años. Esto puede deberse a que el valor máximo de la serie (950.5 mm) es muy probable que corresponda a una recurrencia del orden de 100 años o aún mayor; y por razones de falta de muestreo (extensión de la serie) al aplicar la fórmula de Weibull aparece erróneamente asociado a 34 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 20%, para 50 años es del 18%, para 25 años es del 17%, para 20 años es del 16%, para 10 años es del 14%, para 5 años es del 12% y para 2 años es de 11%.

A continuación, en la Tabla 32, se presentan los valores de precipitación total anual obtenidos a partir de la función Log-Normal con sus respectivos intervalos de confianza:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[mm]		
2	389.9	437.1	489.9
5	506.5	578.3	660.4
10	575.2	671.0	782.7
20	636.6	758.5	903.8
25	655.3	786.0	942.8
50	711.3	870.2	1064.6
100	764.8	953.1	1187.7

Tabla 32: Valores de precipitaciones totales anuales, Iruya Tuc Tuca.

### 3. Días Lluviosos al año.

La serie hidrológica de días lluviosos al año analizada es la que se muestra en la Figura 75:

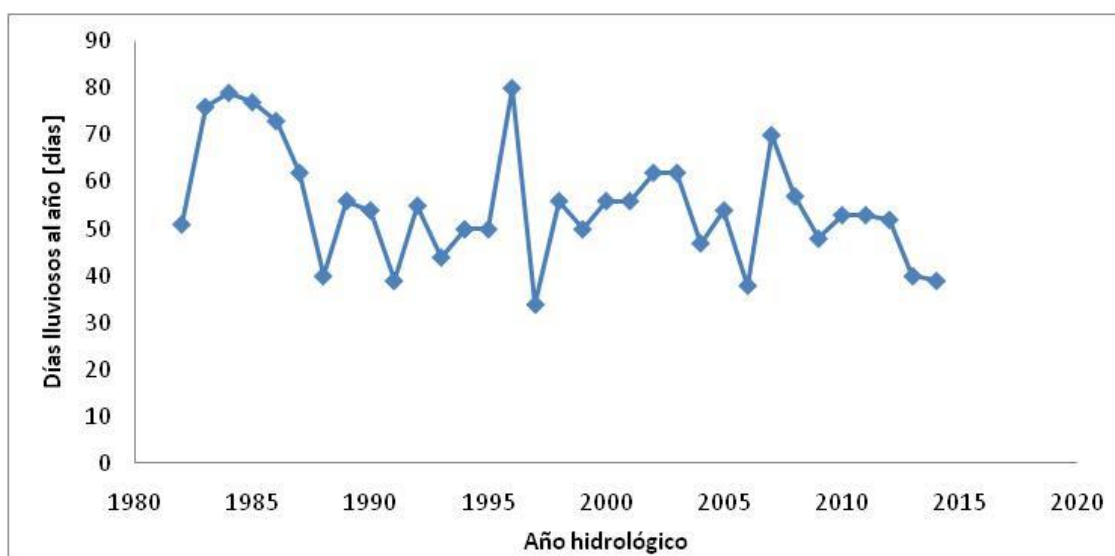


Figura 75: Serie de días lluviosos al año, Iruya Tuc Tuca.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 34 días en el año 1997 y un máximo de 80 días en el año 1996. El valor promedio de la serie es de 55 días y posee un desvío estándar de 12 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar, se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Gumbel por el método de los momentos. Se puede ver la relación entre la variable y las

diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 76:

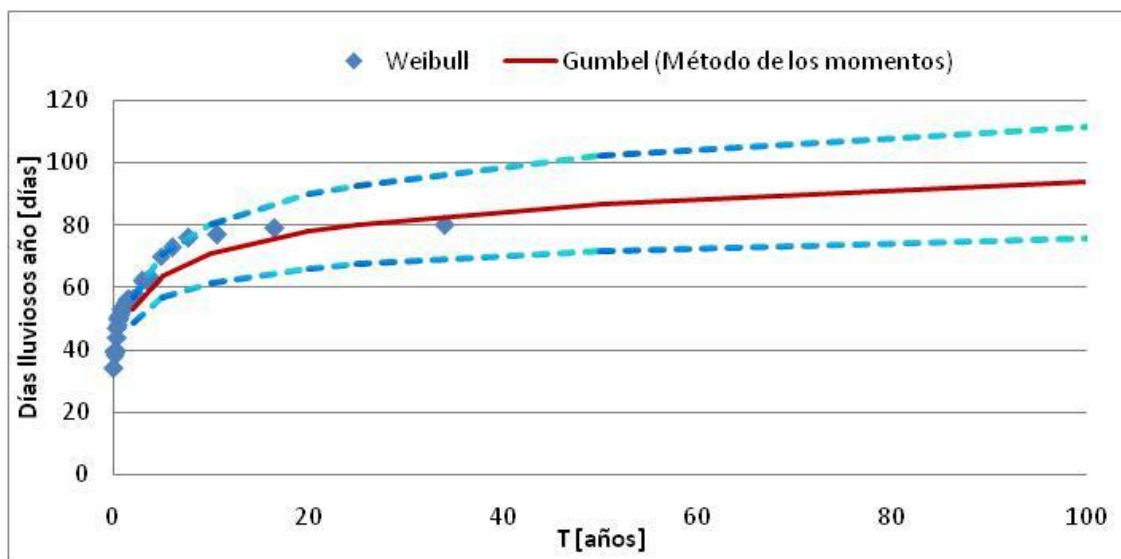


Figura 76: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al año, Iruya Tuc Tucá.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días lluviosos al año se puede ver que como se está analizando una variable discreta (y no continua, ya que los días lluviosos al año son un número entero), al ajustar una FDP Teórica a la serie el resultado de las pruebas de bondad de ajuste es bajo. Además se observa que los valores máximos de la serie tienden a una asíntota (80 días lluviosos al año aproximadamente) y por eso a medida que aumenta la recurrencia esta variable ya no crece significativamente en su magnitud.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 19%, para 50 años es del 17%, para 25 años es del 16%, para 20 años es del 15%, para 10 años es del 13%, para 5 años es del 11% y para 2 años es de 8%.

A continuación, en la Tabla 33, se presentan los valores de días obtenidos a partir de la función Gumbel por el método de los momentos con sus respectivos intervalos de confianza en forma de tabla:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[días]		
2	49	53	57
5	57	64	71
10	62	71	80
20	66	78	90
25	67	80	93
50	72	87	102
100	76	94	111

Tabla 33: Valores de días lluviosos al año, Iruya Tuc Tuca.

#### 4. Días Lluviosos al mes.

La serie hidrológica de días lluviosos al mes analizada es la que se muestra en la Figura 77:

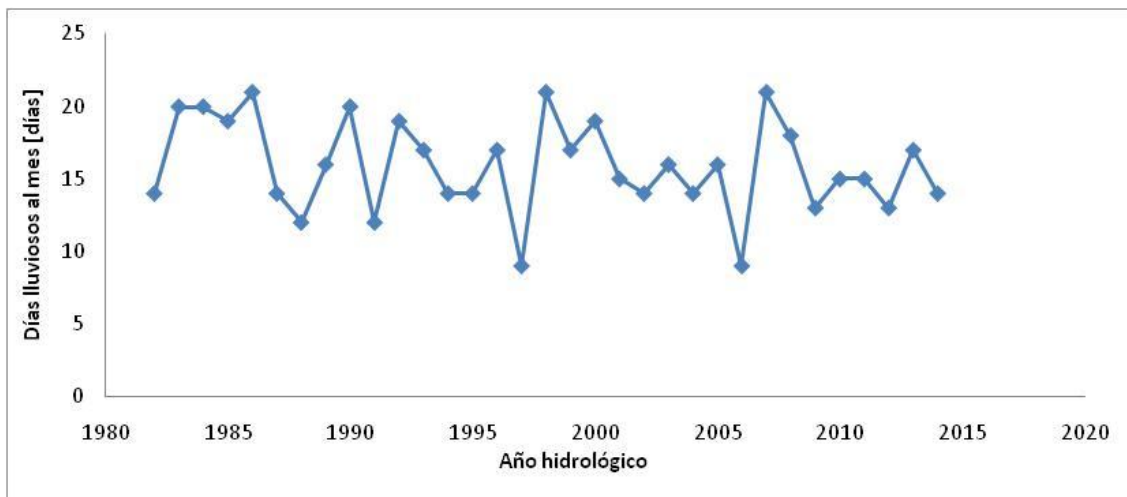


Figura 77: Serie de días lluviosos al mes, Iruya Tuc Tuca.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 9 días en los años 1997 y 2006; y un máximo de 21 días en el año 1986 y 1998. El valor promedio de la serie es de 16 días y posee un desvío estándar de 3 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no encontraron datos atípicos, se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Una vez verificadas estas pruebas se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Log-Normal. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 78:

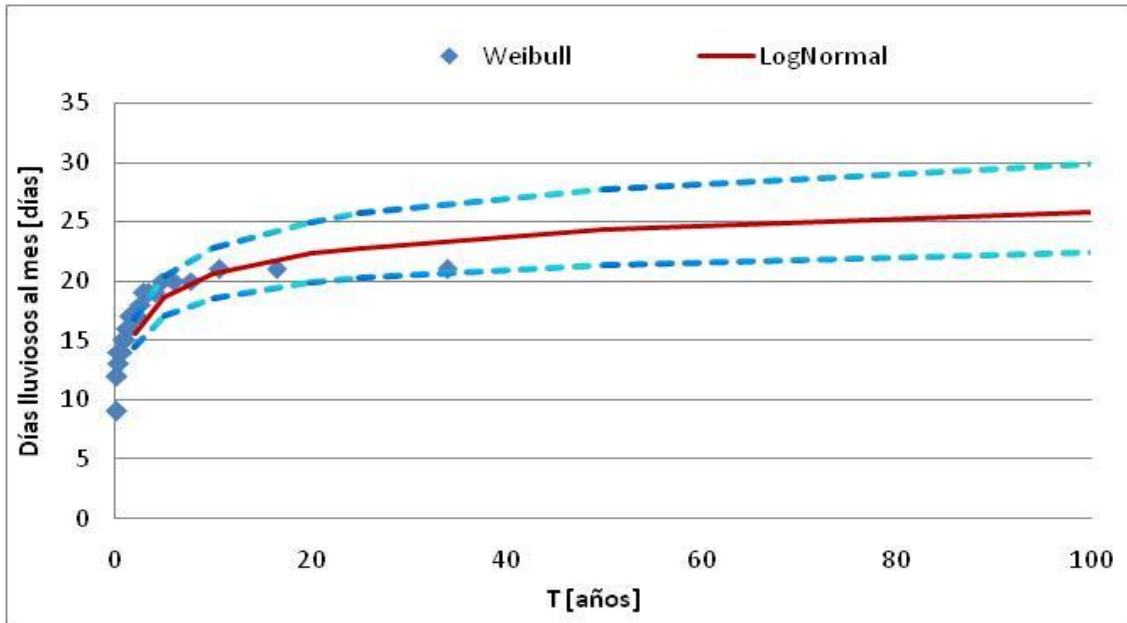


Figura 78: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al mes, Iruya Tuc Tuca.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días lluviosos al mes se puede ver que la FDP Teórica Log-Normal ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que la lámina máxima (21 días) tiene una recurrencia del orden de los 10 a 20 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 15%, para 50 años es del 14%, para 25 años es del 13%, para 20 años es del 12%, para 10 años es del 11%, para 5 años es del 9% y para 2 años es de 8%.

A continuación, en la Tabla 34, se presentan los valores de días obtenidos a partir de la función Log-Normal con sus respectivos intervalos de confianza:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[días]		
2	14	16	17
5	17	19	20
10	19	21	23
20	20	22	25
25	20	23	26
50	21	24	28
100	22	26	30

Tabla 34: Valores de días lluviosos al mes, Iruya Tuc Tuca.

## 5. Días consecutivos con lluvia

La serie hidrológica de días consecutivos con lluvia es la que se muestra en la Figura 79:

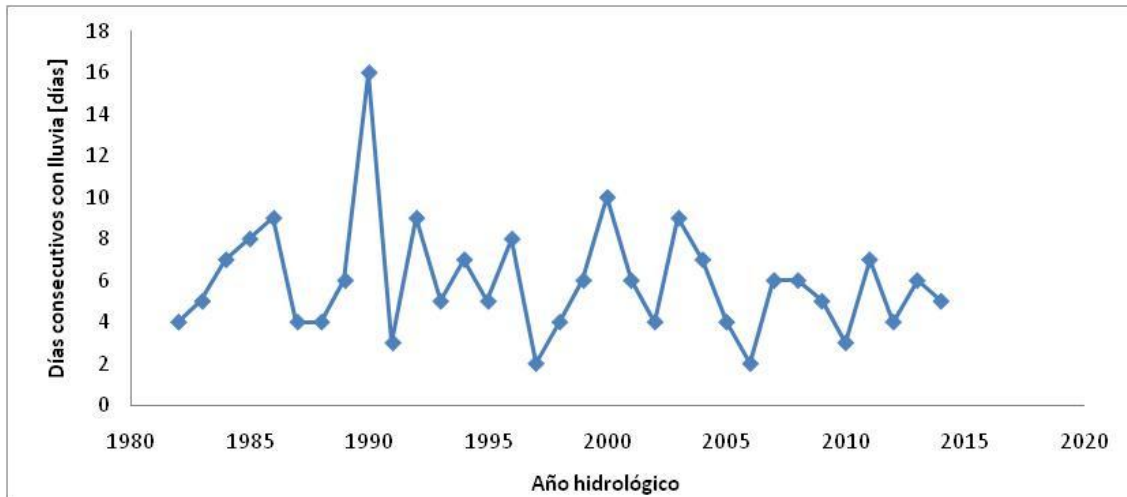


Figura 79: Serie de días consecutivos con lluvia, Iruya Tuc Tuca.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 2 días en el año 1997, y un máximo de 16 días en el año 1990. El valor promedio de la serie es de 6 días y posee un desvío estándar de 3 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontraron datos atípicos y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Gumbel por el método de los momentos. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 80 que se muestra a continuación.

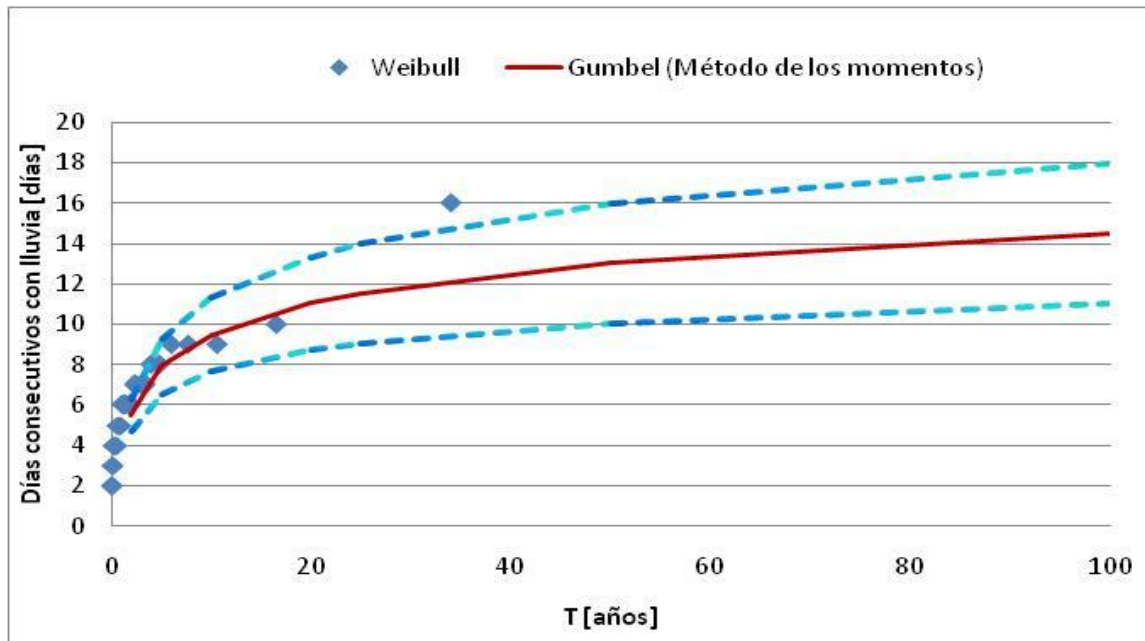


Figura 80: Distribución de probabilidades de los días consecutivos con lluvia, Iruya Tuc Tuca.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días consecutivos con lluvia se puede ver que la FDP Teórica Gumbel por el método de los momentos ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que el valor máximo (16 días) tiene una recurrencia de más de 100 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 24%, para 50 años es del 23%, para 25 años es del 21%, para 20 años es del 21%, para 10 años es del 19%, para 5 años es del 17% y para 2 años es de 15%.

A continuación, en la Tabla 35, se presentan los valores de días obtenidos a partir de la función Gumbel por el método de los momentos con sus respectivos intervalos de confianza



T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[días]		
2	5	5	6
5	7	8	9
10	8	9	11
20	9	11	13
25	9	12	14
50	10	13	16
100	11	14	18

Tabla 35: Valores de días consecutivos con lluvia, Iruya Tuc Tuca.

### Estación: 8 – Iruya El Molino - Salta

Esta estación cuenta con registros históricos de precipitación diaria desde el año 1982 hasta el año 2014 sin datos faltantes (33 años de datos).

A continuación se presentan cada uno de los análisis realizados sobre las diferentes variables de interés:

#### 1. Precipitación Máxima Diaria Anual.

La serie hidrológica de precipitaciones máximas diarias anuales analizada es la que se muestra en la Figura 81:

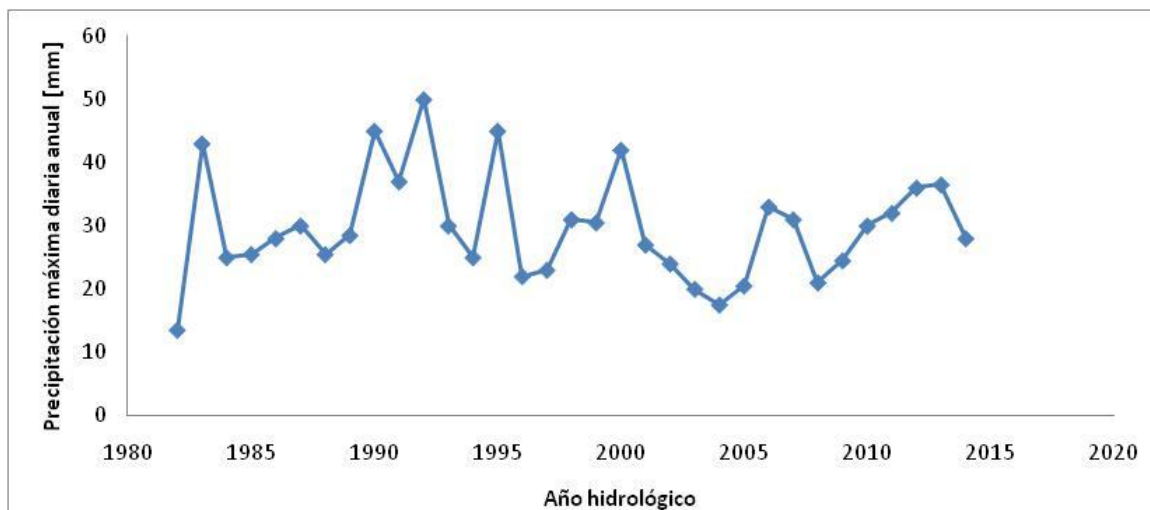


Figura 81: Serie de precipitaciones máximas diarias anuales, Iruya El Molino.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 13.5 mm en el año 1982 y un máximo de 50.0 mm en el año 1992. El valor promedio de la serie es de 29.7 mm y posee un desvío estándar de 8.5 mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie se encontró un dato atípico correspondiente a 13.5 mm en el año 1982. Este dato atípico puede deberse a que ese año hidrológico fue demasiado seco o bien que hay faltante de datos pluviométricos registrados en ese periodo. Este último dato fue eliminado de la serie y se aplicó nuevamente el test el cual no arrojó ningún otro dato atípico. En base a esto último, la serie que finalmente fue analizada

contaba 32 datos, con un mínimo de 17.5 mm en el año 2004 y un máximo de 50.0 mm en el año 1992. El valor promedio de la serie es de 30.2 mm y posee un desvío estándar de 8.1 mm. Por otro lado se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Gumbel por el método de los momentos. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 82:

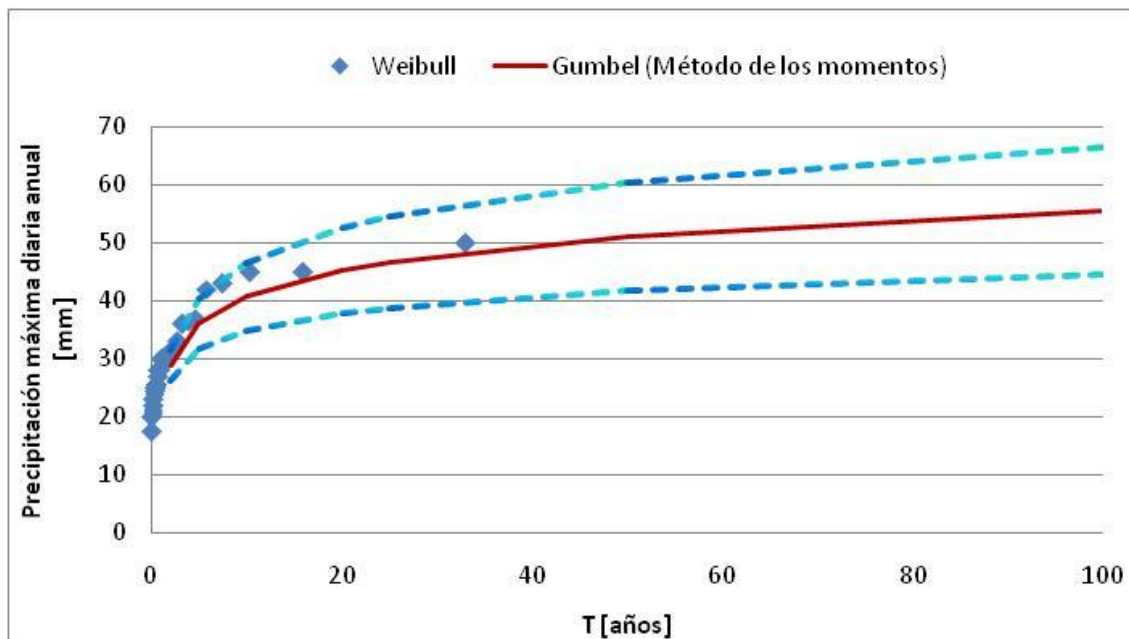


Figura 82: Distribución de probabilidades de la precipitación máxima diaria anual, Iruya El Molino.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y la precipitación máxima diaria anual se puede ver que la FDP Teórica Gumbel por el método de los momentos arroja valores de precipitación menores a los de la FDP empírica de Weibull para tiempos de retorno mayores a los 5 años. Esto puede deberse a que el valor máximo de la serie (50.0 mm) es muy probable que corresponda a una recurrencia del orden de 50 años; y por razones de falta de muestreo (extensión de la serie) al aplicar la fórmula de Weibull aparece erróneamente asociado a 33 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo

hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 16%, para 50 años es del 15%, para 25 años es del 14%, para 20 años es del 14%, para 10 años es del 12%, para 5 años es del 11% y para 2 años es de 8%.

A continuación, en la Tabla 36, se presentan los valores de precipitación máxima diaria anual obtenidos a partir de la función Gumbel por el método con sus respectivos intervalos de confianza:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[mm]		
2	26.3	28.9	31.4
5	31.7	36.0	40.3
10	34.9	40.8	46.6
20	37.9	45.3	52.6
25	38.9	46.7	54.6
50	41.8	51.1	60.5
100	44.6	55.5	66.5

Tabla 36: Valores de precipitación máxima diaria anual, Iruya El Molino.

## 2. Precipitación Total Anual.

La serie hidrológica de precipitaciones totales anuales analizada es la que se muestra en la Figura 83:

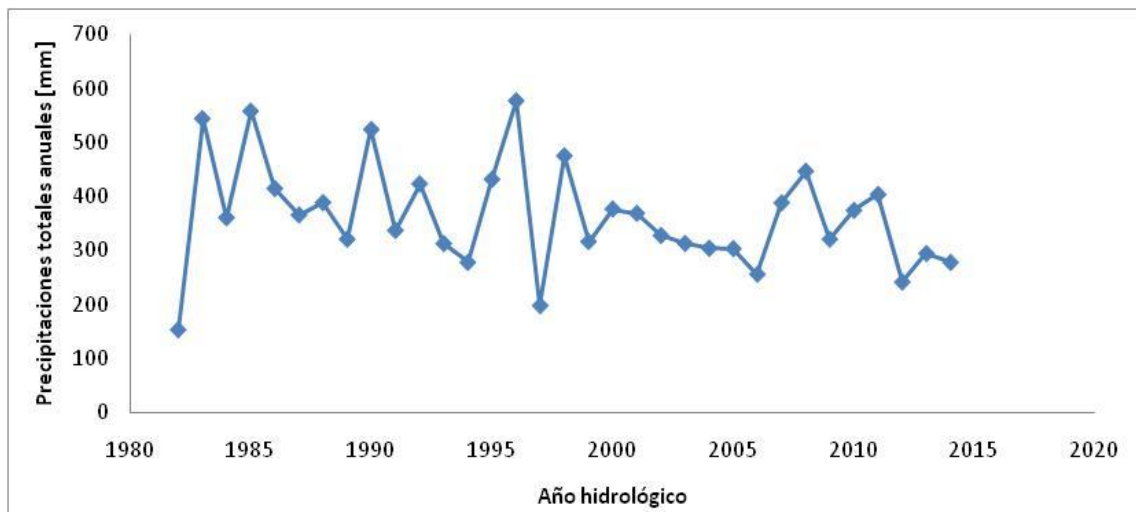


Figura 83: Serie de precipitaciones totales anuales, Iruya El Molino.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 153.0 mm en el año 1982 y un máximo de 577.6 mm en el año 1996. El valor promedio de la serie es de 363.1 mm y posee un desvío estándar de 99.0 mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie se encontró un dato atípico correspondiente a 153.0 mm en el año 1982. Este dato atípico puede deberse a que ese año hidrológico fue demasiado seco o bien que hay faltante de datos pluviométricos registrados en ese periodo. Este último dato fue eliminado de la serie y se aplicó nuevamente el test el cual no arrojó ningún otro dato atípico. En base a esto último, la serie que finalmente fue analizada contaba 32 datos, con un mínimo de 197.9 mm en el año 1997 y un máximo de 577.6 mm en el año 1996. El valor promedio de la serie es de 369.7 mm y posee un desvío estándar de 93.0 mm. Por otro lado, se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar, se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Gumbel por el método de los momentos. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 84:

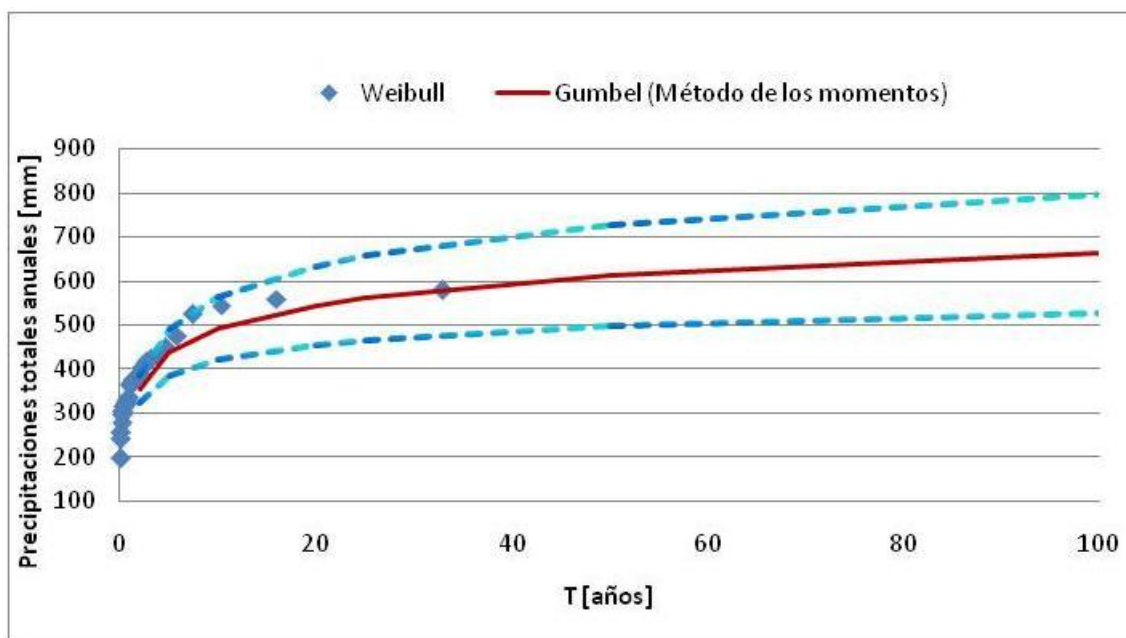


Figura 84: Distribución de probabilidades de las precipitaciones totales anuales, Iruya El Molino.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y la precipitación total anual se puede ver que la FDP Teórica Gumbel por el método de los momentos arroja valores de precipitación menores a los de la FDP empírica de Weibull para tiempos de retorno de entre 5 y 20 años. Esto puede deberse a que es muy probable que los valores de precipitación que se encuentran en ese intervalo

correspondan a periodos de retorno mayores (pero al aplicar la fórmula de Weibull aparecen erróneamente asociados a tiempos de retorno menores). Por otro lado, se observa que el valor máximo observado (577.6 mm) tiene una recurrencia del orden de 33 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 17%, para 50 años es del 16%, para 25 años es del 15%, para 20 años es del 14%, para 10 años es del 13%, para 5 años es del 11% y para 2 años es de 8%.

A continuación, en la Tabla 37, se presentan los valores de precipitación total anual obtenidos a partir de la función Gumbel por el método de los momentos con sus respectivos intervalos de confianza:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[mm]		
2	323.1	354.4	385.8
5	383.9	436.6	489.4
10	419.8	491.1	562.4
20	453.2	543.3	633.3
25	463.7	559.8	656.0
50	495.8	610.9	725.9
100	527.5	661.5	795.5

Tabla 37: Valores de precipitaciones totales anuales, Iruya El Molino.

### 3. Días lluviosos al año.

La serie hidrológica de los días lluviosos al año analizada es la que se muestra en la Figura 85.

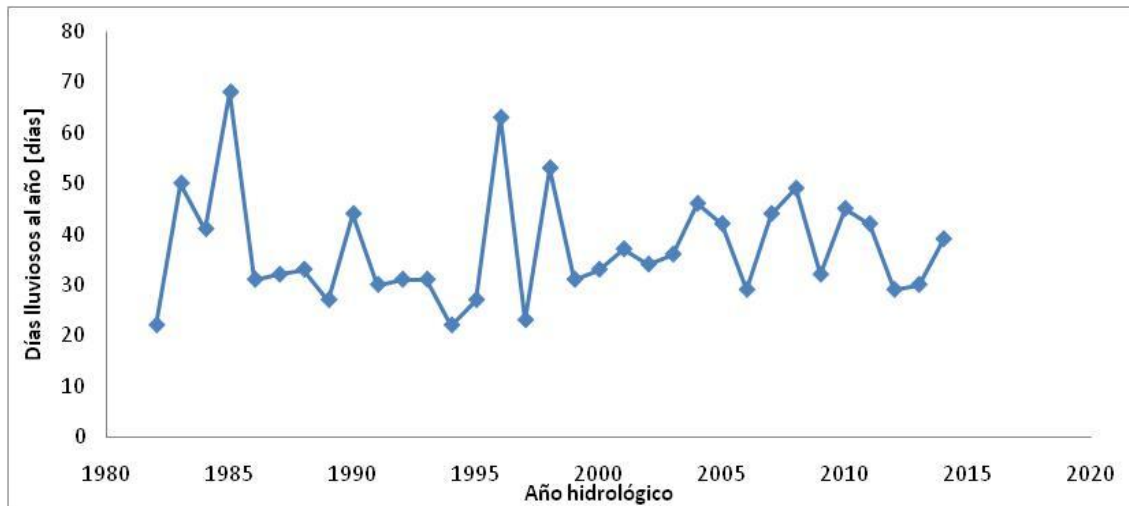


Figura 85: Serie de días lluviosos al año, Iruya El Molino.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 22 días en los años 1982 y 1994; y un máximo de 68 días en el año 1985. El valor promedio de la serie es de 37 días y posee un desvío estándar de 11 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar, se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Gumbel por el método de los momentos. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 86 que se muestra a continuación.

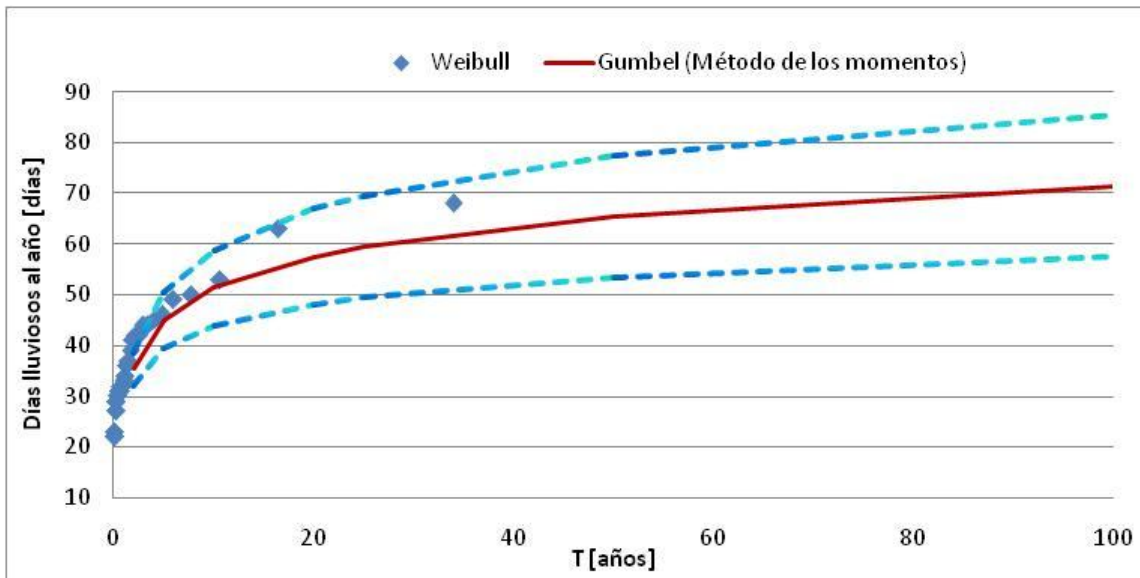


Figura 86: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al año, Iruya El Molino.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días lluviosos al año se puede ver que la FDP Teórica Gumbel por el método de los momentos ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que el valor máximo (68 días) tiene una recurrencia del orden de los 100 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 20%, para 50 años es del 18%, para 25 años es del 17%, para 20 años es del 16%, para 10 años es del 14%, para 5 años es del 12% y para 2 años es de 9%.

A continuación, en la Tabla 38, se presentan los valores de días obtenidos a partir de la función Gumbel por el método de los momentos con sus respectivos intervalos de confianza:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[días]		
2	32	35	39
5	40	45	51
10	44	51	59
20	48	58	67
25	49	60	70
50	54	65	77
100	57	71	85

Tabla 38: Valores de días lluviosos al año, Iruya El Molino.

#### 4. Días lluviosos al mes.

La serie hidrológica de días lluviosos al mes analizada es la que se muestra en la Figura 87:

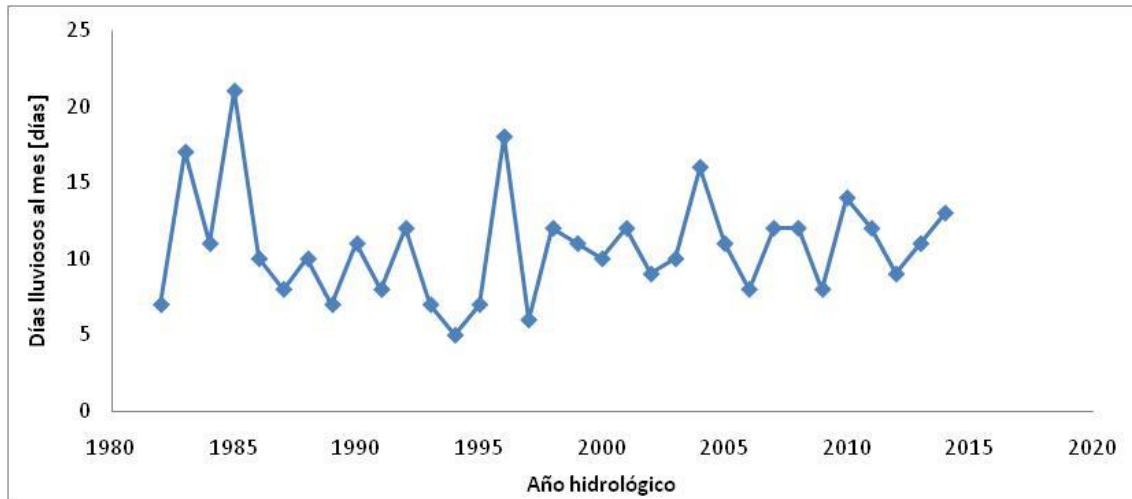


Figura 87: Serie de días lluviosos al mes, Iruya El Molino.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 5 días en el año 1994 y un máximo de 21 días en el año 1985. El valor promedio de la serie es de 11 días y posee un desvío estándar de 4 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no encontraron datos atípicos, se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Gumbel por el método de los momentos. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 88 que se muestra a continuación.



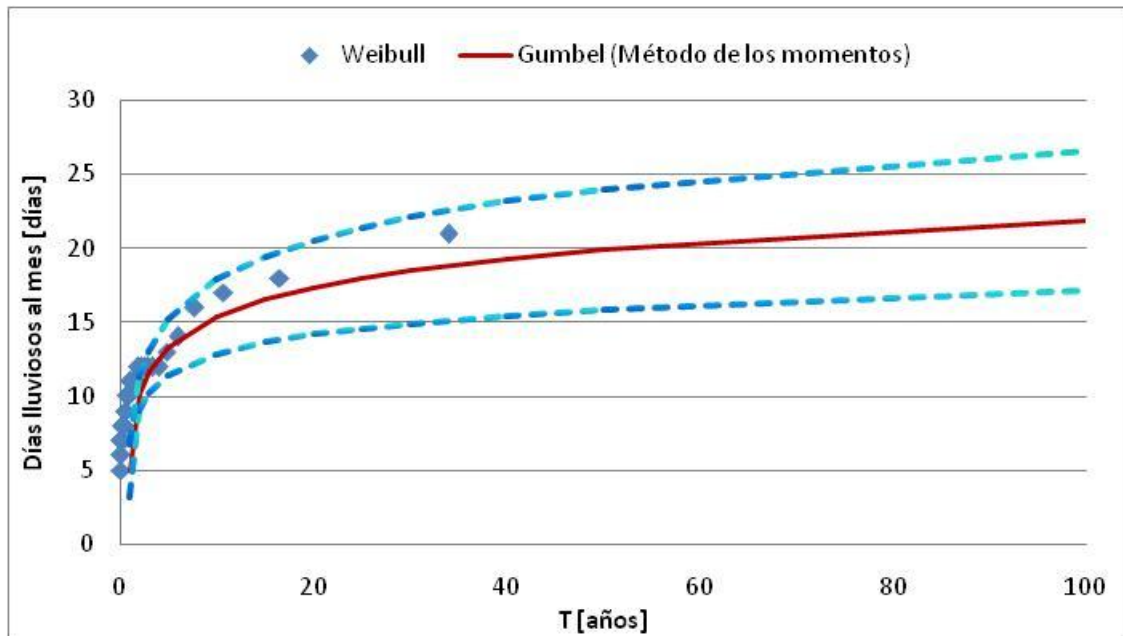


Figura 88: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al mes, Iruya El Molino.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días lluviosos al mes se puede ver que la FDP Teórica Gumbel arroja valores menores a los de la FDP empírica de Weibull para tiempos de retorno mayores a los 15 años. Esto puede deberse a que el valor máximo de la serie (21 días) es muy probable que corresponda a una recurrencia mayor a 100; y por razones de falta de muestreo (extensión de la serie) al aplicar la fórmula de Weibull aparece erróneamente asociado a 34 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 18%, para 50 años es del 17%, para 25 años es del 16%, para 20 años es del 16%, para 10 años es del 14%, para 5 años es del 12% y para 2 años es de 10%.

A continuación, en la Tabla 39, se presentan los valores de días obtenidos a partir de la función Gumbel por el método de los momentos con sus respectivos intervalos de confianza.

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[días]		
2	9	10	11
5	11	13	15
10	13	15	18
20	14	17	21
25	15	18	21
50	16	20	24
100	17	22	27

Tabla 39: Valores de días lluviosos al mes, Iruya El Molino.

### 5. Días consecutivos con lluvia

La serie hidrológica de días consecutivos con lluvia es la que se muestra en la Figura 89:

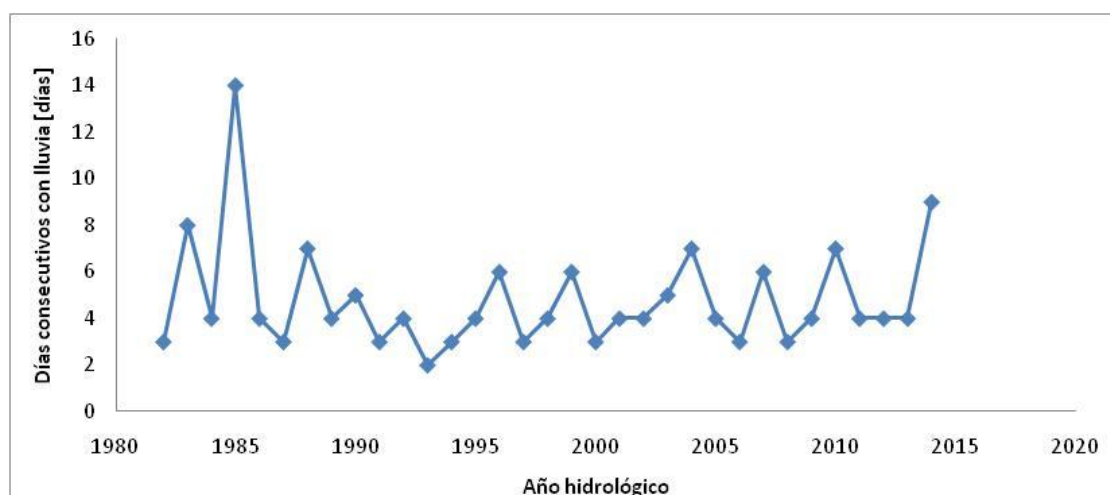


Figura 89: Serie de días consecutivos con lluvia, Iruya El Molino.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 2 días en el año 1993; y un máximo de 14 días en el año 1985. El valor promedio de la serie es de 5 días y posee un desvío estándar de 2 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie se encontró un dato atípico correspondiente a 14 días en el año 1985. Este dato atípico puede deberse a que ese año hidrológico fue demasiado húmedo. Este último dato fue eliminado de la serie y se aplicó nuevamente el test el cual no arrojó ningún otro dato atípico. En base a esto último, la serie que finalmente fue analizada contaba 32 datos, con un mínimo de 2 días en el año 1993, y un máximo de 9 días en el año 2014. El valor promedio de la serie es de 4 días y posee un desvío estándar de 2 días. Por otro lado se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, pruebas se procedió al análisis de estadística inferencial clásico,

que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Log-Normal. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 90:

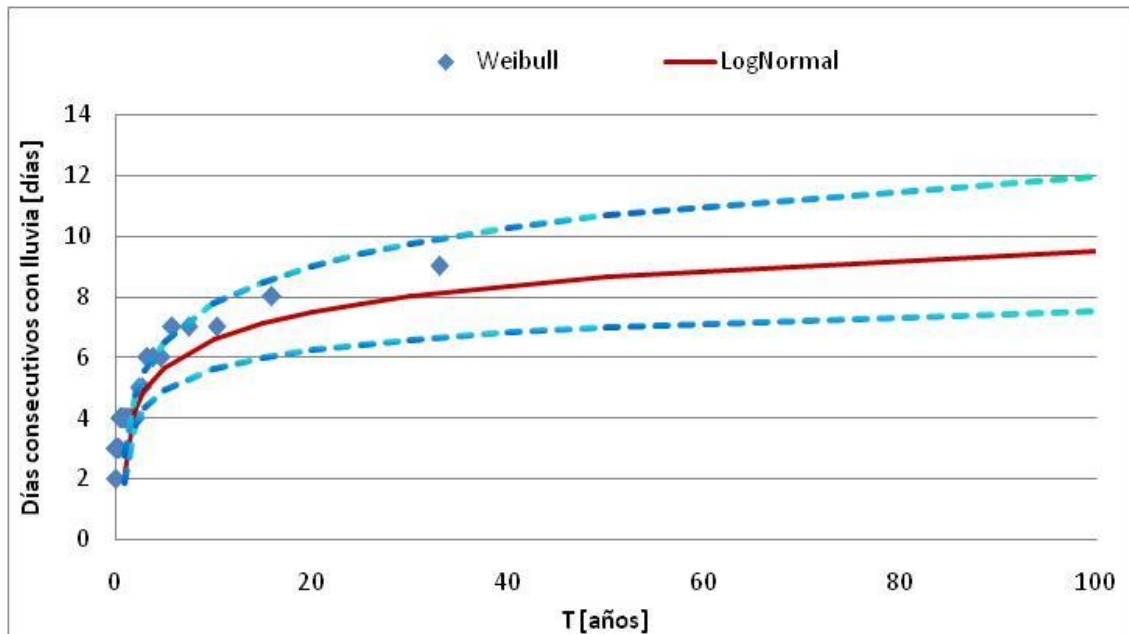


Figura 90: Distribución de probabilidades de los días consecutivos con lluvia, Iruya El Molino.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días consecutivos con lluvia se puede ver que la FDP Teórica Log-Normal arroja valores menores a los de la FDP empírica de Weibull para tiempos de retorno mayores a los 10 años. Esto puede deberse a que el valor máximo de la serie (9 días) es muy probable que corresponda a una recurrencia mayor a 100 años; y por razones de falta de muestreo (extensión de la serie) al aplicar la fórmula de Weibull aparece erróneamente asociado a 34 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 21%, para 50 años es del 19%, para 25 años es del 17%, para 20 años es del 17%, para 10 años es del 15%, para 5 años es del 13% y para 2 años es de 11%.

A continuación, en la Tabla 40, se presentan los valores de días obtenidos a partir de la función Log-Normal con sus respectivos intervalos de confianza:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[días]		
2	4	4	5
5	5	6	7
10	6	7	8
20	6	7	9
25	6	8	9
50	7	9	11
100	8	9	12

Tabla 40: Serie de valores de los días consecutivos con lluvia, Iruya El Molino.

### Estación: 9 – Iruya - Salta

Esta estación cuenta con registros históricos de precipitación diaria desde el año 1982 hasta el año 2014 sin datos faltantes (33 años de datos).

A continuación se presentan cada uno de los análisis realizados sobre las diferentes variables de interés:

#### 1. Precipitación Máxima Diaria Anual.

La serie hidrológica de precipitaciones máximas diarias anuales analizada es la que se muestra en la Figura 91:

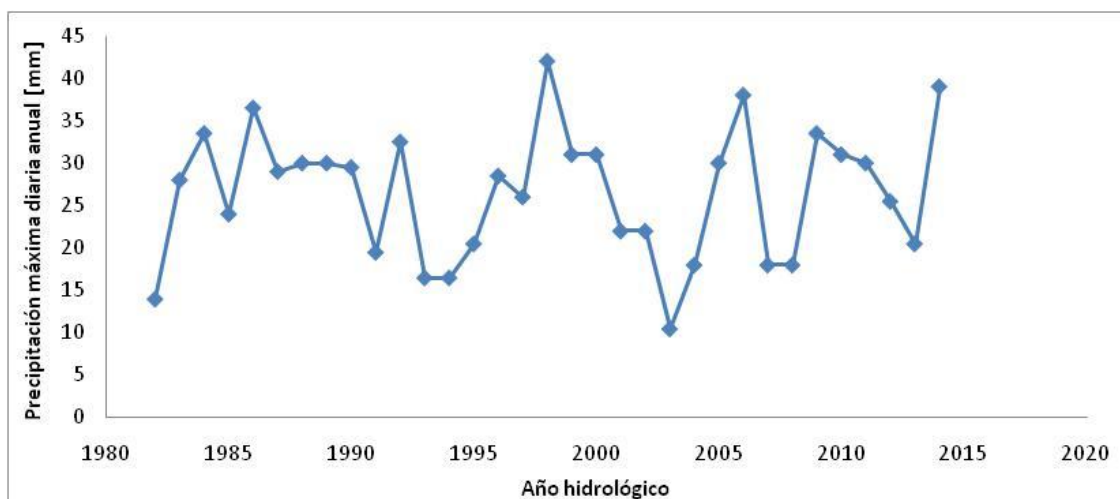


Figura 91: Serie de precipitaciones máximas diarias anuales, Iruya.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 10.5 mm en el año 2003 y un máximo de 42.0 mm en el año 1998. El valor promedio de la serie es de 26.5 mm y posee un desvío estándar de 7.7 mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie se encontró un dato atípico correspondiente a 10.5 mm en el año 2003. Este dato atípico puede deberse a que ese año hidrológico fue demasiado seco o bien que hay faltante de datos pluviométricos registrados en ese periodo. Este último dato fue eliminado de la serie y se aplicó nuevamente el test el cual no arrojó ningún otro dato atípico. En base a esto último, la serie que finalmente fue analizada

contaba 32 datos, con un mínimo de 14.0 mm en el año 1982 y un máximo de 42.0 mm en el año 1998. El valor promedio de la serie es de 27.0 mm y posee un desvío estándar de 7.3 mm. Por otro lado se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es GEV por el método de los momentos. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 92:

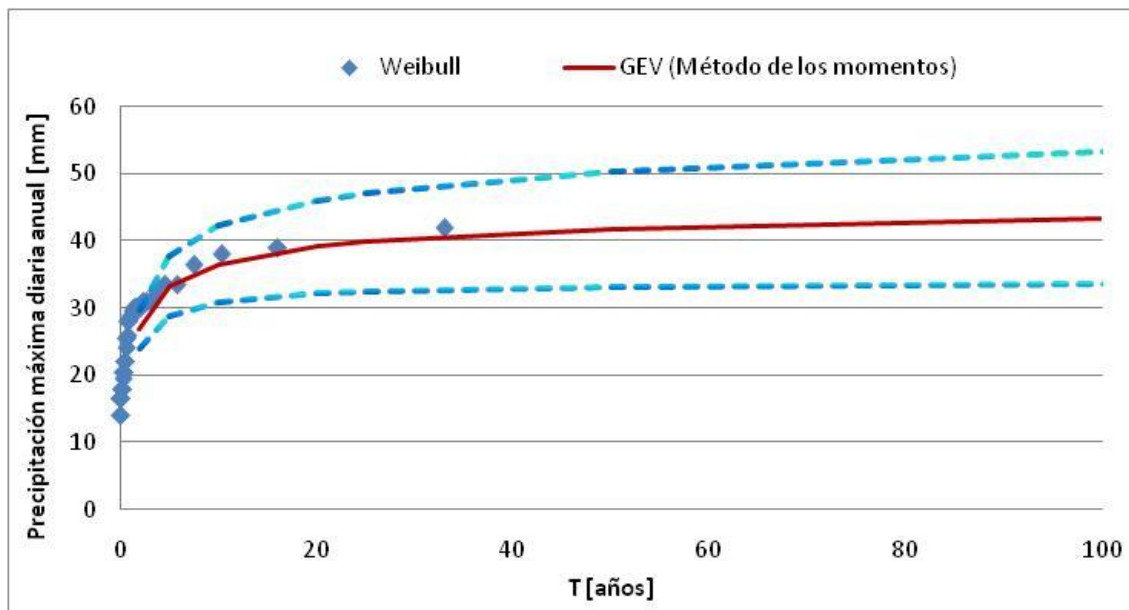


Figura 92: Distribución de probabilidades de la precipitación máxima diaria anual, Iruya.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y la precipitación máxima diaria anual se puede ver que la FDP Teórica GEV por el método de los momentos ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que la lámina máxima (42.0 mm) tiene una recurrencia del orden de los 50 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa

diferencia por el valor medio) es del 19%, para 50 años es del 17%, para 25 años es del 15%, para 20 años es del 15%, para 10 años es del 13%, para 5 años es del 12% y para 2 años es de 10%.

A continuación, en la Tabla 41, se presentan los valores de precipitación máxima diaria anual obtenidos a partir de la función GEV por el método de los momentos con sus respectivos intervalos de confianza:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[mm]		
2	24.0	26.9	29.8
5	28.9	33.3	37.7
10	30.9	36.6	42.2
20	32.2	39.1	46.0
25	32.5	39.9	47.2
50	33.2	41.8	50.4
100	33.6	43.4	53.3

Tabla 41: Valores de precipitación máxima diaria anual, Iruya.

## 2. Precipitación Total Anual.

La serie hidrológica de precipitaciones totales anuales analizada es la que se muestra en la Figura 93:

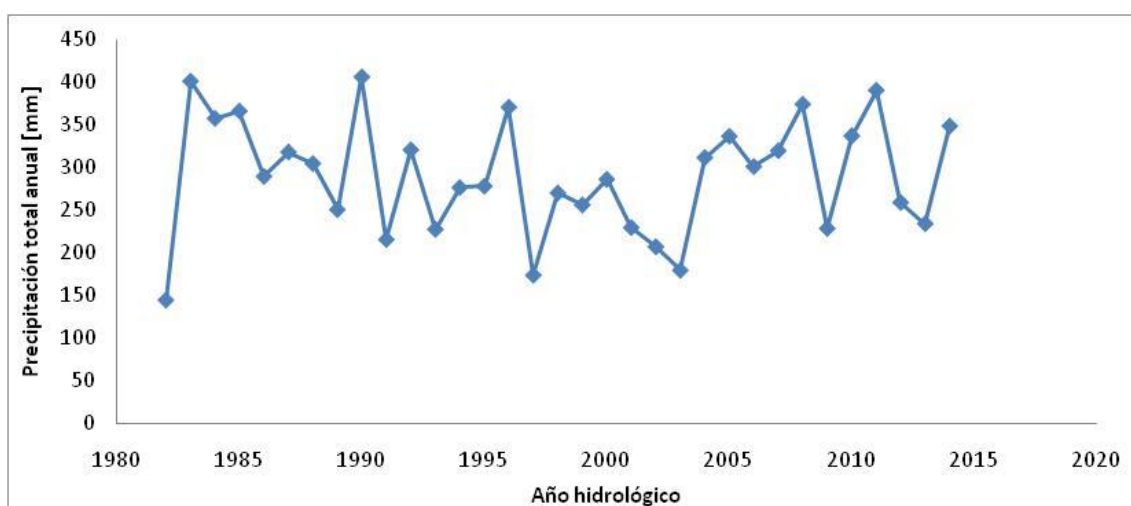


Figura 93: Serie de precipitaciones totales anuales, Iruya.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 144.0 mm en el año 1982 y un máximo de 405.5 mm en el año 1990. El valor promedio de la serie es de 289.4 mm y posee un desvío estándar de 68.3 mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie se encontró un dato atípico correspondiente a 144.0 mm en el año 1982. Este dato atípico puede deberse a que ese año hidrológico fue demasiado seco o bien que hay faltante de datos pluviométricos registrados en ese periodo. Este último dato fue eliminado de la serie y se aplicó nuevamente el test el cual no arrojó ningún otro dato atípico. En base a esto último, la serie que finalmente fue analizada

contaba 32 datos, con un mínimo de 173.2 mm en el año 1997 y un máximo de 405.5 mm en el año 1990. El valor promedio de la serie es de 293.9 mm y posee un desvío estándar de 64.1 mm. Por otro lado, se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar, se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es GEV por el método de los momentos. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 94:

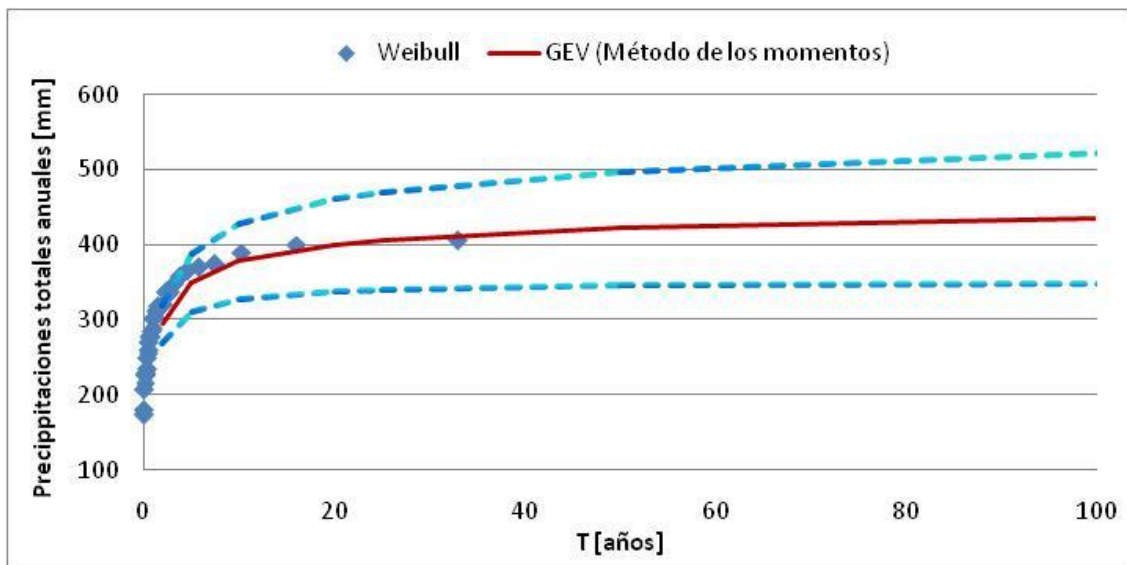


Figura 94: Distribución de probabilidades de las precipitaciones totales anuales, Iruya.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y la precipitación máxima diaria anual se puede ver que la FDP Teórica GEV por el método de los momentos ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que la lámina máxima (405.5 mm) tiene una recurrencia del orden de los 25 a 30 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 17%, para 50 años es del 15%, para 25

años es del 14%, para 20 años es del 13%, para 10 años es del 12%, para 5 años es del 10% y para 2 años es de 8%.

A continuación, en la Tabla 42, se presentan los valores de precipitación total anual obtenidos a partir de la función GEV por el método de los momentos con sus respectivos intervalos de confianza:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[mm]		
2	268.8	294.1	319.4
5	311.1	350.0	388.8
10	328.1	378.0	427.8
20	338.6	399.6	460.6
25	341.0	405.6	470.2
50	345.8	421.6	497.5
100	347.4	434.6	521.8

Tabla 42: Valores de precipitaciones totales anuales, Iruya.

### 3. Días lluviosos al año.

La serie hidrológica de días lluviosos al año analizada es la que se muestra en la Figura 95:

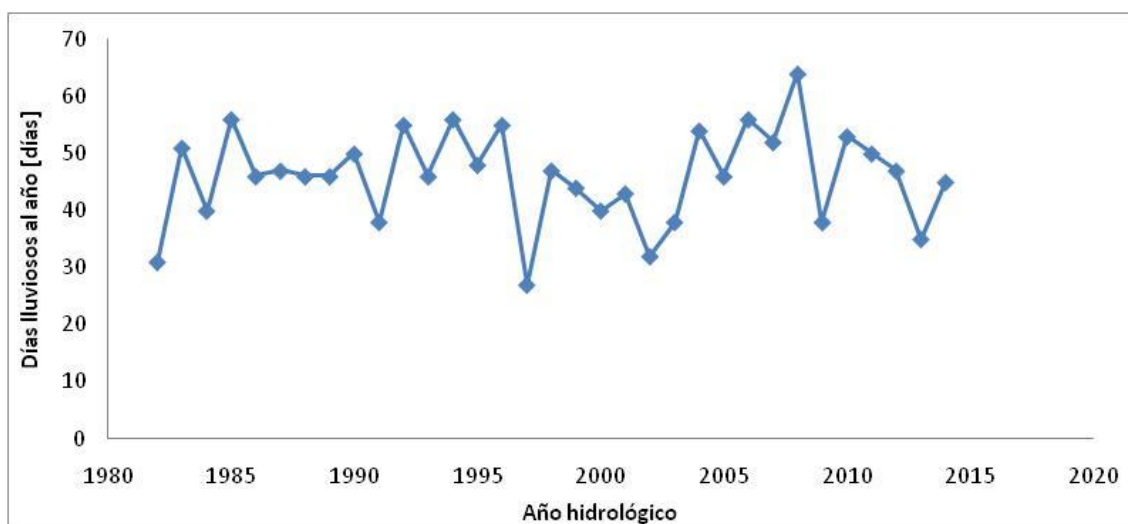


Figura 95: Serie de días lluviosos al año, Iruya.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 27 días en el año 1997 y un máximo de 64 días en el año 2008. El valor promedio de la serie es de 46 días y posee un desvío estándar de 8 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie se encontró un dato atípico correspondiente a 27 días en el año 1997. Este dato atípico puede deberse a que ese año hidrológico fue demasiado seco o bien que hay faltante de datos pluviométricos registrados en ese periodo. Este último dato fue eliminado de la serie y se aplicó nuevamente el test el cual no arrojó ningún otro dato atípico. En base a esto último, la serie que finalmente fue analizada



contaba 32 datos, con un mínimo de 31 días en el año 1982 y un máximo de 64 días en el año 2008. El valor promedio de la serie es de 47 días y posee un desvío estándar de 8 días. Por otro lado, se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar, se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es GEV por el método de máxima verosimilitud. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 96:

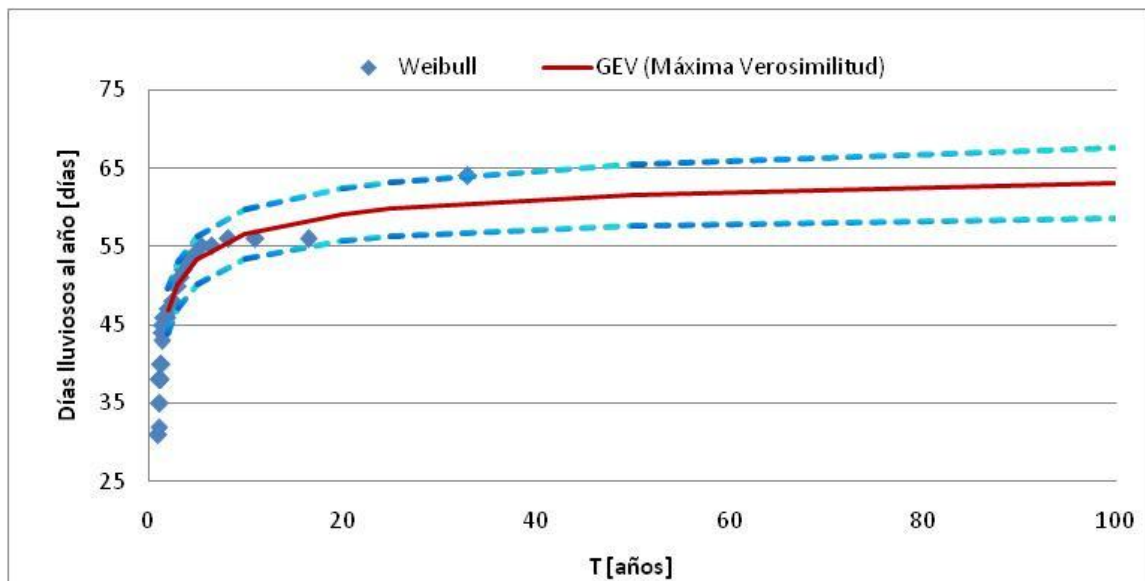


Figura 96: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al año, Iruya.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días lluviosos al año se puede ver que la FDP Teórica GEV por el método de máxima verosimilitud ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que el valor máximo (64 días) tiene una recurrencia del orden de los 100 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 7%, para 50 años es del 6%, para 25 años

es del 6%, para 20 años es del 5%, para 10 años es del 5%, para 5 años es del 5% y para 2 años es de 6%.

A continuación, en la Tabla 43, se presentan los valores de días lluviosos al año obtenidos a partir de la función GEV por el método de máxima verosimilitud con sus respectivos intervalos de confianza:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[días]		
2	44	47	50
5	50	53	56
10	53	57	60
20	56	59	63
25	56	60	63
50	58	62	66
100	59	63	68

Tabla 43: Valores de días lluviosos al año, Iruya.

#### 4. Días lluviosos al mes.

La serie hidrológica de días lluviosos al mes analizada es la que se muestra en la Figura 97:

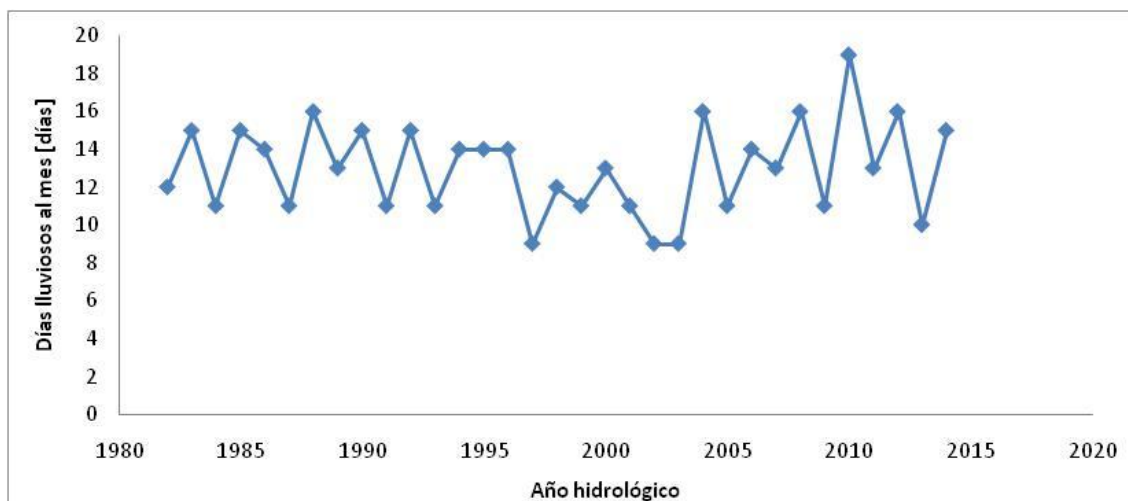


Figura 97: Serie de días lluviosos al mes, Iruya.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 9 días en los años 1997, 2002, 2003; y un máximo de 19 días en el año 2010. El valor promedio de la serie es de 13 días y posee un desvío estándar de 2 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no encontraron datos atípicos, se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que

consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Log-Normal. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 98:

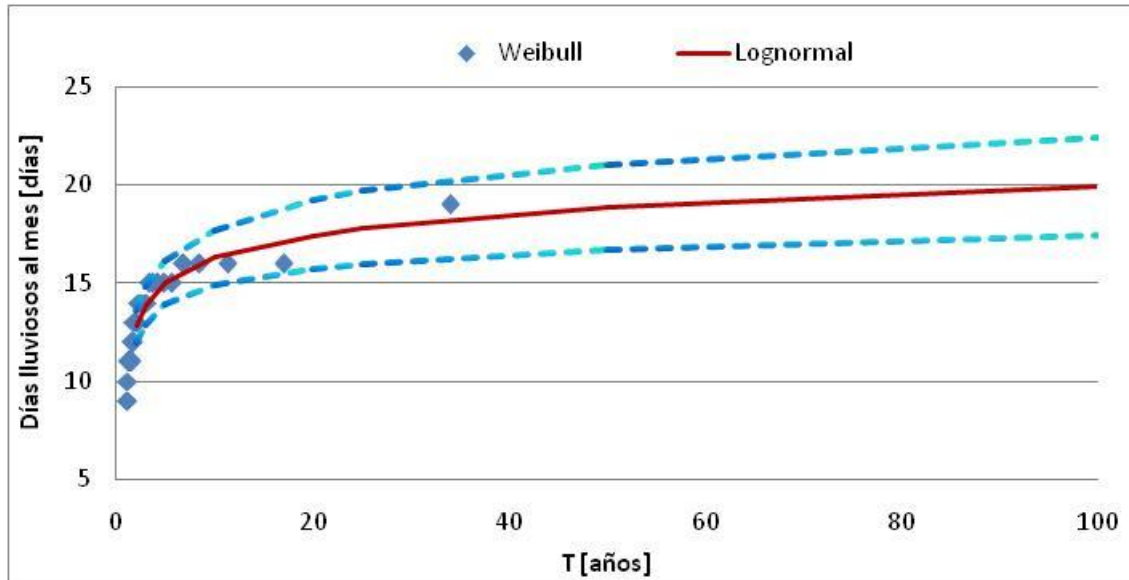


Figura 98: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al mes, Iruya.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días lluviosos al mes se puede ver que la FDP Teórica Log-Normal ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que el valor máximo (19 días) tiene una recurrencia del orden de los 50 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 11%, para 50 años es del 10%, para 25 años es del 10%, para 20 años es del 9%, para 10 años es del 8%, para 5 años es del 7% y para 2 años es de 6%.

A continuación, en la Tabla 44, se presentan los valores de días lluviosos al mes obtenidos a partir de la función Log-Normal con sus respectivos intervalos de confianza:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[días]		
2	12	13	14
5	14	15	16
10	15	16	18
20	16	17	19
25	16	18	20
50	17	19	21
100	17	20	22

Tabla 44: Valores de días lluviosos al mes, Iruya.

### 5. Días consecutivos con lluvia

La serie hidrológica de días consecutivos con lluvia es la que se muestra en la Figura 99:

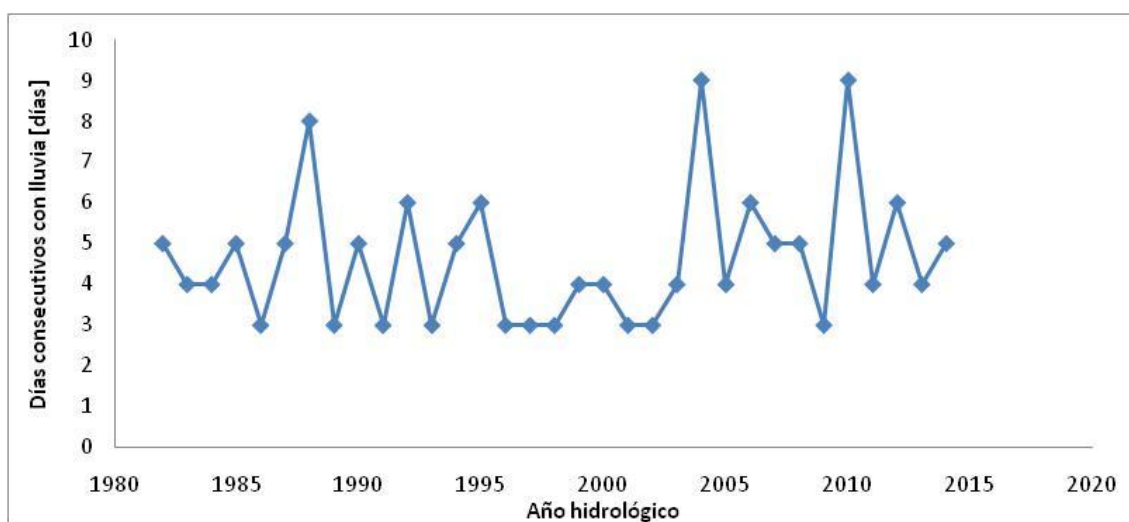


Figura 99: Valores de días consecutivos con lluvia, Iruya.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 3 días los años 1986, 1989, 1991, 1993, 1996, 1997, 1998, 2001, 2002, 2009; y un máximo de 9 días en los años 2004, 2010. El valor promedio de la serie es de 5 días y posee un desvío estándar de 2 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontraron datos atípicos y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Log-Normal.

Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 100:

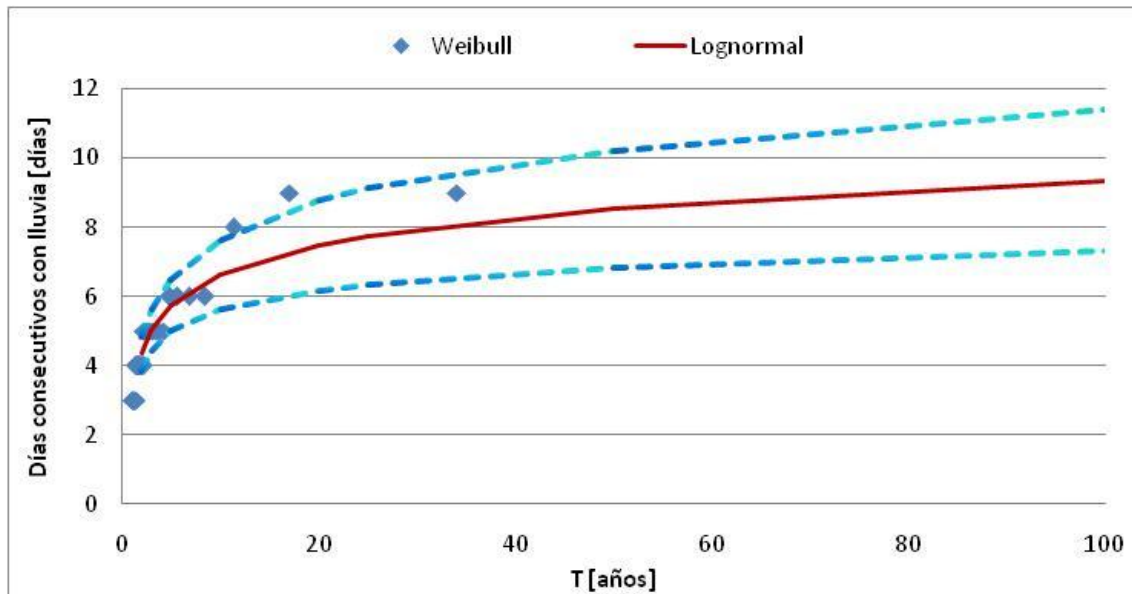


Figura 100: Distribución de probabilidades de los días consecutivos con lluvia, Iruya.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días consecutivos con lluvia se puede ver que como se está analizando una variable discreta (y no continua, ya que los días consecutivos con lluvia son un número entero), al ajustar una FDP Teórica a la serie el resultado de las pruebas de bondad de ajuste es bajo.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 18%, para 50 años es del 16%, para 25 años es del 15%, para 20 años es del 15%, para 10 años es del 13%, para 5 años es del 12% y para 2 años es de 10%.

A continuación, en la Tabla 45, se presentan los valores de días consecutivos con lluvia obtenidos a partir de la función Log-Normal con sus respectivos intervalos de confianza.

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[días]		
2	4	4	5
5	5	6	6
10	6	7	8
20	6	7	9
25	6	8	9
50	7	9	10
100	7	9	11

Tabla 45: Valores de días consecutivos con lluvia, Iruya.

### Estación: 10 – Iruya El Nazareno - Salta

Esta estación cuenta con registros históricos de precipitación diaria desde el año 1983 hasta el año 2014 con datos faltantes en los años 1986 y 1987 (30 años de datos).

A continuación se presentan cada uno de los análisis realizados sobre las diferentes variables de interés:

#### 1. Precipitación Máxima Diaria Anual.

La serie hidrológica de precipitaciones máximas diarias anuales analizada es la que se muestra en la Figura 101:

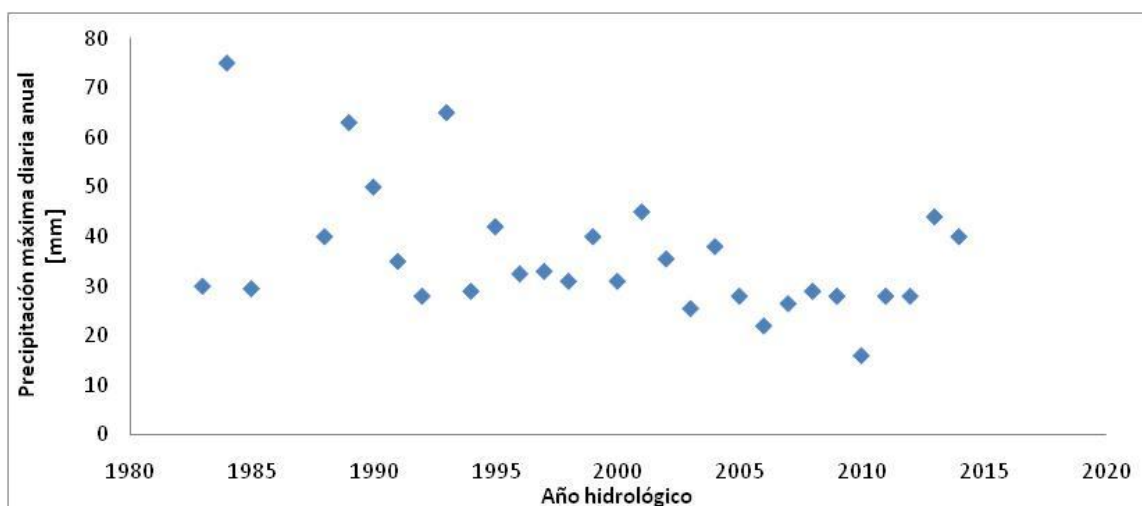


Figura 101: Serie de precipitaciones máximas diarias anuales, Iruya El Nazareno.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 16.0 mm en el año 2010 y un máximo de 75.0 mm en el año 1984. El valor promedio de la serie es de 36.1 mm y posee un desvío estándar de 12.7mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Gumbel por el método de máxima verosimilitud. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 102:

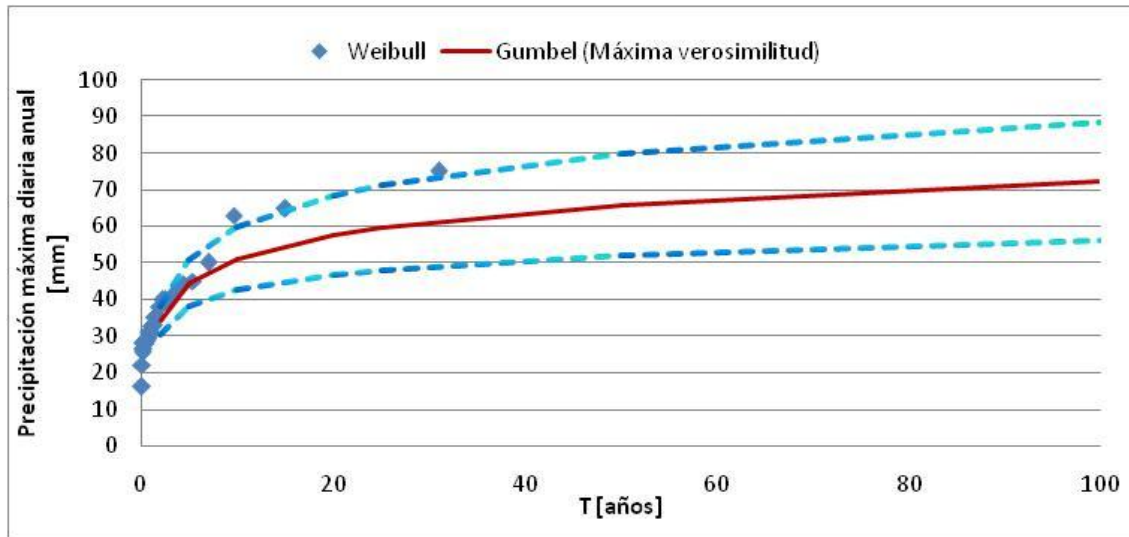


Figura 102: Distribución de probabilidades de la precipitación máxima diaria anual, Iruya El Nazareno.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y precipitación máxima diaria anual se puede ver que la FDP Teórica Gumbel por el método de máxima verosimilitud arroja valores de precipitación menores a los de la FDP empírica de Weibull para tiempos de retorno mayores a los 15 años. Esto puede deberse a que el valor máximo de la serie (75.0 mm) es muy probable que corresponda a una recurrencia mayor a 100 años; y por razones de falta de muestreo (extensión de la serie) al aplicar la fórmula de Weibull aparece erróneamente asociado a 31 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 22%, para 50 años es del 21%, para 25 años es del 20%, para 20 años es del 19%, para 10 años es del 17%, para 5 años es del 14% y para 2 años es de 11%.

A continuación, en la Tabla 46, se presentan los valores de precipitación máxima diaria anual obtenidos a partir de la función Gumbel por el método de máxima verosimilitud con sus respectivos intervalos de confianza en forma de tabla:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[mm]		
2	30.3	34.1	37.9
5	37.9	44.3	50.7
10	42.4	51.1	59.7
20	46.7	57.6	68.5
25	48.0	59.6	71.3
50	52.0	66.0	79.9
100	56.0	72.2	88.5

Tabla 46: Valores de precipitación máxima diaria anual, Iruya El Nazareno.

## 2. Precipitación Total Anual.

La serie hidrológica de precipitaciones totales anuales analizada es la que se muestra en la Figura 103:

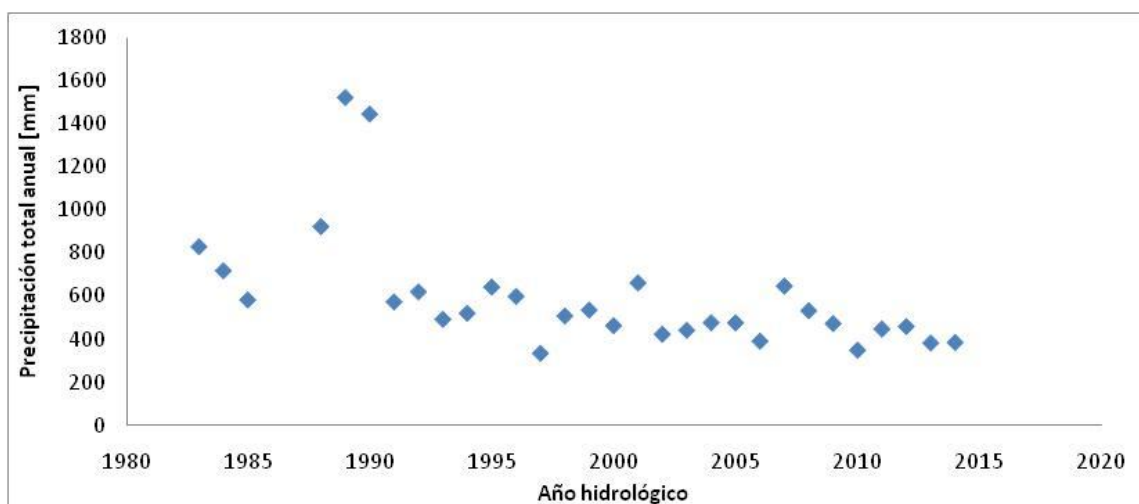


Figura 103: Serie de precipitaciones totales anuales, Iruya El Nazareno.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 332.2 mm en el año 1997 y un máximo de 1524.0 mm en el año 1989. El valor promedio de la serie es de 593.5 mm y posee un desvío estándar de 277.4 mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie, se encontraron datos atípicos correspondientes a 1524.0 mm en el año 1989 y 1447.0 mm en el año 1990. Estos datos atípicos pueden deberse a que esos años hidrológicos fueron demasiados húmedos. Fueron eliminados de la serie y se aplicó nuevamente el test el cual no arrojó ningún otro dato atípico. En base a esto último, la serie que finalmente fue analizada contaba 28 datos, con un mínimo de 332.2 mm en el año 1997 y un máximo de 922.5 mm en el año 1988. El valor promedio de la serie es de 529.7 mm y posee un desvío estándar de



139.3 mm. Por otro lado, se verificó las hipótesis de independencia, pero no se verificaron las hipótesis de estacionariedad y homogeneidad.

Luego de que la serie rechazó el test de Mann-Kendall, se sometió a la misma a la prueba de Mann-Kendall modificada y a la técnica de pre-blanqueo de manera tal de verificar si la no estacionariedad arrojada por Mann-Kendall era correcta. Tanto la prueba de Mann-Kendall modificada como la técnica de pre-blanqueo indicaron que existe una tendencia en la serie analizada, por lo tanto se procedió a realizar el análisis de serie no estacionaria mediante la utilización del Software NEVA.

En la Figura 104 se muestra la variación de los valores medios de las diferentes recurrencias en el tiempo al realizar el análisis no estacionario de la serie:

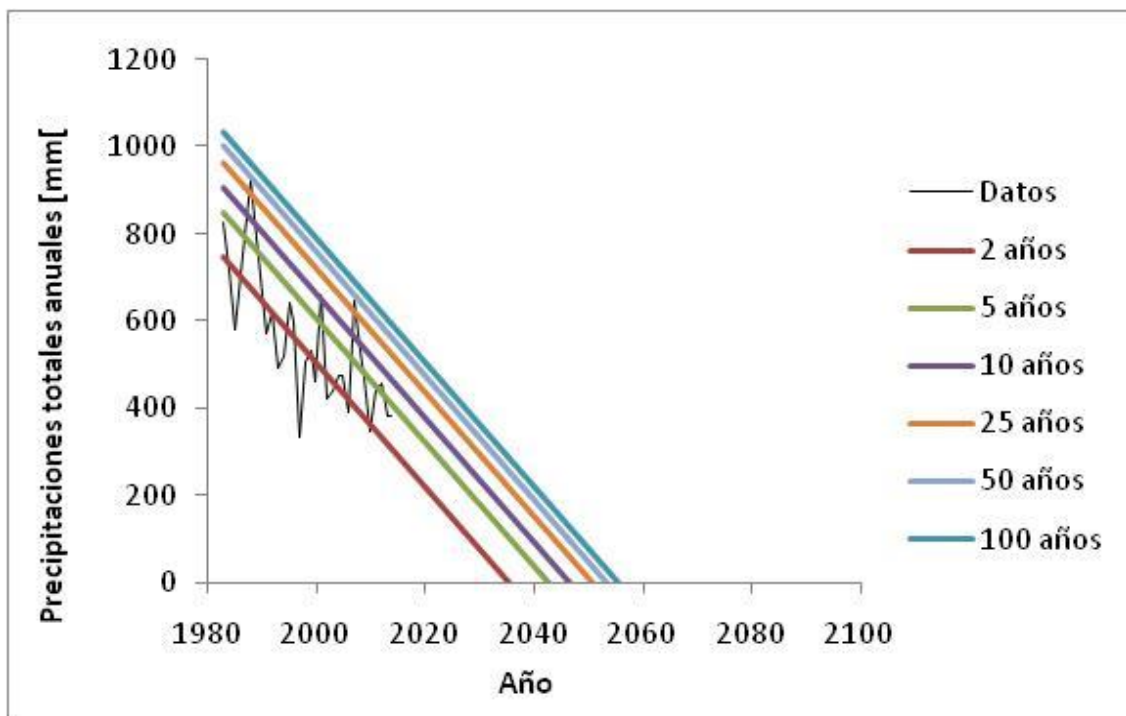


Figura 104: Valores de probabilidad para series no estacionarias de las precipitaciones totales anuales, Iruya El Nazareno.

En la Figura 104 se puede ver con una línea negra como la serie de precipitaciones totales anuales se comporta a lo largo del tiempo, desde el año 1983 hasta el año 2014 (registro muestreado). Además se ve cómo se va modificando el valor medio del período de retorno a medida que pasa el tiempo. Por ejemplo, un valor de 800.0 mm anuales tenía un período de retorno de 5 años en el año 1985, mientras que en el año 2000 el período de retorno de este valor subió a 100 años.

También se observa que debido a la tendencia de gran magnitud existente en esta serie aparecen inconsistencias en el análisis de frecuencia luego del año 2030; ya que a partir de ese año aparecerían valores negativos de precipitaciones totales anuales relacionados a los tiempos de retorno.

A continuación, en la Figura 105 se muestran para 2 horizontes de tiempo dado como varía la relación entre la variable y el tiempo de retorno con su respectivo intervalo de confianza:

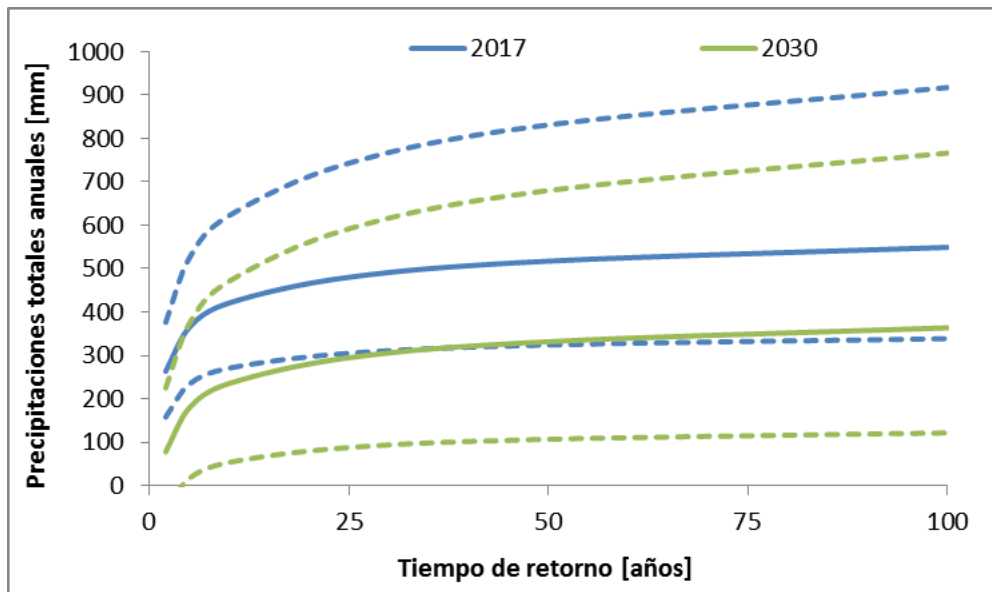


Figura 105: Comparación de periodos de retorno de la precipitación total anual, Iruya El Nazareno.

De la última figura se puede ver que en la actualidad (año 2017) para un período de retorno de 50 años se asocia un valor de precipitación anual de 400.0 mm, mientras que para el año 2030 se espera que este valor disminuya a 300.0 mm. Es decir, para un mismo período de retorno el valor de precipitación total anual disminuye.

Además se observa que a medida que avanza el horizonte de tiempo en el cual se haga el análisis, el intervalo de confianza crece significativamente: mientras que para el horizonte 2017 la magnitud del intervalo para  $T=100$  años vale 67%, en el año 2030 este valor aumenta a 111%.

### 3. Días lluviosos al año.

La serie hidrológica de días lluviosos al año analizada es la que se muestra en la Figura 106.

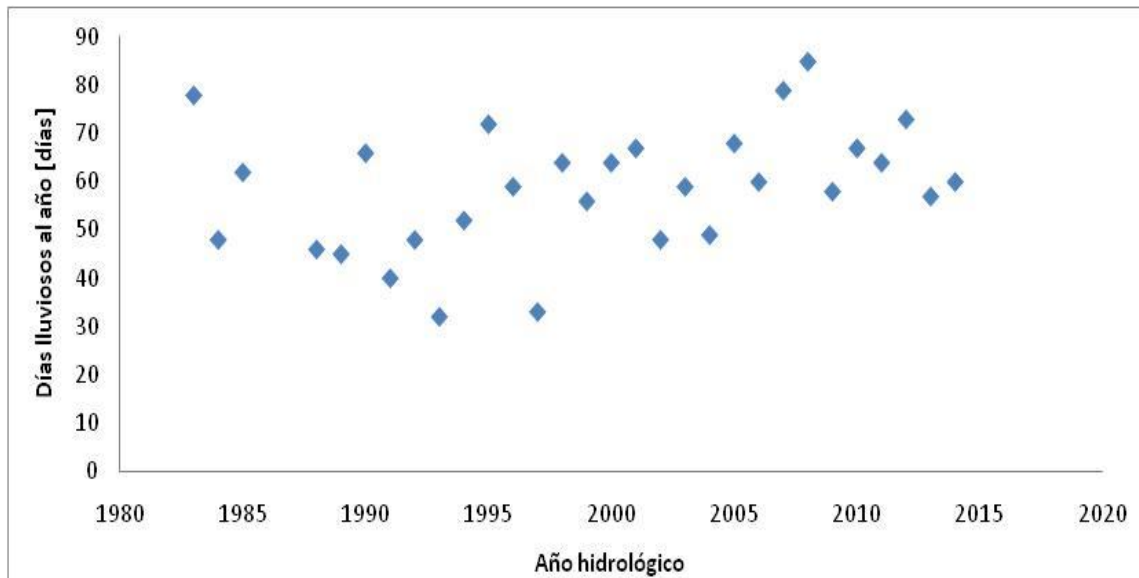


Figura 106: Serie de días lluviosos al año, Iruya El Nazareno.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 32 días en el año 1993 y un máximo de 85 días en el año 2008. El valor promedio de la serie es de 59 días y posee un desvío estándar de 13 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar, se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Log-Normal. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 107 que se muestra a continuación.

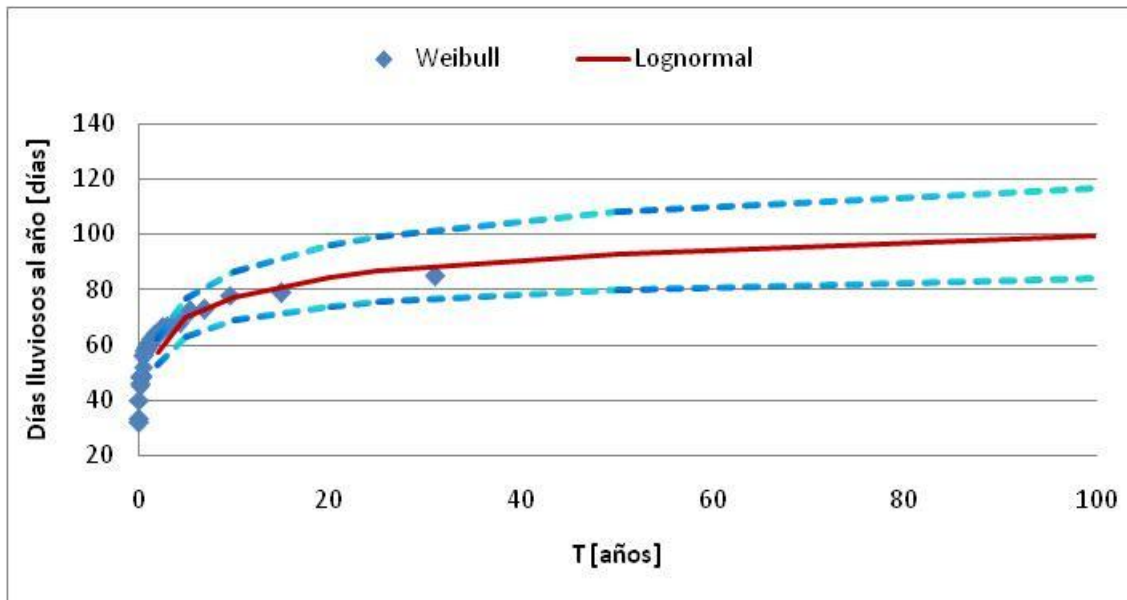


Figura 107: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al año, Iruya El Nazareno.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días lluviosos al año se puede ver que la FDP Teórica Log-Normal ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que el valor máximo (85 días) tiene una recurrencia del orden de los 30 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 15%, para 50 años es del 14%, para 25 años es del 13%, para 20 años es del 12%, para 10 años es del 11%, para 5 años es del 9% y para 2 años es de 8%.

A continuación, en la Tabla 47, se presentan los valores de días lluviosos al año obtenidos a partir de la función Log-Normal con sus respectivos intervalos de confianza.

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[días]		
2	53	57	62
5	63	70	77
10	69	77	87
20	74	84	96
25	76	87	99
50	80	93	108
100	84	99	117

Tabla 47: Valores de días lluviosos al mes, Iruya El Nazareno.

#### 4. Días Lluviosos al mes.

La serie hidrológica de días lluviosos al mes analizada es la que se muestra en la Figura 108:

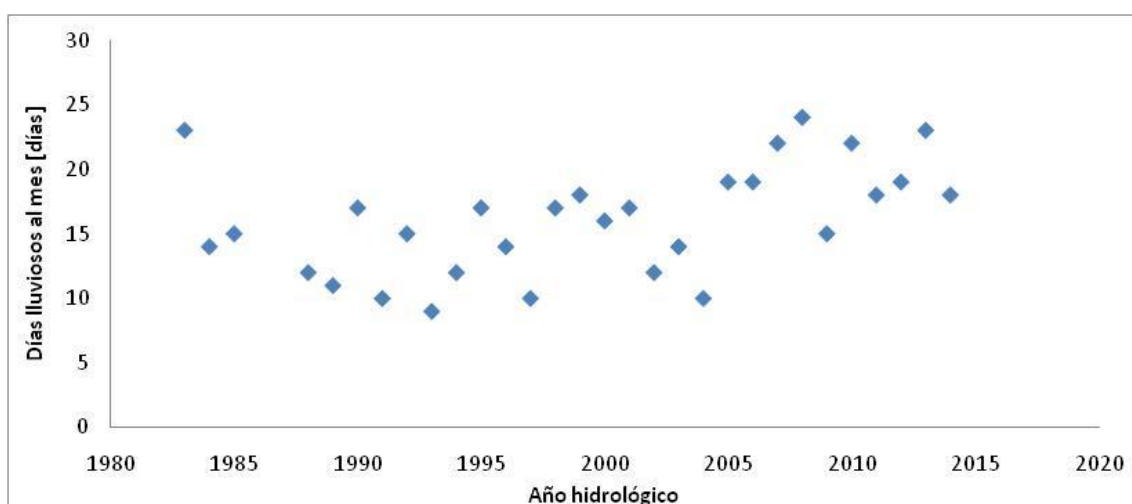


Figura 108: Serie de días lluviosos al mes, Iruya El Nazareno.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 9 días en el año 1993 y un máximo de 24 días en el año 2008. El valor promedio de la serie es de 16 días y posee un desvío estándar de 4 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y verificó la hipótesis de independencia, pero no verificaron las hipótesis de estacionariedad y homogeneidad.

Luego de que la serie rechazó el test de Mann-Kendall, se sometió a la misma a la prueba de Mann-Kendall modificada y a la técnica de pre-blanqueo de manera tal de verificar si la no estacionariedad arrojada por Mann-Kendall era correcta. Tanto la prueba de Mann-Kendall modificada como la técnica de pre-blanqueo indicaron que existe una tendencia en la serie analizada, por lo tanto se procedió a realizar el análisis de serie no estacionaria mediante la utilización del Software NEVA.

En la Figura 109 se muestra la variación de los valores medios de las diferentes recurrencias en el tiempo al realizar el análisis no estacionario de la serie:

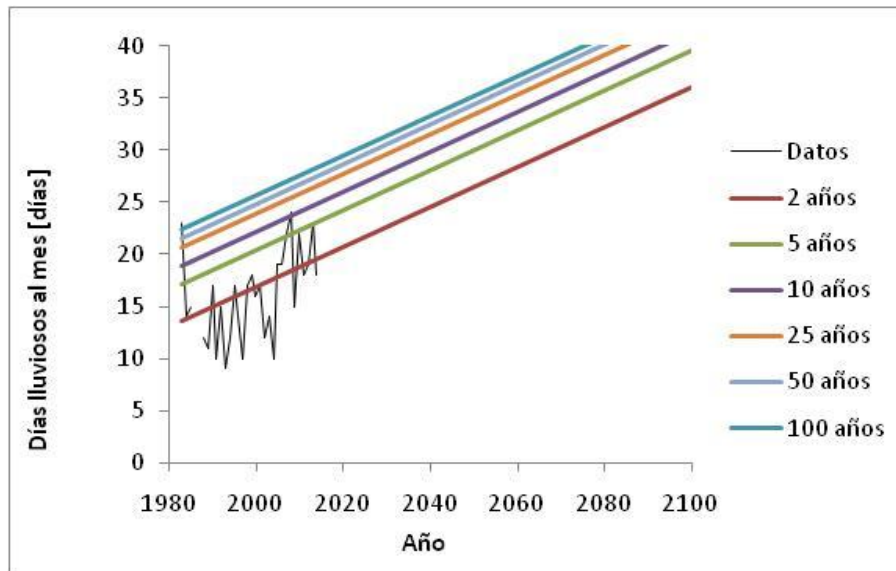


Figura 109: Valores de probabilidad para series no estacionarias de los días lluviosos al mes, Iruya El Nazareno

En la Figura 109 se puede ver con una línea negra como la serie de días lluviosos al mes se comporta a lo largo del tiempo, desde el año 1983 hasta el año 2014 (registro muestreado). Además se ve cómo se va modificando el valor medio del período de retorno a medida que pasa el tiempo. Por ejemplo, un valor de 20 días tenía un período de retorno de 10 años en el año 1990; mientras que en el año 2015 la recurrencia de este valor bajó a 5 años.

A continuación, en la Figura 110 se muestran para 3 horizontes de tiempo dado como varía la relación entre la variable y el tiempo de retorno con su respectivo intervalo de confianza.

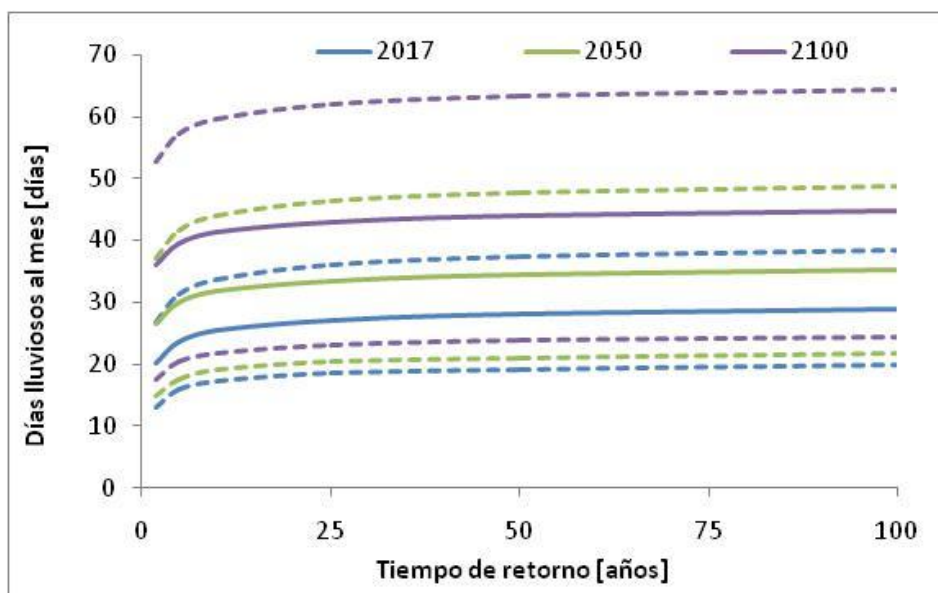


Figura 110: Comparación de períodos de retorno de los días lluviosos al mes, Iruya El Nazareno.

De la última figura se puede ver que en la actualidad (año 2017) para un período de retorno de 50 años se asocia un valor de días lluviosos al mes de 25 días, mientras que para el año 2050 se espera que este valor aumente a 30 días. Es decir, para un mismo período de retorno el valor de días lluviosos al mes aumenta.

Además se observa que a medida que avanza el horizonte de tiempo en el cual se haga el análisis, el intervalo de confianza crece significativamente: mientras que para el horizonte 2017 la magnitud del intervalo para  $T=100$  años vale 33%, en el año 2050 este valor se reduce a 38%.

### 5. Días consecutivos con lluvia

La serie hidrológica de días consecutivos con lluvia es la que se muestra en la Figura 111:

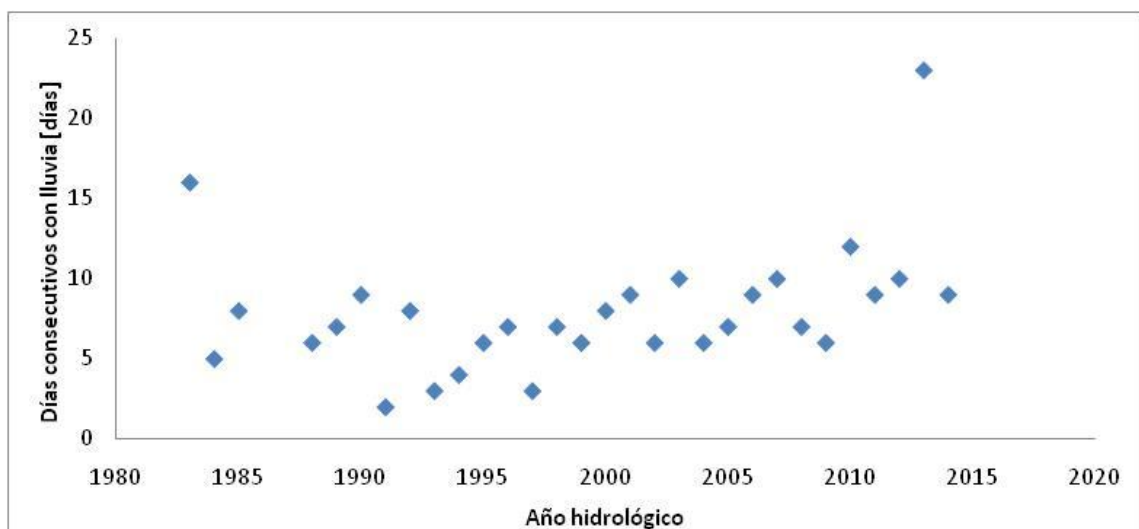


Figura 111: Valores de días consecutivos con lluvia, Iruya El Nazareno.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 2 días en el año 1991 y un máximo de 23 días en el año 2013. El valor promedio de la serie es de 8 días y posee un desvío estándar de 4 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie se encontró un dato atípico correspondiente a 2 días en el año 1991. Este dato atípico puede deberse a que ese año hidrológico fue demasiado seco o bien que hay faltante de datos pluviométricos registrados en ese periodo. Este último dato fue eliminado de la serie y se aplicó nuevamente el test el cual arrojó un nuevo dato atípico (23 días en el año 2013), por lo tanto esta serie se descartó y no se llevó a cabo el análisis.

### **Estación: 11 – Iruya Paltorco - Salta**

Esta estación cuenta con registros históricos de precipitación diaria desde el año 1984 hasta el año 2014 sin datos faltantes (31 años de datos).

A continuación se presentan cada uno de los análisis realizados sobre las diferentes variables de interés:

### 1. Precipitación Máxima Diaria Anual.

La serie hidrológica de precipitaciones máximas diarias anuales analizada es la que se muestra en la Figura 112:

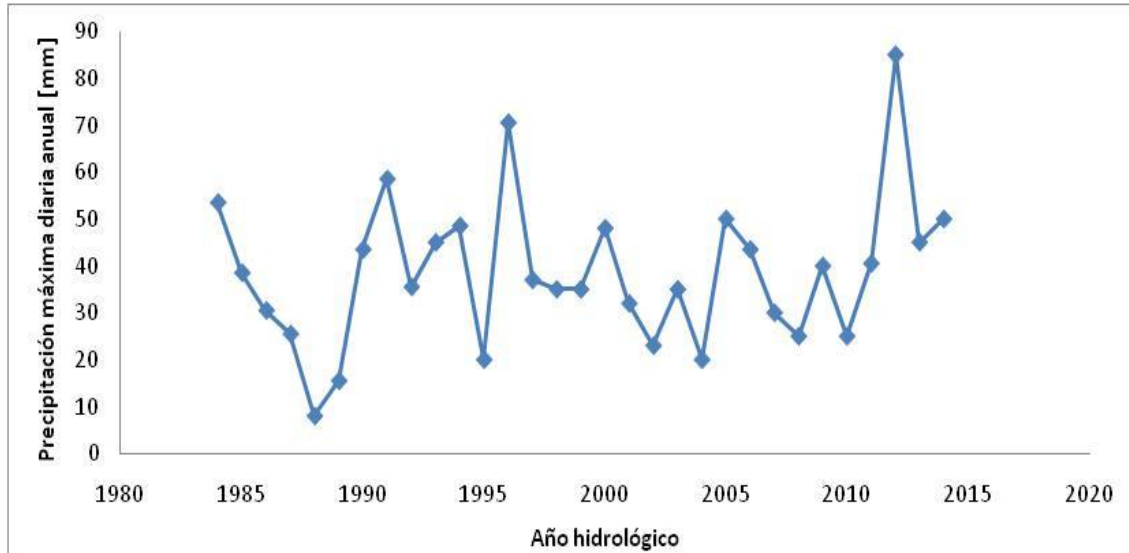


Figura 112: Serie de precipitaciones máximas diarias anuales, Iruya Paltorco.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 8.0 mm en el año 1989 y un máximo de 85.0 mm en el año 2012. El valor promedio de la serie es de 38.4 mm y posee un desvío estándar de 15.9 mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie se encontró un dato atípico correspondiente a 8.0 mm en el año 1988. Este dato atípico puede deberse a que ese año hidrológico fue demasiado seco o bien que hay faltante de datos pluviométricos registrados en ese periodo. Este último dato fue eliminado de la serie y se aplicó nuevamente el test el cual no arrojó ningún otro dato atípico. En base a esto último, la serie que finalmente fue analizada contaba 30 datos, con un mínimo de 15.5 mm en el año 1989 y un máximo de 85.0 mm en el año 2012. El valor promedio de la serie es de 39.5 mm y posee un desvío estándar de 15.1mm. Por otro lado se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, pruebas se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es GEV por el método de los momentos. Se puede ver la relación entre la variable y las



diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 113:

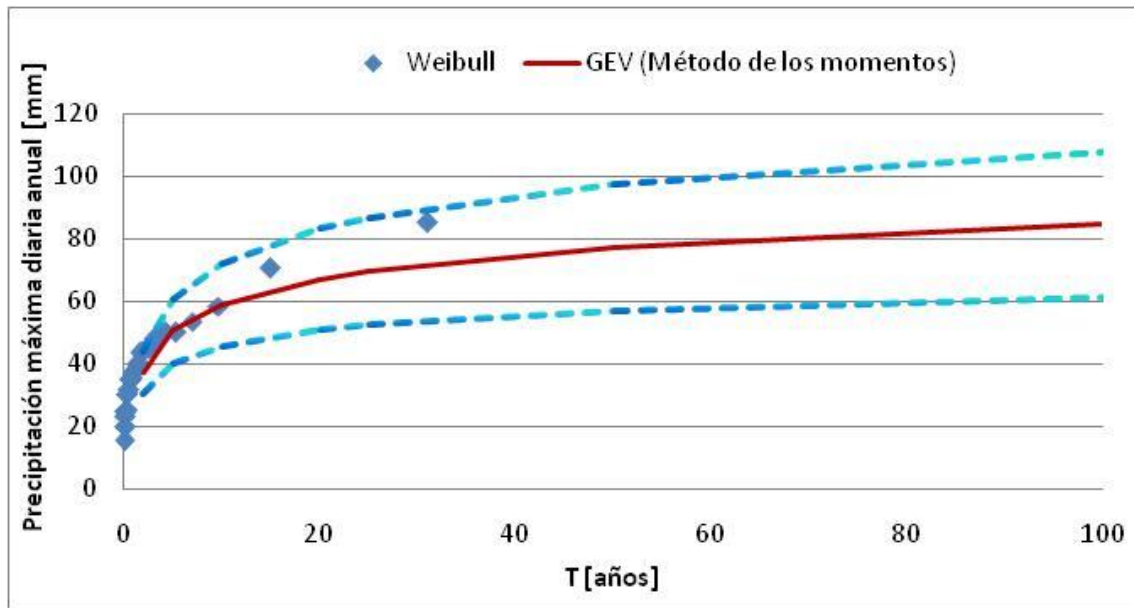


Figura 113: Distribución de probabilidades de la precipitación máxima diaria anual, Iruya Paltorco.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y la precipitación máxima diaria anual se puede ver que la FDP Teórica GEV por el método de los momentos ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que la lámina máxima (85.0 mm) tiene una recurrencia del orden de los 100 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 27%, para 50 años es del 26%, para 25 años es del 25%, para 20 años es del 24%, para 10 años es del 22%, para 5 años es del 20% y para 2 años es de 18%.

A continuación, en la Tabla 48, se presentan los valores de precipitación máxima diaria anual obtenidos a partir de la función GEV por el método de los momentos con sus respectivos intervalos de confianza:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[mm]		
2	30.5	37.2	44.0
5	40.2	50.5	60.8
10	45.8	59.0	72.2
20	50.8	67.0	83.2
25	52.4	69.5	86.7
50	57.0	77.2	97.3
100	61.4	84.6	107.7

Tabla 48: Valores de precipitación máxima diaria anual, Iruya Paltorco.

## 2. Precipitación Total Anual.

La serie hidrológica de precipitaciones totales anuales analizada es la que se muestra en la Figura 114:

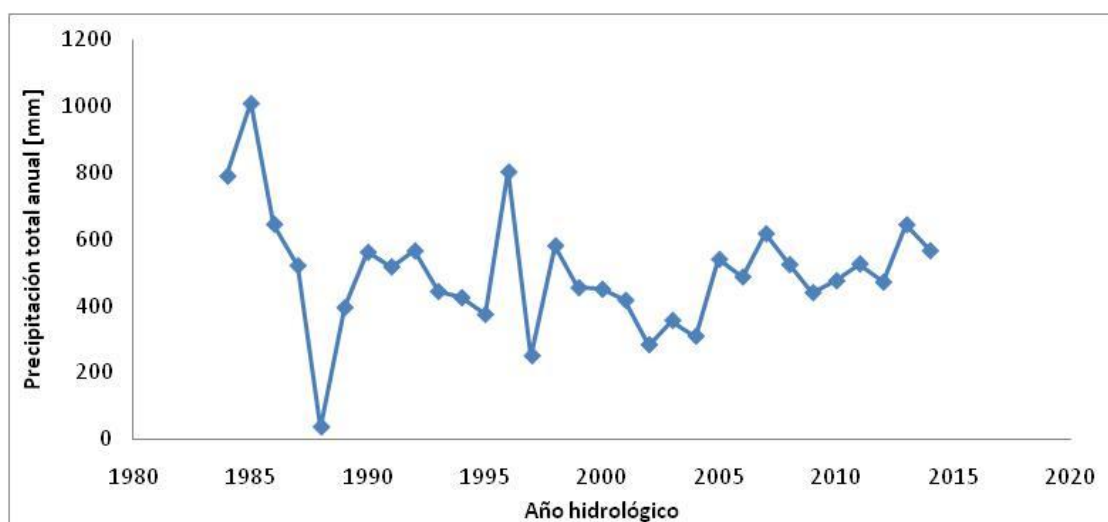


Figura 114: Serie de precipitaciones totales anuales, Iruya Paltorco.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 35.0 mm en el año 1988 y un máximo de 1009.5 mm en el año 1985. El valor promedio de la serie es de 499.3 mm y posee un desvío estándar de 178.0 mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie se encontró un dato atípico correspondiente a 35.0 mm en el año 1988. Este dato atípico puede deberse a que ese año que hay faltante de datos pluviométricos registrados en ese periodo. Este último dato fue eliminado de la serie y se aplicó nuevamente el test el cual no arrojó ningún otro dato atípico. En base a esto último, la serie que finalmente fue analizada contaba 30 datos, con un mínimo de 249.5 mm en el año 1997 y un máximo de 1009.5 mm en el año 1985. El valor promedio de la serie es de 514.8 mm y posee un desvío estándar de 158.5 mm. Por otro lado, se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, pruebas se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar, se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Log-Pearson por el método de los momentos. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 115:

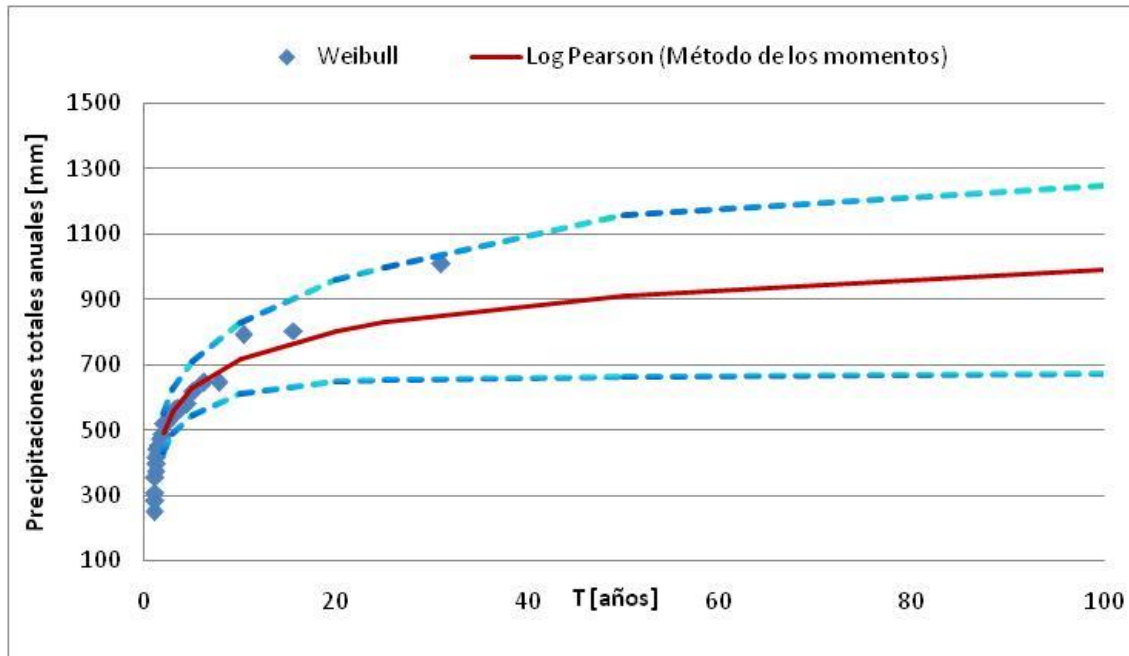


Figura 115: Distribución de probabilidades de la precipitación total anual, Iruya Paltorco.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y la precipitación total anual se puede ver que la FDP Teórica Log-Pearson por el método de los momentos arroja valores de precipitación menores a los de la FDP empírica de Weibull para tiempos de retorno mayores a los 30 años. Esto puede deberse a que el valor máximo de la serie (1009.5 mm) es muy probable que corresponda a una recurrencia mayor a 100 años; y por razones de falta de muestreo (extensión de la serie) al aplicar la fórmula de Weibull aparece erróneamente asociado a 31 años

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 31%, para 50 años es del 27%, para 25

años es del 20%, para 20 años es del 19%, para 10 años es del 15%, para 5 años es del 13% y para 2 años es de 12%.

A continuación, en la Tabla 49, se presentan los valores de precipitación total anual obtenidos a partir de la función Log-Pearson por el método de los momentos con sus respectivos intervalos de confianza en forma de tabla:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[mm]		
2	431	491	551
5	547	629	712
10	611	719	827
20	649	803	958
25	656	830	1000
50	663	912	1160
100	N/D	993	1303.47

Tabla 49: Valores de precipitación total anual, Iruya Paltorco.

### 3. Días lluviosos al año.

La serie hidrológica de los días lluviosos al año analizada es la que se muestra en la Figura 116:

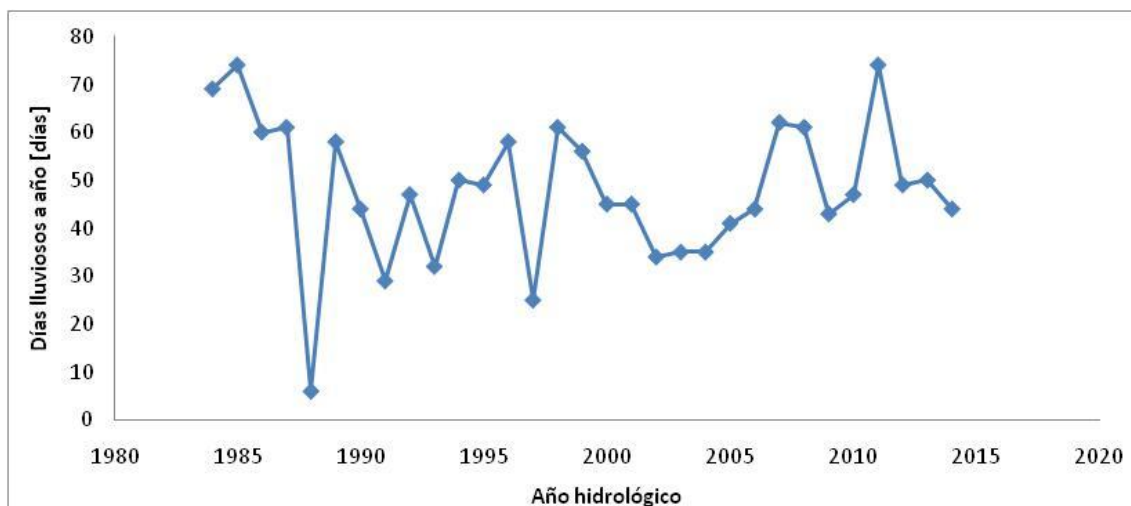


Figura 116: Serie de días lluviosos al año, Iruya Paltorco.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 6 días en el año 1997 y un máximo de 74 días en los años 1985 y 2011. El valor promedio de la serie es de 48 días y posee un desvío estándar de 15 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie se encontró un dato atípico correspondiente a 6 días en el año 1988. Este dato atípico puede deberse a que hubo faltante de datos pluviométricos registrados en ese periodo. Este último dato fue eliminado de la serie y se aplicó nuevamente el test el cual no arrojó ningún otro dato atípico. En base a esto último, la serie que finalmente fue analizada contaba 30 datos, con un mínimo de 25 días en el

año 1997 y un máximo de 74 días en los años 1985 y 2011. El valor promedio de la serie es de 49 días y posee un desvío estándar de 13 días. Por otro lado, se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar, se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Gumbel por el método de máxima verosimilitud. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 117:

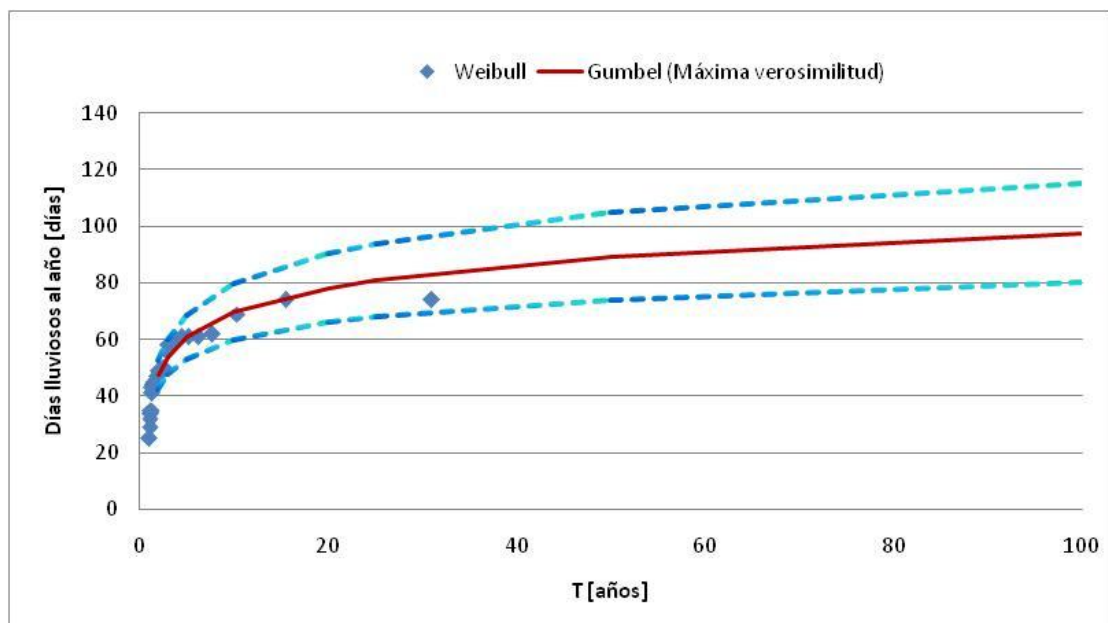


Figura 117: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al año, Iruya Paltorco.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días lluviosos al año se puede ver que la FDP Teórica Gumbel por el método de máxima verosimilitud ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que el valor máximo (75 días) tiene una recurrencia del orden de los 10 a 20 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 18%, para 50 años es del 18%, para 25

años es del 16%, para 20 años es del 16%, para 10 años es del 14%, para 5 años es del 13% y para 2 años es de 11%.

A continuación, en la Tabla 50, se presentan los valores de días obtenidos a partir de la función Gumbel por el método de máxima verosimilitud con sus respectivos intervalos de confianza:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[días]		
2	43	47	52
5	53	61	69
10	60	70	80
20	66	78	91
25	68	81	94
50	74	89	105
100	80	98	115

Tabla 50: Valores de días lluviosos al año, Iruya Paltorco.

#### 4. Días lluviosos al mes.

La serie hidrológica de días lluviosos al mes analizada es la que se muestra en la Figura 118:

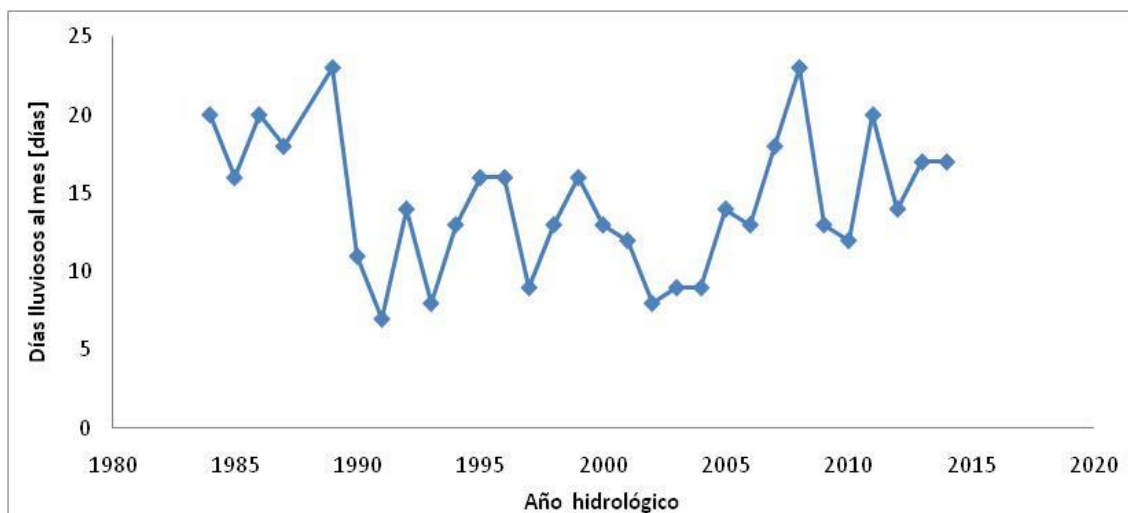


Figura 118: Serie de días lluviosos al mes, Iruya Paltorco.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 7 días en el año 1991 y un máximo de 23 días en los años 1989, 2008. El valor promedio de la serie es de 14 días y posee un desvío estándar de 4 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no encontraron datos atípicos, se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que

consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Gumbel por el método de los momentos. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 119:

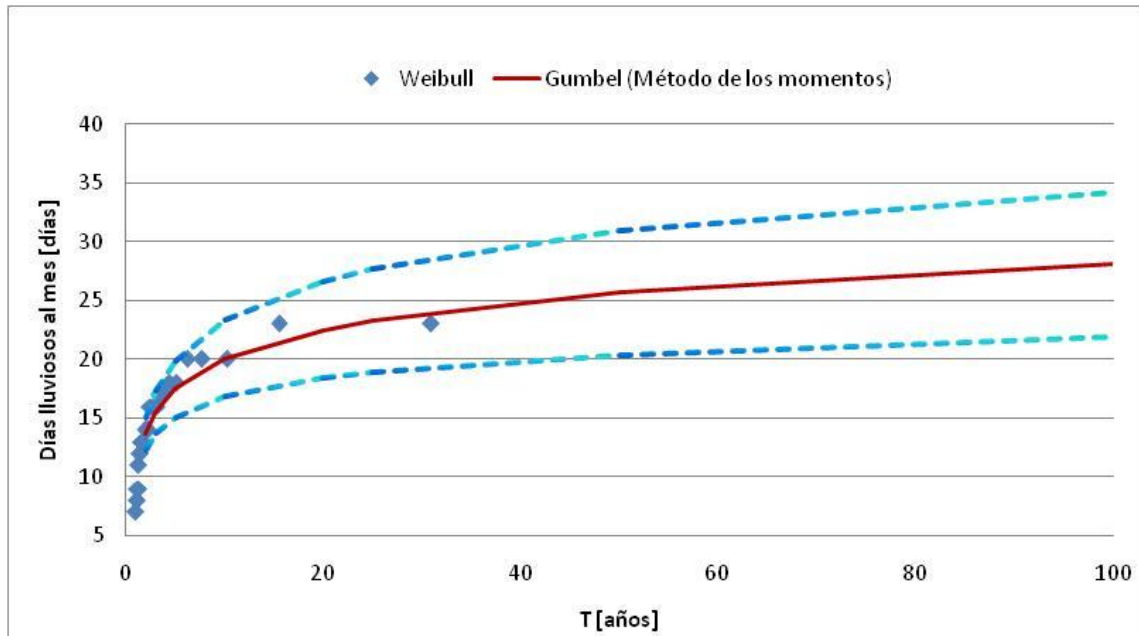


Figura 119: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al mes, Iruya Paltorco.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días lluviosos al mes se puede ver que la FDP Teórica Gumbel por el método de los momentos ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que el valor máximo (22 días) tiene una recurrencia del orden de los 10 a 20 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 22%, para 50 años es del 20%, para 25 años es del 19%, para 20 años es del 18%, para 10 años es del 16%, para 5 años es del 14% y para 2 años es de 10%.

A continuación, en la Tabla 51, se presentan los valores de días lluviosos al mes obtenidos a partir de la función Gumbel por el método de los momentos con sus respectivos intervalos de confianza:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[días]		
2	12	14	15
5	15	18	20
10	17	20	23
20	18	23	27
25	19	23	28
50	20	26	31
100	22	28	34

Tabla 51: Valores de días lluviosos al mes, Iruya Paltorco.

### 5. Días consecutivos con lluvia

La serie hidrológica de días consecutivos con lluvia es la que se muestra en la Figura 120:

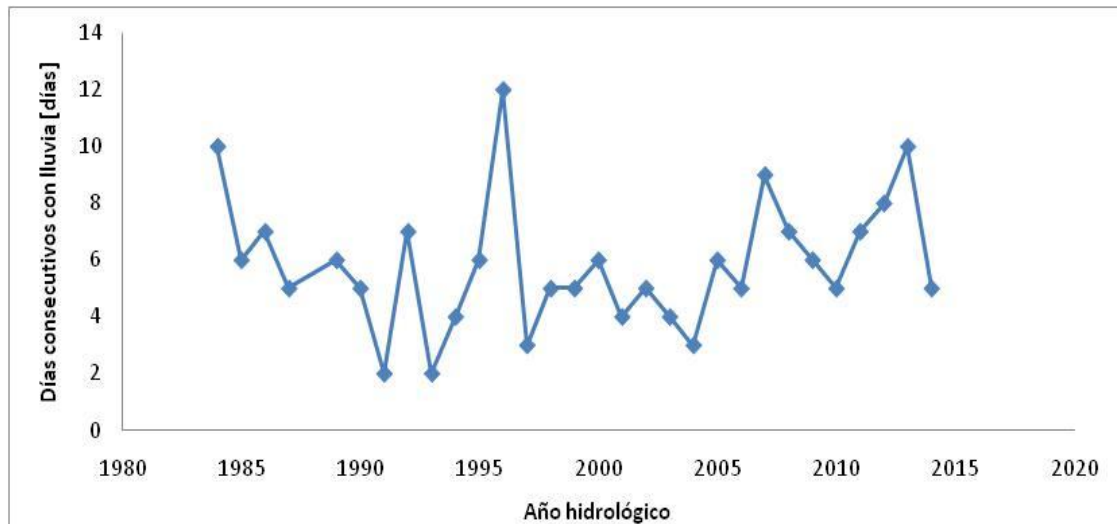


Figura 120: Serie de días consecutivos con lluvia, Iruya Paltorco.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 2 días en los años 1991 y 1993; y un máximo de 12 días en el año 1996. El valor promedio de la serie es de 6 días y posee un desvío estándar de 2 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontraron datos atípicos y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Log-Normal. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 121:



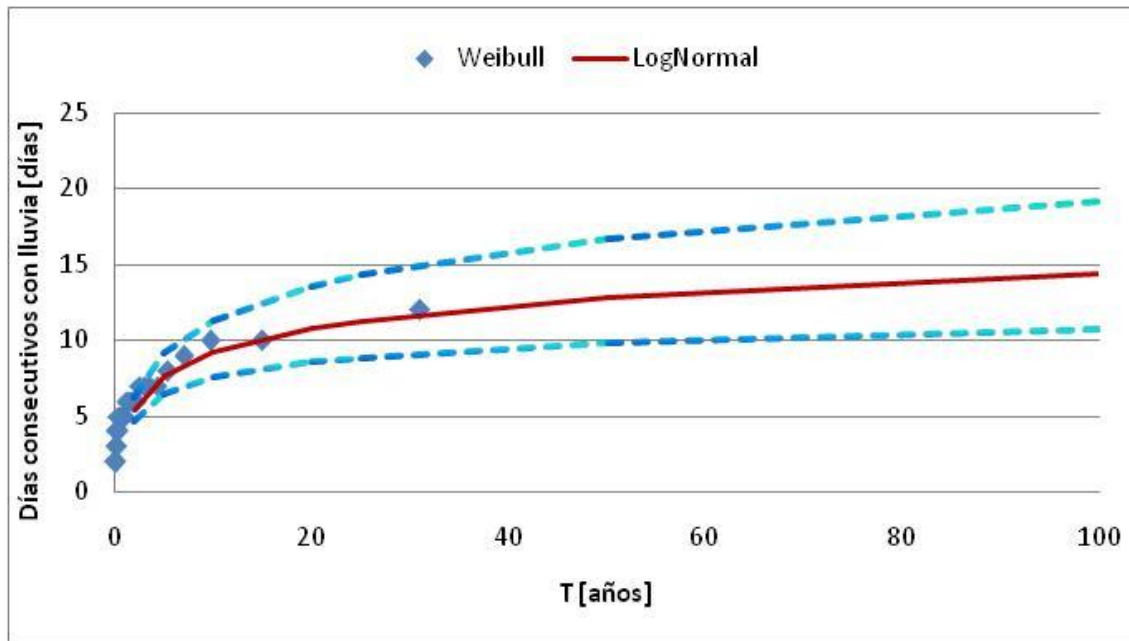


Figura 121: Distribución de probabilidades de los días consecutivos con lluvia, Iruya Paltorco.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días consecutivos con lluvia se puede ver que la FDP Teórica Log-Normal ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que el valor máximo (12 días) tiene una recurrencia del orden de los 25 a 50 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 34%, para 50 años es del 30%, para 25 años es del 27%, para 20 años es del 26%, para 10 años es del 23%, para 5 años es del 19% y para 2 años es de 16%.

A continuación, en la Tabla 52, se presentan los valores de días consecutivos con lluvia obtenidos a partir de la función Log-Normal con sus respectivos intervalos de confianza.

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[días]		
2	5	5	6
5	6	8	9
10	8	9	11
20	9	11	14
25	9	11	14
50	10	13	17
100	11	14	19

Tabla 52: Valores de días consecutivos con lluvia, Iruya Paltorco.

### Estación: 12 – Iruya Poscaya - Salta

Esta estación cuenta con registros históricos de precipitación diaria desde el año 1984 hasta el año 2014 sin datos faltantes (31 años de datos).

A continuación se presentan cada uno de los análisis realizados sobre las diferentes variables de interés:

#### 1. Precipitación Máxima Diaria Anual.

La serie hidrológica de precipitaciones máximas diarias anuales analizada es la que se muestra en la Figura 122:

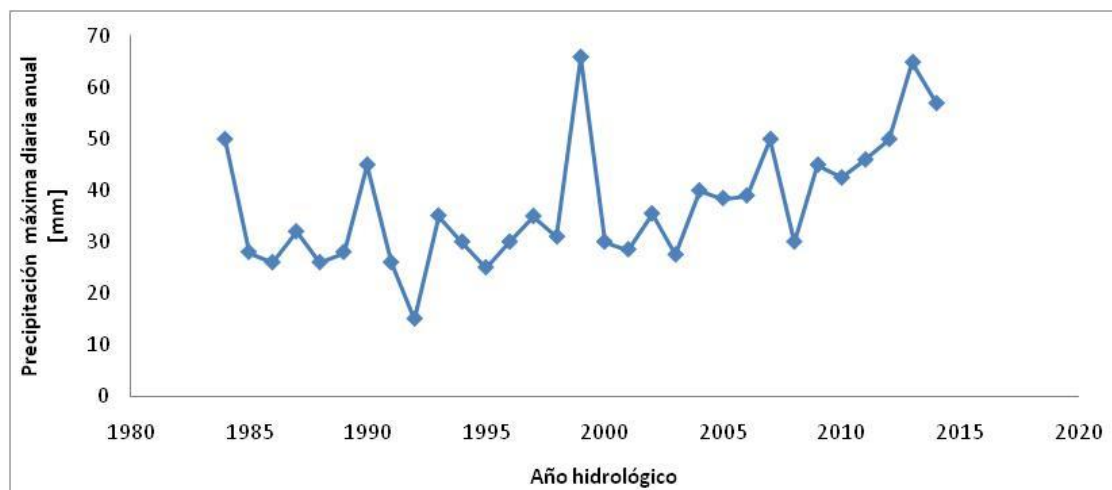


Figura 122: Serie de precipitaciones máximas diarias anuales, Iruya Poscaya.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 15.0 el año 1992 y un máximo de 66.0 mm en el año 1999. El valor promedio de la serie es de 37.2 mm y posee un desvío estándar de 12.1 mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie se encontró un dato atípico correspondiente a 15.0 mm en el año 1992. Este dato atípico puede deberse a que ese año hidrológico fue demasiado seco o bien que hay faltante de datos pluviométricos registrados en ese periodo. Este último dato fue eliminado de la serie y se aplicó nuevamente el test el cual no arrojó ningún otro dato atípico. En base a esto último, la serie que finalmente fue analizada

contaba 30 datos, con un mínimo de 25.0 mm en el año 1995 y un máximo de 66.0 mm en el año 1999. El valor promedio de la serie es de 37.9 mm y posee un desvío estándar de 11.5 mm. Por otro lado se verificó la hipótesis de independencia, pero no se verificaron las hipótesis de estacionariedad y homogeneidad.

Luego de que la serie rechazó el test de Mann-Kendall, se sometió a la misma a la prueba de Mann-Kendall modificada y a la técnica de pre-blanqueo de manera tal de verificar si la no estacionariedad arrojada por Mann-Kendall era correcta. Tanto la prueba de Mann-Kendall modificada como la técnica de pre-blanqueo indicaron que existe una tendencia en la serie analizada, por lo tanto se procedió a realizar el análisis de serie no estacionaria mediante la utilización del Software NEVA.

En la Figura 123 se muestra la variación de los valores medios de las diferentes recurrencias en el tiempo al realizar el análisis no estacionario de la serie:

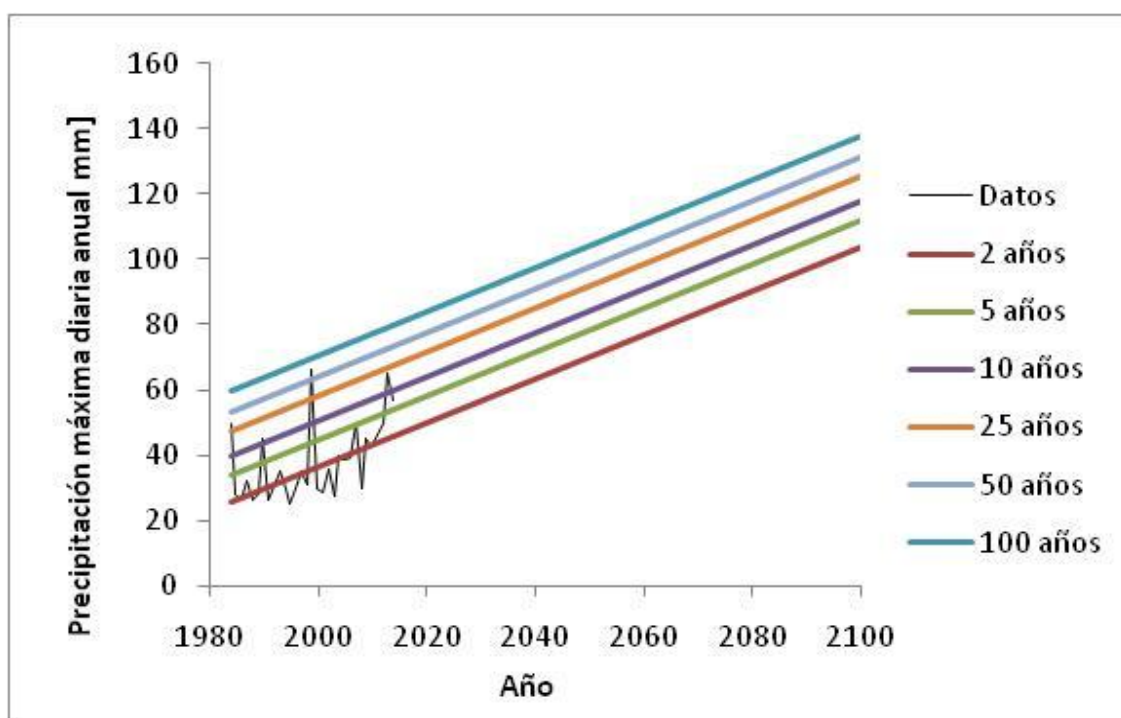


Figura 123: Valores de probabilidad para series no estacionarias de la precipitación máxima diaria anual, Iruya Poscaya.

En la Figura 123 se puede ver con una línea negra como la serie de precipitaciones máximas diarias anuales se comporta a lo largo del tiempo, desde el año 1984 hasta el año 2014 (registro muestreado). Además se ve cómo se va modificando el valor medio del período de retorno a medida que pasa el tiempo. Por ejemplo, un valor de 50 mm tenía un período de retorno de 25 años en el año 1985; mientras que en el año 2010 la recurrencia de este valor bajó a 5 años.

A continuación, en la Figura 124 se muestran para 2 horizontes de tiempo dado como varía la relación entre la variable y el tiempo de retorno con su respectivo intervalo de confianza:

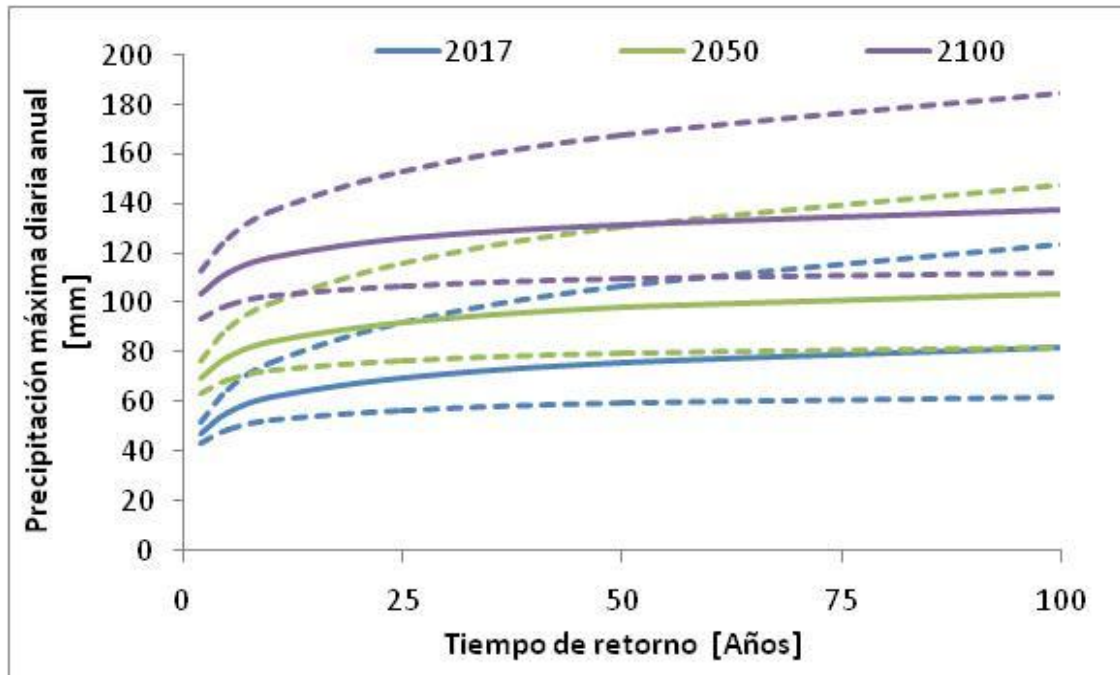


Figura 124: Comparación de periodos de retorno de la precipitación máxima diaria anual, Iruya Poscaya.

De la última figura se puede ver que en la actualidad (año 2017) para un período de retorno de 50 años se asocia un valor de precipitación máxima diaria anual de 70.0 mm, mientras que para el año 2050 se espera que este valor aumente a 90.0 mm. Es decir, para un mismo período de retorno el valor de precipitación máxima diaria anual aumenta.

Además se observa que a medida que avanza el horizonte de tiempo en el cual se haga el análisis, el intervalo de confianza crece significativamente: mientras que para el horizonte 2017 la magnitud del intervalo para  $T=100$  años vale 50%, en el año 2050 este valor se reduce a 74%. Aca pasa que baja

## 2. Precipitación Total Anual.

La serie hidrológica de precipitaciones totales anuales analizada es la que se muestra en la Figura 125.

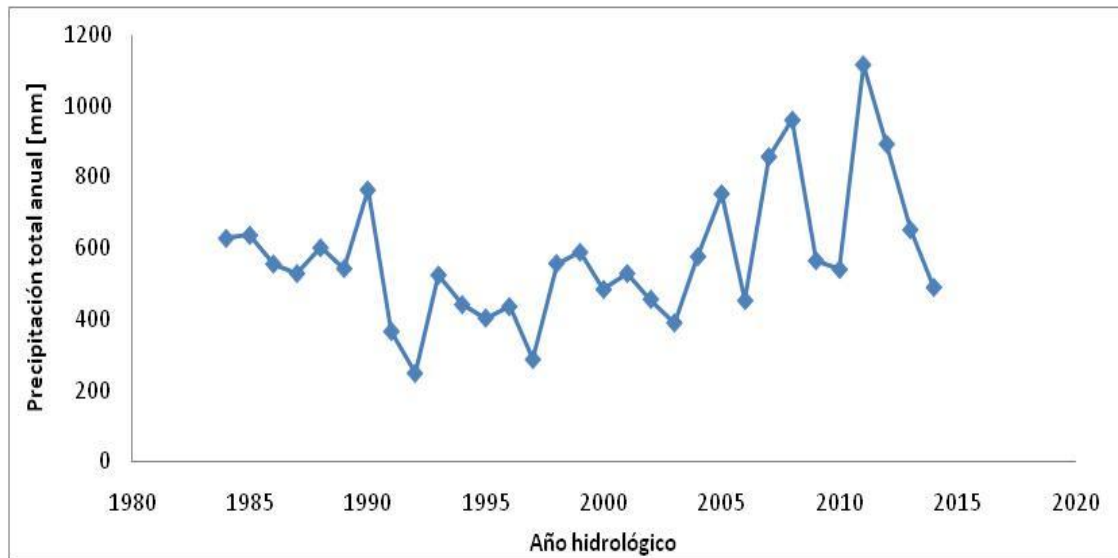


Figura 125: Serie de precipitaciones totales anuales, Iruya Poscaya.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 247.5 mm en el año 1992 y un máximo de 1115.0 mm en el año 2011. El valor promedio de la serie es de 574.6 mm y posee un desvío estándar de 190.6 mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar, se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Gumbel por el método de máxima verosimilitud. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 126 que se muestra a continuación.

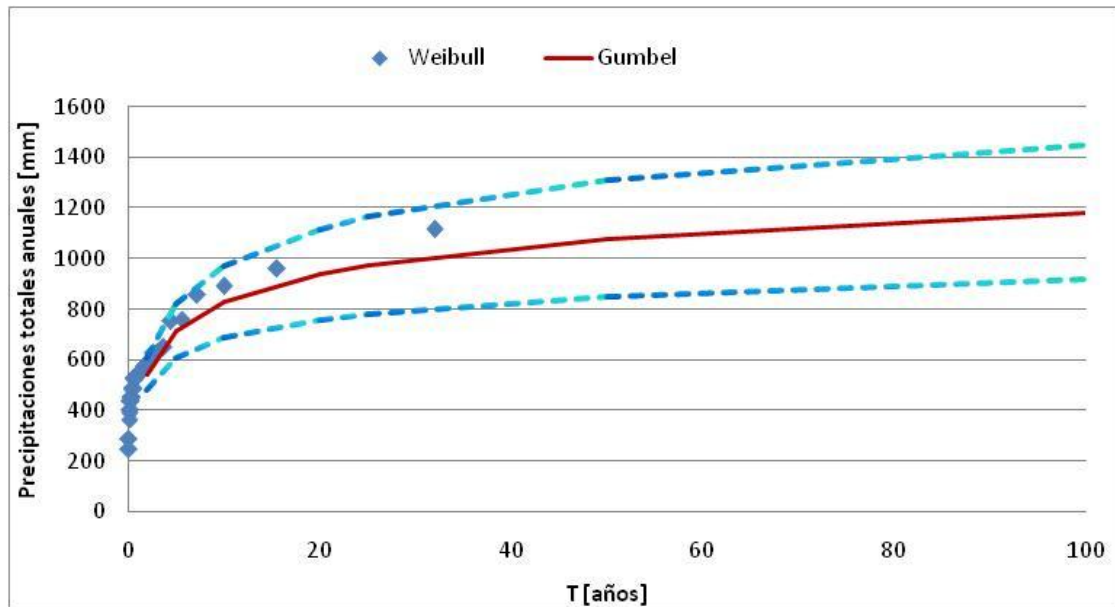


Figura 126: Distribución de probabilidades de la precipitación total anual, Iruya Poscaya.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y la precipitación total anual se puede ver que la FDP Teórica Gumbel por el método de máxima verosimilitud arroja valores de precipitación menores a los de la FDP empírica de Weibull para tiempos de retorno mayores a los 10 años. Esto puede deberse a que el valor máximo de la serie (1115.0 mm) es muy probable que corresponda a una recurrencia del orden de más de 100 años; y por razones de falta de muestreo (extensión de la serie) al aplicar la fórmula de Weibull aparece erróneamente asociado a 32 años

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 23%, para 50 años es del 21%, para 25 años es del 20%, para 20 años es del 19%, para 10 años es del 17%, para 5 años es del 15% y para 2 años es de 11%.

A continuación, en la Tabla 53, se presentan los valores de precipitación total anual obtenidos a partir de la función Gumbel por el método de máxima verosimilitud con sus respectivos intervalos de confianza.

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[mm]		
2	481.8	544.3	606.9
5	610.1	715.5	820.8
10	686.5	828.8	971.1
20	757.7	937.5	1117.2
25	780.0	971.9	1163.8
50	848.5	1078.1	1307.8
100	916.1	1183.6	1451.0

Tabla 53: Valores de precipitación total anual, Iruya Poscaya.

### 3. Días lluviosos al año.

La serie hidrológica de los días lluviosos al año analizada es la que se muestra en la Figura 127:

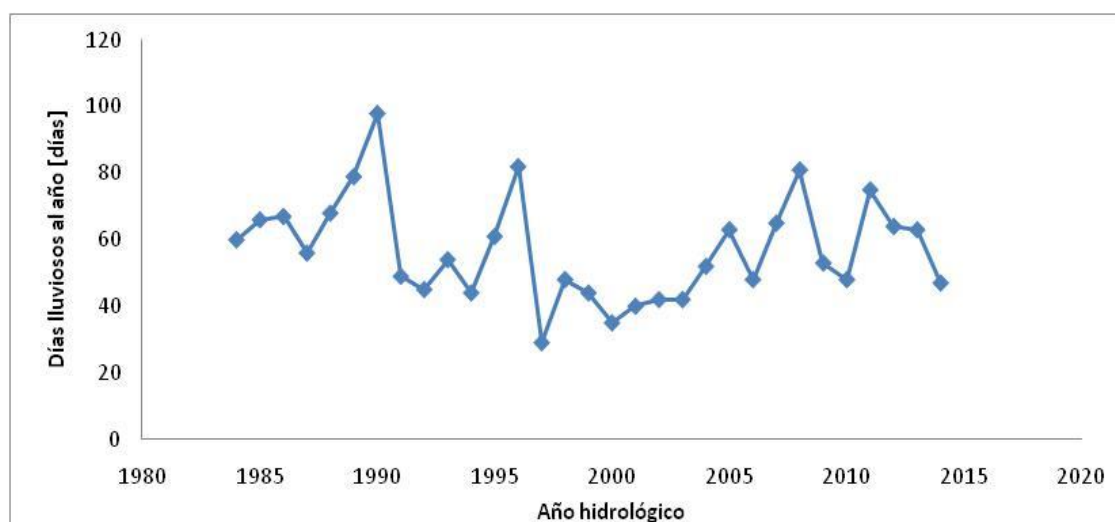


Figura 127: Serie de días lluviosos al año, Iruya Poscaya.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 29 días en el año 1997 y un máximo de 98 días en el año 1990. El valor promedio de la serie es de 57 días y posee un desvío estándar de 15 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar, se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Gumbel por el método de máxima verosimilitud. Se puede ver la relación entre la variable y

las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 128:

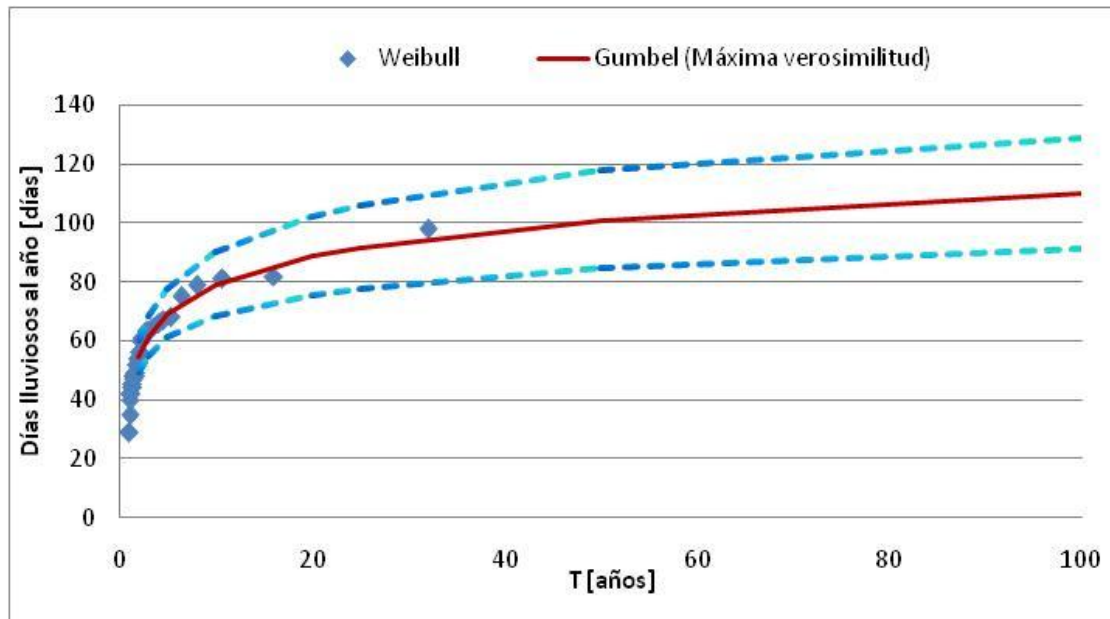


Figura 128: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al año, Iruya Poscaya.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días lluviosos al año se puede ver que la FDP Teórica Gumbel por el método de máxima verosimilitud ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que el valor máximo (98 días) tiene una recurrencia del orden de los 25 a 50 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 17%, para 50 años es del 17%, para 25 años es del 15%, para 20 años es del 15%, para 10 años es del 14%, para 5 años es del 12% y para 2 años es de 10%.

A continuación, en la Tabla 54, se presentan los valores de días lluviosos al año obtenidos a partir de la función Gumbel por el método de máxima verosimilitud con sus respectivos intervalos de confianza.



T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[días]		
2	49	55	60
5	61	70	78
10	69	79	90
20	76	89	102
25	78	92	106
50	85	101	118
100	91	110	129

Tabla 54: Valores de días lluviosos al año, Iruya Poscaya.

#### 4. Días Lluviosos al mes.

La serie hidrológica de días lluviosos al mes analizada es la que se muestra en la Figura 129:

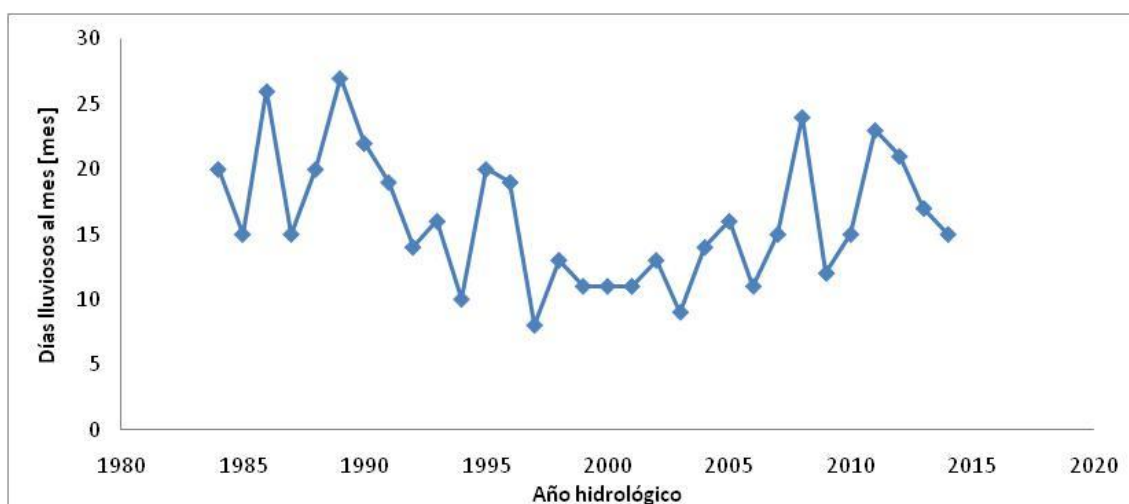


Figura 129: Serie de días lluviosos al mes, Iruya Poscaya.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 8 días en el año 1997, y un máximo de 27 días en el año 1989. El valor promedio de la serie es de 16 días y posee un desvío estándar de 5 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no encontraron datos atípicos, se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Gumbel por el método de máxima verosimilitud. Se puede ver la relación entre la variable y

las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 130:

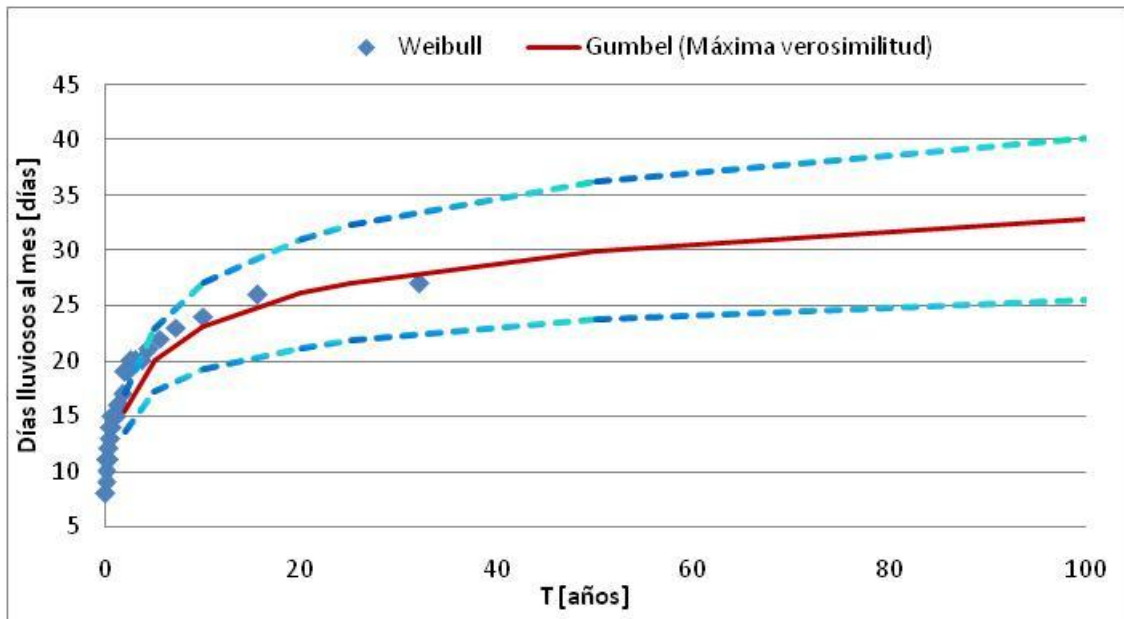


Figura 130: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al mes, Iruya Poscaya.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días lluviosos al mes se observa que el valor máximo de la serie (27 días) tiene una recurrencia del orden de los 20 a 30 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 22%, para 50 años es del 21%, para 25 años es del 19%, para 20 años es del 19%, para 10 años es del 17%, para 5 años es del 14% y para 2 años es de 11%.

A continuación, en la Tabla 55, se presentan los valores de días lluviosos al mes obtenidos a partir de la función Gumbel por el método de máxima verosimilitud con sus respectivos intervalos de confianza.

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[días]		
2	14	15	17
5	17	20	23
10	19	23	27
20	21	26	31
25	22	27	32
50	24	30	36
100	26	33	40

Tabla 55: Valores de días lluviosos al mes, Iruya Poscaya.

### 5. Días consecutivos con lluvia

La serie hidrológica de días consecutivos con lluvia es la que se muestra en la Figura 131:

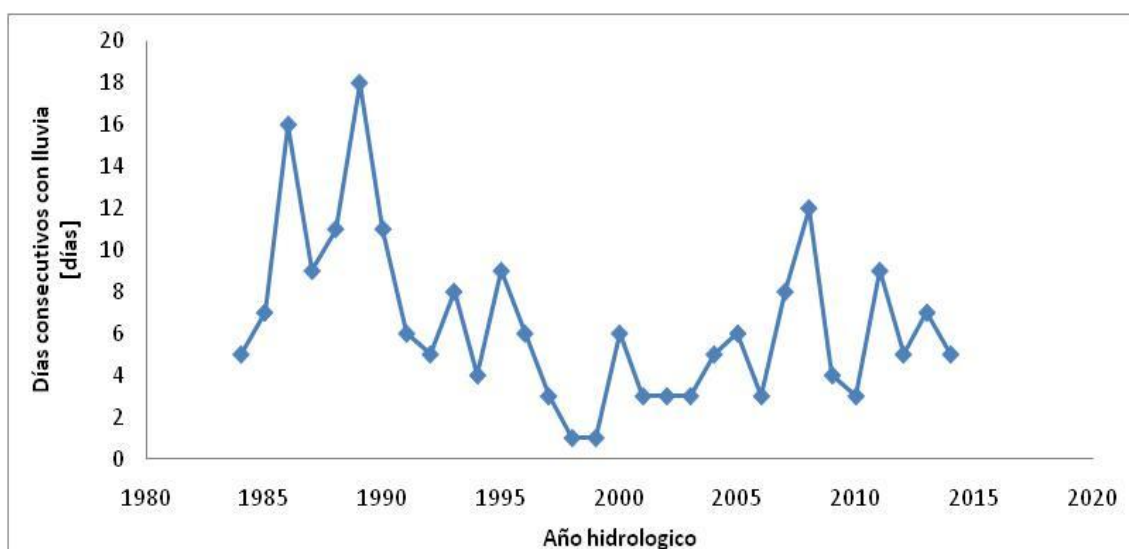


Figura 131: Serie de días consecutivos con lluvia, Iruya Poscaya.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 1 día en los años 1998 y 2000, y un máximo de 18 días en el año 1989. El valor promedio de la serie es de 6 días y posee un desvío estándar de 4 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico, pero no se verificó la hipótesis de independencia. Por lo tanto esta serie se descartó y no se llevó a cabo el análisis.

### **Estación: 13 – Bermejo Bala Puca - Salta**

Esta estación cuenta con registros históricos de precipitación diaria desde el año 1972 hasta el año 2014 sin datos faltantes (43 años de datos).

A continuación se presentan cada uno de los análisis realizados sobre las diferentes variables de interés:

## 1. Precipitación Máxima Diaria Anual.

La serie hidrológica de precipitaciones máximas diarias anuales es la que se muestra en la Figura 132:

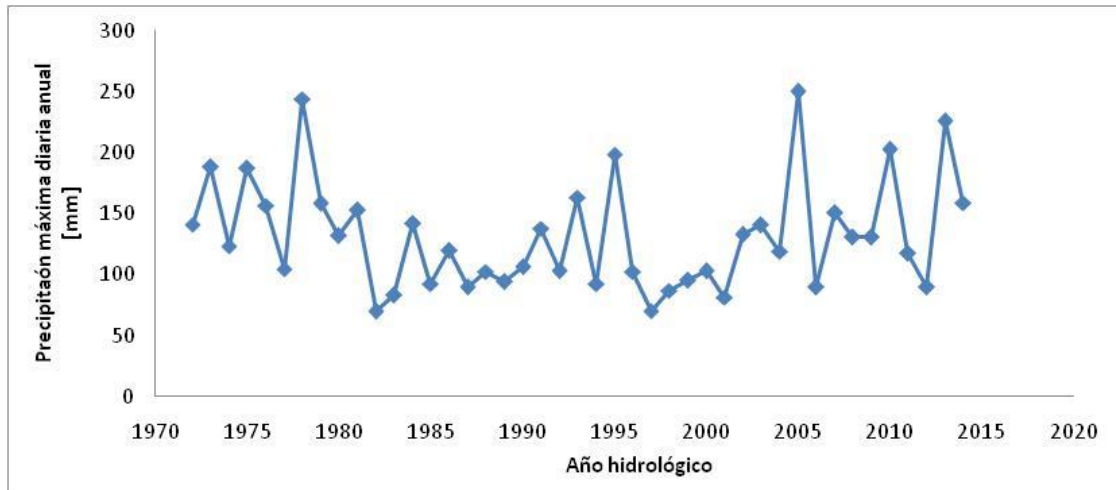


Figura 132: Serie de precipitación máxima diaria anual, Bermejo Bala Puca.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 70.0 mm en el año 1982 y un máximo de 250.0 mm en el año 2005. El valor promedio de la serie es de 131.7 mm y posee un desvío estándar de 45.8mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Log-Normal. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 133 que se muestra a continuación.

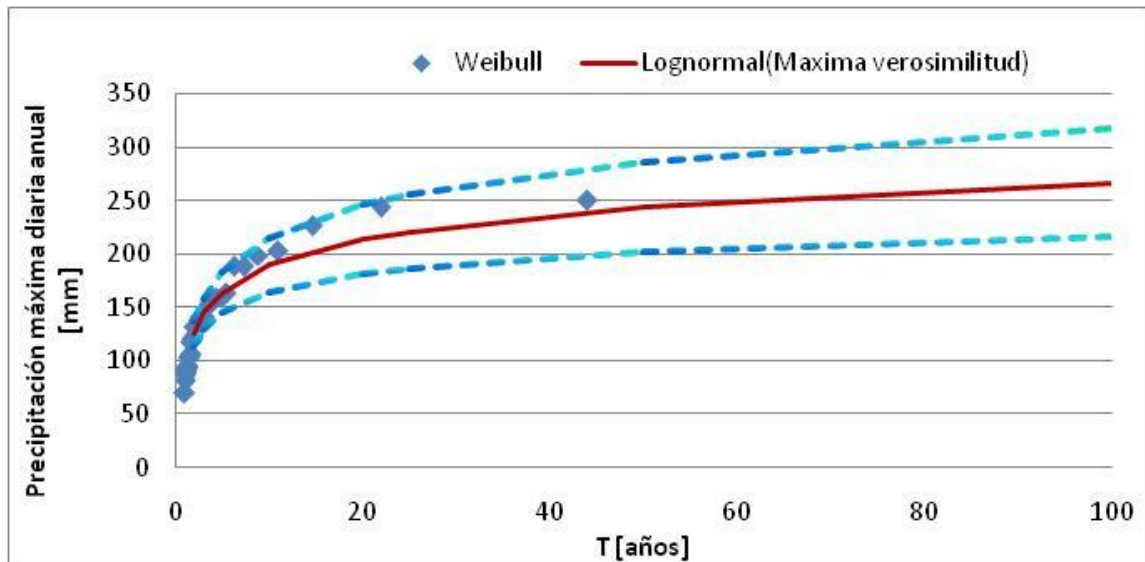


Figura 133: Distribución de probabilidades de precipitación máxima diaria anual, Bermejo Bala Puca.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y la precipitación diaria máxima anual se puede ver que la FDP Teórica Log-Normal arroja valores de precipitación menores a los de la FDP empírica de Weibull para tiempos de retorno mayores a los 15 años. Esto puede deberse a que el valor máximo de la serie (250.0 mm) es muy probable que corresponda a una recurrencia del orden de 50 años o aún mayor; y por razones de falta de muestreo (extensión de la serie) al aplicar la fórmula de Weibull aparece erróneamente asociado a 44 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 19%, para 50 años es del 17%, para 25 años es del 16%, para 20 años es del 15%, para 10 años es del 13%, para 5 años es del 12% y para 2 años es de 10%.

A continuación, en la Tabla 56, se presentan los valores de precipitación máxima diaria anual obtenidos a partir de la función Log-Normal con sus respectivos intervalos de confianza.

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[mm]		
2	113	125	137
5	146	164	183
10	165	190	215
20	181	214	246
25	186	221	256
50	202	244	286
100	216	267	317

Tabla 56: Valores de precipitaciones máximas diarias anuales, Bermejo Bala Puca.

## 2. Precipitación Total Anual.

La serie hidrológica de precipitaciones totales anuales analizada es la que se muestra en la Figura 134:

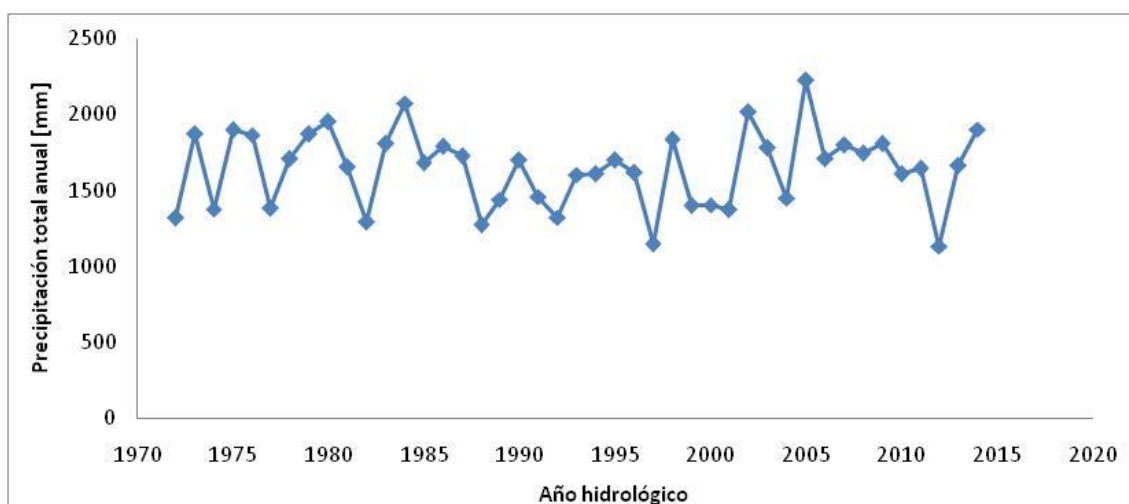


Figura 134: Serie de precipitaciones totales anuales, Bermejo Bala Puca.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 1133.0 mm en el año 2012 y un máximo de 2221.9 mm en el año 2005. El valor promedio de la serie es de 1643.1 mm y posee un desvío estándar de 251.0 mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar, se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Log-Normal. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su

respectivo intervalo de confianza en la Figura 135 que se muestra a continuación.

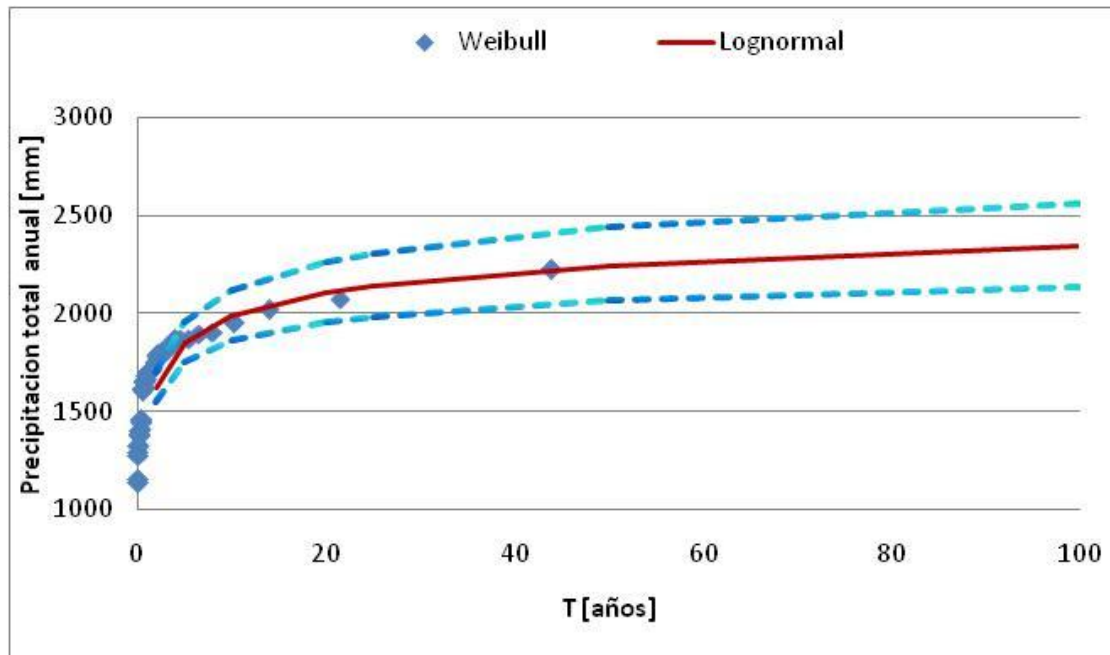


Figura 135: Distribución de probabilidades de la precipitación total anual, Bermejo Bala Puca.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y la precipitación total anual se puede ver que la FDP Teórica Log-Normal ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que la lámina máxima (2221.9 mm) tiene una recurrencia del orden de los 25 a 50 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 9%, para 50 años es del 9%, para 25 años es del 8%, para 20 años es del 7%, para 10 años es del 7%, para 5 años es del 6% y para 2 años es de 5%.

A continuación, en la Tabla 57, se presentan los valores de precipitación total anual obtenidos a partir de la función Log-Normal con sus respectivos intervalos de confianza en forma de tabla.

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[mm]		
2	1549.0	1623.7	1702.0
5	1753.9	1852.5	1956.7
10	1864.5	1986.8	2117.1
20	1958.1	2104.9	2262.7
25	1985.8	2140.5	2307.3
50	2066.4	2245.5	2440.2
100	2140.5	2343.8	2566.5

Tabla 57: Valores de precipitación total anual, Bermejo Bala Puca.

### 3. Días lluviosos al año.

La serie hidrológica de días lluviosos al año analizada es la que se muestra en la Figura 136:

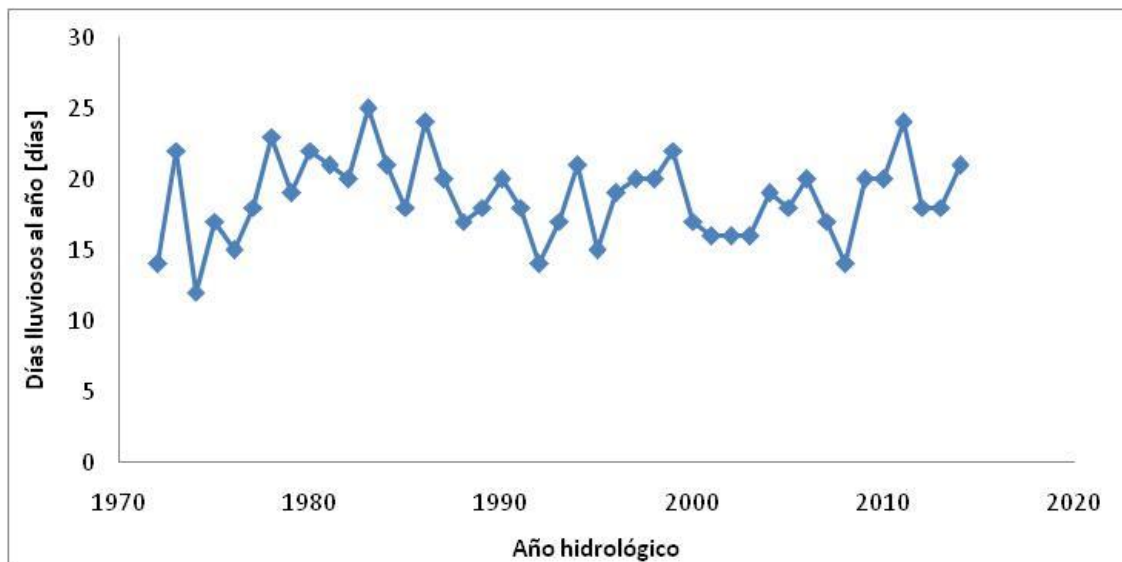


Figura 136: Serie de días lluviosos al año, Bermejo Bala Puca.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 87 días en el año 1972; y un máximo de 141 días en el año 1984. El valor promedio de la serie es de 121 días y posee un desvío estándar de 13 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie se encontró un dato atípico correspondiente a 87 días en el año 1972. Este dato atípico puede deberse a que ese año hidrológico fue demasiado seco o bien que hay faltante de datos pluviométricos registrados en ese periodo. Este último dato fue eliminado de la serie y se aplicó nuevamente el test el cual no arrojó ningún otro dato atípico. En base a esto último, la serie que finalmente fue analizada contaba 42 datos, con un mínimo de 99 días en el año 2008 y un máximo de 141 días en el año 1984. El valor promedio de la serie es de 122 días y posee un desvío estándar de 12 días. Por otro lado no verifica la hipótesis de independencia, por lo tanto se descarta la serie.



#### 4. Días lluviosos al mes.

La serie hidrológica de días lluviosos al mes analizada es la que se muestra en la Figura 137:

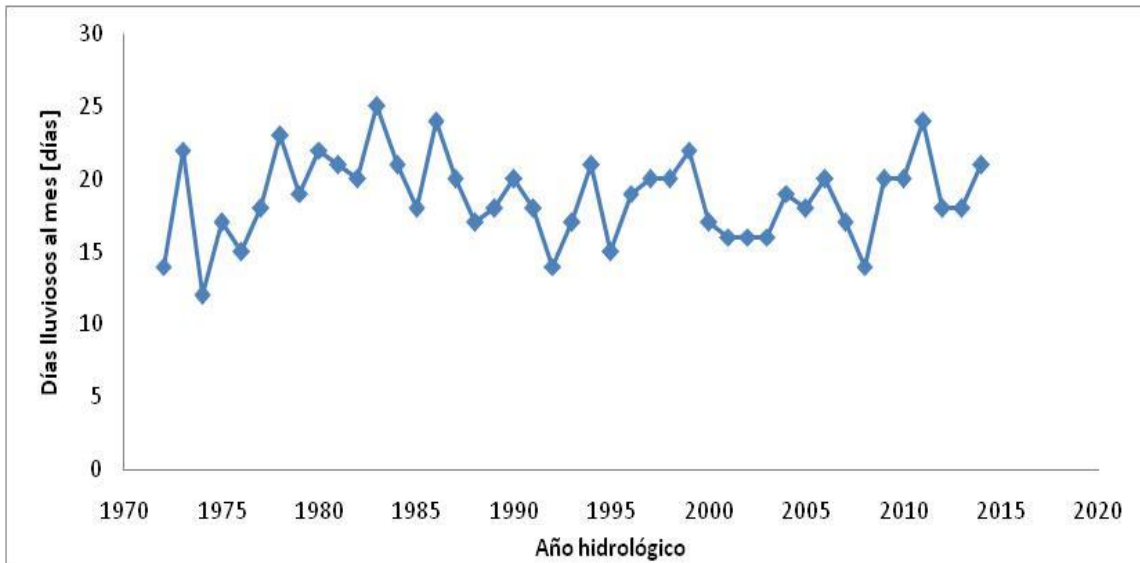


Figura 137: Serie de días lluviosos al mes, Bermejo Bala Puca.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 12 días en el año 1974, y un máximo de 25 días en el año 1983. El valor promedio de la serie es de 19 días y posee un desvío estándar de 3 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no encontraron datos atípicos, se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Gumbel por el método de máxima verosimilitud. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 138 que se muestra a continuación.

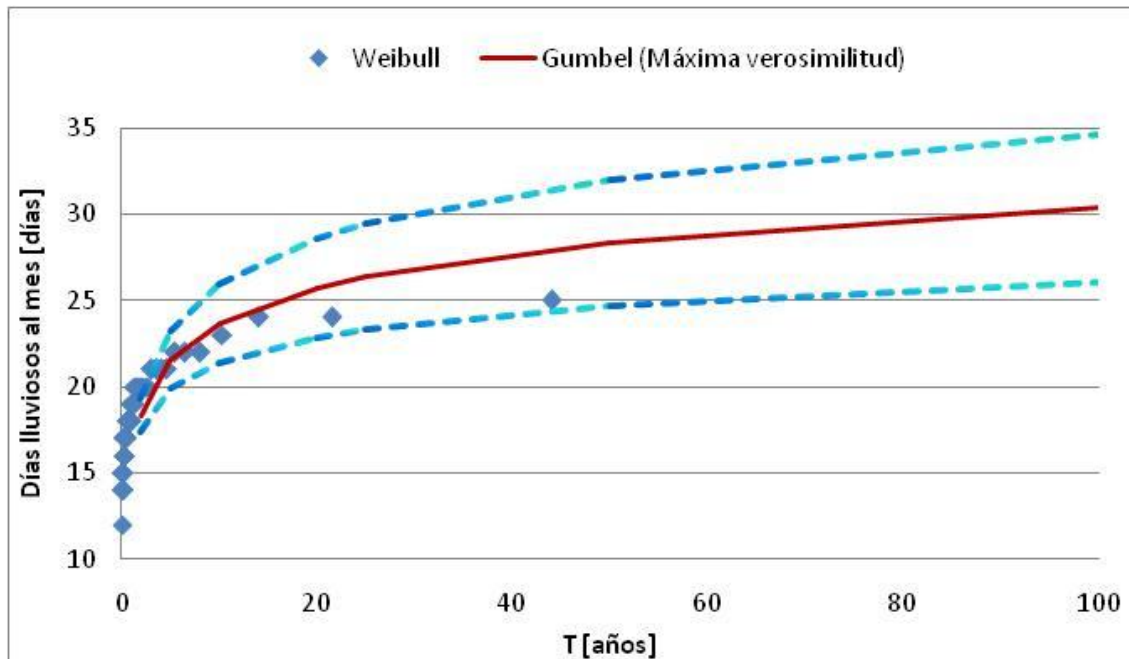


Figura 138: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al mes, Bermejo Bala Puca.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días lluviosos al mes se puede ver que como se está analizando una variable discreta (y no continua, ya que los días lluviosos son un número entero), al ajustar una FDP Teórica a la serie el resultado de las pruebas de bondad de ajuste es bajo. Además se observa que los valores máximos de la serie tienden a una asíntota (25 días lluviosos al mes aproximadamente) y por eso a medida que aumenta la recurrencia esta variable ya no crece significativamente en su magnitud.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 14%, para 50 años es del 13%, para 25 años es del 12%, para 20 años es del 11%, para 10 años es del 10%, para 5 años es del 8% y para 2 años es de 5%.

A continuación, en la Tabla 58, se presentan los valores de días lluviosos al mes obtenidos a partir de la función Gumbel por el método de máxima verosimilitud con sus respectivos intervalos de confianza.

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[días]		
2	17	18	19
5	20	22	23
10	21	24	26
20	23	26	29
25	23	26	29
50	25	28	32
100	26	30	35

Tabla 58: Valores de días lluviosos al mes, Bermejo Bala Puca.

### 5. Días consecutivos con lluvia

La serie hidrológica de días consecutivos con lluvia es la que se muestra en la Figura 139:

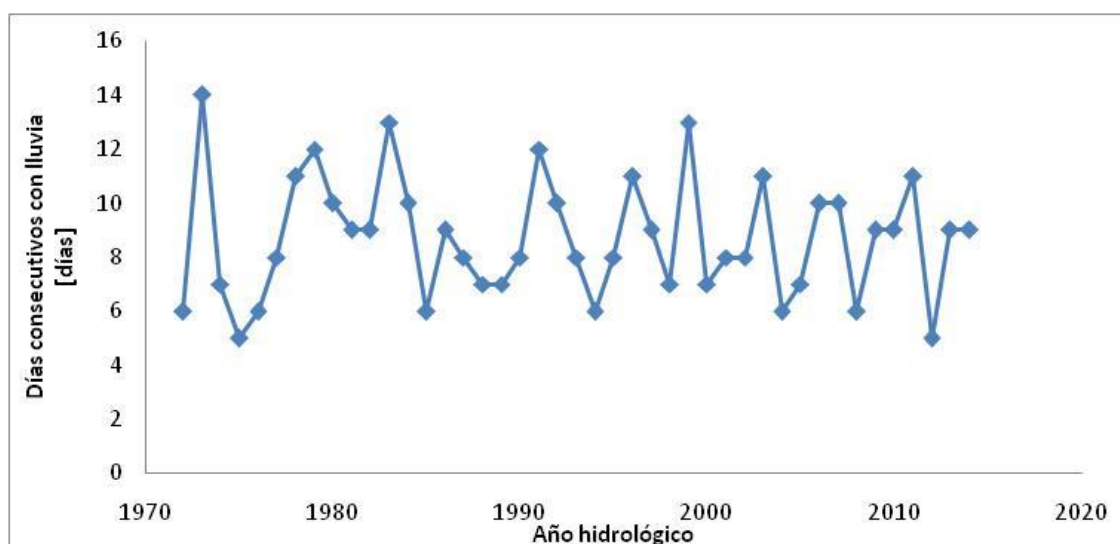


Figura 139: Serie de días consecutivos con lluvia, Bermejo Bala Puca.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 5 días en los años 1975, 2012; y un máximo de 14 días en el año 1973. El valor promedio de la serie es de 9 días y posee un desvío estándar de 2 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontraron datos atípicos y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es GEV por el método de los momentos. Se puede ver la relación entre la variable y las

diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 140:

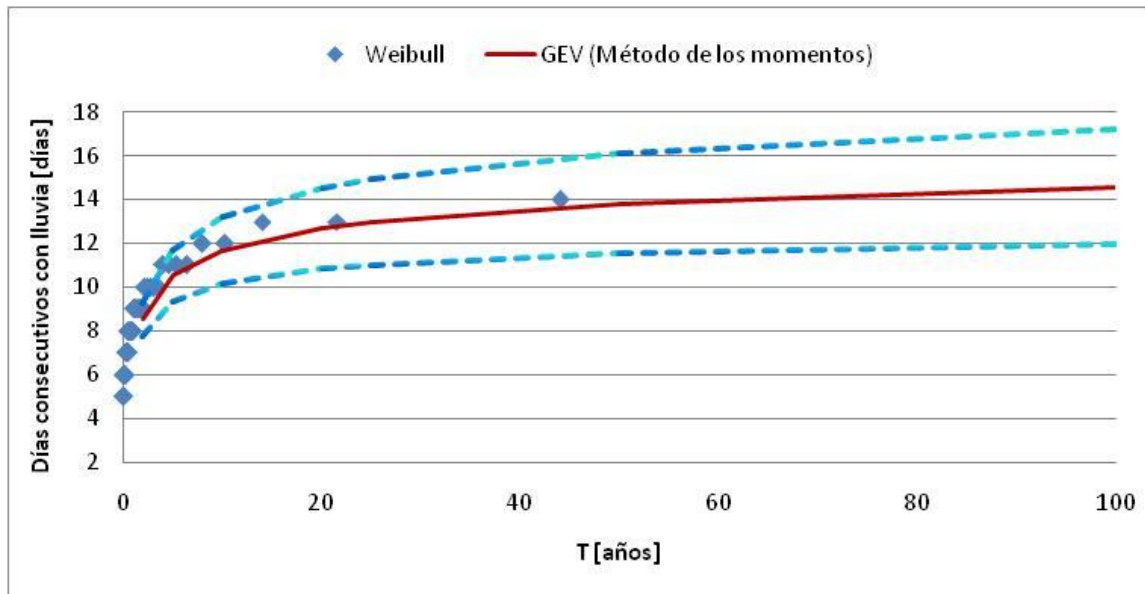


Figura 140: Distribución de probabilidades de los días consecutivos con lluvia, Bermejo Bala Puca.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y la los días consecutivos con lluvia se observa que el valor máximo de la serie (14 días) tiene una recurrencia del orden de 50 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 18%, para 50 años es del 17%, para 25 años es del 15%, para 20 años es del 15%, para 10 años es del 13%, para 5 años es del 11% y para 2 años es de 9%.

A continuación, en la Tabla 59, se presentan los valores de días consecutivos con lluvia obtenidos a partir de la función GEV por el método de los momentos con sus respectivos intervalos de confianza.

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[días]		
2	8	9	9
5	9	11	12
10	10	12	13
20	11	13	15
25	11	13	15
50	12	14	16
100	12	15	17

Tabla 59: Valores de días consecutivos con lluvia, Bermejo Bala Puca.

### Estación: 14 – Bermejo Alarche - Salta

Esta estación cuenta con registros históricos de precipitación diaria desde el año 1972 hasta el año 2014 con datos faltantes en los años 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009 y 2010. (31 años de datos).

A continuación se presentan cada uno de los análisis realizados sobre las diferentes variables de interés:

#### 1. Precipitación Máxima Diaria Anual.

La serie hidrológica de la precipitación máxima diaria anual es la que se muestra en la Figura 141:

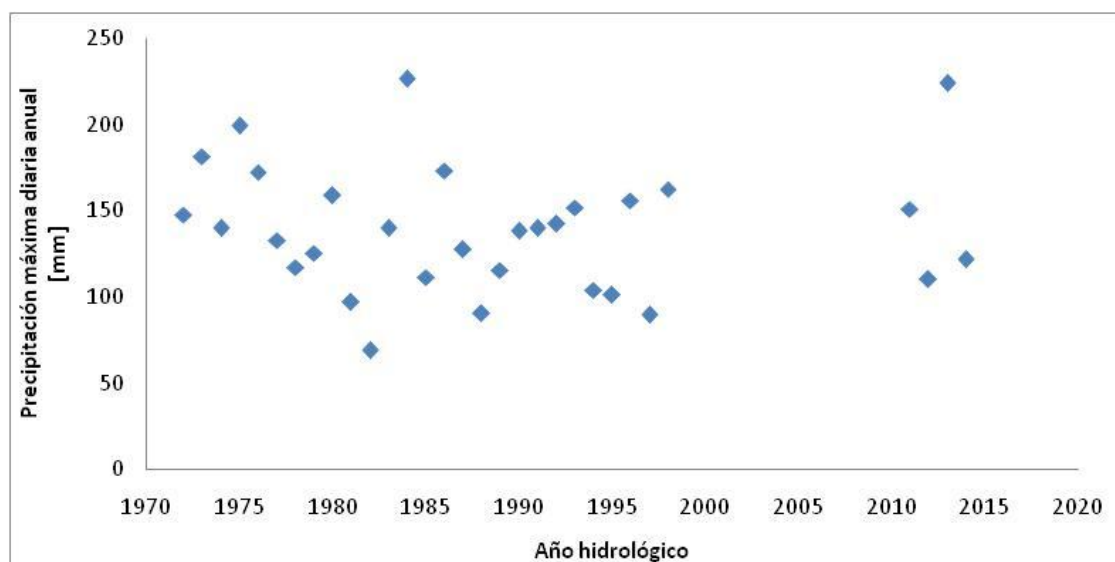


Figura 141: Serie de precipitaciones máximas diarias anuales, Bermejo Alarche.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 68.8 mm en el año 1982 y un máximo de 226.4 mm en el año 1984. El valor promedio de la serie es de 139.3 mm y posee un desvío estándar de 37.3mm.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de

retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Log-Normal. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 142:

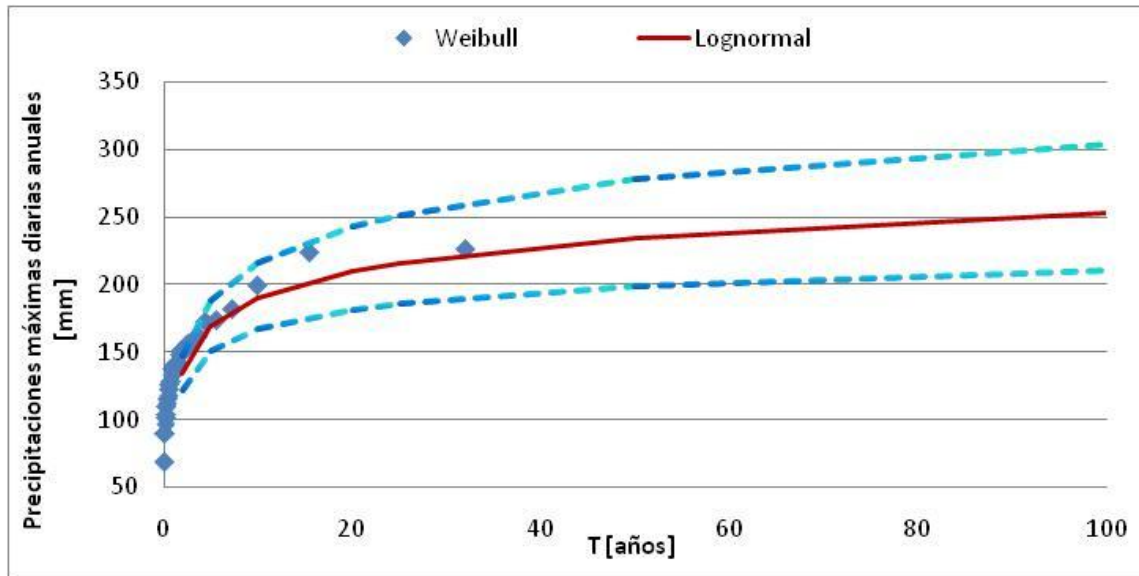


Figura 142: Distribución de probabilidades de la precipitación máxima diaria anual, Bermejo Alarche.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y la precipitación máxima diaria anual se puede ver que la FDP Teórica Log-Normal ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que la lámina máxima (226.4 mm) tiene una recurrencia del orden de los 25 a 50 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 20%, para 50 años es del 18%, para 25 años es del 16%, para 20 años es del 16%, para 10 años es del 14%, para 5 años es del 12% y para 2 años es de 10%.

A continuación, en la Tabla 60 se presentan los valores de precipitación máxima diaria anual obtenidos a partir de la función Log-Normal con sus respectivos intervalos de confianza.

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[mm]		
2	122.3	134.5	148.0
5	151.0	168.7	188.5
10	167.3	190.3	216.4
20	181.5	210.1	243.2
25	185.8	216.3	251.7
50	198.4	234.8	277.8
100	210.3	252.7	303.7

Tabla 60: Valores de precipitación máxima diaria anual, Bermejo Alarche.

## 2. Precipitación Total Anual.

La serie hidrológica de precipitaciones totales anuales analizada es la que se muestra en la Figura 143:

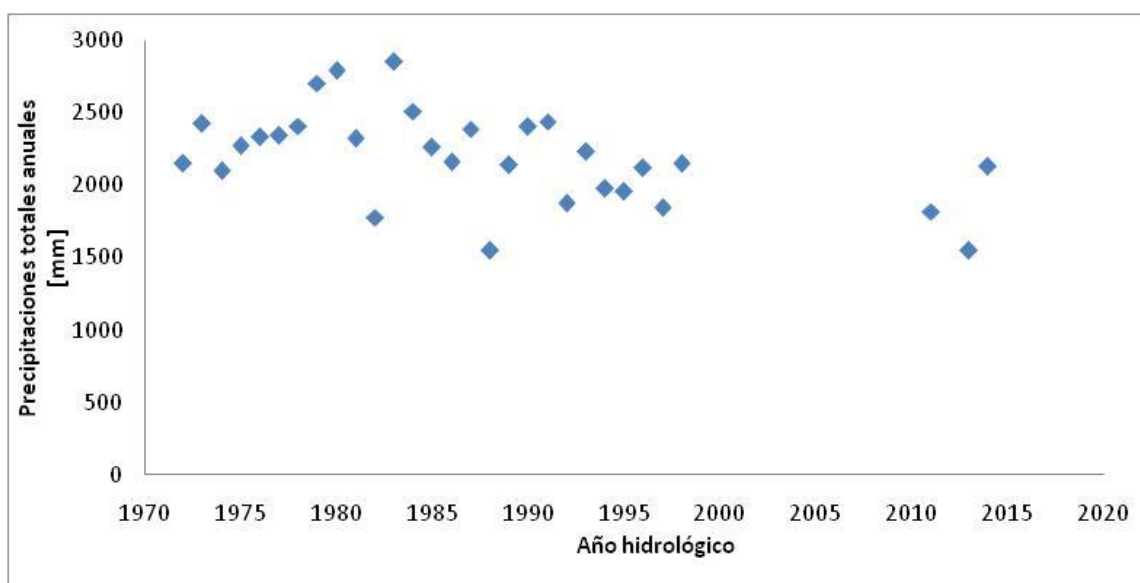


Figura 143: Serie de precipitaciones totales anuales, Bermejo Alarche.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 1168.0 mm en el año 2012 y un máximo de 2581.8 mm en el año 1983. El valor promedio de la serie es de 2126.7 mm y posee un desvío estándar de 3425.6mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie se encontró un dato atípico correspondiente a 1168 días en el año 2012. Este dato atípico puede deberse a que ese año hidrológico fue demasiado seco o bien que hay faltante de datos pluviométricos registrados en ese periodo. Este último dato fue eliminado de la serie y se aplicó nuevamente el test el cual no arrojó ningún otro dato atípico. En base a esto último, la serie que finalmente fue analizada contaba 30 datos, con un mínimo de 1550.0 mm en el año 1988 y un máximo de 2581.8 mm en el año 1983. El valor promedio de la serie es de 2200.3 mm y posee un desvío estándar de 319.9 mm. Por otro lado, se verificó las hipótesis de independencia, pero no se verificaron las hipótesis de estacionariedad y homogeneidad.

Luego de que la serie rechazó el test de Mann-Kendall, se sometió a la misma a la prueba de Mann-Kendall modificada y a la técnica de pre-blanqueo de manera tal de verificar si la no estacionariedad arrojada por Mann-Kendall era correcta. Tanto la prueba de Mann-Kendall modificada como la técnica de pre-blanqueo indicaron que existe una tendencia en la serie analizada, por lo tanto se procedió a realizar el análisis de serie no estacionaria mediante la utilización del Software NEVA.

En la Figura 144 se muestra la variación de los valores medios de las diferentes recurrencias en el tiempo al realizar el análisis no estacionario de la serie:

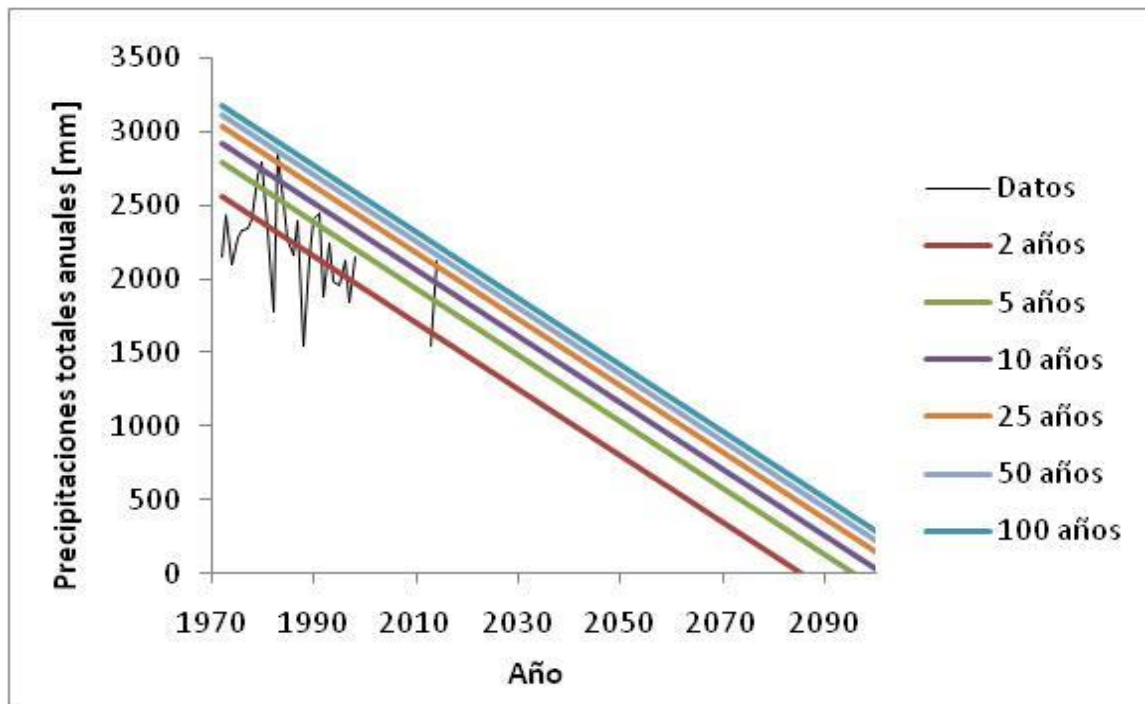


Figura 144: Valores de probabilidad para series no estacionarias de la precipitación total anual, Bermejo Alarche

En la Figura 144 se puede ver con una línea negra como la serie de precipitaciones totales anuales se comporta a lo largo del tiempo, desde el año 1972 hasta el año 2014 (registro muestreado). Además se ve cómo se va modificando el valor medio del período de retorno a medida que pasa el tiempo. Por ejemplo, un valor de 2500 mm anuales tenía un período de retorno de 5 años en el año 1990; mientras que en el año 2010 la recurrencia de este valor subió a 100 años. También se observa que debido a la tendencia de gran magnitud existente en esta serie aparecen inconsistencias en el análisis de frecuencia luego del año 2080; ya que a partir de ese año aparecerían valores negativos de precipitaciones totales anuales relacionados a los tiempos de retorno.



A continuación, en la Figura 145 se muestran para 2 horizontes de tiempo dado como varía la relación entre la variable y el tiempo de retorno con su respectivo intervalo de confianza:

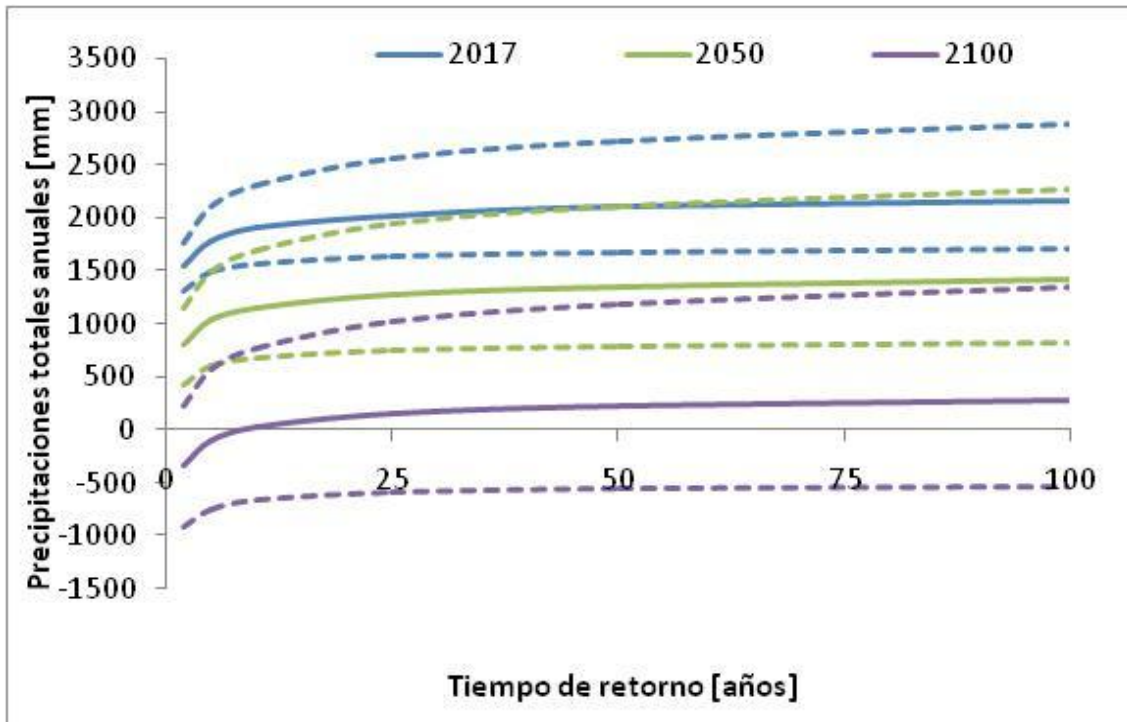


Figura 145: Comparación de periodos de retorno de la precipitación total anual, Bermejo Alarche.

De la última figura se puede ver que en la actualidad (año 2017) para un período de retorno de 50 años se asocia un valor de precipitación anual de 2000.00 mm, mientras que para el año 2050 se espera que este valor disminuya a 1250.0 mm. Es decir, para un mismo período de retorno el valor de precipitación total anual disminuye.

Además se observa que a medida que avanza el horizonte de tiempo en el cual se haga el análisis, el intervalo de confianza crece significativamente: mientras que para el horizonte 2017 la magnitud del intervalo para  $T=100$  años vale 34%, en el año 2030 este valor aumenta a 61%.

### 3. Días lluviosos al año.

La serie hidrológica de días lluviosos al año analizada es la que se muestra en la Figura 146.

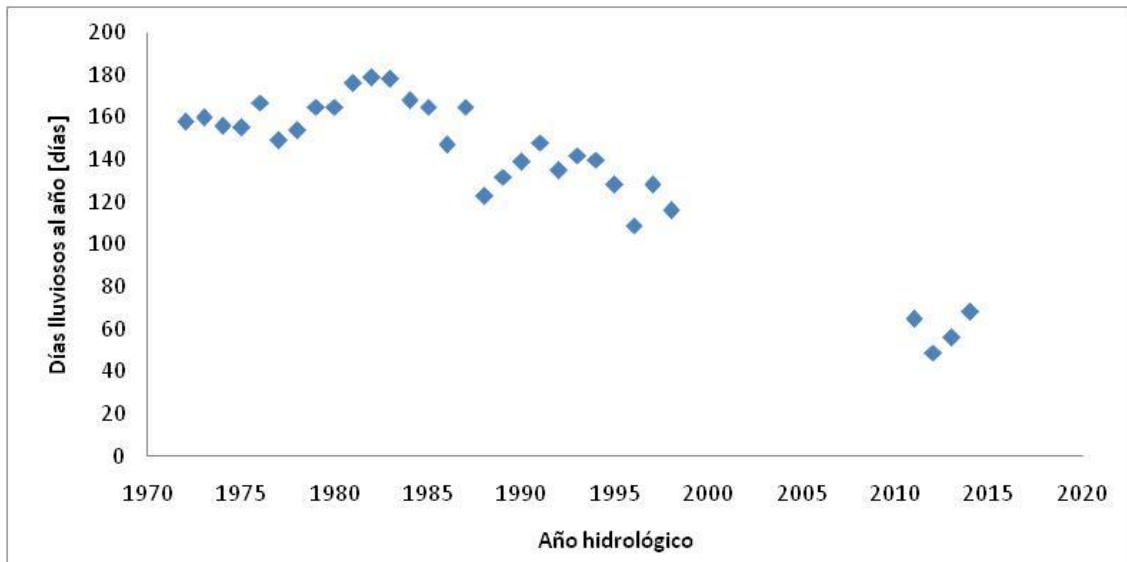


Figura 146: Serie de días lluviosos al año, Bermejo Alarche.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 49 días en el año 2012, y un máximo de 179 días en el año 1982. El valor promedio de la serie es de 138 días y posee un desvío estándar de 36 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie se encontró un dato atípico correspondiente a 49 días en el año 2012. Este dato atípico puede deberse a que ese año hidrológico fue demasiado seco o bien que hay faltante de datos pluviométricos registrados en ese periodo. Este último dato fue eliminado de la serie y se aplicó nuevamente el test el cual arrojó un nuevo dato atípico (56 días en el año 2013), por lo tanto esta serie se descartó y no se llevó a cabo el análisis.

#### 4. Días lluviosos al mes.

La serie hidrológica de días lluviosos al mes analizada es la que se muestra en la Figura 147:

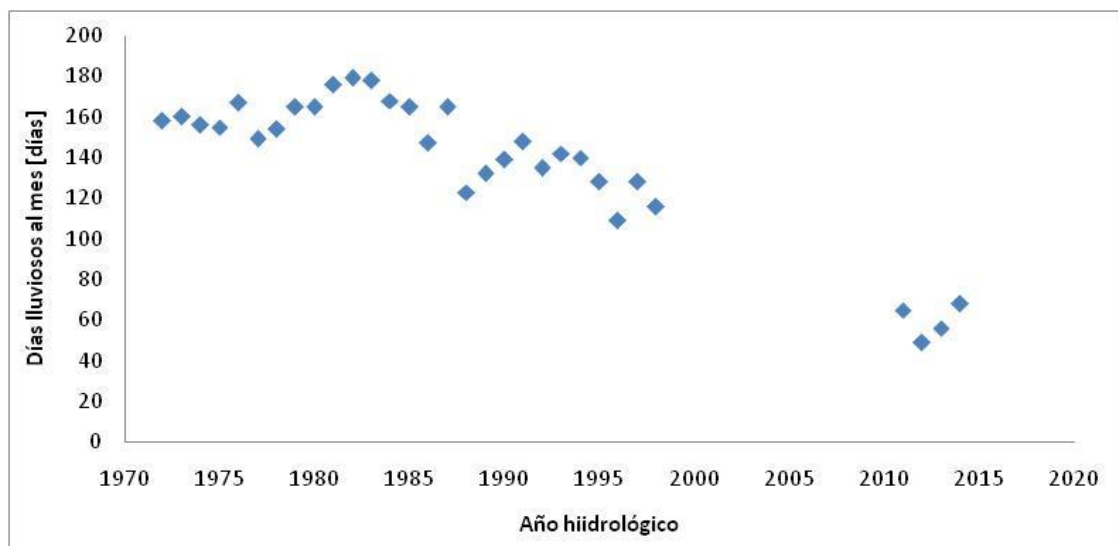


Figura 147: Serie de días lluviosos al mes, Bermejo Alarche.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 9 días en el año 2013, y un máximo de 28 días en los años 1978 y 1983. El valor promedio de la serie es de 20 días y posee un desvío estándar de 5 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie se encontró un dato atípico correspondiente a 9 días en el año 2013. Este dato atípico puede deberse a que ese año hidrológico fue demasiado seco o bien que hay faltante de datos pluviométricos registrados en ese periodo. Este último dato fue eliminado de la serie y se aplicó nuevamente el test el cual arrojó un nuevo dato atípico (10 días en el año 2012), por lo tanto esta serie se descartó y no se llevó a cabo el análisis.

### 5. Días consecutivos con lluvia

La serie hidrológica de días consecutivos con lluvia es la que se muestra en la Figura 148:

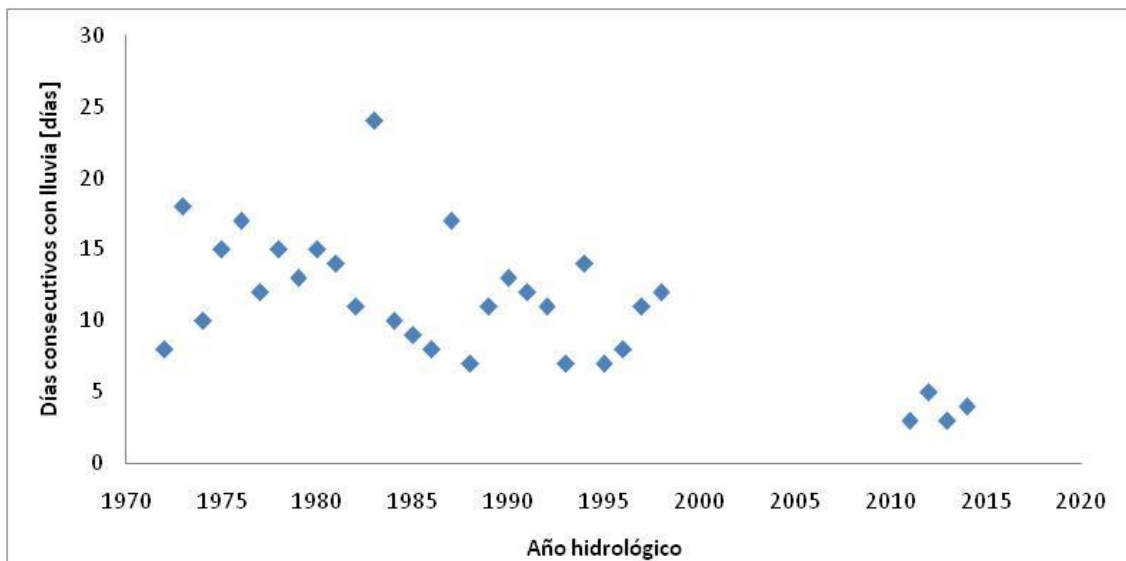


Figura 148: Serie de días consecutivos con lluvia, Bermejo Alarche.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 3 días en los años 2011 y 2013, y un máximo de 24 días en el año 1983. El valor promedio de la serie es de 11 días y posee un desvío estándar de 5 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontraron datos atípicos y se verificaron las hipótesis de independencia y homogeneidad, pero no verifica estacionariedad.

Luego de que la serie rechazó el test de Mann-Kendall, se sometió a la misma a la prueba de Mann-Kendall modificada y a la técnica de pre-blanqueo de manera tal de verificar si la no estacionariedad arrojada por Mann-Kendall era correcta. Tanto la prueba de Mann-Kendall modificada como la técnica de pre-blanqueo indicaron que existe una tendencia en la serie analizada, por lo tanto

se procedió a realizar el análisis de serie no estacionaria mediante la utilización del Software NEVA.

En la Figura 149 se muestra la variación de los valores medios de las diferentes recurrencias en el tiempo al realizar el análisis no estacionario de la serie:

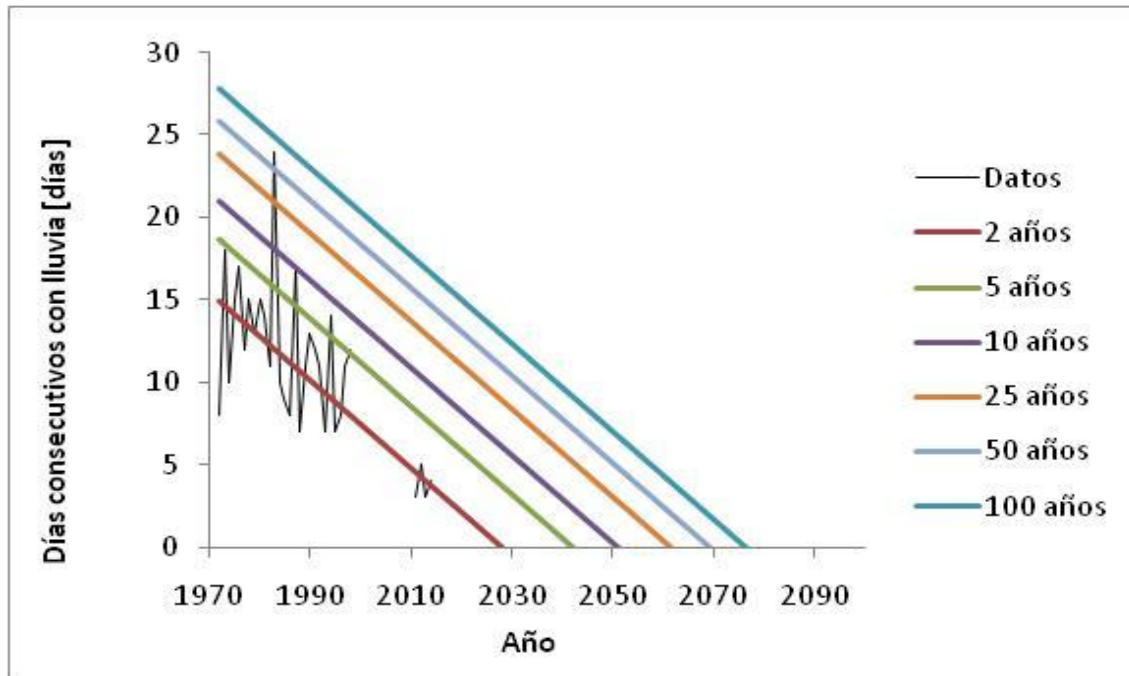


Figura 149: Valores de probabilidad para series no estacionarias de los días consecutivos con lluvia, Bermejo Alarche.

En la Figura 149 se puede ver con una línea negra como la serie de precipitaciones totales anuales se comporta a lo largo del tiempo, desde el año 1972 hasta el año 2014 (registro muestreado). Además se ve cómo se va modificando el valor medio del período de retorno a medida que pasa el tiempo. Por ejemplo, un valor de 15 días tenía un período de retorno de 5 años en el año 1985; mientras que en el año 2005 la recurrencia de este valor subió a 25 años. También se observa que debido a la tendencia de gran magnitud existente en esta serie aparecen inconsistencias en el análisis de frecuencia luego del año 2025; ya que a partir de ese año aparecerían valores negativos de precipitaciones totales anuales relacionados a los tiempos de retorno.

A continuación, en la Figura 150 se muestran para 2 horizontes de tiempo dado como varía la relación entre la variable y el tiempo de retorno con su respectivo intervalo de confianza.

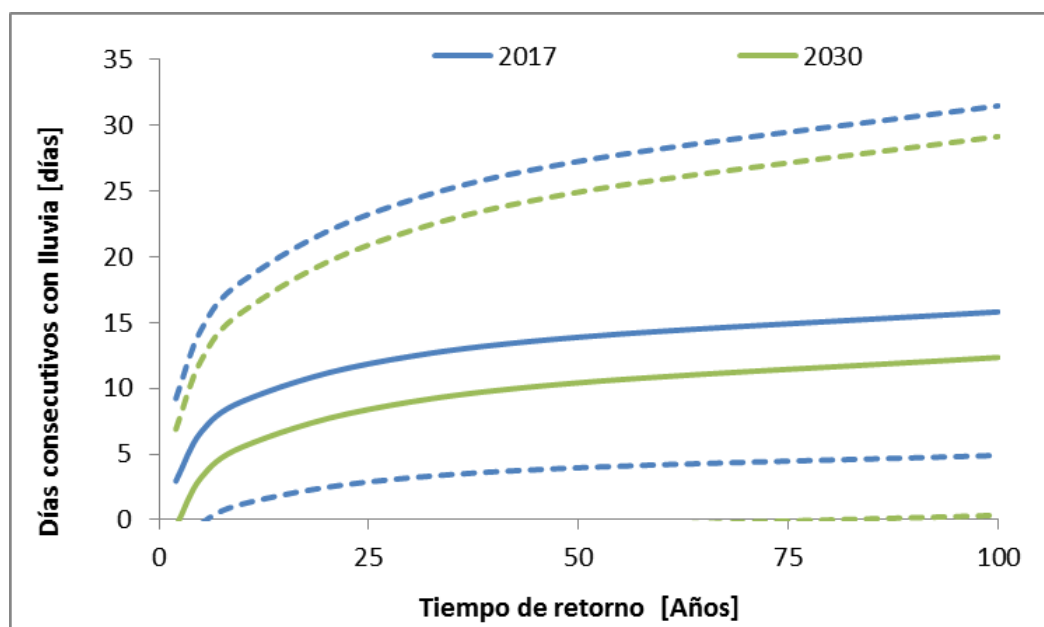


Figura 150: Comparación de periodos de retorno de los días consecutivos con lluvia, Bermejo Alarche.

De la última figura se puede ver que en la actualidad (año 2017) para un período de retorno de 50 años se asocia un valor de 10 días consecutivos con lluvia, mientras que para el año 2030 se espera que este valor disminuya a 7 días. Es decir, para un mismo período de retorno el valor de precipitación total anual disminuye.

Además se observa que a medida que avanza el horizonte de tiempo en el cual se haga el análisis, el intervalo de confianza crece significativamente: mientras que para el horizonte 2017 la magnitud del intervalo para  $T=100$  años vale 99%, en el año 2030 este valor aumenta a 136%.

### Estación: 15 – Iruya San Antonio - Salta

Esta estación cuenta con registros históricos de precipitación diaria desde el año 1982 hasta el año 2014 con datos faltantes en el año 1986 (32 años de datos).

A continuación se presentan cada uno de los análisis realizados sobre las diferentes variables de interés:

#### 1. Precipitación Máxima Diaria Anual.

La serie hidrológica de la precipitación máxima diaria anual es la que se muestra en la Figura 151.

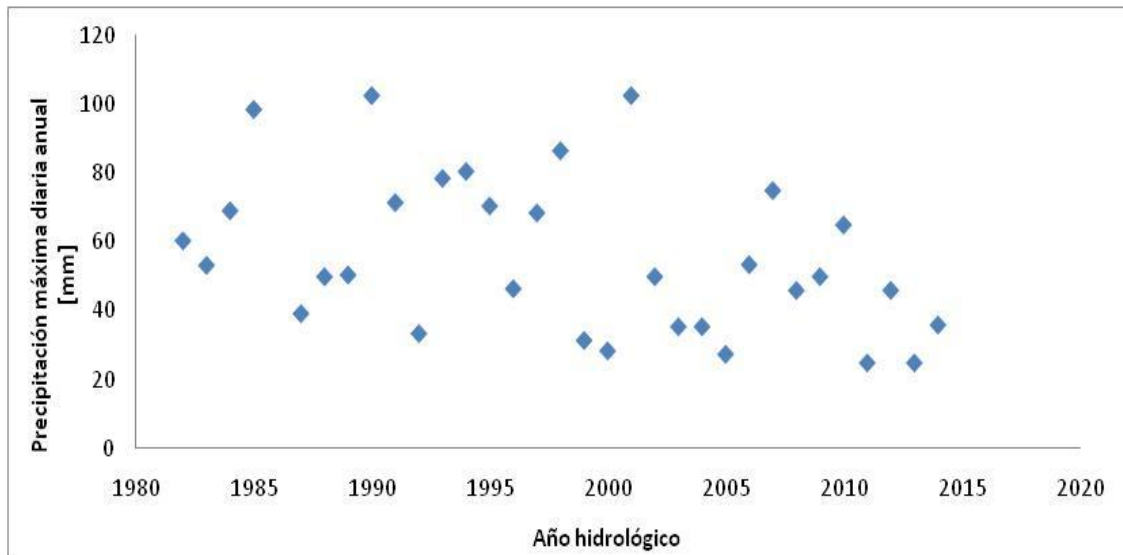


Figura 151: Serie de precipitaciones máximas diarias anuales, Iruya San Antonio.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 25.0 mm en los años 2011 y 2013; y un máximo de 102,5 mm en los años 1990 y 2001. El valor promedio de la serie es de 56.0 mm y posee un desvío estándar de 22,7mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, pruebas se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Gumbel por el método de los momentos. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 152 que se muestra a continuación.

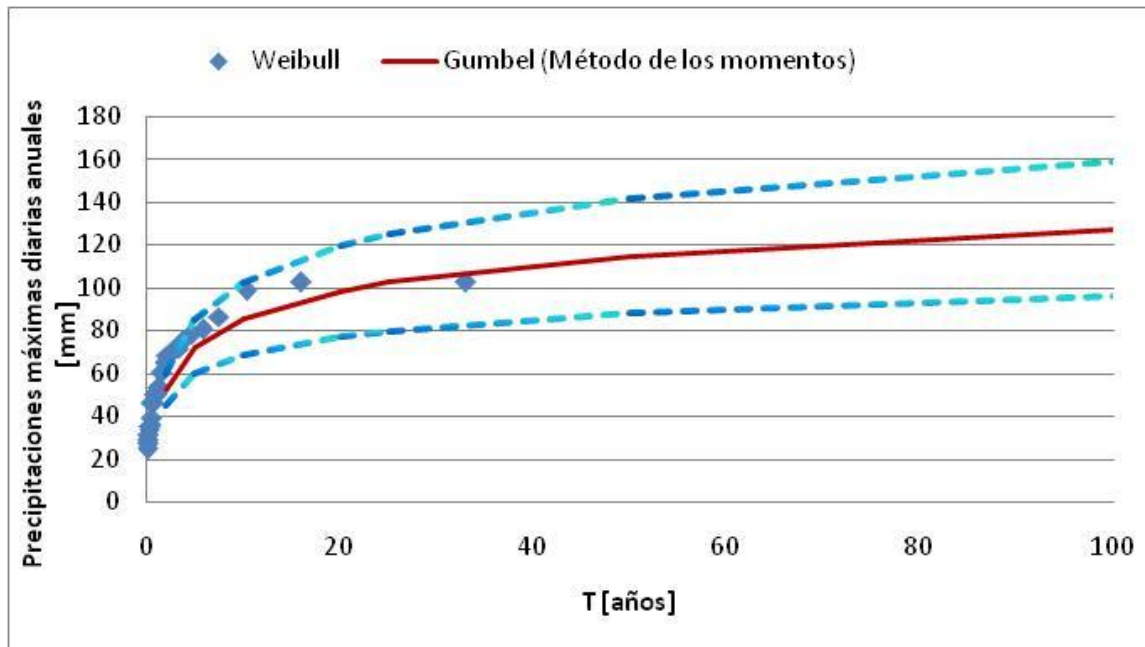


Figura 152: Distribución de probabilidades de la precipitación máxima diaria anual, Iruya San Antonio.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y la precipitación máxima diaria anual se puede ver que la FDP Teórica Gumbel por el método de los momentos ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que la lámina máxima (102.5 mm) tiene una recurrencia del orden de los 25 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 25%, para 50 años es del 23%, para 25 años es del 22%, para 20 años es del 21%, para 10 años es del 20%, para 5 años es del 17% y para 2 años es de 14%.

A continuación, en la Tabla 61, se presentan los valores de precipitación máxima diaria anual obtenidos a partir de la función Gumbel por el método de los momentos con sus respectivos intervalos de confianza.

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[mm]		
2	44.9	52.3	59.6
5	59.9	72.3	84.7
10	68.9	85.6	102.3
20	77.2	98.3	119.5
25	79.8	102.4	124.9
50	87.8	114.8	141.8
100	95.8	127.2	158.6

Tabla 61: Valores de precipitación máxima diaria anual, Iruya San Antonio.

## 2. Precipitación Total Anual.

La serie hidrológica de precipitaciones totales anuales analizada es la que se muestra en la Figura 153:

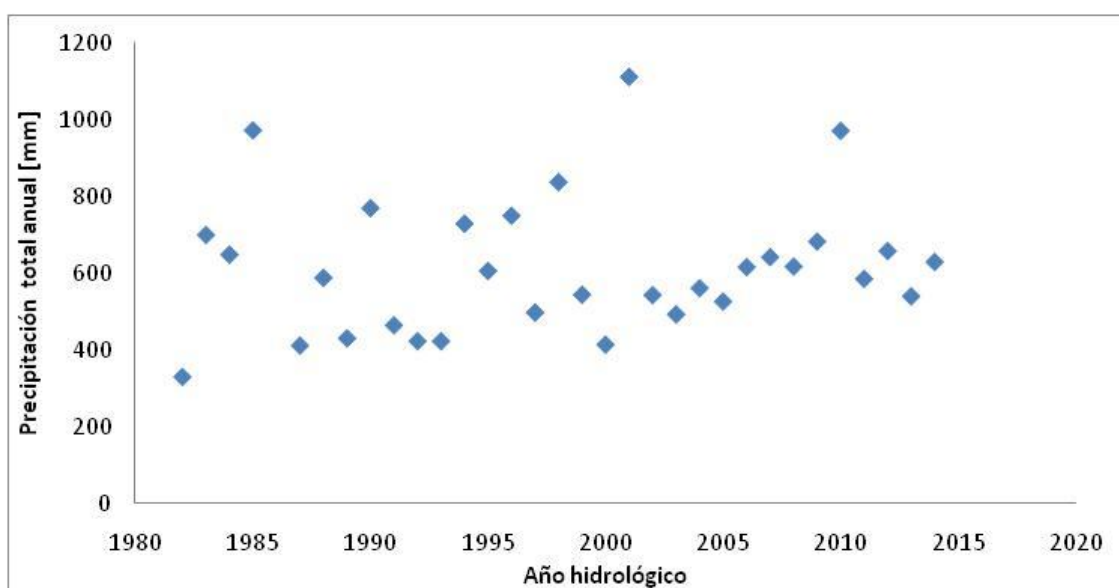


Figura 153: Serie de precipitaciones totales anuales, Iruya San Antonio.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 329.4 mm en el año 1982 y un máximo de 1111.0 mm en el año 2001. El valor promedio de la serie es de 615.6 mm. Y posee un desvío estándar de 177.1 mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar, se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Log-Normal.



Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 154:

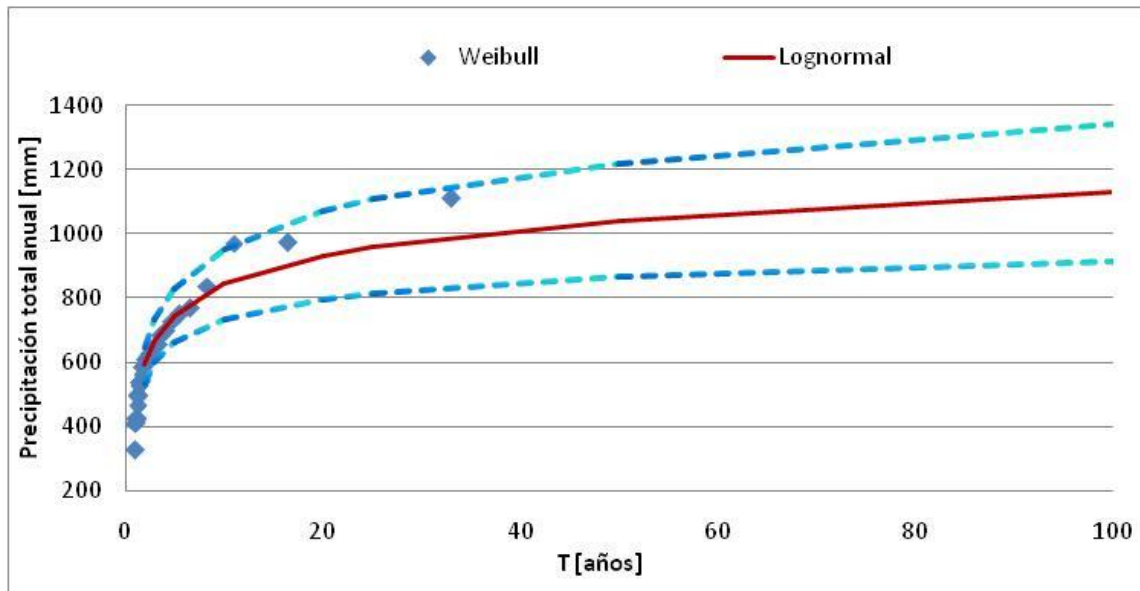


Figura 154: Distribución de probabilidades de la precipitación total anual, Iruya San Antonio.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los totales anuales se puede ver que la FDP Teórica Log-Normal arroja valores de precipitación menores a los de la FDP empírica de Weibull para tiempos de retorno mayores a los 10 años. Esto puede deberse a que el valor máximo de la serie (1111.0 mm) es muy probable que corresponda a una recurrencia de más de 100 años; y por razones de falta de muestreo (extensión de la serie) al aplicar la fórmula de Weibull aparece erróneamente asociado a 33 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 19%, para 50 años es del 17%, para 25 años es del 16%, para 20 años es del 15%, para 10 años es del 13%, para 5 años es del 11% y para 2 años es de 10%.

A continuación, en la Tabla 62, se presentan los valores de precipitación total anual obtenidos a partir de la función Log-Normal con sus respectivos intervalos de confianza.

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[mm]		
2	536	593	650
5	664	748	831
10	735	844	954
20	795	933	1070
25	813	961	1110
50	867	1040	1220
100	916	1130	1340

Tabla 62: Valores de precipitación total anual, Iruya San Antonio.

### 3. Días lluviosos al año.

La serie hidrológica de días lluviosos al año analizada es la que se muestra en la Figura 155:

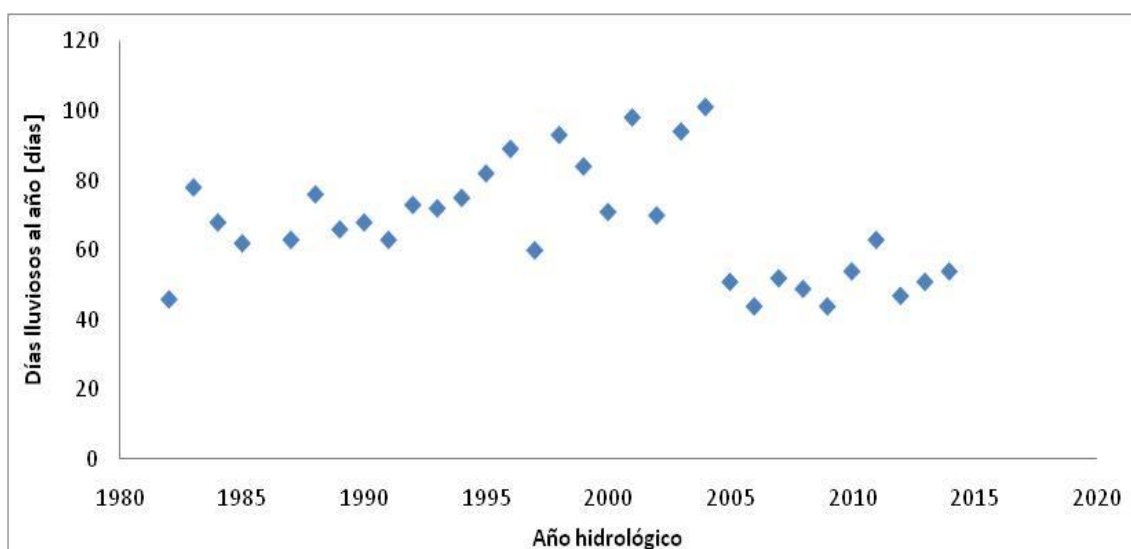


Figura 155: Serie de días lluviosos al año, Iruya San Antonio.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 44 días en los años 2006 y 2009; y un máximo de 101 días en el año 2004. El valor promedio de la serie es de 67 días y posee un desvío estándar de 16 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico, pero no se verificó la hipótesis de independencia. Por lo tanto esta serie se descartó y no se llevó a cabo el análisis.

### 4. Días lluviosos al mes.

La serie hidrológica de días lluviosos al mes analizada es la que se muestra en la Figura 156:

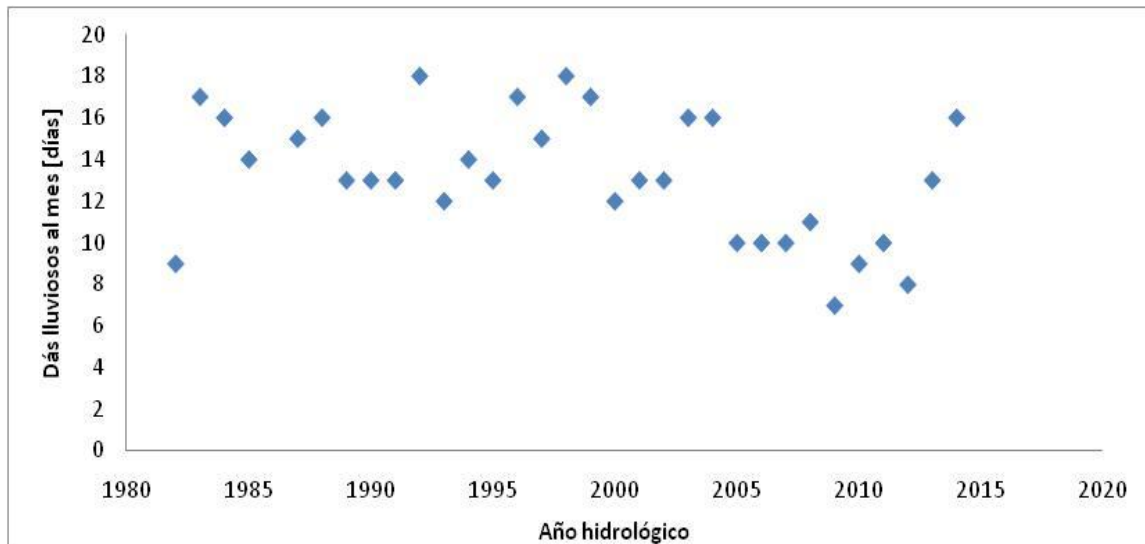


Figura 156: Serie de días lluviosos al mes, Iruya San Antonio.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 7 días en el año 2009; y un máximo de 18 días en los años 1992, 1998. El valor promedio de la serie es de 13 días y posee un desvío estándar de 3 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no encontraron datos atípicos, se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Log-Normal. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 157 que se muestra a continuación.

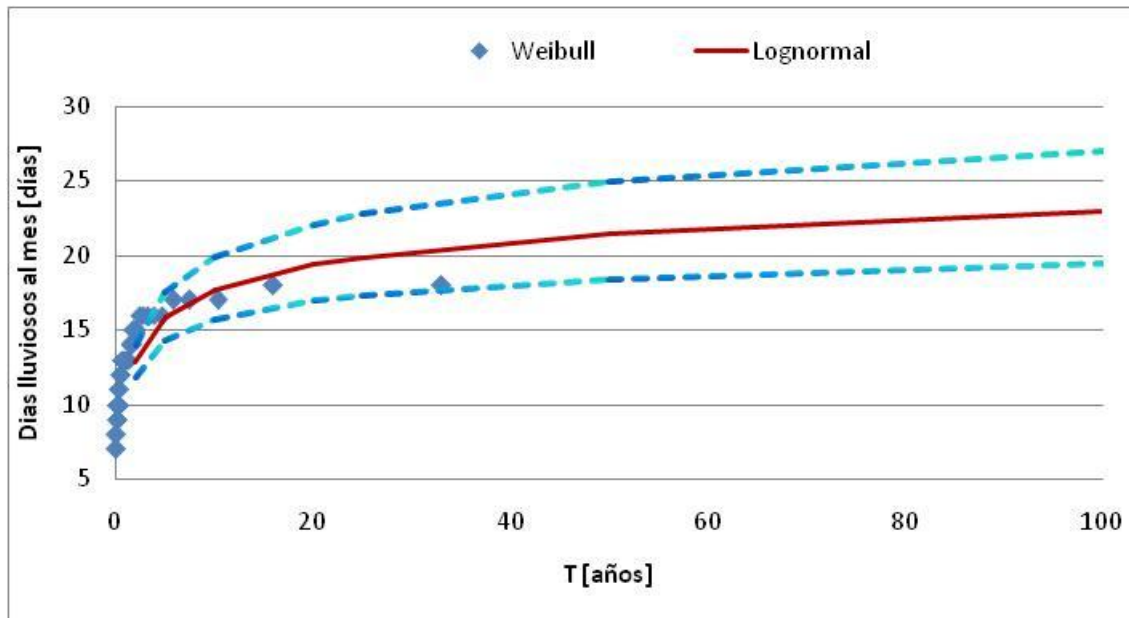


Figura 157: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al mes, Iruya San Antonio.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días lluviosos al mes se puede ver que como se está analizando una variable discreta (y no continua, ya que los días lluviosos son un número entero), al ajustar una FDP Teórica a la serie el resultado de las pruebas de bondad de ajuste es bajo. Además, al ajustar Weibull se observa que los valores máximos de la serie tienden a una asíntota (18 días lluviosos al mes aproximadamente) y por eso a medida que aumenta la recurrencia esta variable ya no crece significativamente en su magnitud.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 18%, para 50 años es del 16%, para 25 años es del 15%, para 20 años es del 14%, para 10 años es del 12%, para 5 años es del 10% y para 2 años es de 9%.

A continuación, en la Tabla 63, se presentan los valores de días lluviosos al mes obtenidos a partir de la función Log-Normal con sus respectivos intervalos de confianza.

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[días]		
2	12	13	14
5	14	16	18
10	16	18	20
20	17	19	22
25	17	20	23
50	18	21	25
100	19	23	27

Tabla 63: Valores de días lluviosos al mes, Iruya San Antonio.

### 5. Días consecutivos con lluvia

La serie hidrológica de días consecutivos con lluvia es la que se muestra en la Figura 158:

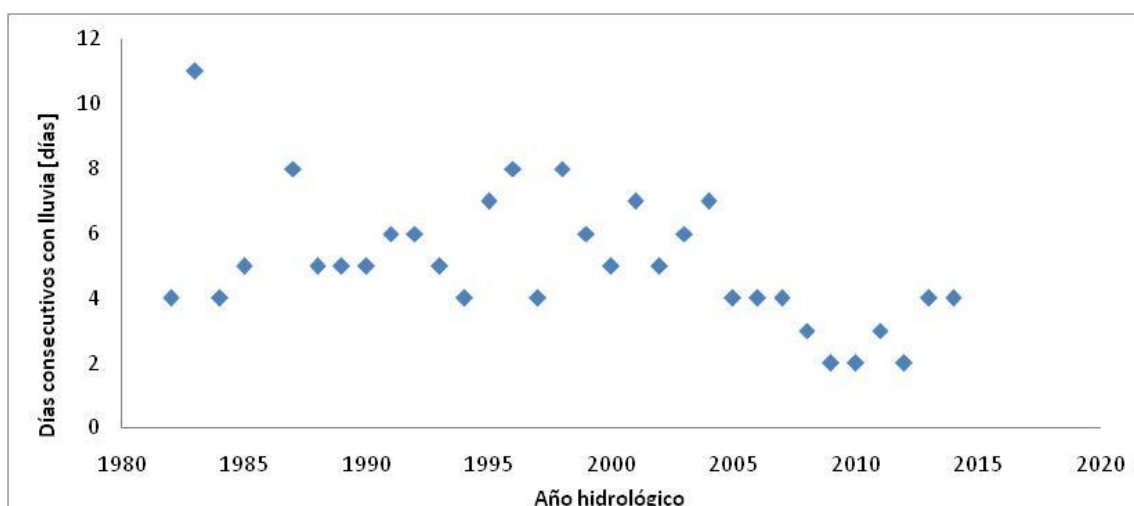


Figura 158: Serie de días consecutivos con lluvia, Iruya San Antonio.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 2 días en los años 2009, 2010 y 2012; y un máximo de 11 días en el año 1983. El valor promedio de la serie es de 5 días y posee un desvío estándar de 2 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontraron datos atípicos y se verificó la hipótesis de independencia, pero no se verificó la hipótesis de estacionariedad.

Luego de que la serie rechazó el test de Mann-Kendall, se sometió a la misma a la prueba de Mann-Kendall modificada y a la técnica de pre-blanqueo de manera tal de verificar si la no estacionariedad arrojada por Mann-Kendall era correcta. Tanto la prueba de Mann-Kendall modificada como la técnica de pre-blanqueo indicaron que existe una tendencia en la serie analizada, por lo tanto se procedió a realizar el análisis de serie no estacionaria mediante la utilización del Software NEVA.

En la Figura 159 se muestra la variación de los valores medios de las diferentes recurrencias en el tiempo al realizar el análisis no estacionario de la serie:

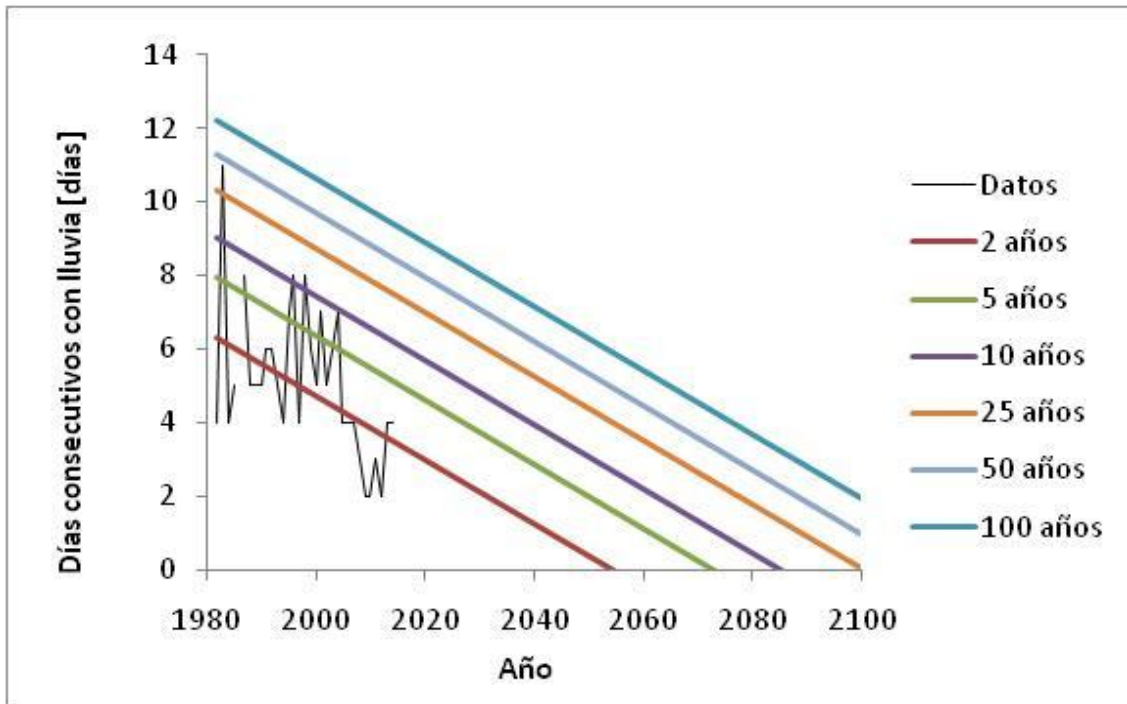


Figura 159: Valores de probabilidad para series no estacionarias de los días consecutivos con lluvia, Iruya San Antonio.

En la Figura 159 se puede ver con una línea negra como la serie de días consecutivos con lluvia se comporta a lo largo del tiempo, desde el año 1982 hasta el año 2014 (registro muestreado). Además se ve cómo se va modificando el valor medio del período de retorno a medida que pasa el tiempo. Por ejemplo, un valor de 8 días tenía un período de retorno de 5 años en el año 1985; mientras que en el año 2015 la recurrencia de este valor subió a 25 años. También se observa que debido a la tendencia de gran magnitud existente en esta serie aparecen inconsistencias en el análisis de frecuencia luego del año 2050; ya que a partir de ese año aparecerían valores negativos de precipitaciones totales anuales relacionados a los tiempos de retorno.

A continuación, en la Figura 160 se muestran para 2 horizontes de tiempo dado como varía la relación entre la variable y el tiempo de retorno con su respectivo intervalo de confianza.

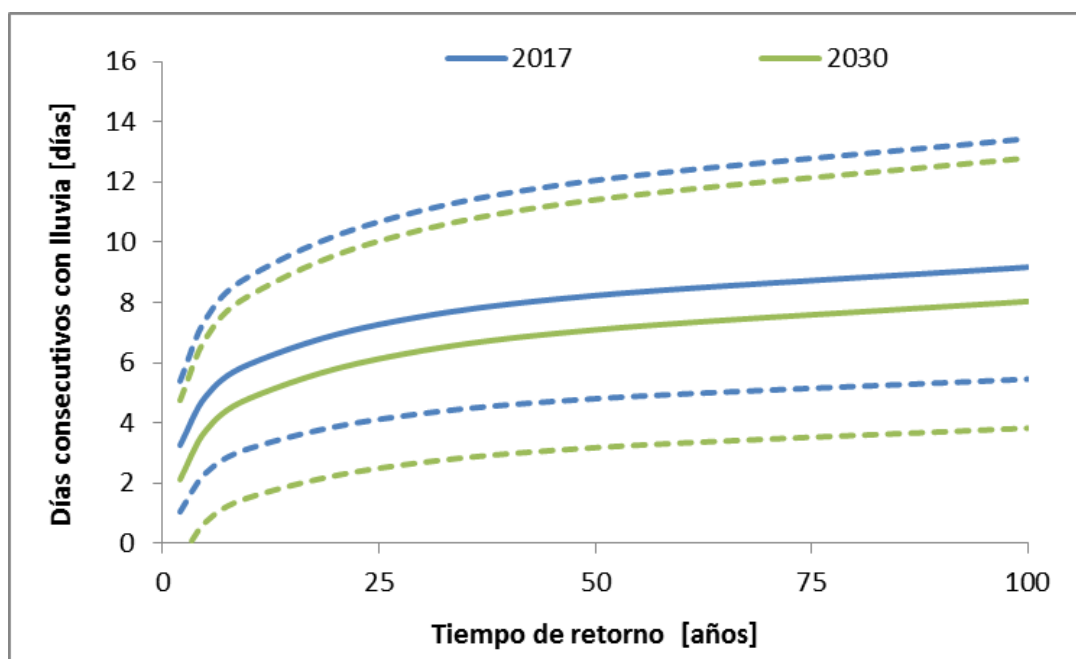


Figura 160: Comparación de periodos de retorno de los días consecutivos con lluvia, Iruya San Antonio.

De la última figura se puede ver que en la actualidad (año 2017) para un período de retorno de 50 años se asocia un valor de 8 días, mientras que para el año 2030 se espera que este valor disminuya a 6 días. Es decir, para un mismo período de retorno el valor de precipitación total anual disminuye.

Además se observa que a medida que avanza el horizonte de tiempo en el cual se haga el análisis, el intervalo de confianza crece significativamente: mientras que para el horizonte 2017 la magnitud del intervalo para  $T=100$  años vale 47%, en el año 2030 este valor se reduce a 59%.

### Estación: 16 – Pescado Cuatro Cedros - Salta

Esta estación cuenta con registros históricos de precipitación diaria desde el año 1964 hasta el año 2014 con datos faltantes en el año 1980 (50 años de datos).

A continuación se presentan cada uno de los análisis realizados sobre las diferentes variables de interés:

#### 1. Precipitación Máxima Diaria Anual.

La serie hidrológica de la precipitación máxima diaria anual es la que se muestra en la Figura 161.

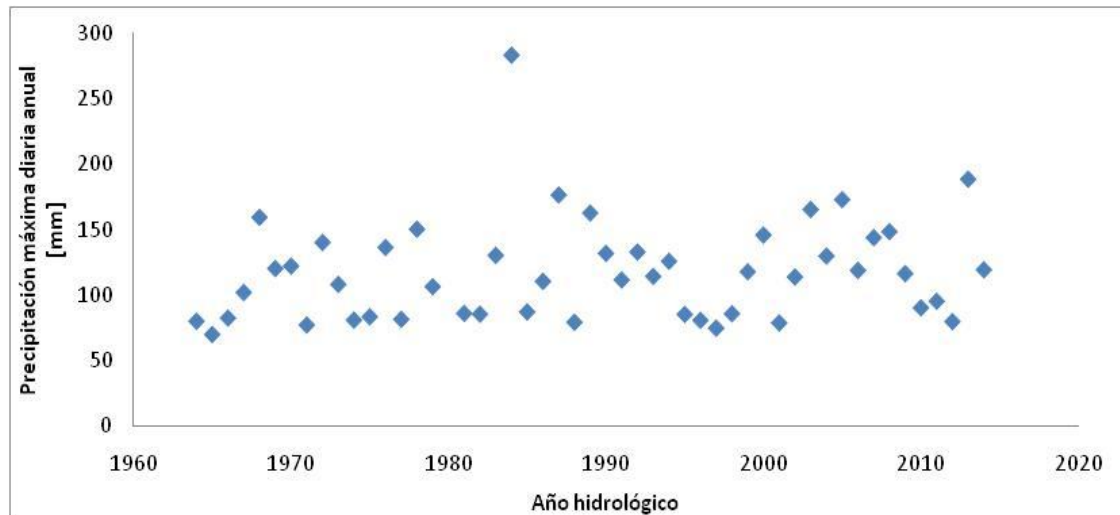


Figura 161: Serie de precipitaciones máximas diarias anuales, Pescado Cuatro Cedros.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 70.2 mm en el año 1965 y un máximo de 283.1 mm en el año 1981. El valor promedio de la serie es de 117.6 mm y posee un desvío estándar de 39.1 mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie se encontró un dato atípico correspondiente a 283.1 mm en el año 1981. Este dato atípico puede deberse a que ese año hidrológico fue demasiado húmedo o bien que hubo un error de datos pluviométricos registrados en ese periodo. Este último dato fue eliminado de la serie y se aplicó nuevamente el test el cual no arrojó ningún otro dato atípico. En base a esto último, la serie que finalmente fue analizada contaba 49 datos, con un mínimo de 70.2 mm en el año 1965 y un máximo de 188.5 mm en el año 2013. El valor promedio de la serie es de 114.2 mm y posee un desvío estándar de 31.2mm. Por otro lado se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Gumbel por el método de los momentos. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 162 que se muestra a continuación.



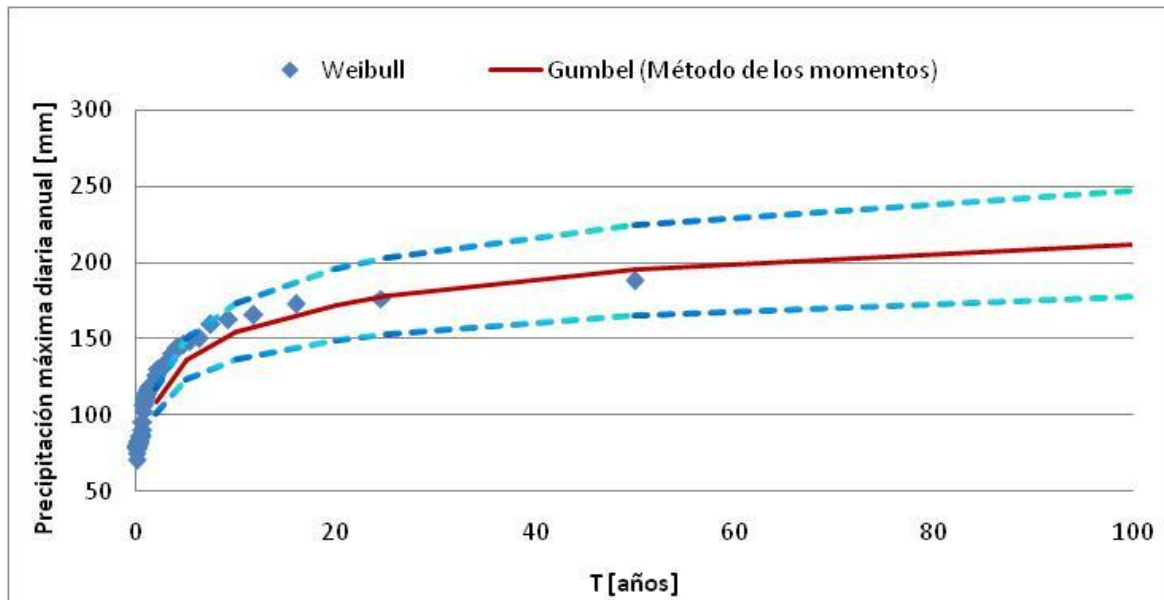


Figura 162: Distribución de probabilidades de la precipitación máxima diaria anual, Pescado Cuatro Cedros.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y la precipitación máxima diaria anual se puede ver que la FDP Teórica Gumbel por el método de los momentos ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que la lámina máxima (188.5 mm) tiene una recurrencia del orden de los 50 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 16%, para 50 años es del 15%, para 25 años es del 14%, para 20 años es del 14%, para 10 años es del 12%, para 5 años es del 10% y para 2 años es de 7%.

A continuación, en la Tabla 64, se presentan los valores de precipitación máxima diaria anual obtenidos a partir de la función Gumbel por el método de los momentos con sus respectivos intervalos de confianza.

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[mm]		
2	100.9	109.1	117.2
5	122.9	136.7	150.4
10	136.4	154.9	173.5
20	149.0	172.5	195.9
25	153.0	178.0	203.1
50	165.2	195.2	225.1
100	177.3	212.2	247.0

Tabla 64: Valores de precipitación máxima diaria anual, Pescado Cuatro Cedros.

## 2. Precipitación Total Anual.

La serie hidrológica de precipitaciones totales anuales analizada es la que se muestra la Figura 163:

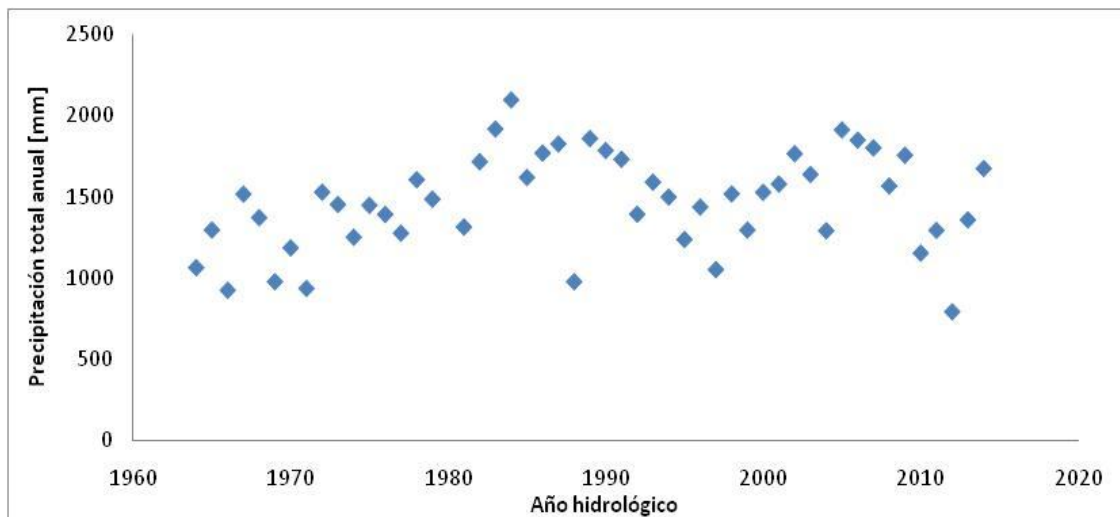


Figura 163: Serie de precipitaciones totales anuales, Pescado Cuatro Cedros.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 792.7 mm en el año 2012 y un máximo de 2096.1 mm en el año 1984. El valor promedio de la serie es de 1466.1 mm y posee un desvío estándar de 297.2 mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar, se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es GEV por el método de los momentos. Se puede ver la relación entre la variable y las

diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 164:

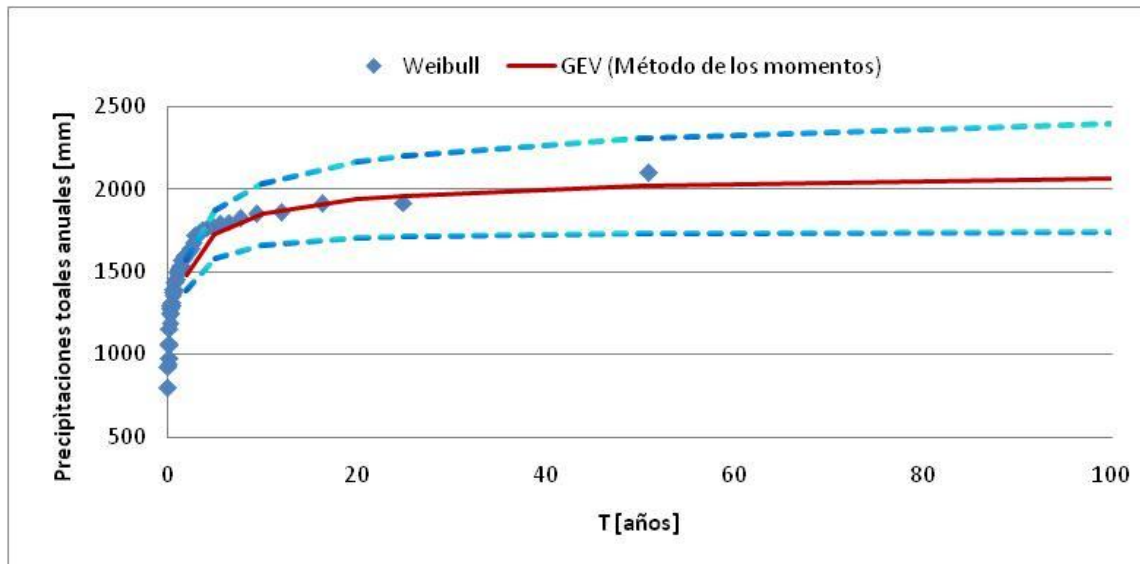


Figura 164: Distribución de probabilidades de la precipitación total anual, Pescado Cuatro Cedros.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y la precipitación total anual se puede ver que la FDP Teórica GEV por el método de los momentos ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que la lámina máxima (2096.1 mm) tiene una recurrencia del orden de los 100 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 16%, para 50 años es del 14%, para 25 años es del 12%, para 20 años es del 12%, para 10 años es del 10%, para 5 años es del 8% y para 2 años es de 6%.

A continuación, en la Tabla 65, se presentan los valores de precipitación total anual obtenidos a partir de la función GEV por el método de los momentos con sus respectivos intervalos de confianza.

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[mm]		
2	1381.8	1477.4	1573.1
5	1582.7	1729.6	1876.5
10	1659.9	1848.4	2036.8
20	1705.4	1935.9	2166.5
25	1715.2	1959.3	2203.5
50	1733.8	2020.5	2307.2
100	1738.3	2067.8	2397.2

Tabla 65: Valores de precipitación total anual, Pescado Cuatro Cedros.

### 3. Días lluviosos al año.

La serie hidrológica de días lluviosos al año analizada es la que se muestra en la Figura 165:

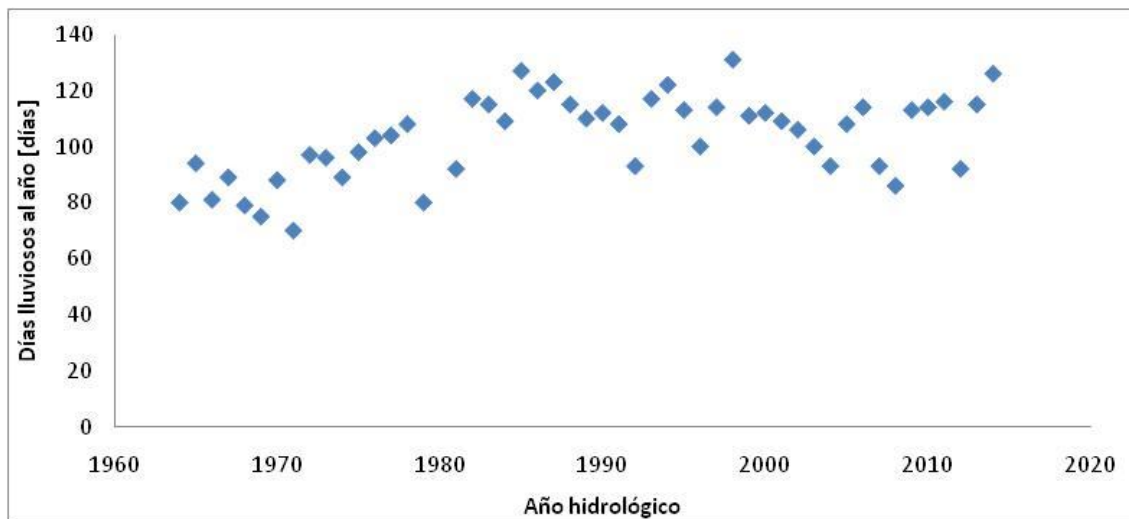


Figura 165: Serie de días lluviosos al año, Pescado Cuatro Cedros.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 70 días en el año 1991; y un máximo de 131 días en el año 1998. El valor promedio de la serie es de 103 días y posee un desvío estándar de 14 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico, pero no verificó la hipótesis de independencia. Aun descartando la serie, se analiza la misma como no estacionaria, ya que tampoco verifica estacionariedad.

Luego de que la serie rechazó el test de Mann-Kendall, se sometió a la misma a la prueba de Mann-Kendall modificada y a la técnica de pre-blanqueo de manera tal de verificar si la no estacionariedad arrojada por Mann-Kendall era correcta. Tanto la prueba de Mann-Kendall modificada como la técnica de pre-blanqueo indicaron que existe una tendencia en la serie analizada, por lo tanto se procedió a realizar el análisis de serie no estacionaria mediante la utilización del Software NEVA.

En la Figura 166 se muestra la variación de los valores medios de las diferentes recurrencias en el tiempo al realizar el análisis no estacionario de la serie:

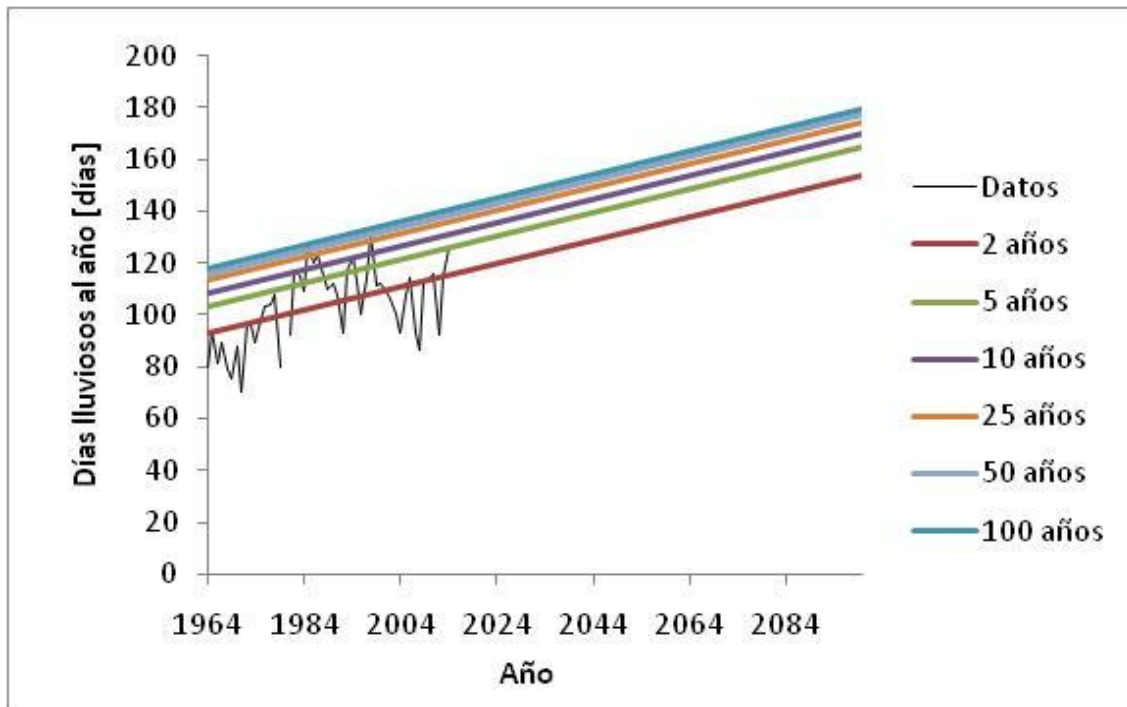


Figura 166: Valores de probabilidad para series no estacionarias de los días lluviosos al año, Pescado Cuatro Cedros.

En la Figura 166 se puede ver con una línea negra como la serie de precipitaciones totales anuales se comporta a lo largo del tiempo, desde el año 1964 hasta el año 2014 (registro muestreado). Además se ve cómo se va modificando el valor medio del período de retorno a medida que pasa el tiempo. Por ejemplo, un valor de 120 días tenía un período de retorno de 25 años en el año 1985; mientras que en el año 2005 la recurrencia de este valor bajó a 5 años.

A continuación, en la Figura 167 se muestran para 3 horizontes de tiempo dado como varía la relación entre la variable y el tiempo de retorno con su respectivo intervalo de confianza.

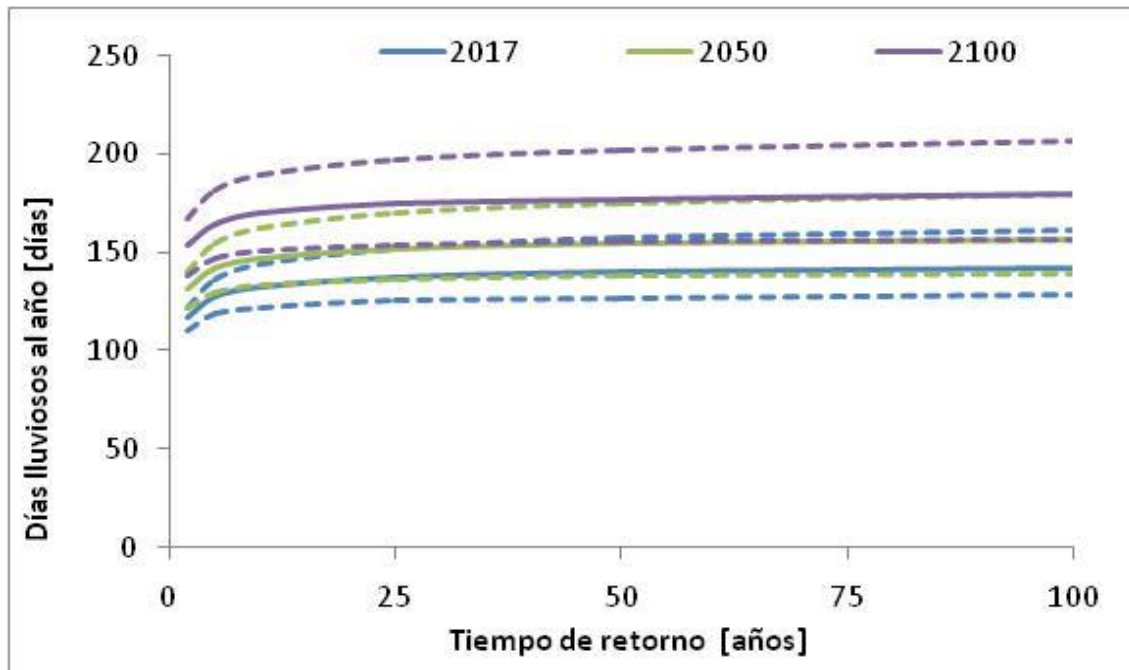


Figura 167: Comparación de períodos de retorno de los días lluviosos al año, Pescado Cuatro Cedros.

De la última figura se puede ver que en la actualidad (año 2017) para un período de retorno de 50 años se asocia un valor de 125 días lluviosos al año, mientras que para el año 2050 se espera que este valor aumente a 150 días. Es decir, para un mismo período de retorno el valor de días lluviosos al año aumenta.

Además se observa que a medida que avanza el horizonte de tiempo en el cual se haga el análisis, el intervalo de confianza crece significativamente: mientras que para el horizonte 2017 la magnitud del intervalo para  $T=100$  años vale 50%, en el año 2030 este valor se reduce a 74%.

#### 4. Días lluviosos al mes.

La serie hidrológica de días lluviosos al mes analizada es la que se muestra en la Figura 168.

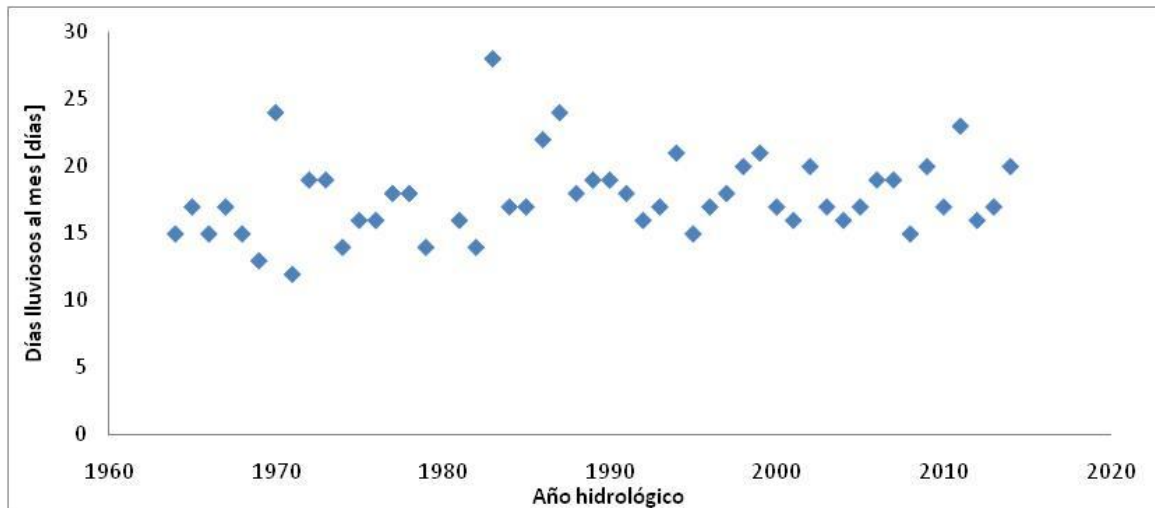


Figura 168: Serie de días lluviosos al mes, Pescado Cuatro Cedros.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 12 días en el año 1971; y un máximo de 28 días en el año 1983. El valor promedio de la serie es de 18 días y posee un desvío estándar de 3 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie se encontró un dato atípico correspondiente a 28 días en el año 1983. Este dato atípico puede deberse a que ese año hidrológico fue demasiado húmedo o bien que hubo un error de datos pluviométricos registrados en ese periodo. Este último dato fue eliminado de la serie y se aplicó nuevamente el test el cual no arrojó ningún otro dato atípico. En base a esto último, la serie que finalmente fue analizada contaba 49 datos, con un mínimo de 12 días en el año 1971, y un máximo de 24 días en los años 1970 y 1987. El valor promedio de la serie es de 18 días y posee un desvío estándar de 3 días. Por otro lado se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Log-Normal. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 169 que se muestra a continuación.

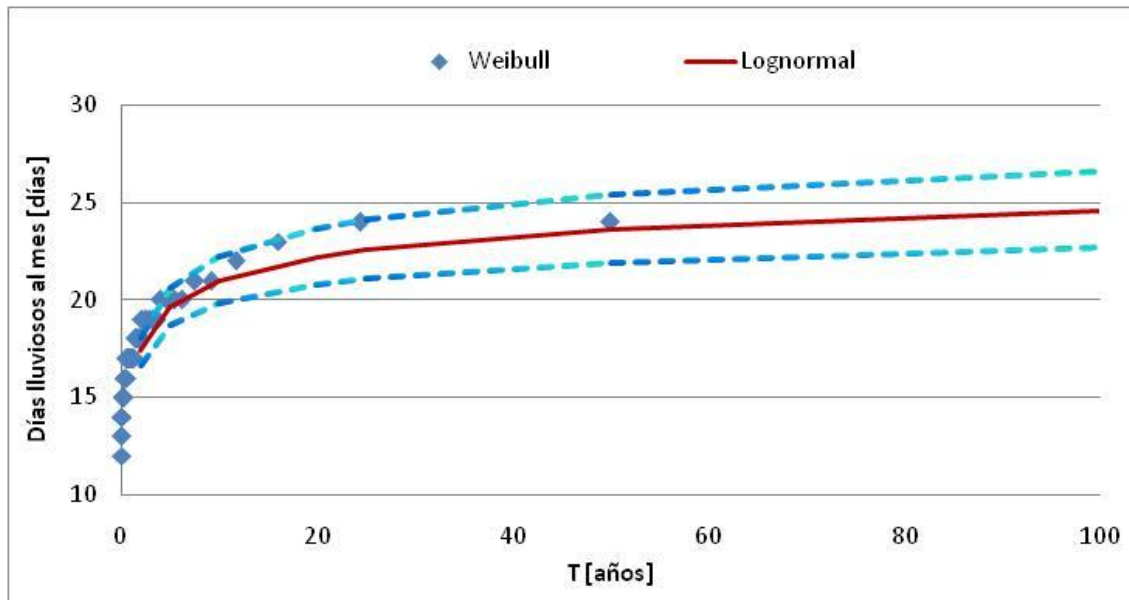


Figura 169: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al mes, Pescado Cuatro Cedros.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días lluviosos al mes se puede ver que la FDP Teórica Log-normal ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que el valor máximo (24 días) tiene una recurrencia del orden de los 50 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 8%, para 50 años es del 8%, para 25 años es del 7%, para 20 años es del 7%, para 10 años es del 6%, para 5 años es del 5% y para 2 años es de 4%.

A continuación, en la Tabla 66, se presentan los valores de días lluviosos al mes obtenidos a partir de la función Log-Normal con sus respectivos intervalos de confianza:



T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[días]		
2	17	17	18
5	19	20	21
10	20	21	22
20	21	22	24
25	21	23	24
50	22	24	25
100	23	25	27

Tabla 66: Valores de días lluviosos al mes, Pescado Cuatro Cedros.

### 5. Días consecutivos con lluvia

La serie hidrológica de días consecutivos con lluvia es la que se muestra en la Figura 170:

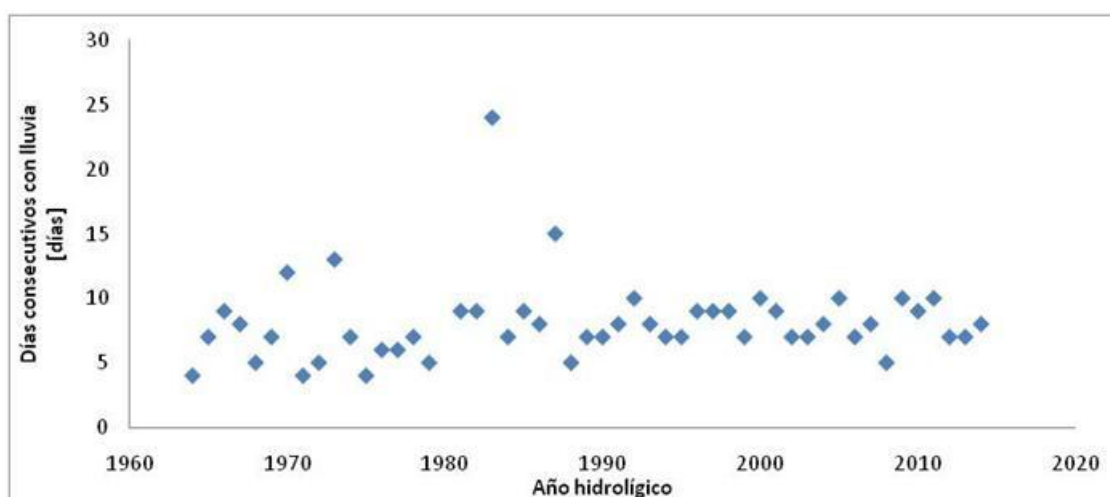


Figura 170: Serie de días consecutivos con lluvia, Pescado Cuatro Cedros.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 4 días en los años 1964, 1971 y 1975; y un máximo de 24 días en el año 1983. El valor promedio de la serie es de 8 días y posee un desvío estándar de 3 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie se encontró un dato atípico correspondiente a 24 días en el año 1983. Este dato atípico puede deberse a que ese año hidrológico fue demasiado lluvioso o bien que hubo un error de datos pluviométricos registrados en ese periodo. Este último dato fue eliminado de la serie y se aplicó nuevamente el test el cual no arrojó ningún otro dato atípico. En base a esto último, la serie que finalmente fue analizada contaba 49 datos, con un mínimo de 4 días en los años 1964, 1971 y 1975, y un máximo de 15 días en el año 1987. El valor promedio de la serie es de 8 días y posee un desvío estándar de 2 días. Por otro lado se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Log-Normal. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 171:

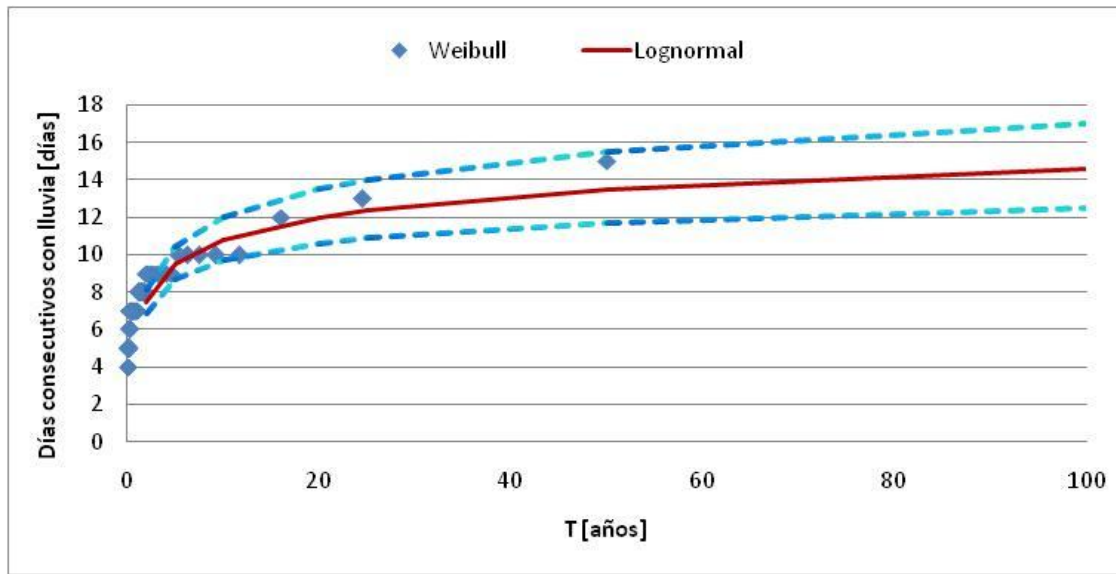


Figura 171: Distribución de probabilidades de los días consecutivos con lluvia, Pescado Cuatro Cedros.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y días consecutivos con lluvia se puede ver que la FDP Teórica Log-Normal arroja valores menores a los de la FDP empírica de Weibull para tiempos de retorno mayores a los 15 años. Esto puede deberse a que el valor máximo de la serie (15 días) es muy probable que corresponda a una recurrencia de más de 100 años; y por razones de falta de muestreo (extensión de la serie) al aplicar la fórmula de Weibull aparece erróneamente asociado a 50 años

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 17%, para 50 años es del 15%, para 25 años es del 14%, para 20 años es del 13%, para 10 años es del 11%, para 5 años es del 10% y para 2 años es de 8%.

A continuación, en la Tabla 67, se presentan los valores de días consecutivos con lluvia obtenidos a partir de la función Log-Normal con sus respectivos intervalos de confianza:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[días]		
2	7	7	8
5	9	9	10
10	10	11	12
20	11	12	14
25	11	12	14
50	12	13	16
100	12	15	17

Tabla 67: Valores de días consecutivos con lluvia, Pescado Cuatro Cedros.

### Estación: 17 – Tarija Astilleros - Salta

Esta estación cuenta con registros históricos de precipitación diaria desde el año 1971 hasta el año 2014 sin datos faltantes (44 años de datos).

A continuación se presentan cada uno de los análisis realizados sobre las diferentes variables de interés:

#### 1. Precipitación Máxima Diaria Anual.

La serie hidrológica la precipitación máxima diaria anual es la que se muestra en la Figura 172:

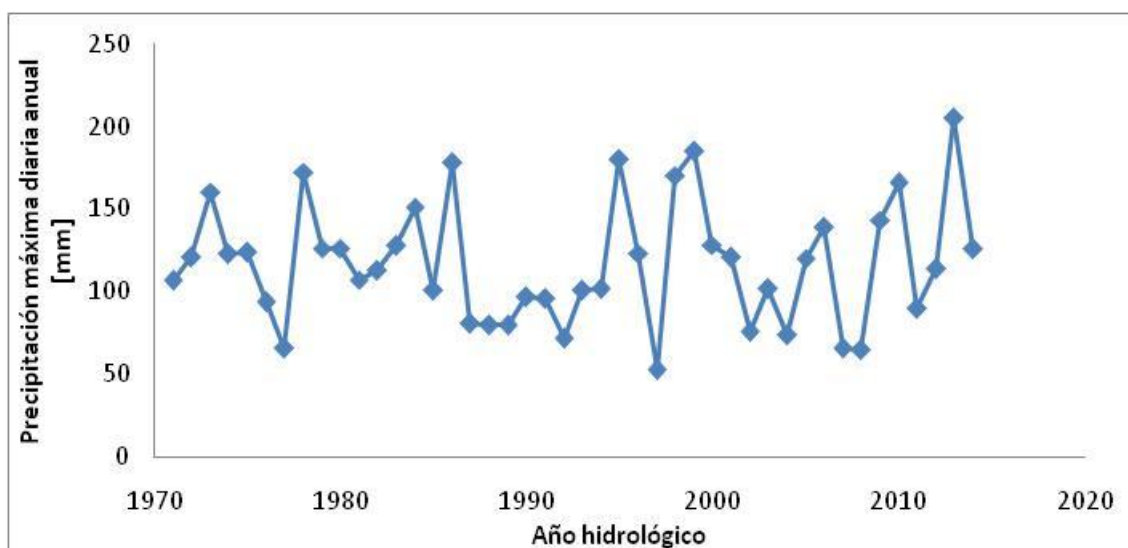


Figura 172: Serie de precipitaciones máximas diarias anuales, Tarija Astilleros.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 53.0 mm en el año 1997 y un máximo de 205.0 mm en el año 2013. El valor promedio de la serie es de 117.1 mm y posee un desvío estándar de 37.8 mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Gumbel por el método de los momentos. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 173:

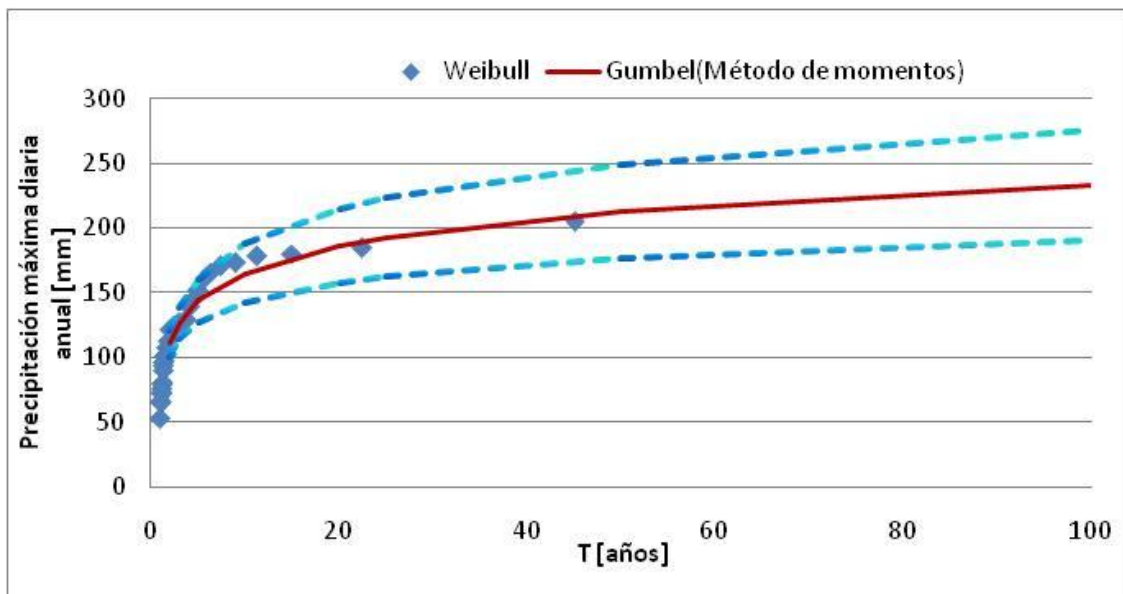


Figura 173: Distribución de probabilidades de la precipitación máxima diaria anual, Tarija Astilleros.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y la precipitación máxima diaria anual se puede ver que la FDP Teórica Gumbel por el método de los momentos ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que la lámina máxima (205.0 mm) tiene una recurrencia del orden de los 45 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 18%, para 50 años es del 17%, para 25

años es del 16%, para 20 años es del 16%, para 10 años es del 14%, para 5 años es del 11% y para 2 años es de 9%.

A continuación, en la Tabla 68, se presentan los valores de precipitación máxima diaria anual obtenidos a partir de la función Gumbel por el método de los momentos con sus respectivos intervalos de confianza:

T [años]	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
	[mm]		
2	101	111	121
5	127	144	160
10	142	165	188
20	157	186	215
25	162	192	223
50	176	213	249
100	190	233	275

Tabla 68: Valores de precipitación máxima diaria anual, Tarija Astilleros.

## 2. Precipitación Total Anual.

La serie hidrológica de precipitaciones totales anuales analizada es la que se muestra en la Figura 174:

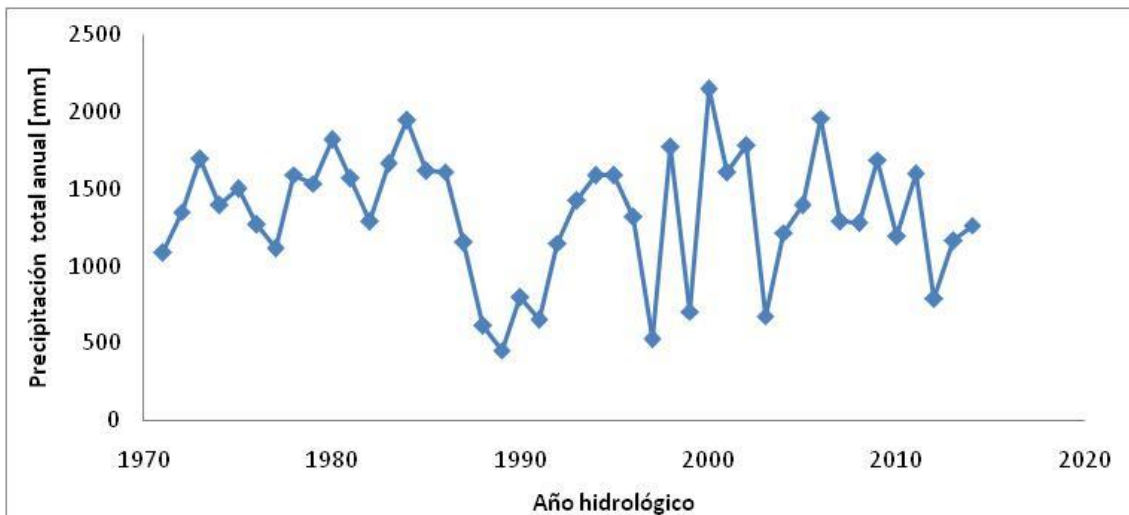


Figura 174: Serie de precipitaciones totales anuales, Tarija Astilleros.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 455.8 mm en el año 1989 y un máximo de 2145.5 mm en el año 2000. El valor promedio de la serie es de 1337.9 mm y posee un desvío estándar de 306.9 mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie se encontró un dato atípico correspondiente a 455.8 mm en el año 1989. Este dato atípico puede deberse a que ese año hidrológico fue demasiado seco o bien que hay faltante de datos pluviométricos registrados en ese periodo. Este último dato fue eliminado de la serie y se aplicó nuevamente el test el cual no arrojó ningún otro dato atípico. En base a esto último, la serie que finalmente fue analizada

contaba 43 datos, con un mínimo de 530.8 mm en el año 1997 y un máximo de 2145.5 mm en el año 2000. El valor promedio de la serie es de 1358.4 mm y posee un desvío estándar de 388.1 mm. Por otro lado se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar, se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Gumbel por el método de los momentos. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 175:

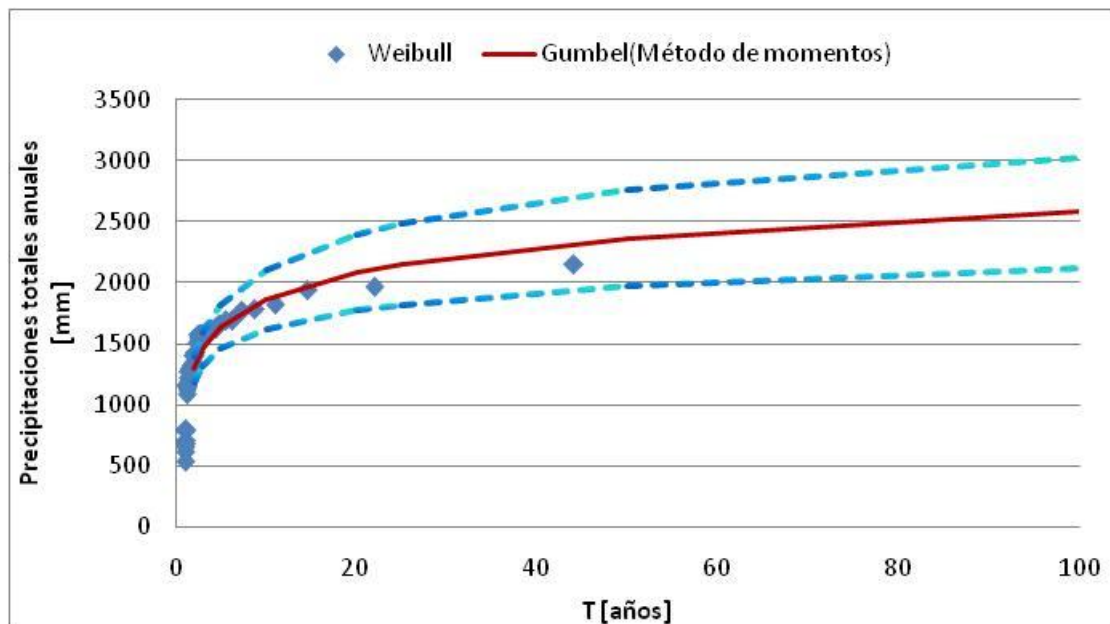


Figura 175: Distribución de probabilidades de la precipitación total anual, Tarija Astilleros.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y la precipitación total anual se puede ver que la FDP Teórica Gumbel por el método de los momentos ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que la lámina máxima (2145.5 mm) tiene una recurrencia del orden de los 25 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa

diferencia por el valor medio) es del 17%, para 50 años es del 17%, para 25 años es del 15%, para 20 años es del 15%, para 10 años es del 13%, para 5 años es del 11% y para 2 años es de 9%.

A continuación, en la Tabla 69, se presentan los valores de precipitación total anual obtenidos a partir de la función Gumbel por el método de los momentos con sus respectivos intervalos de confianza:

T [años]	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
	[mm]		
2	1190	1290	1400
5	1460	1640	1820
10	1620	1860	2110
20	1780	2080	2390
25	1820	2150	2480
50	1970	2360	2760
100	2120	2580	3030

Tabla 69: Valores de precipitación total anual, Tarija Astilleros.

### 3. Días lluviosos al año.

La serie hidrológica de días lluviosos al año analizada es la que se muestra en la Figura 176:

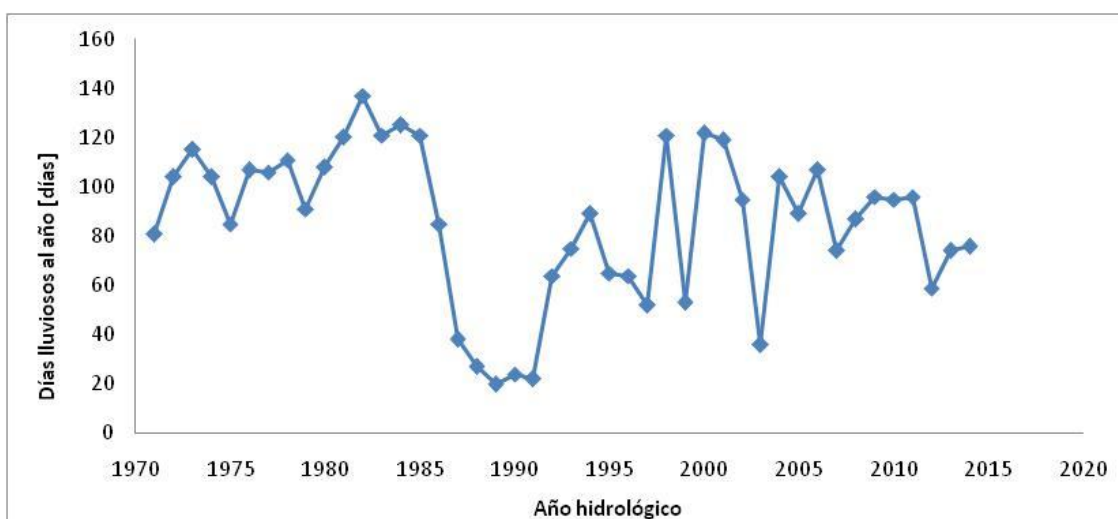


Figura 176: Serie de días lluviosos al año, Tarija Astilleros.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 20 días en el año 1989; y un máximo de 137 días en el año 1982. El valor promedio de la serie es de 85 días y posee un desvío estándar de 31 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico, pero no se verificó la hipótesis de independencia. Por lo tanto esta serie se descartó y no se llevó a cabo el análisis.

### 4. Días lluviosos al mes.

La serie hidrológica de días lluviosos al mes analizada es la que se muestra en la Figura 177:

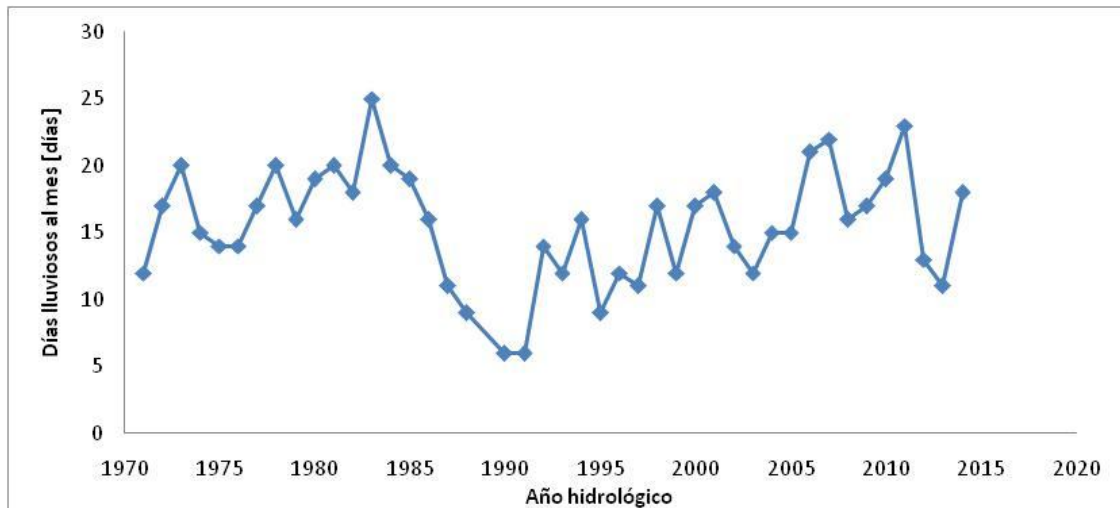


Figura 177: Serie de días lluviosos al mes, Tarija Astilleros.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 6 días en los años 1990 y 1991 y un máximo de 25 días en el año 1983. El valor promedio de la serie es de 15 días y posee un desvío estándar de 4 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico, pero no se verificó la hipótesis de independencia. Por lo tanto esta serie se descartó y no se llevó a cabo el análisis.

##### 5. Días consecutivos con lluvia

La serie hidrológica de días consecutivos con lluvia analizada es la que se muestra en la Figura 178:

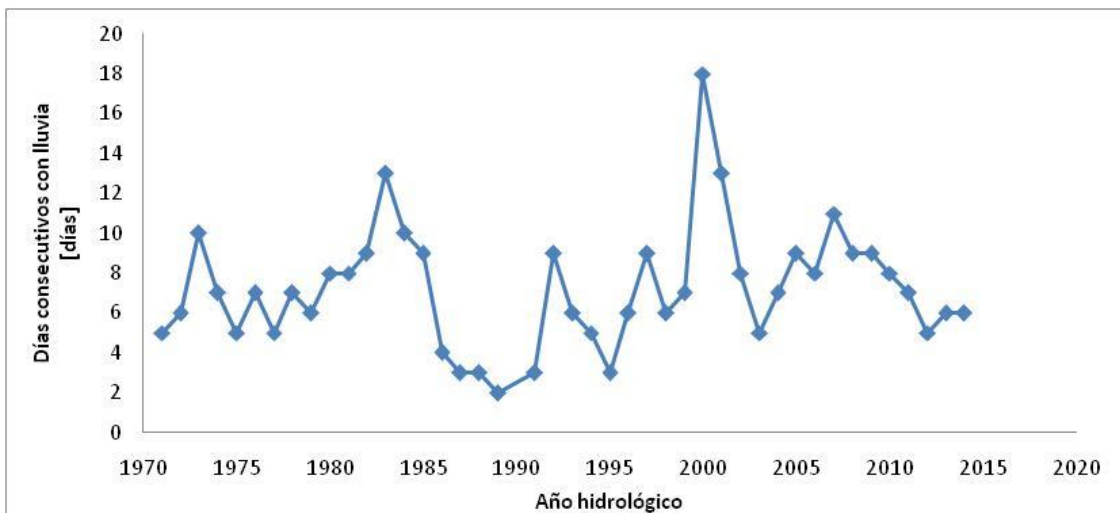


Figura 178: Serie de días consecutivos con lluvia, Tarija Astilleros.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 2 días en el año 1989 y un máximo de 18 días en el año 2000. El valor promedio de la serie es de 7 días y



Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico, pero no se verificó la hipótesis de independencia. Por lo tanto esta serie se descartó y no se llevó a cabo el análisis.

### Estación: 18 – Tarija San Telmo - Salta

Esta estación cuenta con registros históricos de precipitación diaria desde el año 1971 hasta el año 2014 con datos faltantes (44 años de datos).

A continuación se presentan cada uno de los análisis realizados sobre las diferentes variables de interés:

#### 1. Precipitación Máxima Diaria Anual.

La serie hidrológica de la precipitación máxima diaria anual analizada es la que se muestra en la Figura 179:

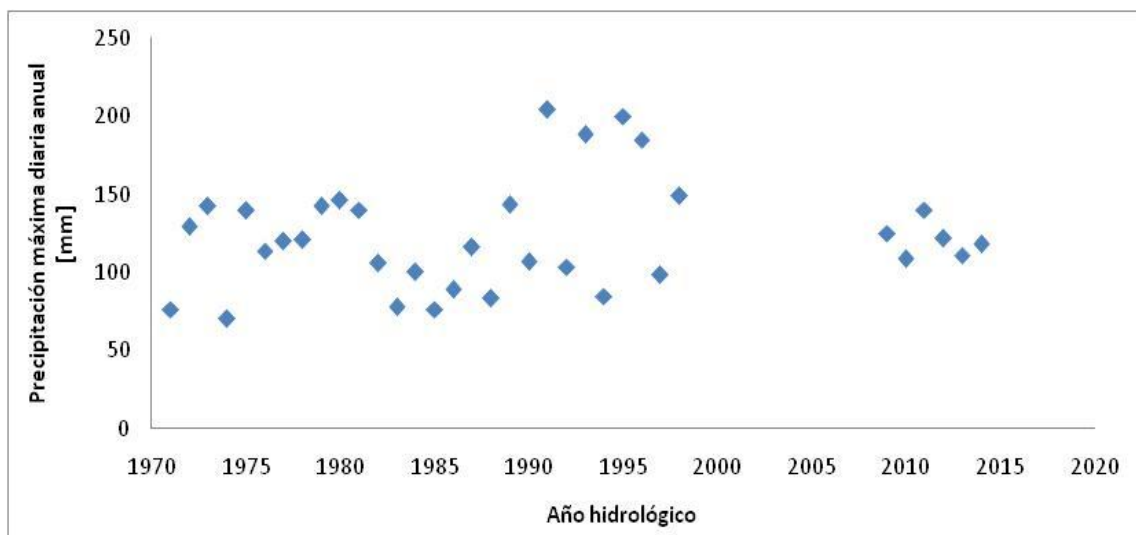


Figura 179: Serie de precipitaciones máximas anuales, Tarija San Telmo.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 70.0 mm en el año 1974 y un máximo de 204.3 mm en el año 1991. El valor promedio de la serie es de 122.9 mm y posee un desvío estándar de 34.7mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Gumbel por el método de máxima verosimilitud. Se puede ver la relación entre la variable y

las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 180:

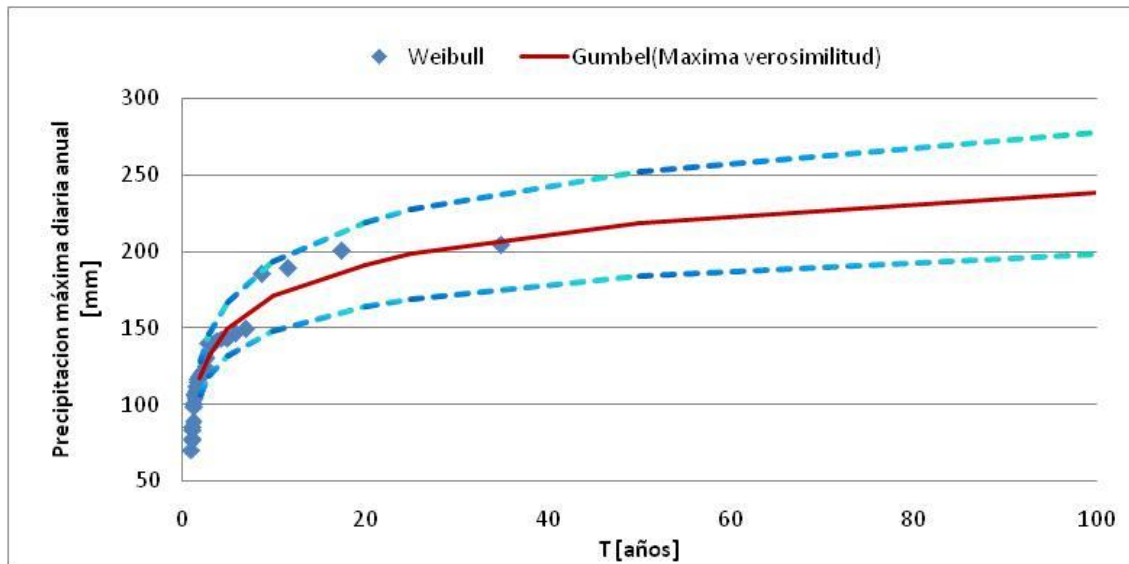


Figura 180: Distribución de probabilidades de la precipitación máxima diaria anual, Tarija San Telmo.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y la precipitación máxima diaria anual se puede ver que la FDP Teórica Gumbel por el método de máxima verosimilitud ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que la lámina máxima (204 mm) tiene una recurrencia del orden de los 35 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 16%, para 50 años es del 16%, para 25 años es del 15%, para 20 años es del 15%, para 10 años es del 13%, para 5 años es del 12% y para 2 años es de 9%.

A continuación, en la Tabla 70, se presentan los valores de precipitación máxima diaria anual obtenidos a partir de la función Gumbel por el método de máxima verosimilitud con sus respectivos intervalos de confianza:

T [años]	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
	[mm]		
2	106	117	128
5	132	149	167
10	148	171	193
20	164	191	219
25	169	198	227
50	184	218	252
100	198	238	277

Tabla 70: Valores de precipitación máxima diaria anual, Tarija San Telmo.

## 2. Precipitación Total Anual.

La serie hidrológica de precipitaciones totales anuales analizada es la que se muestra en la Figura 181:

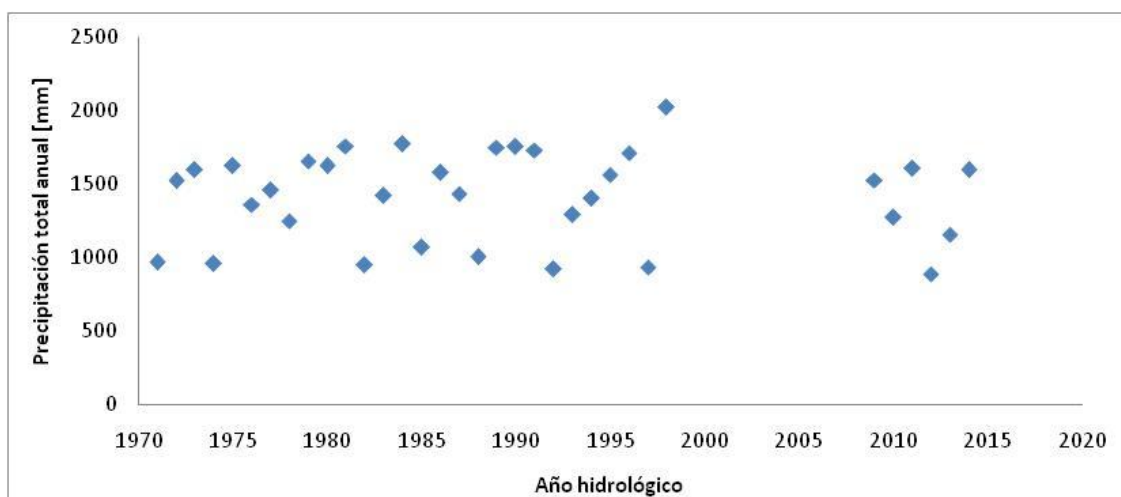


Figura 181: Serie de precipitaciones totales anuales, Tarija San Telmo.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 889.2 mm en el año 2012 y un máximo de 2019.4 mm en el año 1998. El valor promedio de la serie es de 1416.2 mm y posee un desvío estándar de 308.5 mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar, se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es GEV por el método de los momentos. Se puede ver la relación entre la variable y las

diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 182:

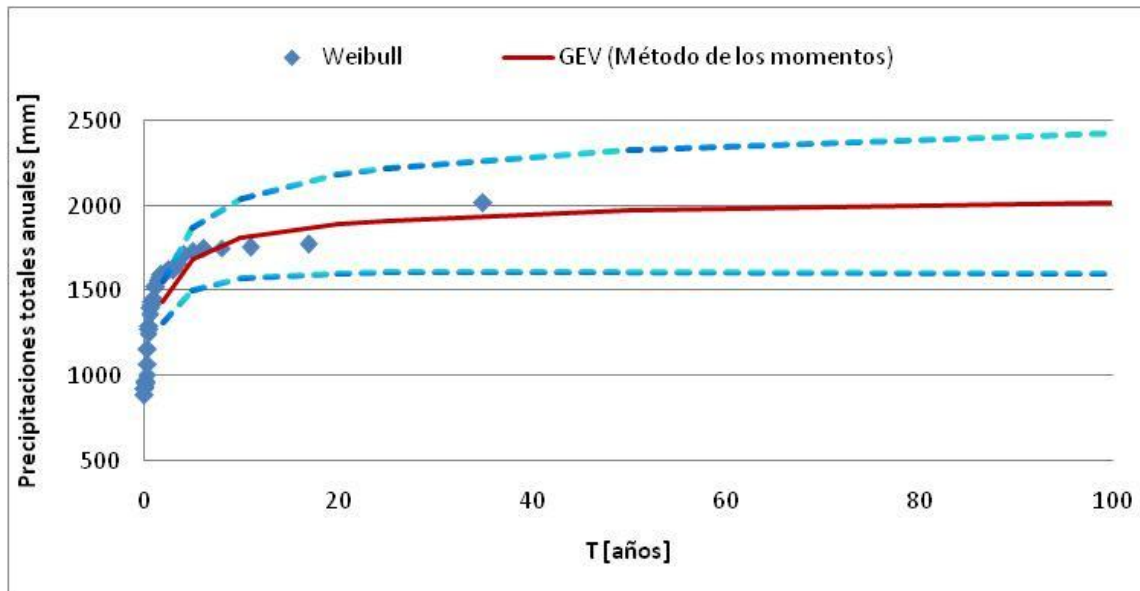


Figura 182: Distribución de probabilidades de la precipitación total anual, Tarija San Telmo

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y la precipitación total anual se puede ver que la FDP Teórica GEV por el método de los momentos ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que la lámina máxima (2019.4 mm) tiene una recurrencia del orden de 100 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 20%, para 50 años es del 18%, para 25 años es del 16%, para 20 años es del 15%, para 10 años es del 13%, para 5 años es del 11% y para 2 años es de 8%.

A continuación, en la Tabla 71, se presentan los valores de precipitación total anual obtenidos a partir de la función GEV por el método de los momentos con sus respectivos intervalos de confianza.

T [años]	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
	[mm]		
2	1314.2	1433.7	1553.3
5	1507.3	1691.0	1874.6
10	1572.7	1808.4	2044.0
20	1604.6	1892.9	2181.1
25	1609.8	1915.1	2220.4
50	1613.8	1972.3	2330.8
100	1603.6	2015.5	2427.5

Tabla 71: Valores de precipitación total anual, Tarija San Telmo.

### 3. Días Lluviosos al año.

La serie hidrológica de días lluviosos al año analizada es la que se muestra en la Figura 183:

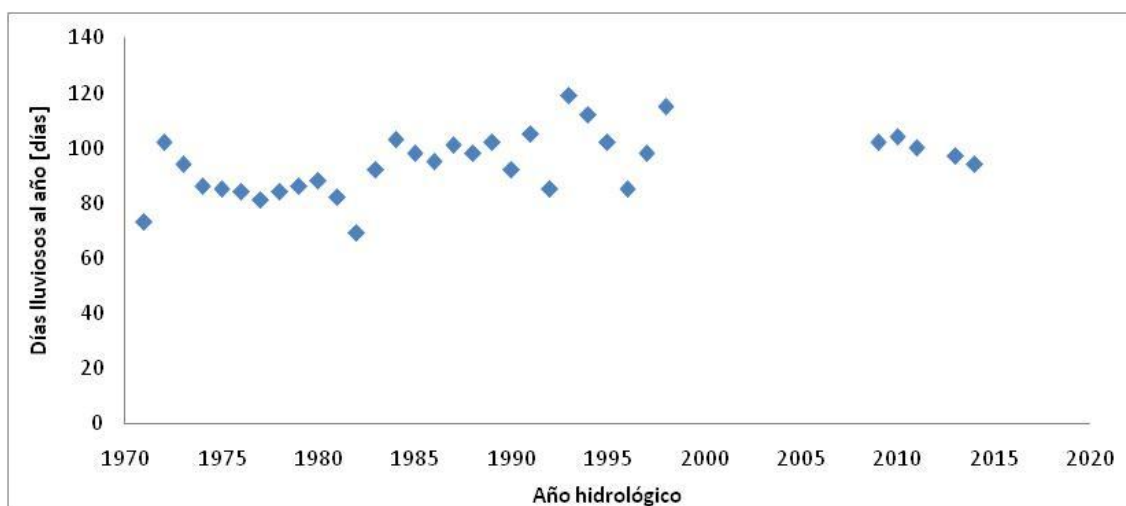


Figura 183: Serie de días lluviosos al año. Tarija San Telmo.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 67 días en el año 1991, y un máximo de 119 días en el año 2013. El valor promedio de la serie es de 93 días y posee un desvío estándar de 11 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontraron datos atípicos, se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Log-Normal. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su

respectivo intervalo de confianza en la Figura 184 que se muestra a continuación.

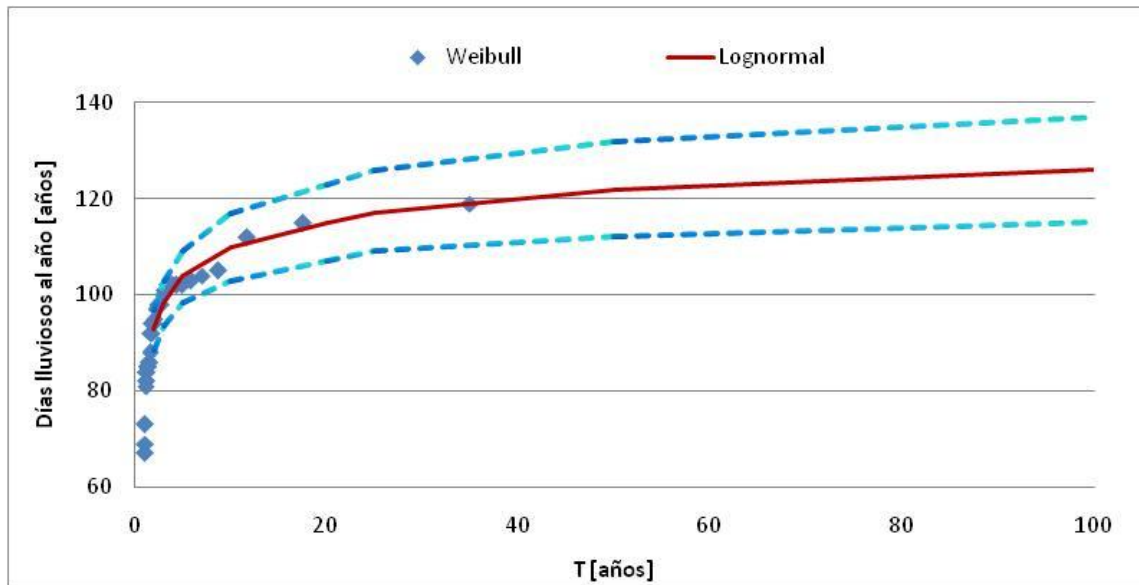


Figura 184: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al año, Tarija San Telmo.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días lluviosos al año se puede ver que la FDP Teórica Log-Normal ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que el valor máximo (119 días) tiene una recurrencia del orden de los 35 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 9%, para 50 años es del 8%, para 25 años es del 8%, para 20 años es del 7%, para 10 años es del 6%, para 5 años es del 5% y para 2 años es de 5%.

A continuación, en la Tabla 72, se presentan los valores de días lluviosos al año obtenidos a partir de la función Log-Normal con sus respectivos intervalos de confianza en forma de tabla.

T [años]	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
	[días]		
2	89	93	97
5	98	104	109
10	103	110	117
20	107	115	123
25	109	117	126
50	112	122	132
100	115	126	137

Tabla 72: Valores de días lluviosos al año, Tarija San Telmo.

#### 4. Días Lluviosos al mes.

La serie hidrológica de días lluviosos al mes analizada es la que se muestra en la Figura 185:

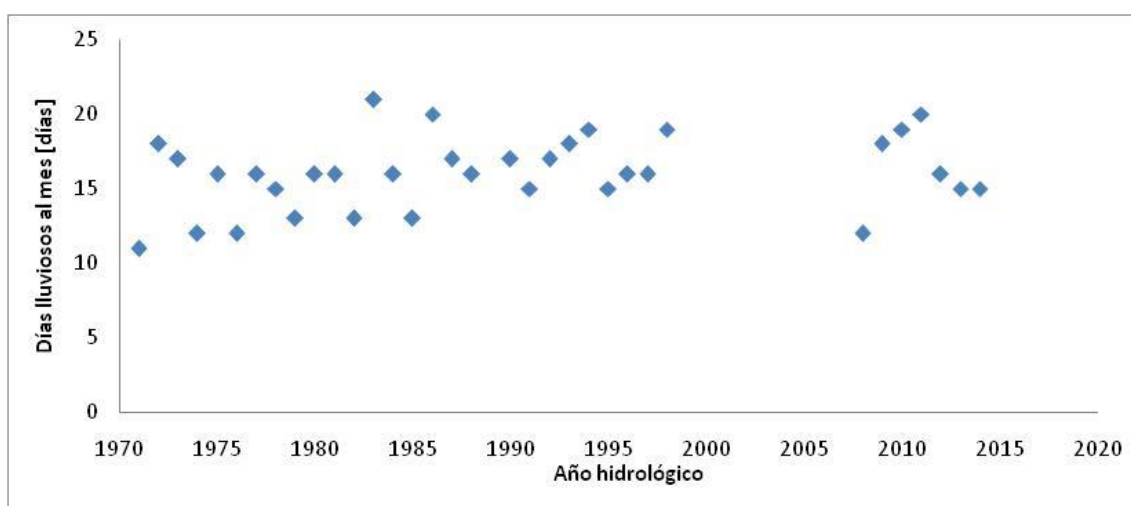


Figura 185: Serie de días lluviosos al mes, Tarija San Telmo.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 11 días en el año 1971, y un máximo de 21 días en el año 1983. El valor promedio de la serie es de 16 días y posee un desvío estándar de 3 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontraron datos atípicos, se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Gumbel por el método de máxima verosimilitud. Se puede ver la relación entre la variable y

las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 186:

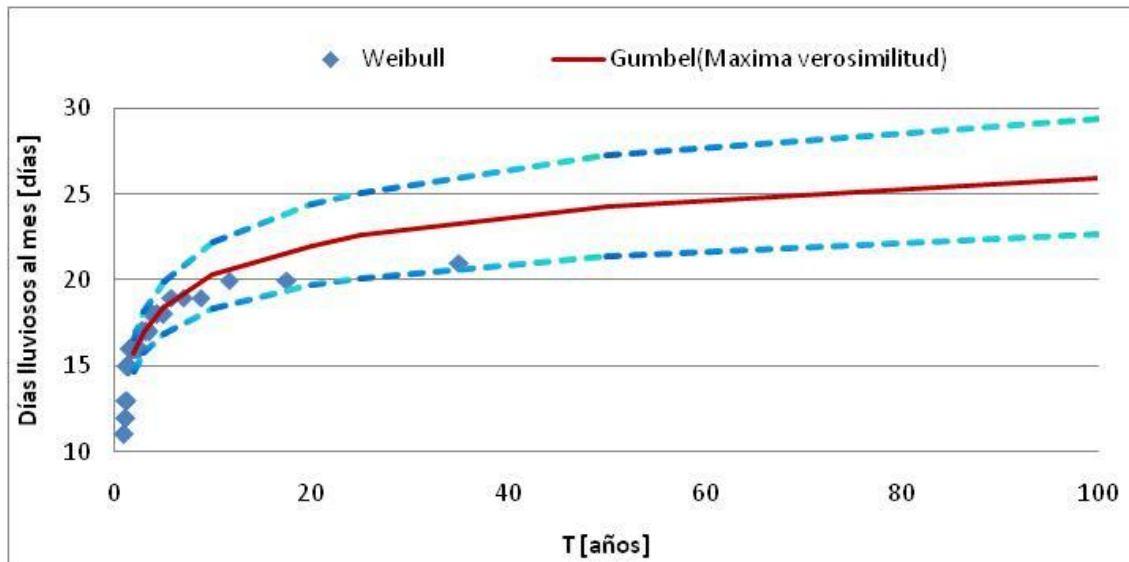


Figura 186: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al mes, Tarija San Telmo.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días lluviosos al mes se puede ver que la FDP Teórica Gumbel por el método de máxima verosimilitud arroja valores mayores a los de la FDP empírica de Weibull para tiempos de retorno mayores a los 15 años. Como se está analizando una variable discreta (y no continua, ya que los días lluviosos son un número entero), al ajustar una FDP Teórica a la serie el resultado de las pruebas de bondad de ajuste es bajo. Además se observa que los valores máximos de la serie tienden a una asíntota (21 días lluviosos al mes aproximadamente) y por eso a medida que aumenta la recurrencia esta variable ya no crece significativamente en su magnitud.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 13%, para 50 años es del 12%, para 25 años es del 11%, para 20 años es del 11%, para 10 años es del 9%, para 5 años es del 8% y para 2 años es de 6%.

A continuación, en la Tabla 73, se presentan los valores de días lluviosos al mes obtenidos a partir de la función Gumbel por el método de máxima verosimilitud con sus respectivos intervalos de confianza.



T [años]	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
	[días]		
2	15	16	17
5	17	18	20
10	18	20	22
20	20	22	24
25	20	23	25
50	21	24	27
100	23	26	29

Tabla 73: Valores de días lluviosos al mes, Tarija San Telmo.

### 5. Días consecutivos con lluvia

La serie hidrológica de días consecutivos con lluvia analizada es la que se muestra en la Figura 187:

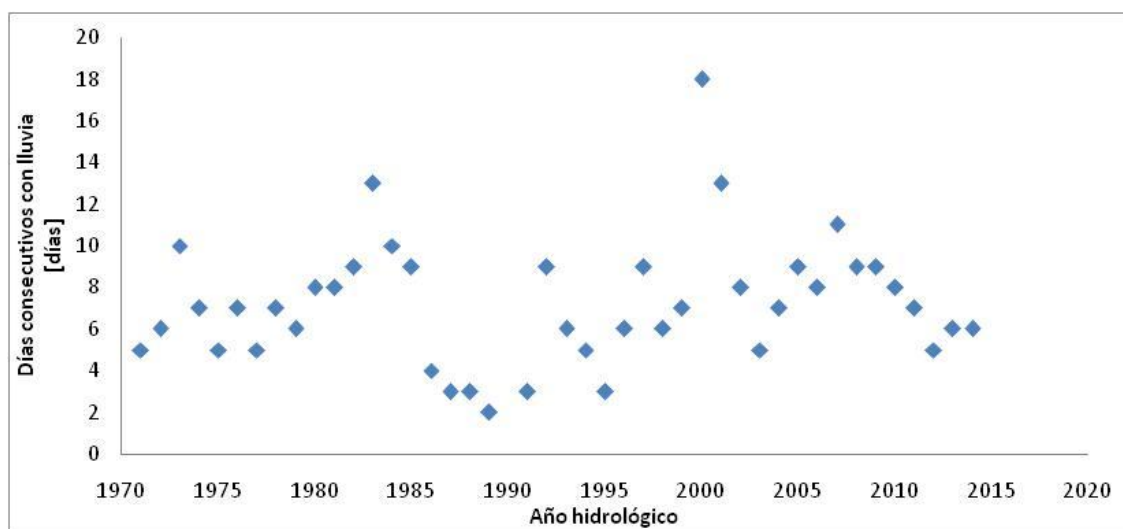


Figura 187: Serie de días consecutivos con lluvia, Tarija San Telmo.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 2 días en el año 1989, y un máximo de 18 días en el año 2000. El valor promedio de la serie es de 7 días y posee un desvío estándar de 3 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico, pero no se verificó la hipótesis de independencia. Por lo tanto esta serie se descartó y no se llevó a cabo el análisis.

### **Estación: 19 – San Francisco Caimancito - Salta**

Esta estación cuenta con registros históricos de precipitación diaria desde el año 1947 hasta el año 2014 con datos faltantes en los años 1958, 1959, 1960, 1961, 1962, 1963, 1966 y 1967(60 años de datos).

A continuación se presentan cada uno de los análisis realizados sobre las diferentes variables de interés:

## 1. Precipitación Máxima Diaria Anual.

La serie hidrológica de la precipitación máxima diaria anual analizada es la que se muestra en la Figura 188:

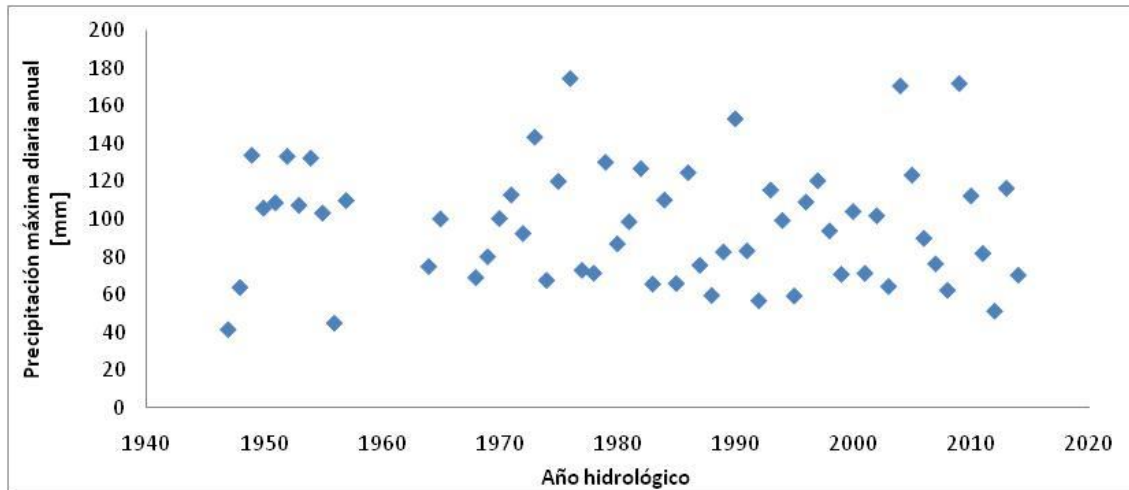


Figura 188: Serie de precipitaciones máximas diarias anuales, San Francisco Caimancito

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 41.7 mm en el año 1947 y un máximo de 174.6 mm en el año 1976. El valor promedio de la serie es de 97.2 mm y posee un desvío estándar de 31.3mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es GEV por el método de máxima verosimilitud. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 189 que se muestra a continuación.

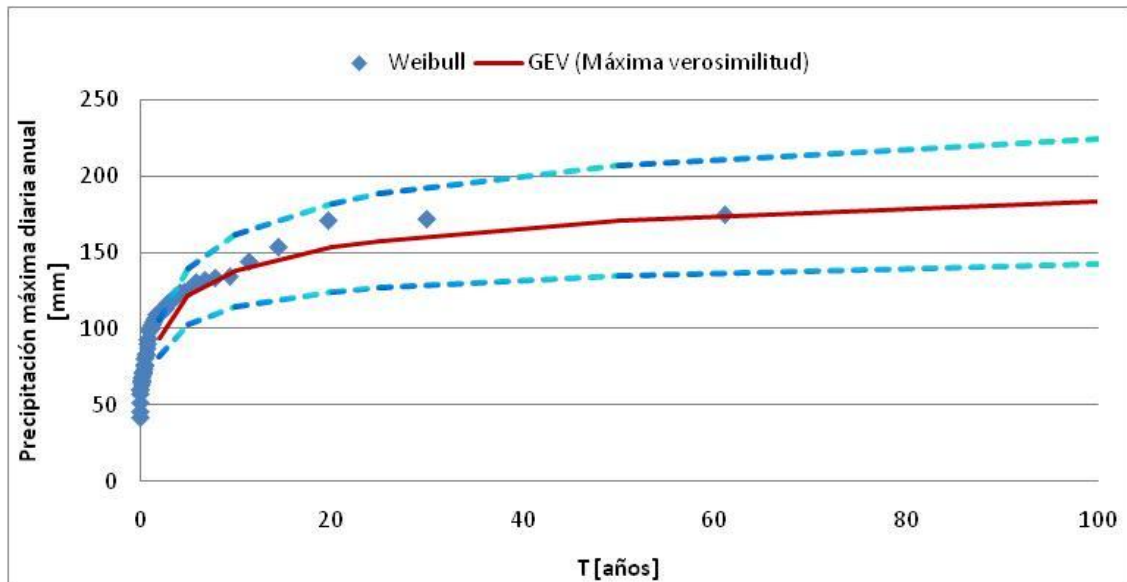


Figura 189: Distribución de probabilidades de la precipitación máxima diaria anual, San Francisco Caimancito.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y la precipitación máxima diaria anual se puede ver que la FDP Teórica GEV por el método de máxima verosimilitud ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que el valor máximo (174.6) tiene una recurrencia del orden de los 60 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 23%, para 50 años es del 21%, para 25 años es del 19%, para 20 años es del 19%, para 10 años es del 17%, para 5 años es del 15% y para 2 años es de 13%.

A continuación, en la Tabla 74, se presentan los valores de precipitación máxima diaria anual obtenidos a partir de la función GEV por el método de máxima verosimilitud con sus respectivos intervalos de confianza:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[mm]		
2	81.6	93.6	105.6
5	103.0	121.5	139.9
10	114.6	138.3	161.9
20	124.3	153.2	182.1
25	127.1	157.7	188.4
50	135.0	171.0	207.0
100	142.0	183.3	224.7

Tabla 74: Valores de precipitación máxima diaria anual, San Francisco Caimancito.

## 2. Precipitación Total Anual.

La serie hidrológica de precipitación total anual analizada es la que se muestra en la Figura 190:

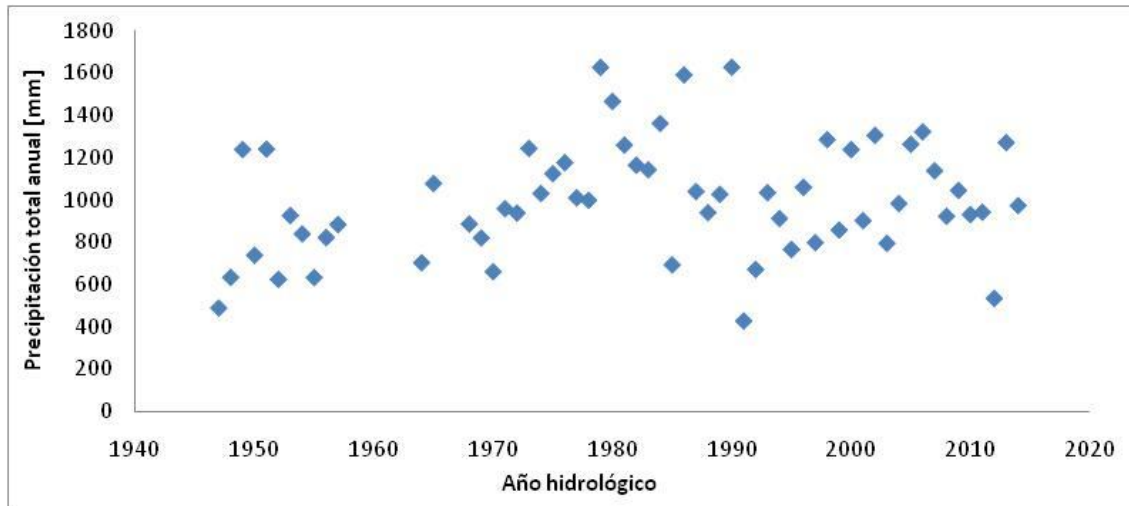


Figura 190: Serie de precipitaciones totales anuales, San Francisco Caimancito.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 426.9 mm en el año 1991 y un máximo de 1625.5 mm en el año 1979. El valor promedio de la serie es de 999.0 mm y posee un desvío estándar de 271.1 mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar, se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Gumbel por el método de los momentos. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 191 que se muestra a continuación.

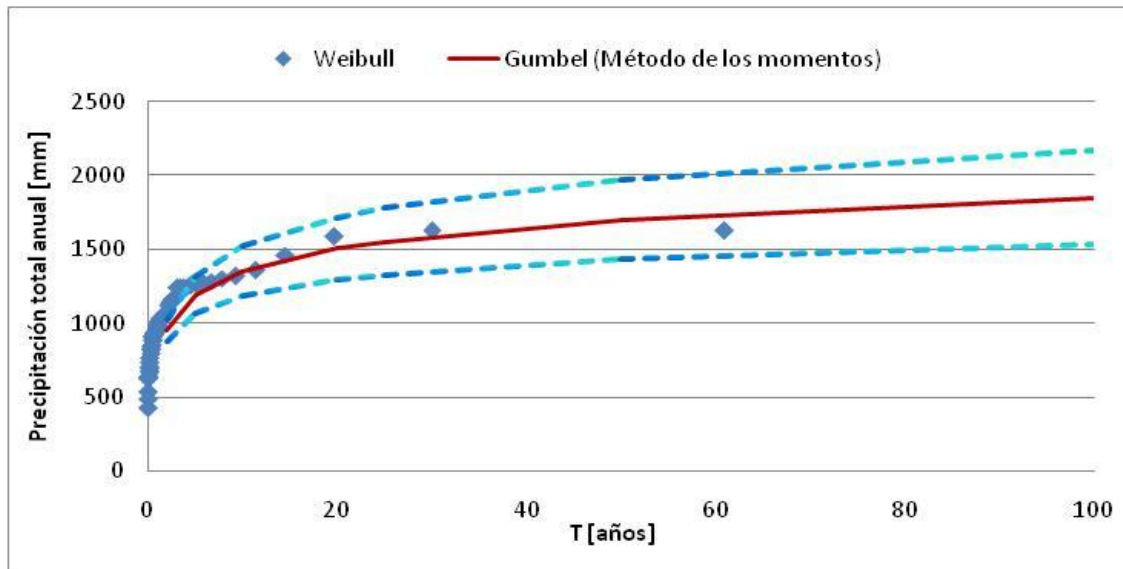


Figura 191: Distribución de probabilidades de la precipitación total anual, San Francisco Caimancito.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y la precipitación total anual se puede ver que la FDP Teórica Gumbel por el método de los momentos ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que la lámina máxima (1625.5 mm) tiene una recurrencia del orden de los 25 a 50 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 17%, para 50 años es del 16%, para 25 años es del 15%, para 20 años es del 14%, para 10 años es del 12%, para 5 años es del 10% y para 2 años es de 8%.

A continuación, en la Tabla 74, se presentan los valores de precipitación total anual obtenidos a partir de la función Gumbel por el método de los momentos con sus respectivos intervalos de confianza:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[mm]		
2	880.6	954.5	1028.3
5	1069.6	1194.0	1318.4
10	1184.6	1352.6	1520.6
20	1292.5	1504.7	1717.0
25	1326.5	1553.0	1779.5
50	1430.6	1701.7	1972.7
100	1533.5	1849.2	2165.0

Tabla 75: Valores de precipitación total anual, San Francisco Caimancito.

### 3. Días lluviosos al año.

La serie hidrológica de días lluviosos al año analizada es la que se muestra en la Figura 192:

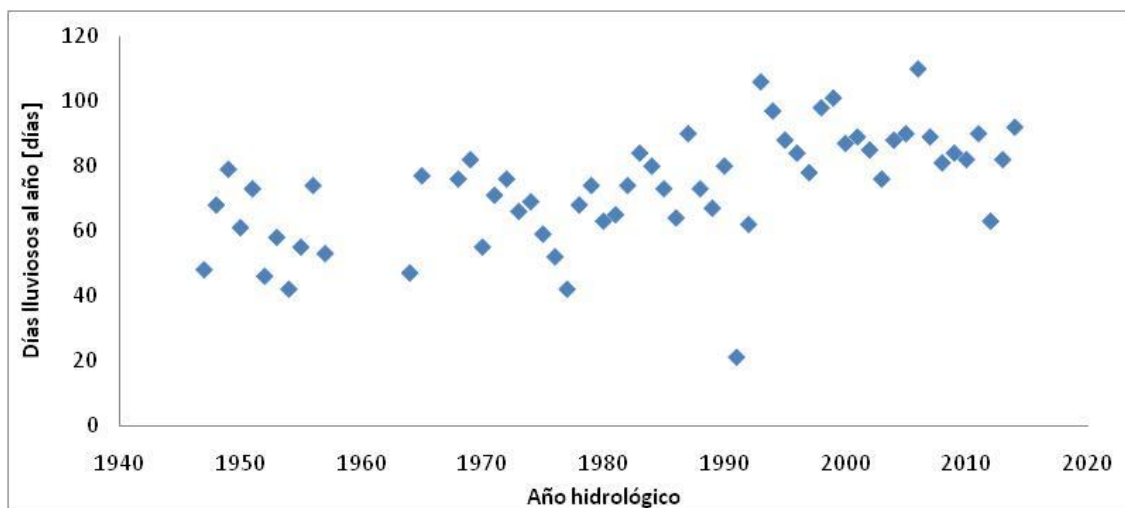


Figura 192: Serie de días lluviosos al año, San Francisco Caimancito.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 21 días en el año 1991 y un máximo de 110 días en el año 2006. El valor promedio de la serie es de 73 días y posee un desvío estándar de 17 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie se encontró un dato atípico correspondiente a 21 días en el año 1991. Este dato atípico puede deberse a que ese año hidrológico fue demasiado seco o bien que hay faltante de datos pluviométricos registrados en ese periodo. Este último dato fue eliminado de la serie y se aplicó nuevamente el test el cual no arrojó ningún otro dato atípico. En base a esto último, la serie que finalmente fue analizada contaba con 59 datos, con un mínimo de 45 días en los años 1954 y 1977, y un máximo de 110 días en el año 2006. El valor promedio de la serie es de 73 días y posee un desvío estándar de 16 días. Por otro lado no verifica las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, se debería descartar la serie, pero se va a analizar como serie no estacionaria.

Luego de que la serie rechazó el test de Mann-Kendall, se sometió a la misma a la prueba de Mann-Kendall modificada y a la técnica de pre-blanqueo de manera tal de verificar si la no estacionariedad arrojada por Mann-Kendall era correcta. Tanto la prueba de Mann-Kendall modificada como la técnica de pre-blanqueo indicaron que existe una tendencia en la serie analizada, por lo tanto se procedió a realizar el análisis de serie no estacionaria mediante la utilización del Software NEVA.

En la Figura 193 se muestra la variación de los valores medios de las diferentes recurrencias en el tiempo al realizar el análisis no estacionario de la serie:

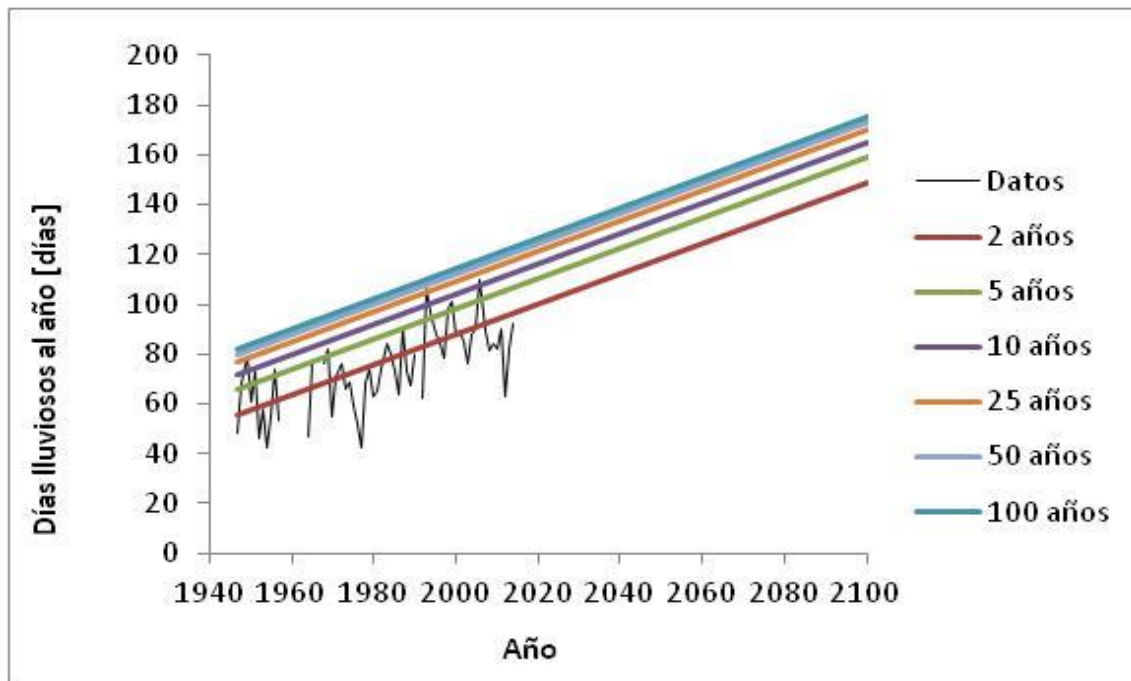


Figura 193: Valores de probabilidad para series no estacionarias de los días lluviosos al año, San Francisco Caimancito.

En la Figura 193 se puede ver con una línea negra como la serie de días lluviosos al año se comporta a lo largo del tiempo, desde el año 1947 hasta el año 2014 (registro muestreado). Además se ve cómo se va modificando el valor medio del período de retorno a medida que pasa el tiempo. Por ejemplo, un valor de 75 días tenía un período de retorno de 5 años en el año 1965; mientras que en el año 1995 la recurrencia de este valor bajó a 2 años.

A continuación, en la Figura 194 se muestran para 3 horizontes de tiempo dado como varía la relación entre la variable y el tiempo de retorno con su respectivo intervalo de confianza.

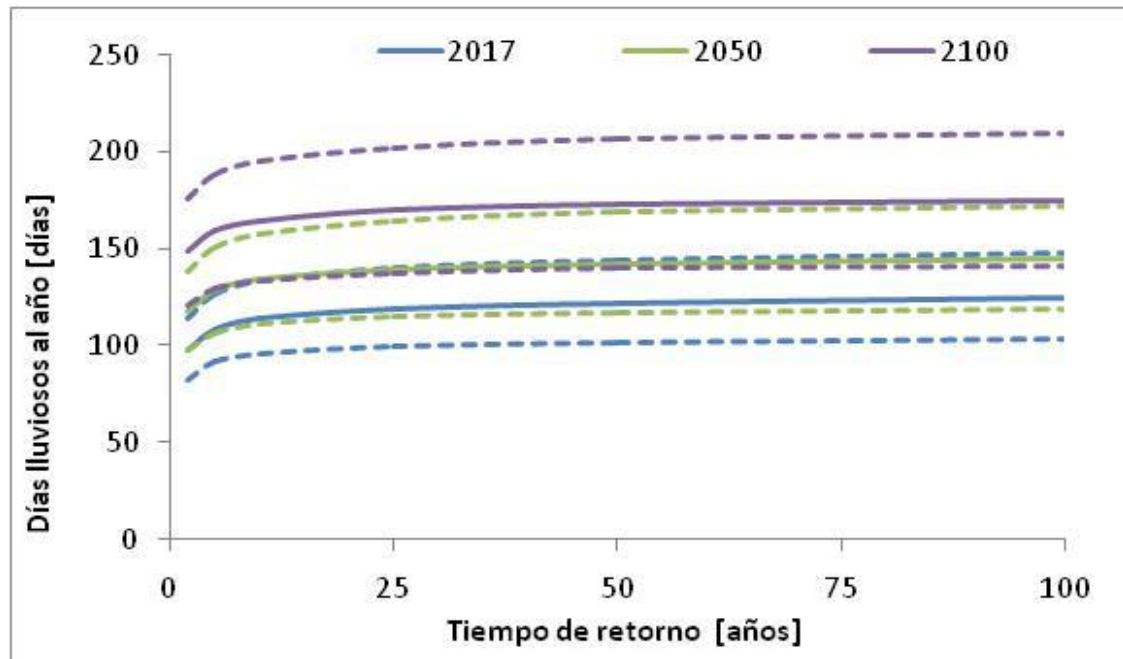


Figura 194: Comparación de los periodos de retorno de los días lluviosos al año, San Francisco Caimancito.

De la última figura se puede ver que en la actualidad (año 2017) para un período de retorno de 50 años se asocia un valor de 115 días lluviosos al año, mientras que para el año 2050 se espera que este valor aumente a 125 días. Es decir, para un mismo período de retorno el valor de precipitación total anual aumenta.

Además, en este caso se observa que a medida que avanza el horizonte de tiempo en el cual se haga el análisis, el intervalo de confianza se mantiene igual (alrededor de 19%).

Por otro lado se puede ver que los valores medios de días lluviosos al año que se tienen actualmente, coinciden con el intervalo inferior correspondiente al año 2050. Mientras que los valores medios de este último año, coinciden con el intervalo superior de valores que se tienen actualmente y con el intervalo inferior del año 2100. Por último, los valores medios para el año 2100 coinciden con el intervalo superior del año 2050.



#### 4. Días lluviosos al mes.

La serie hidrológica de días lluviosos al mes analizada es la que se muestra en la Figura 195:

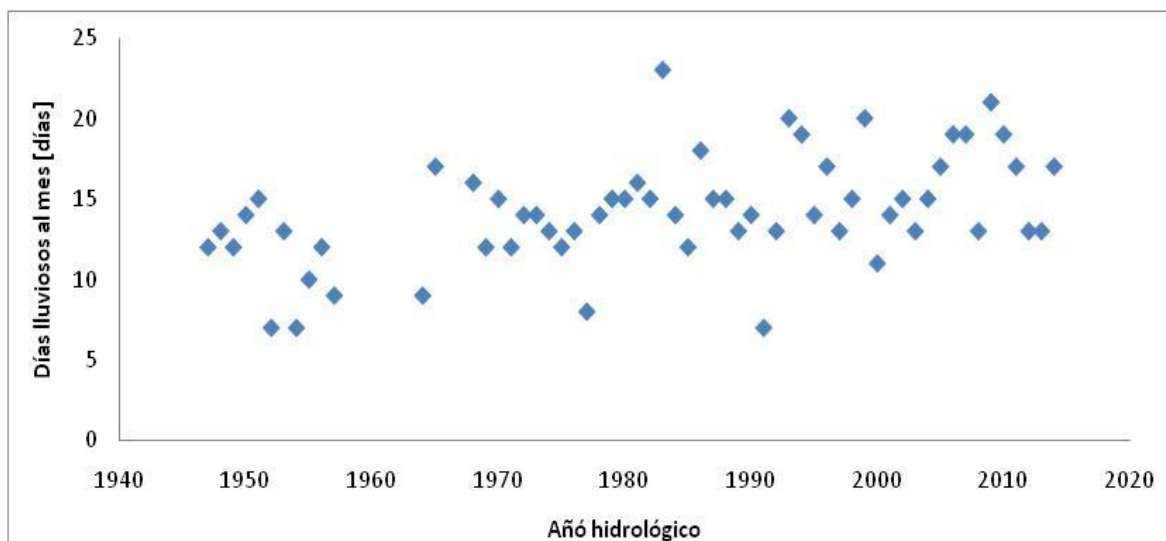


Figura 195: Serie de días lluviosos al mes, San Francisco Caimancito.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 7 días en los años 1952, 1954 y 1991, y un máximo de 23 días en el año 1983. El valor promedio de la serie es de 14 días y posee un desvío estándar de 3 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontraron datos atípicos, se verificó la hipótesis de independencia, pero no se verificaron las hipótesis de estacionariedad y homogeneidad.

Luego de que la serie rechazó el test de Mann-Kendall, se sometió a la misma a la prueba de Mann-Kendall modificada y a la técnica de pre-blanqueo de manera tal de verificar si la no estacionariedad arrojada por Mann-Kendall era correcta. Tanto la prueba de Mann-Kendall modificada como la técnica de pre-blanqueo indicaron que existe una tendencia en la serie analizada, por lo tanto se procedió a realizar el análisis de serie no estacionaria mediante la utilización del Software NEVA.

En la Figura 196 se muestra la variación de los valores medios de las diferentes recurrencias en el tiempo al realizar el análisis no estacionario de la serie.

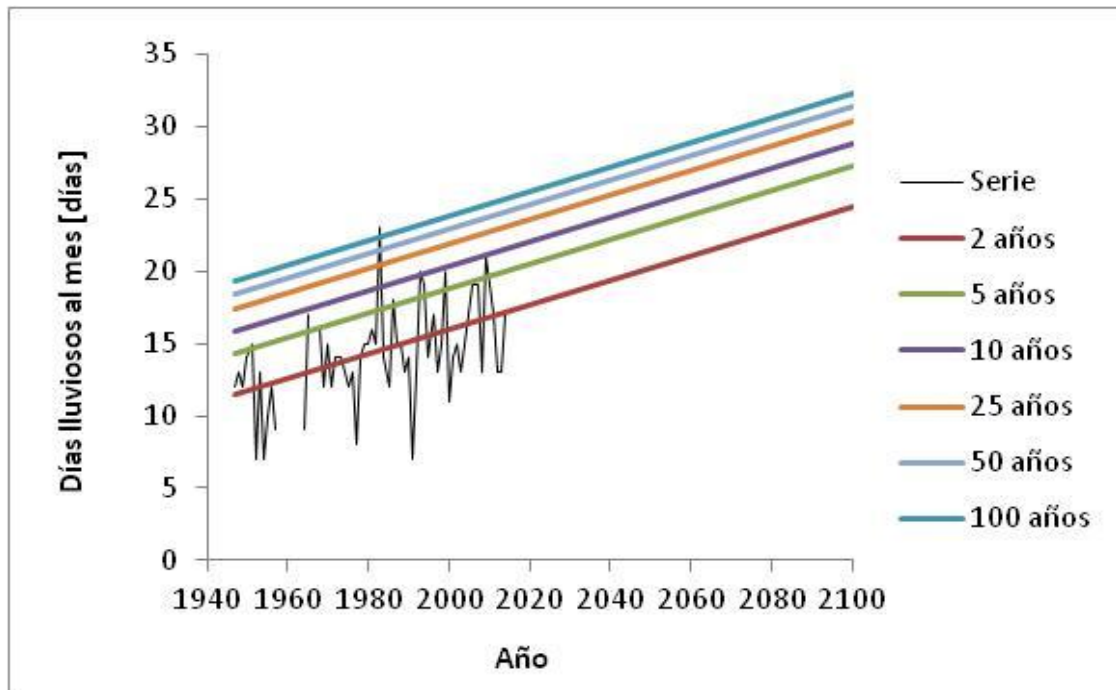


Figura 196: Valores de probabilidad para series no estacionarias de los días Lluviosos al mes, San Francisco Caimancito.

En la Figura 196 se puede ver con una línea negra como la serie de días lluviosos al mes se comporta a lo largo del tiempo, desde el año 1947 hasta el año 2014 (registro muestreado). Además se ve cómo se va modificando el valor medio del período de retorno a medida que pasa el tiempo. Por ejemplo, un valor de 15 días tenía un período de retorno de 5 años en el año 1965; mientras que en el año 2005 la recurrencia de este valor bajó a 2 años.

A continuación, en la Figura 197 se muestran para 3 horizontes de tiempo dado como varía la relación entre la variable y el tiempo de retorno con su respectivo intervalo de confianza:

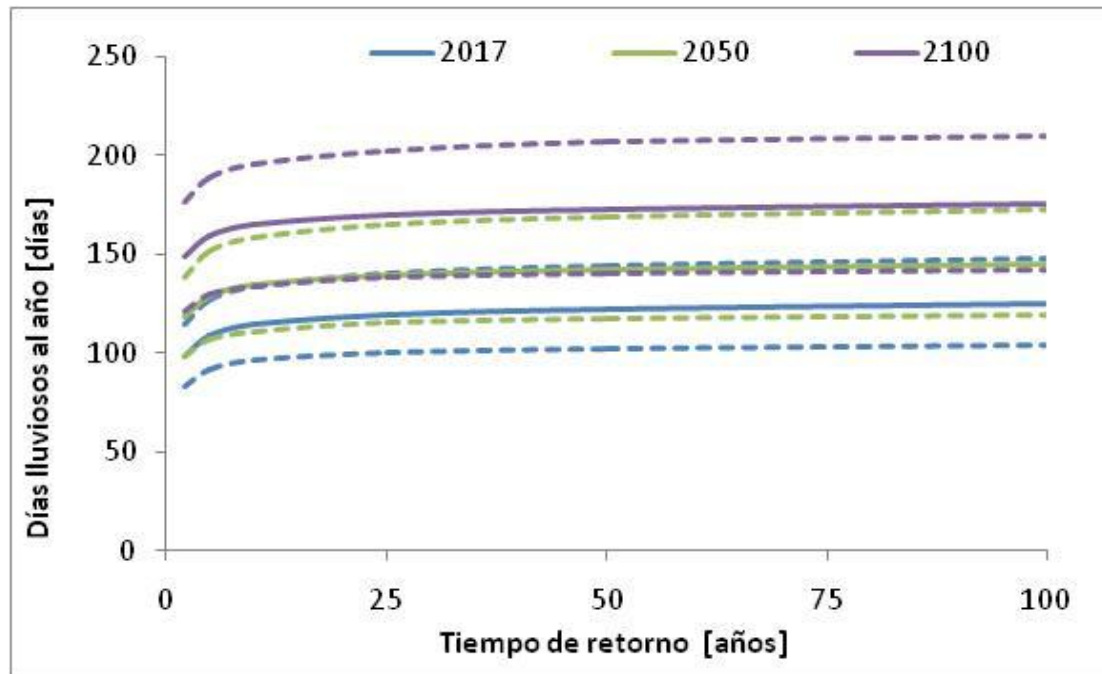


Figura 197: Comparación de los periodos de retorno de los días lluviosos al mes, San Francisco Caimancito.

De la última figura se puede ver que en la actualidad (año 2017) para un período de retorno de 50 años se asocia un valor de 22 días lluviosos al año, mientras que para el año 2050 se espera que este valor aumente a 25 días. Es decir, para un mismo período de retorno el valor de precipitación total anual aumenta.

Además se observa que a medida que avanza el horizonte de tiempo en el cual se haga el análisis, el intervalo de confianza crece significativamente: mientras que para el horizonte 2017 la magnitud del intervalo para  $T=100$  años vale 50%, en el año 2030 este valor se reduce a 74%.

Por otro lado se puede ver que los valores medios de días lluviosos al mes que se tiene actualmente, coincide con el intervalo inferior correspondiente al año 2050. Mientras que los valores medios de este último año, coinciden con el intervalo inferior del año 2100.

##### 5. Días consecutivos con lluvia

La serie hidrológica de días consecutivos con lluvia es el que se muestra en la Figura 198.

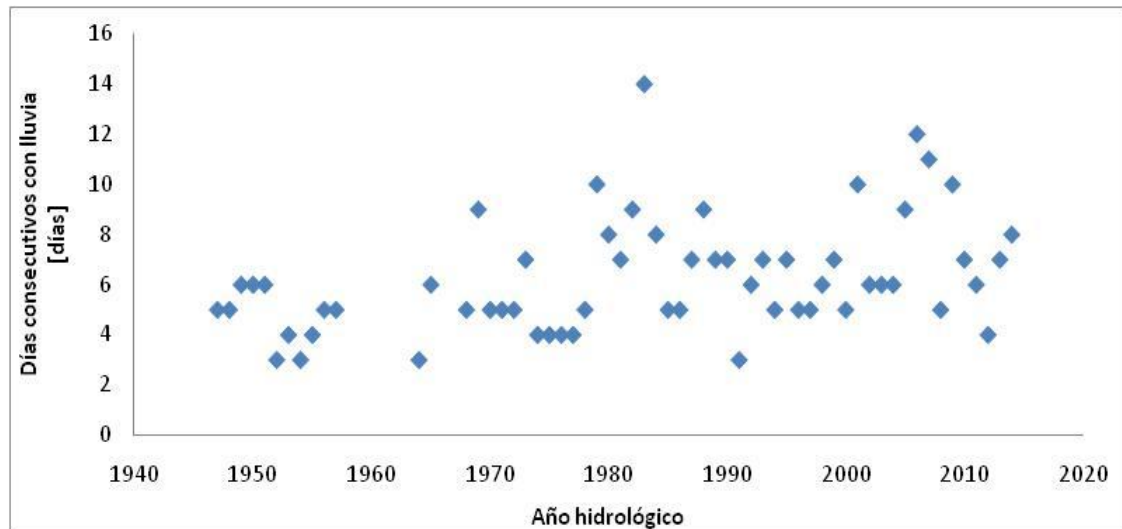


Figura 198: Comparación de los periodos de retorno de los días consecutivos con lluvia, San Francisco Caimancito.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 3 días en los años 1952, 1954, 1964 y 1991; y un máximo de 14 días en el año 1983. El valor promedio de la serie es de 6 días y posee un desvío estándar de 2 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontraron datos atípicos y se verificaron las hipótesis de independencia y homogeneidad pero no se verificó la hipótesis de estacionariedad.

Luego de que la serie rechazó el test de Mann-Kendall, se sometió a la misma a la prueba de Mann-Kendall modificada y a la técnica de pre-blanqueo de manera tal de verificar si la no estacionariedad arrojada por Mann-Kendall era correcta. Tanto la prueba de Mann-Kendall modificada como la técnica de pre-blanqueo indicaron que existe una tendencia en la serie analizada, por lo tanto se procedió a realizar el análisis de serie no estacionaria mediante la utilización del Software NEVA.

En la Figura 199 se muestra la variación de los valores medios de las diferentes recurrencias en el tiempo al realizar el análisis no estacionario de la serie.

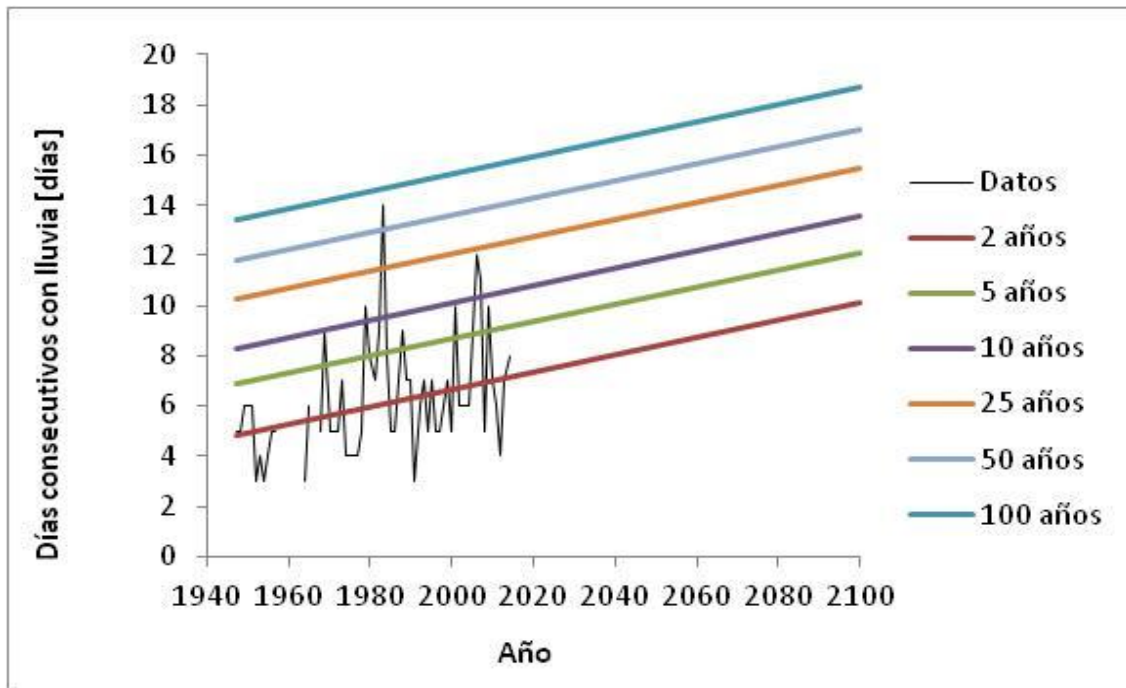


Figura 199: Valores de probabilidad para series no estacionarias de los días consecutivos con lluvia, San Francisco Caimancito.

En la Figura 199 se puede ver con una línea negra como la serie de días consecutivos con lluvia se comporta a lo largo del tiempo, desde el año 1947 hasta el año 2014 (registro muestreado). Además se ve cómo se va modificando el valor medio del período de retorno a medida que pasa el tiempo. Por ejemplo, un valor de 8 días tenía un período de retorno de 10 años en el año 1950; mientras que en el año 2005 la recurrencia de este valor bajó a 5 años.

A continuación, en la Figura 200 se muestran para 3 horizontes de tiempo dado como varía la relación entre la variable y el tiempo de retorno con su respectivo intervalo de confianza.

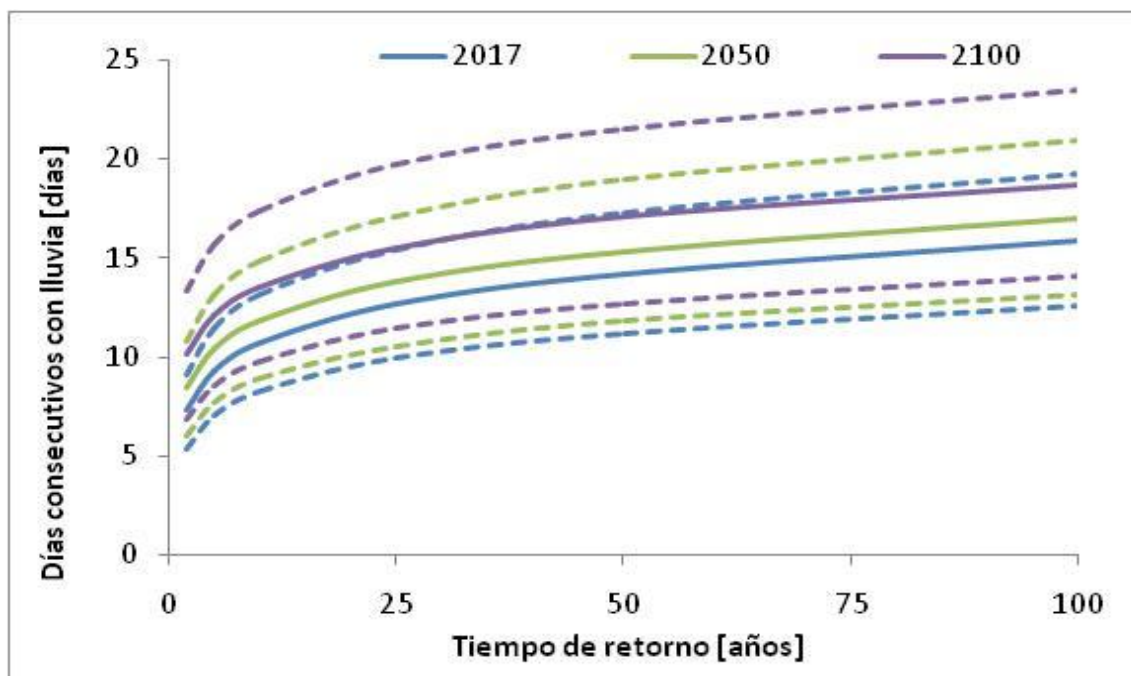


Figura 200: Comparación de los periodos de retorno de los días consecutivos con lluvia, San Francisco Caimancito.

De la última figura se puede ver que en la actualidad (año 2017) para un período de retorno de 50 años se asocia un valor de 12 días consecutivos con lluvia, mientras que para el año 2050 se espera que este valor aumente a 15 días. Es decir, para un mismo período de retorno el valor de precipitación total anual aumenta.

Además se observa que a medida que avanza el horizonte de tiempo en el cual se haga el análisis, el intervalo de confianza crece significativamente: mientras que para el horizonte 2017 la magnitud del intervalo para  $T=100$  años vale 22%, en el año 2050 este valor se reduce a 24%.

### Estación: 20 – Mojotoro Güemes - Salta

Esta estación cuenta con registros históricos de precipitación diaria desde el año 1993 hasta el año 2014 sin datos faltantes (22 años de datos).

A continuación se presentan cada uno de los análisis realizados sobre las diferentes variables de interés:

#### 1. Precipitación Máxima Diaria Anual.

La serie hidrológica de la precipitación máxima diaria anual es el que se muestra en la Figura 201:

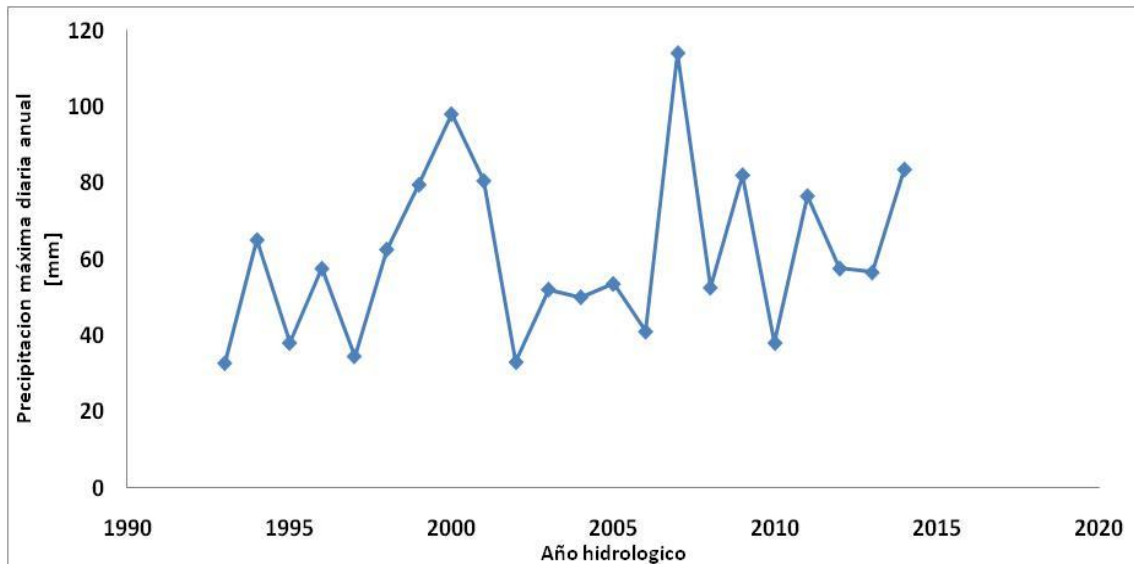


Figura 201: Serie de precipitaciones máximas diarias anuales, Mojotoro Güemes.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 33.0 mm en el año 2002 y un máximo de 114.0 mm en el año 2007. El valor promedio de la serie es de 60.8 mm y posee un desvío estándar de 22.1 mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Gumbel por el método de los momentos. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 202:

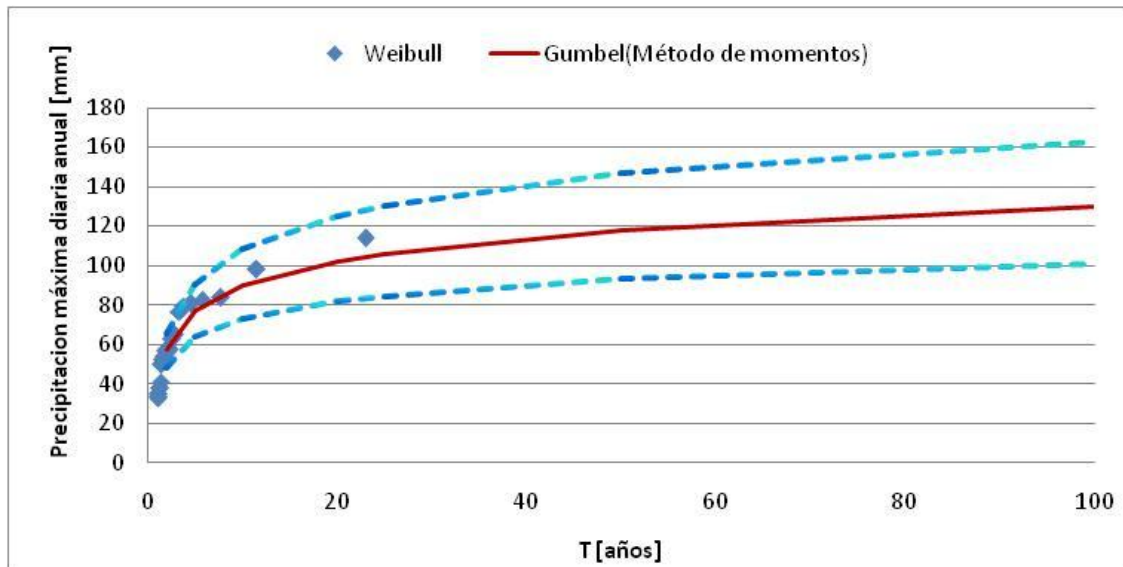


Figura 202: Distribución de probabilidades de la precipitación máxima diaria anual, Mojotoro Güemes.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y la precipitación máxima diaria anual se puede ver que la FDP Teórica Gumbel por el método de los momentos ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que la lámina máxima (114.0 mm) tiene una recurrencia del orden de los 50 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 25%, para 50 años es del 25%, para 25 años es del 23%, para 20 años es del 23%, para 10 años es del 21%, para 5 años es del 18% y para 2 años es de 15%.

A continuación, en la Tabla 76, se presentan los valores de precipitación máxima diaria anual obtenidos a partir de la función Gumbel por el método de los momentos con sus respectivos intervalos de confianza en forma de tabla:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[mm]		
2	48.3	57.2	65.6
5	63.6	76.7	90.6
10	73.0	89.6	108.0
20	81.8	102.0	125.0
25	84.5	106.0	130.0
50	93.0	118.0	147.0
100	101.0	130.0	163.0

Tabla 76: Valores de precipitación máxima diaria anual, Mojotoro Güemes.



## 2. Precipitación Total Anual.

La serie hidrológica de precipitaciones totales anuales analizada es la que se muestra en la Figura 203:

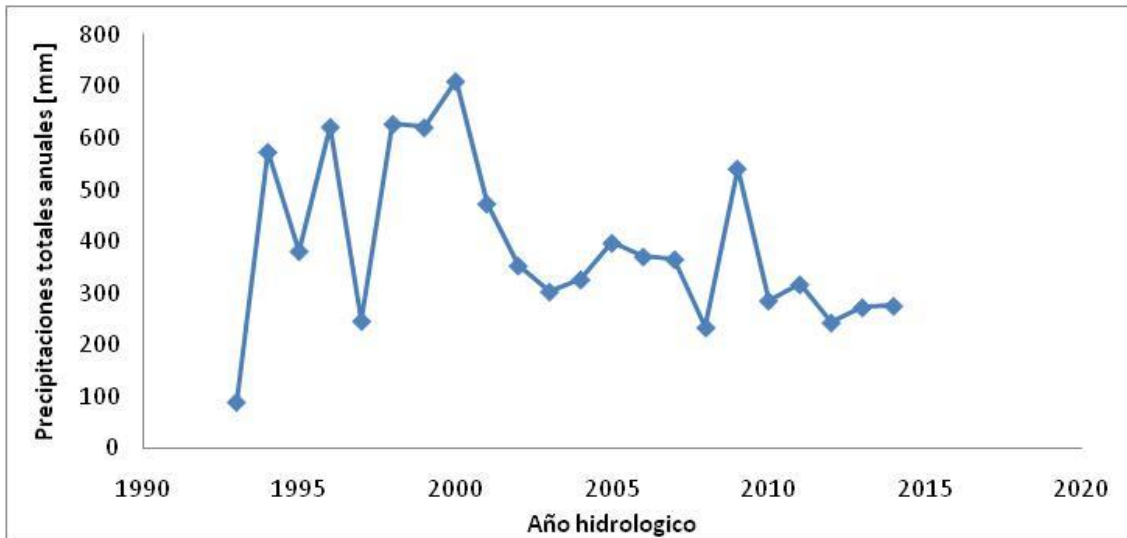


Figura 203: Serie de precipitación total anual, Mojotoro Güemes.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 89.0 mm en el año 1993 y un máximo de 711.0 mm en el año 2000. El valor promedio de la serie es de 392.4 mm. Y posee un desvío estándar de 161.2 mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie se encontró un dato atípico correspondiente a 89.0 mm en el año 1993. Este dato atípico puede deberse a que ese año hidrológico fue demasiado seco o bien que hay faltante de datos pluviométricos registrados en ese periodo. Este último dato fue eliminado de la serie y se aplicó nuevamente el test el cual no arrojó ningún otro dato atípico. En base a esto último, la serie que finalmente fue analizada contaba 21 datos, con un mínimo de 233.5 mm en el año 2008 y un máximo de 711.0 mm en el año 2000. El valor promedio de la serie es de 406.8 mm. Y posee un desvío estándar de 149.9 mm. Por otro lado se verificaron las hipótesis de independencia y homogeneidad, pero no se verificó la hipótesis de estacionariedad.

Luego de que la serie rechazó el test de Mann-Kendall, se sometió a la misma a la prueba de Mann-Kendall modificada y a la técnica de pre-blanqueo de manera tal de verificar si la no estacionariedad arrojada por Mann-Kendall era correcta. Tanto la prueba de Mann-Kendall modificada como la técnica de pre-blanqueo indicaron que existe una tendencia en la serie analizada, por lo tanto se procedió a realizar el análisis de serie no estacionaria mediante la utilización del Software NEVA.

En la Figura 204 se muestra la variación de los valores medios de las diferentes recurrencias en el tiempo al realizar el análisis no estacionario de la serie:

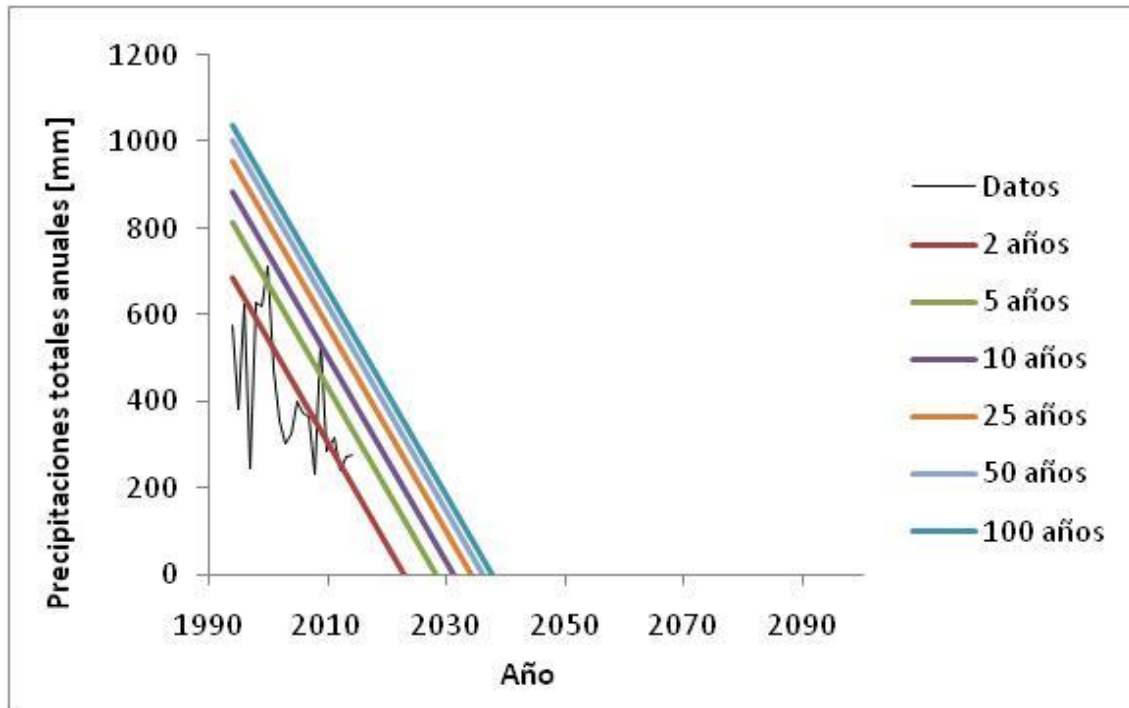


Figura 204: Valores de probabilidad para series no estacionarias de la precipitación total anual, Mojotoro Güemes.

En la Figura 204 se puede ver con una línea negra como la serie de precipitaciones totales anuales se comporta a lo largo del tiempo, desde el año 1993 hasta el año 2014 (registro muestreado). Además se ve cómo se va modificando el valor medio del período de retorno a medida que pasa el tiempo. Por ejemplo, un valor de 800 mm anuales tenía un período de retorno de 5 años en el año 1993; mientras que en el año 2005 la recurrencia de este valor subió a 50 años. También se observa que debido a la tendencia de gran magnitud existente en esta serie aparecen inconsistencias en el análisis de frecuencia luego del año 2020; ya que a partir de ese año aparecerían valores negativos de precipitaciones totales anuales relacionados a los tiempos de retorno.

A continuación, en la Figura 205 se muestran para 2 horizontes de tiempo dado como varía la relación entre la variable y el tiempo de retorno con su respectivo intervalo de confianza.

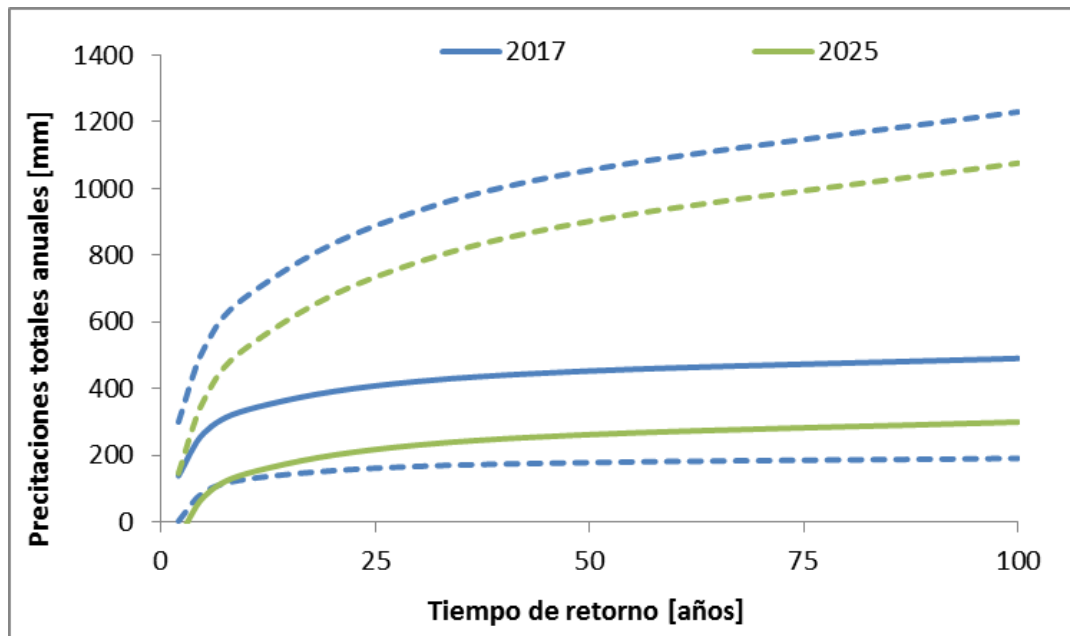


Figura 205: Comparación de los periodos de retorno de la precipitación total anual, Mojotoro Güemes.

De la última figura se puede ver que en la actualidad (año 2017) para un período de retorno de 50 años se asocia un valor de precipitación anual de 400.0 mm, mientras que para el año 2025 se espera que este valor disminuya a 200.0 mm. Es decir, para un mismo período de retorno el valor de precipitación total anual disminuye.

Además se observa que a medida que avanza el horizonte de tiempo en el cual se haga el análisis, el intervalo de confianza crece significativamente: mientras que para el horizonte 2017 la magnitud del intervalo para  $T=100$  años vale 151%, en el año 2025 este valor se reduce a 259%.

### 3. Días lluviosos al año.

La serie hidrológica de días lluviosos al año analizada es el que se muestra en la Figura 206.

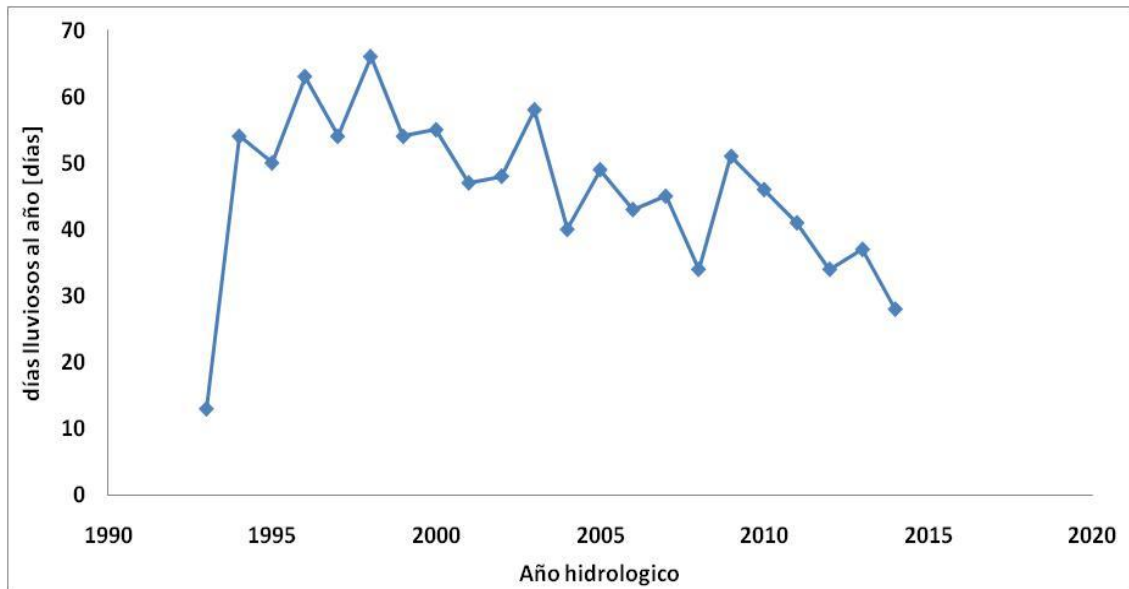


Figura 206: Serie de días lluviosos al año, Mojotoro Güemes.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 13 días en el año 1993 y un máximo de 66 días en el año 1998. El valor promedio de la serie es de 46 días y posee un desvío estándar de 10 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie se encontró un dato atípico correspondiente a 13 días en el año 1993. Este dato atípico puede deberse a que ese año hidrológico fue demasiado seco o bien que hay faltante de datos pluviométricos registrados en ese periodo. Este último dato fue eliminado de la serie y se aplicó nuevamente el test el cual no arrojó ningún otro dato atípico. En base a esto último, la serie que finalmente fue analizada contaba 21 datos, con un mínimo de 28 días en el año 2014 y un máximo de 66 días en el año 1998. El valor promedio de la serie es de 48 días y posee un desvío estándar de 10 días. Por otro lado se verificaron las hipótesis de independencia y homogeneidad, pero no se verificó la hipótesis de estacionariedad.

Luego de que la serie rechazó el test de Mann-Kendall, se sometió a la misma a la prueba de Mann-Kendall modificada y a la técnica de pre-blanqueo de manera tal de verificar si la no estacionariedad arrojada por Mann-Kendall era correcta. Tanto la prueba de Mann-Kendall modificada como la técnica de pre-blanqueo indicaron que existe una tendencia en la serie analizada, por lo tanto se procedió a realizar el análisis de serie no estacionaria mediante la utilización del Software NEVA.

En la Figura 207 se muestra la variación de los valores medios de las diferentes recurrencias en el tiempo al realizar el análisis no estacionario de la serie:

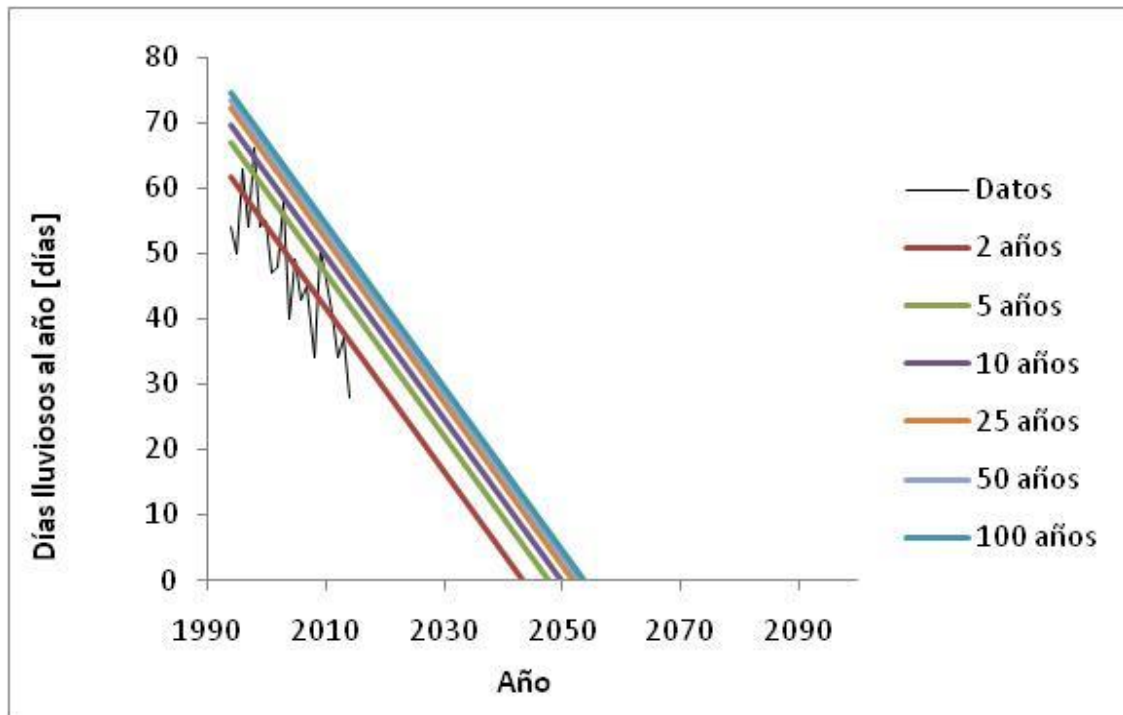


Figura 207: Valores de probabilidad para series no estacionarias de los días lluviosos al año, Mojotoro Güemes.

En la Figura 207 se puede ver con una línea negra como la serie de precipitaciones totales anuales se comporta a lo largo del tiempo, desde el año 1993 hasta el año 2014 (registro muestreado). Además se ve cómo se va modificando el valor medio del período de retorno a medida que pasa el tiempo. Por ejemplo, un valor de 65 días tenía un período de retorno de 5 años en el año 1993; mientras que en el año 2000 la recurrencia de este valor subió a 25 años. También se observa que debido a la tendencia de gran magnitud existente en esta serie aparecen inconsistencias en el análisis de frecuencia luego del año 2040; ya que a partir de ese año aparecerían valores negativos de precipitaciones totales anuales relacionados a los tiempos de retorno.

A continuación, en la Figura 208 se muestran para 2 horizontes de tiempo dado como varía la relación entre la variable y el tiempo de retorno con su respectivo intervalo de confianza.

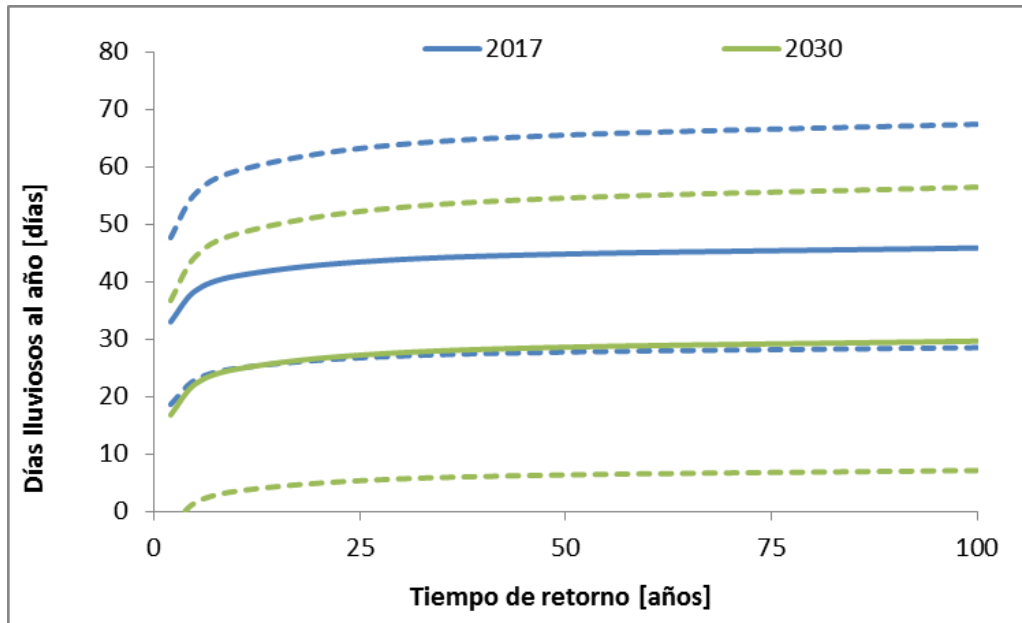


Figura 208: Comparación de los periodos de retorno de los días lluviosos al año, Mojotoro Güemes.

De la última figura se puede ver que en la actualidad (año 2017) para un período de retorno de 50 años se asocia un valor de 45 días lluviosos al año, mientras que para el año 2030 se espera que este valor disminuya a 2 días. Es decir, para un mismo período de retorno el valor de precipitación total anual disminuye.

Además se observa que a medida que avanza el horizonte de tiempo en el cual se haga el análisis, el intervalo de confianza crece significativamente: mientras que para el horizonte 2017 la magnitud del intervalo para  $T=100$  años vale 47%, en el año 2030 este valor se reduce a 90%.

#### 4. Días lluviosos al mes.

La serie hidrológica de días lluviosos al mes analizada es la que se muestra en la Figura 209.

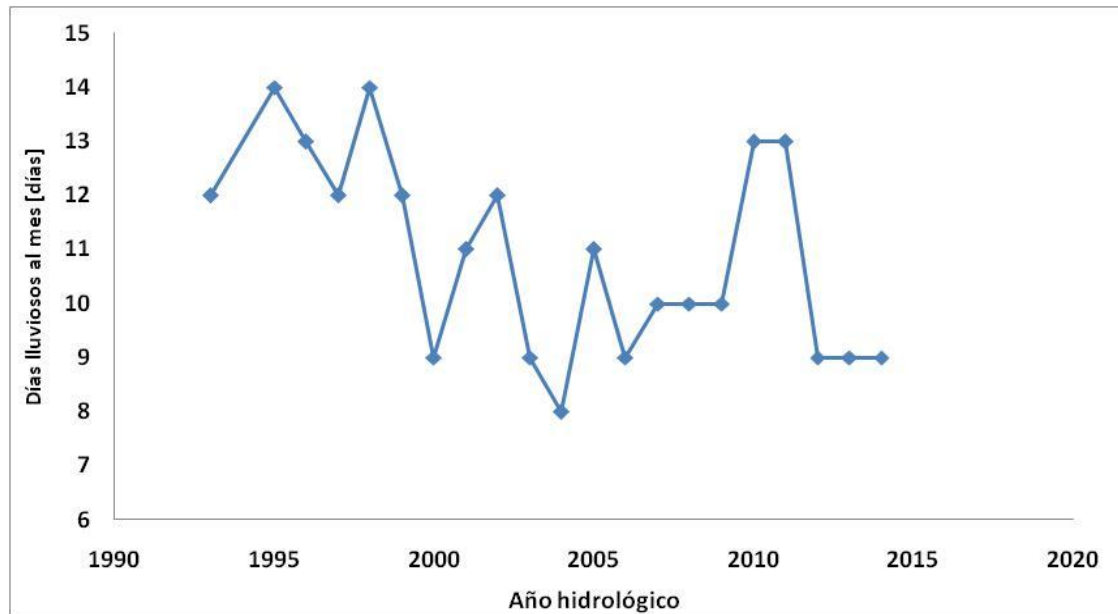


Figura 209: Serie de días lluviosos al mes, Mojotoro Güemes.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 8 días en el año 2004 y un máximo de 14 días los años 1995 y 1998. El valor promedio de la serie es de 11 días y posee un desvío estándar de 2 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, pruebas se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Log-Normal. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 210.

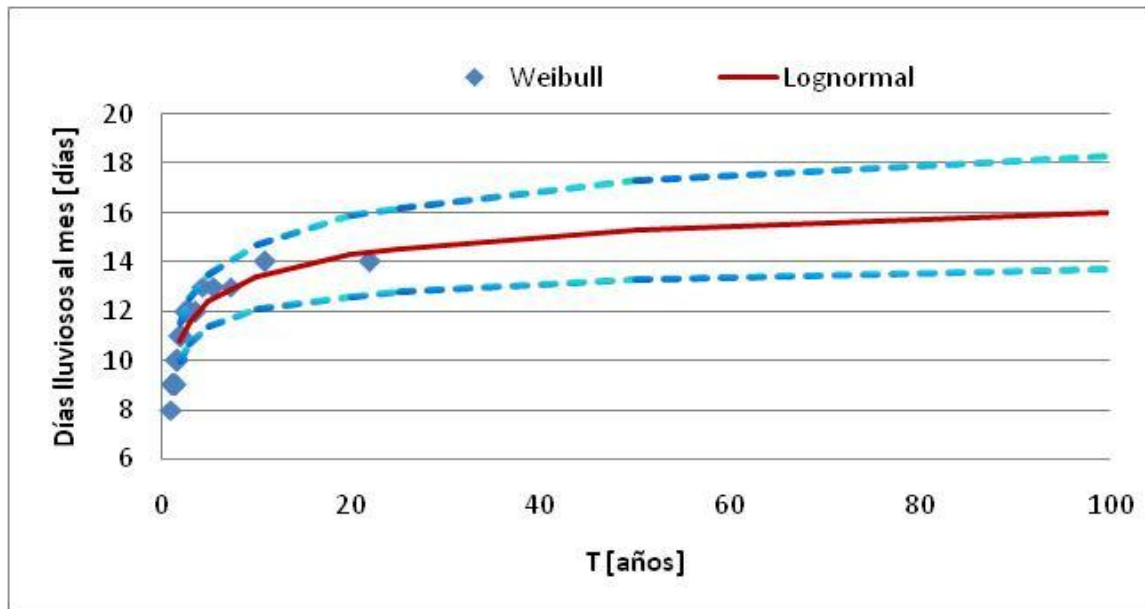


Figura 210: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al mes, Mojotoro Güemes.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días lluviosos al mes se puede ver que la FDP Teórica Log-Normal ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que el valor máximo (14 días) tiene una recurrencia del orden de los 20 a 25 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 14%, para 50 años es del 13%, para 25 años es del 12%, para 20 años es del 11%, para 10 años es del 10%, para 5 años es del 9% y para 2 años es de 6%.

A continuación, en la Tabla 77, se presentan los valores de días lluviosos al mes obtenidos a partir de la función Log-Normal con sus respectivos intervalos de confianza.



T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[días]		
2	10	11	12
5	11	12	14
10	12	13	15
20	13	14	16
25	13	15	16
50	13	15	17
100	14	16	18

Tabla 77: Valores de días lluviosos al mes, Mojotoro Güemes.

### 5. Días consecutivos con lluvia

La serie hidrológica de días consecutivos con lluvia es la que se muestra en la Figura 211:

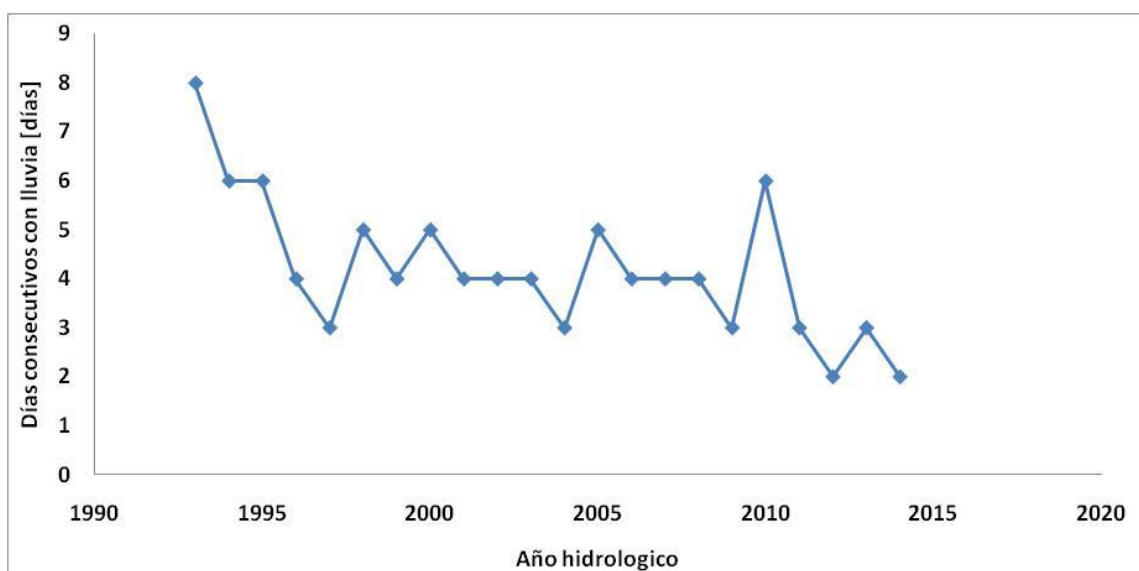


Figura 211: Serie de días consecutivos con lluvia, Mojotoro Güemes.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 2 días en los años 2012 y 2014, y un máximo de 8 días en el año 1993. El valor promedio de la serie es de 4 días y posee un desvío estándar de 2 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontraron datos atípicos y se verificaron las hipótesis de independencia y homogeneidad, pero no se verificó la hipótesis de estacionariedad. Por lo tanto, se encontraron patrones que muestran variabilidad en el tiempo.

Luego de que la serie rechazó el test de Mann-Kendall, se sometió a la misma a la prueba de Mann-Kendall modificada y a la técnica de pre-blanqueo de manera tal de verificar si la no estacionariedad arrojada por Mann-Kendall era correcta. Tanto la prueba de Mann-Kendall modificada como la técnica de pre-blanqueo indicaron que existe una tendencia en la serie analizada, por lo tanto se procedió a realizar el análisis de serie no estacionaria mediante la utilización del Software NEVA.

En la Figura 212 se muestra la variación de los valores medios de las diferentes recurrencias en el tiempo al realizar el análisis no estacionario de la serie:

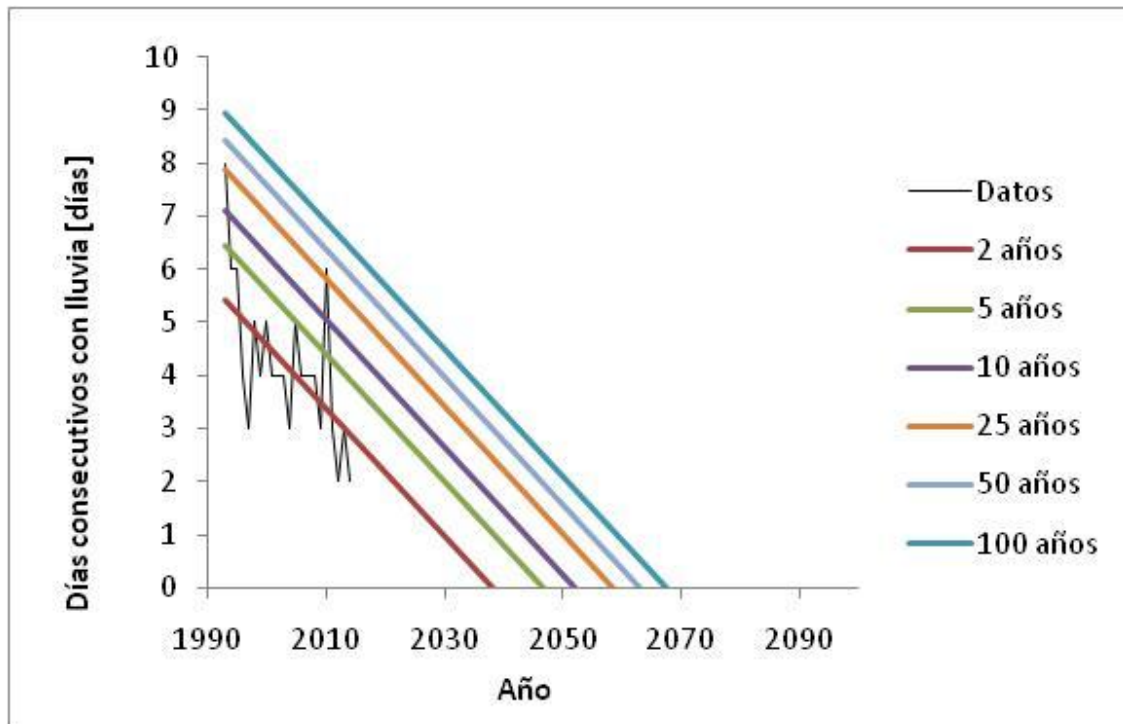


Figura 212: Valores de probabilidad para series no estacionarias de los días consecutivos con lluvia, Mojotoro Güemes.

En la Figura 212 se puede ver con una línea negra como la serie de días consecutivos con lluvia se comporta a lo largo del tiempo, desde el año 1993 hasta el año 2014 (registro muestreado). Además se ve cómo se va modificando el valor medio del período de retorno a medida que pasa el tiempo. Por ejemplo, un valor de 6 días tenía un período de retorno de 5 años en el año 1993; mientras que en el año 2010 la recurrencia de este valor subió a 25 años. También se observa que debido a la tendencia de gran magnitud existente en esta serie aparecen inconsistencias en el análisis de frecuencia luego del año 2040; ya que a partir de ese año aparecerían valores negativos de precipitaciones totales anuales relacionados a los tiempos de retorno.

A continuación, en la Figura 213 se muestran para 2 horizontes de tiempo dado como varía la relación entre la variable y el tiempo de retorno con su respectivo intervalo de confianza.

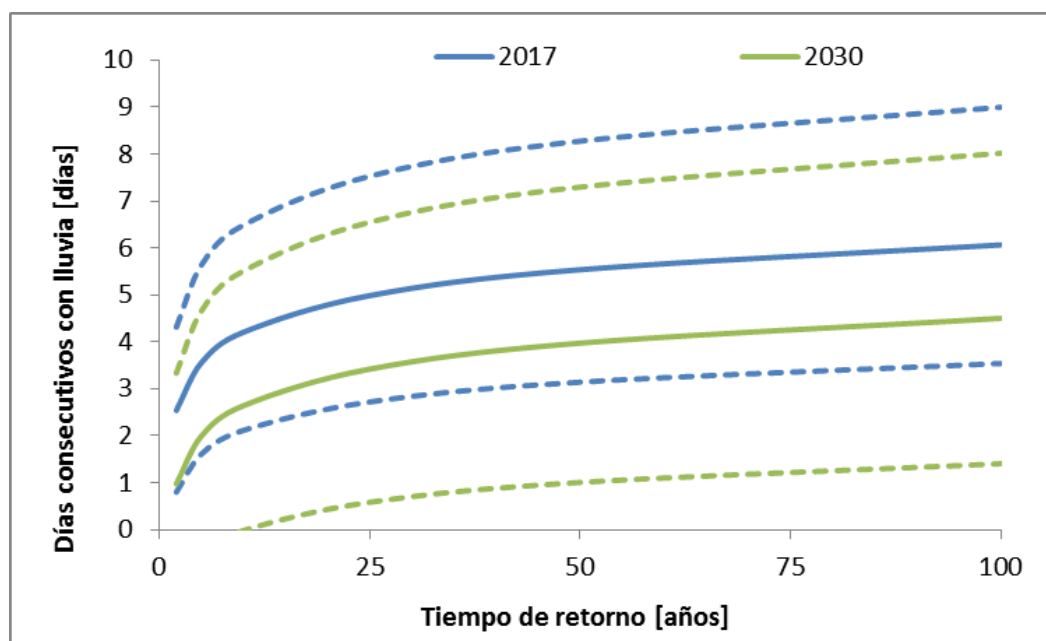


Figura 213: Comparación de los periodos de retorno de los días consecutivos con lluvia, Mojotoro Güemes.

De la última figura se puede ver que en la actualidad (año 2017) para un período de retorno de 50 años se asocia un valor de 5 días consecutivos con lluvia, mientras que para el año 2030 se espera que este valor disminuya a 3 días. Es decir, para un mismo período de retorno el valor de precipitación total anual disminuye.

Además se observa que a medida que avanza el horizonte de tiempo en el cual se haga el análisis, el intervalo de confianza crece significativamente: mientras que para el horizonte 2017 la magnitud del intervalo para  $T=100$  años vale 48%, en el año 2030 este valor se reduce a 78%.

### Estación: 21 - Santa Bárbara - Jujuy

Esta estación cuenta con registros históricos de precipitación diaria desde el año 1970 hasta el año 2013 sin datos faltantes (44 años de datos).

A continuación, se presentan cada uno de los análisis realizados sobre las diferentes variables de interés:

#### 1. Precipitación Máxima Diaria Anual.

La serie hidrológica de precipitaciones máximas diarias anuales analizada es la que se muestra en la Figura 214.

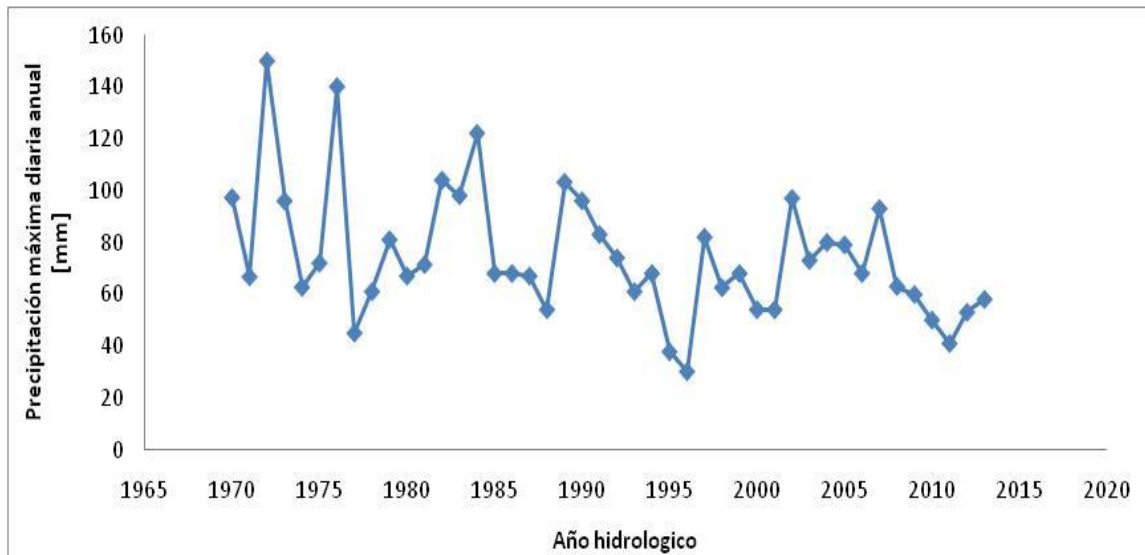


Figura 214: Serie de precipitaciones máximas diarias anuales, Santa Bárbara Jujuy.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 30.1 mm en el año 1996 y un máximo de 150.0 mm en el año 1972. El valor promedio de la serie es de 74.5 mm y posee un desvío estándar de 24.7mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificó las hipótesis de independencia, pero no se verificaron las hipótesis de estacionariedad y homogeneidad.

Luego de que la serie rechazó el test de Mann-Kendall, se sometió a la misma a la prueba de Mann-Kendall modificada y a la técnica de pre-blanqueo de manera tal de verificar si la no estacionariedad arrojada por Mann-Kendall era correcta. Tanto la prueba de Mann-Kendall modificada como la técnica de pre-blanqueo indicaron que existe una tendencia en la serie analizada, por lo tanto se procedió a realizar el análisis de serie no estacionaria mediante la utilización del Software NEVA.

En la Figura 215 se muestra la variación de los valores medios de las diferentes recurrencias en el tiempo al realizar el análisis no estacionario de la serie.

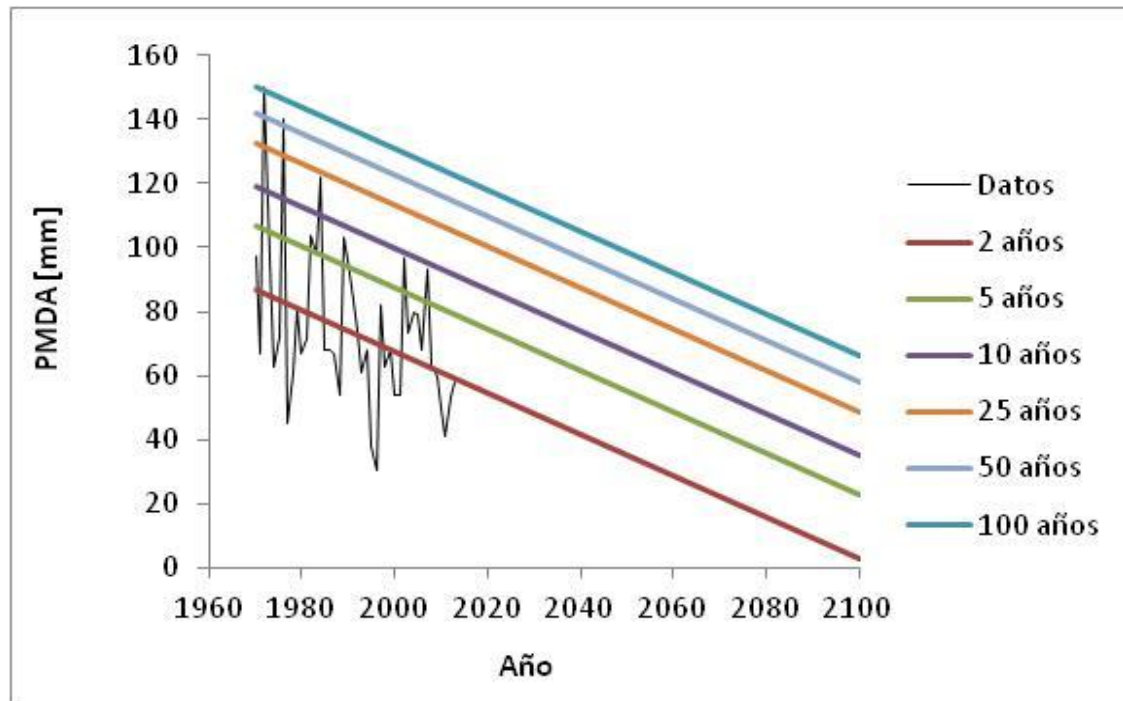


Figura 215: Valores de probabilidad para series no estacionarias las precipitaciones máximas diarias anuales, Santa Bárbara Jujuy.

En la Figura 215 se puede ver con una línea negra como la serie de precipitaciones totales anuales se comporta a lo largo del tiempo, desde el año 1970 hasta el año 2014 (registro muestreado). Además se ve cómo se va modificando el valor medio del período de retorno a medida que pasa el tiempo. Por ejemplo, un valor de 110.0 mm tenía un período de retorno de 5 años en el año 1972; mientras que en el año 2013 la recurrencia de este valor subió a 25 años. También se observa que debido a la tendencia de gran magnitud existente en esta serie aparecen inconsistencias en el análisis de frecuencia luego del año 2100; ya que a partir de ese año aparecerían valores negativos de precipitaciones totales anuales relacionados a los tiempos de retorno.

A continuación, en la Figura 216 se muestran para 2 horizontes de tiempo dado como varía la relación entre la variable y el tiempo de retorno con su respectivo intervalo de confianza.

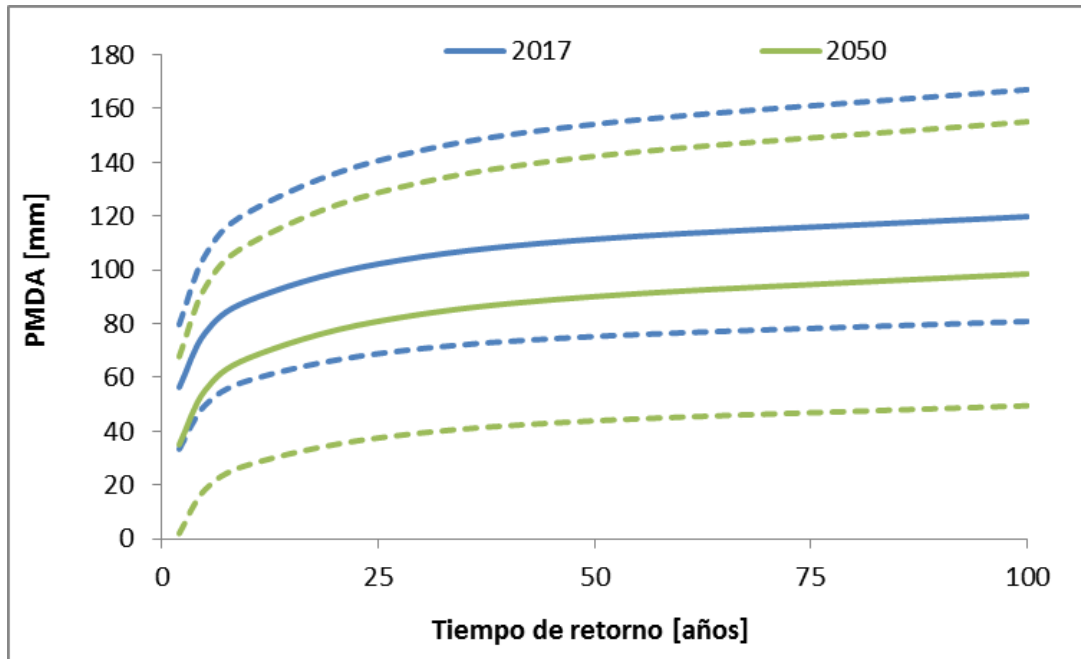


Figura 216: Comparación de los periodos de retorno de los la precipitación máxima diaria anual, Santa Bárbara Jujuy.

De la última figura se puede ver que en la actualidad (año 2017) para un período de retorno de 50 años se asocia un valor de precipitación de 100.0 mm, mientras que para el año 2030 se espera que este valor disminuya a 80.0 mm. Es decir, para un mismo período de retorno el valor de precipitación total anual disminuye.

Además se observa que a medida que avanza el horizonte de tiempo en el cual se haga el análisis, el intervalo de confianza crece significativamente: mientras que para el horizonte 2017 la magnitud del intervalo para T=100 años vale 39%, en el año 2030 este valor se reduce a 58%.

## 2. Precipitación Total Anual.

La serie hidrológica de precipitaciones totales anuales analizada es la que se muestra en la Figura 217.

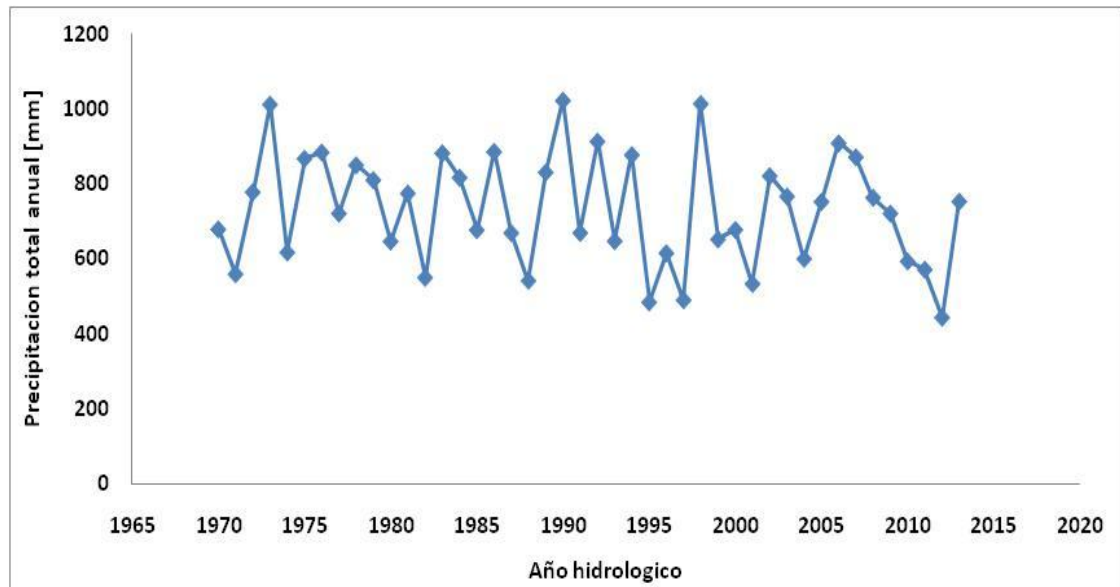


Figura 217: Serie de precipitación total anual, Santa Bárbara Jujuy.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 444.9 mm en el año 2012 y un máximo de 1024.0 mm en el año 1990. El valor promedio de la serie es de 734.0 mm y posee un desvío estándar de 150.2 mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es GEV por el método de máxima verosimilitud. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 218 que se muestra a continuación.

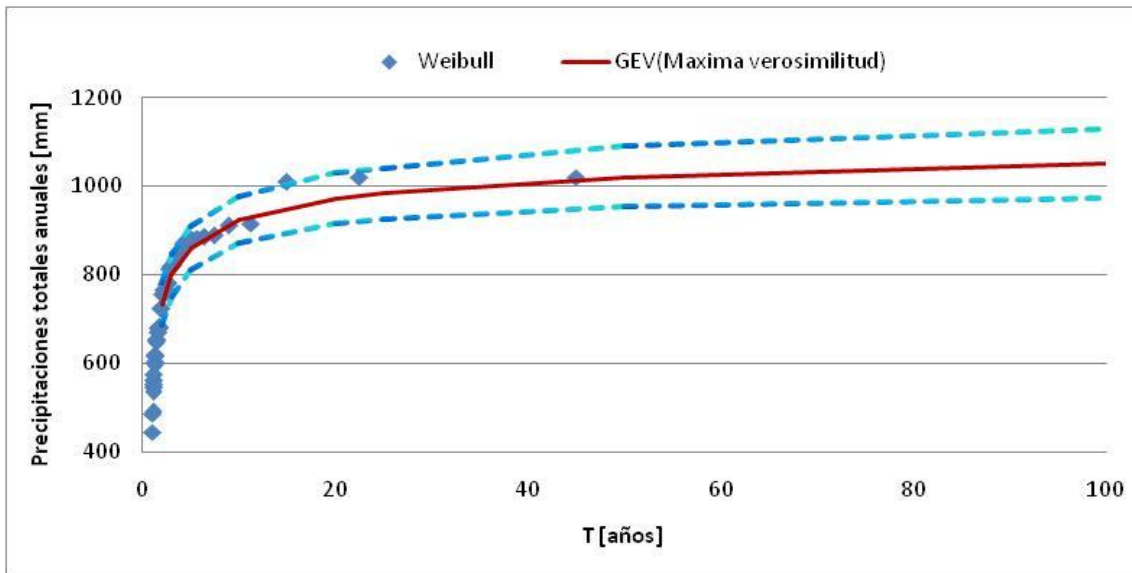


Figura 218: Distribución de probabilidades de la precipitación total anual, Santa Bárbara Jujuy.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y la precipitación total anual se puede ver que la FDP Teórica GEV por el método de máxima verosimilitud ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que la lámina máxima (1024.0 mm) tiene una recurrencia del orden de los 45 a 50 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 8%, para 50 años es del 7%, para 25 años es del 6%, para 20 años es del 6%, para 10 años es del 6%, para 5 años es del 6% y para 2 años es de 7%.

A continuación, en la Tabla 78, se presentan los valores de precipitación total anual obtenidos a partir de la función GEV por el método de máxima verosimilitud con sus respectivos intervalos de confianza:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[mm]		
2	687	734	781
5	810	860	910
10	871	923	975
20	915	971	1030
25	926	985	1040
50	955	1020	1090
100	974	1050	1130

Tabla 78: Valores de precipitación total anual, Jujuy Santa Bárbara.



### 3. Días lluviosos al año.

La serie hidrológica de días lluviosos al año analizada es la que se muestra en la Figura 219:

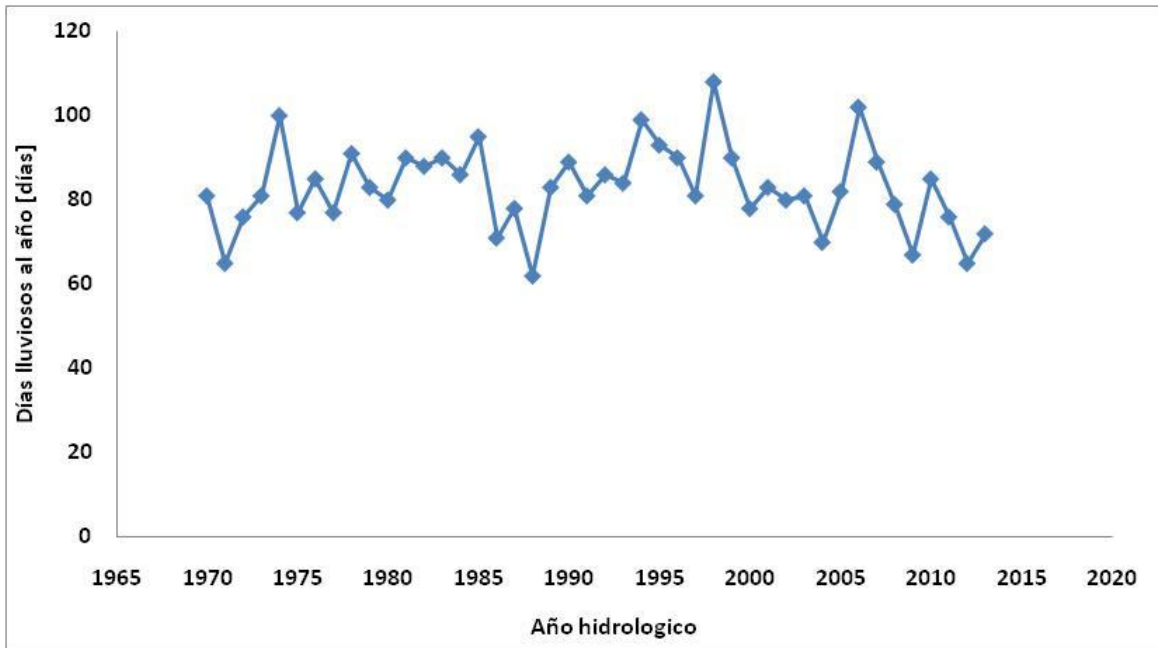


Figura 219: Serie de días lluviosos al año, Santa Bárbara Jujuy.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 62 días en el año 1998 y un máximo de 108 días en el año 1998. El valor promedio de la serie es de 83 días y posee un desvío estándar de 10 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad de esta variable en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Gumbel por el método de los momentos. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 220 que se muestra a continuación.

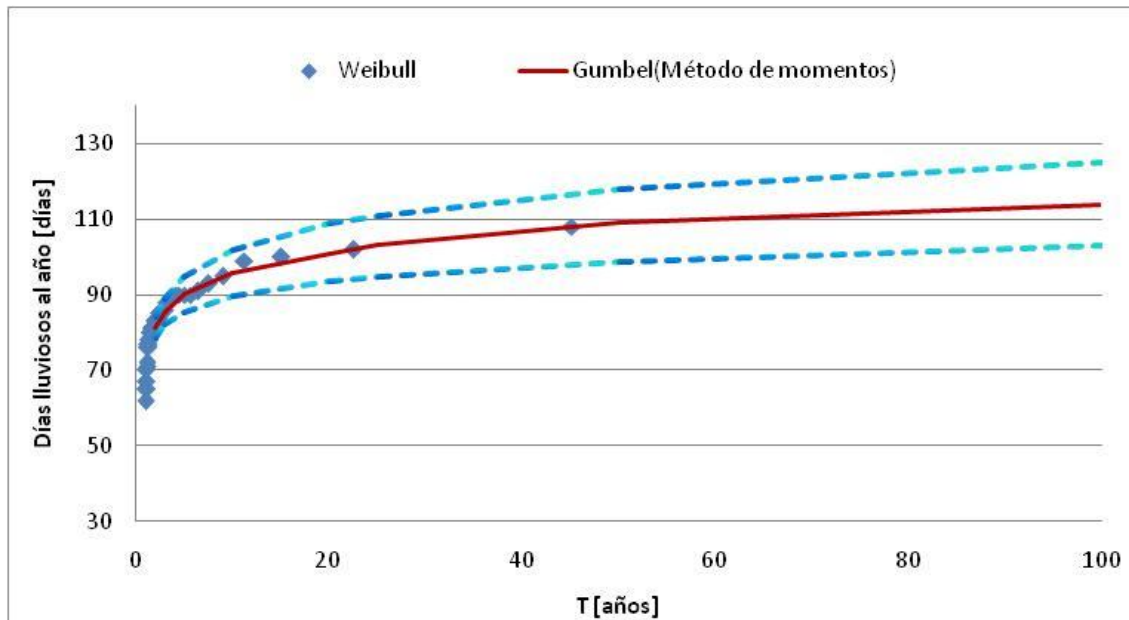


Figura 220: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al año, Santa Bárbara Jujuy.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días lluviosos al año se puede ver que la FDP Teórica Gumbel por el método de los momentos ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que el valor máximo (108 días) tiene una recurrencia del orden de los 45 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 11%, para 50 años es del 9%, para 25 años es del 8%, para 20 años es del 9%, para 10 años es del 7%, para 5 años es del 5% y para 2 años es de 3%.

A continuación, en la Tabla 79, se presentan los valores de días lluviosos al año obtenidos a partir de la función Gumbel por el método de los momentos con sus respectivos intervalos de confianza.

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[días]		
2	79	81	84
5	86	90	95
10	90	96	102
20	94	101	109
25	95	103	111
50	99	109	118
100	103	114	125

Tabla 79: Valores de días lluviosos al año, Santa Bárbara Jujuy

#### 4. Días Lluviosos al mes.

La serie hidrológica de días lluviosos al mes analizada es la que se muestra en la Figura 221:

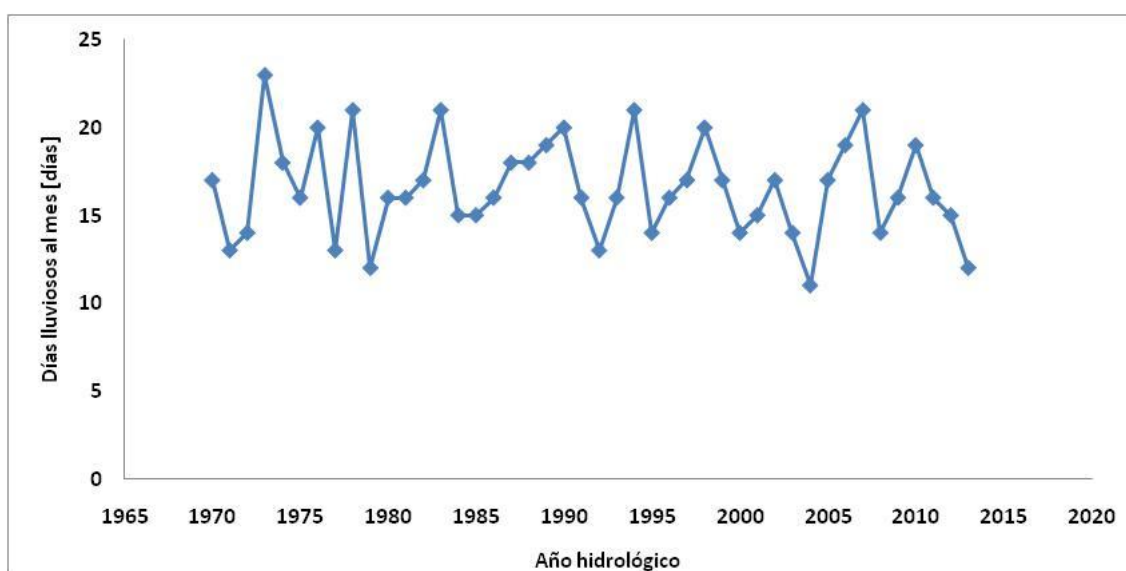


Figura 221: Serie de días lluviosos al mes, Santa Bárbara Jujuy.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 11 días en el año 2004 y un máximo de 23 días en el año 1973. El valor promedio de la serie es de 17 días y posee un desvío estándar de 3 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Log-Normal.

Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 222:

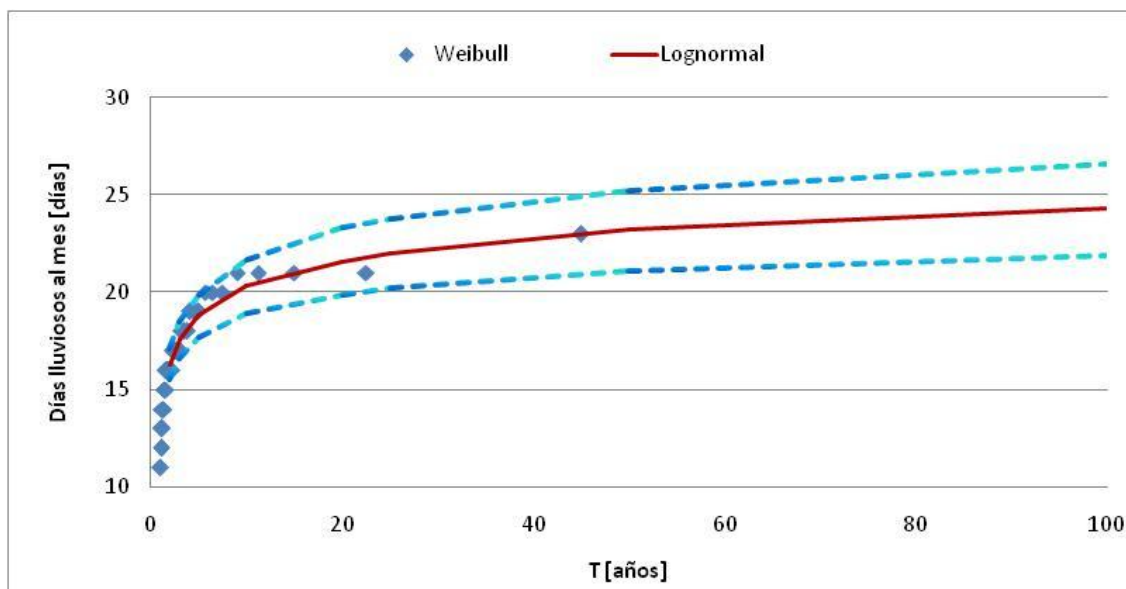


Figura 222: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al mes, Santa Bárbara Jujuy.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días lluviosos al mes se puede ver que la FDP Teórica Log-Normal ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que el valor máximo (23 días) tiene una recurrencia del orden de los 45 a 50 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 11%, para 50 años es del 9%, para 25 años es del 9%, para 20 años es del 9%, para 10 años es del 7%, para 5 años es del 6% y para 2 años es de 5%.

A continuación, en la Tabla 80, se presentan los valores de días lluviosos al mes obtenidos a partir de la función Log-Normal con sus respectivos intervalos de confianza:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[días]		
2	16	16	17
5	18	19	20
10	19	20	22
20	20	22	23
25	20	22	24
50	21	23	25
100	22	24	27

Tabla 80: Valores de días lluviosos al mes, Santa Bárbara Jujuy.

### 5. Días consecutivos con lluvia

La serie hidrológica de días consecutivos con lluvia es la que se muestra en la Figura 223:

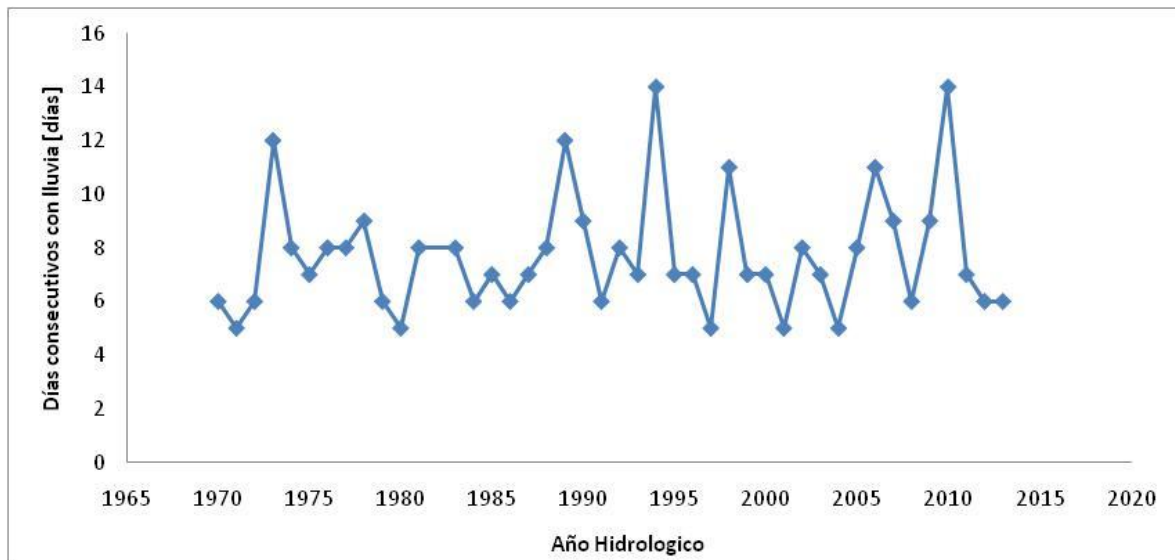


Figura 223: Serie de días consecutivos con lluvia, Santa Bárbara Jujuy.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 5 días en los años 1971, 1980, 1997, 2001 y 2004; y un máximo de 14 días en los años 1994 y 2010. El valor promedio de la serie es de 8 días y posee un desvío estándar de 2 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Log-Normal.

Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 224:

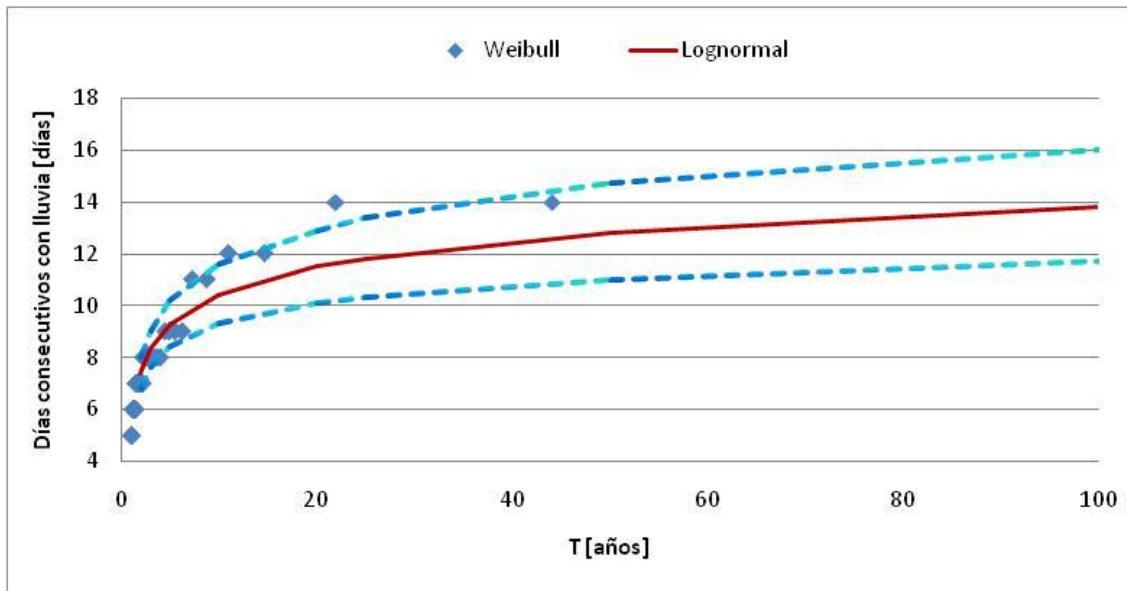


Figura 224: Distribución de probabilidades de los días consecutivos con lluvia, Santa Bárbara Jujuy.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días consecutivos con lluvia que la FDP Teórica Log-Normal arroja valores menores a los de la FDP empírica de Weibull para tiempos de retorno mayores a los 10 años. Esto puede deberse a que el valor máximo de la serie (14 días) es muy probable que corresponda a una recurrencia del orden de 100 años o aún mayor; y por razones de falta de muestreo (extensión de la serie) al aplicar la fórmula de Weibull aparece erróneamente asociado a 45 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 19%, para 50 años es del 17%, para 25 años es del 16%, para 20 años es del 14%, para 10 años es del 13%, para 5 años es del 11% y para 2 años es de 9%.

A continuación, en la Tabla 81, se presentan los valores de días consecutivos con lluvia obtenidos a partir de la función Log-Normal con sus respectivos intervalos de confianza:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[días]		
2	7	7	8
5	8	9	10
10	9	10	12
20	10	12	13
25	10	12	13
50	11	13	15
100	12	14	16

Tabla 81: Valores de días consecutivos con lluvia, Santa Bárbara Jujuy.

### Estación: 22 – Bermejo Aguas Blancas - Salta

Esta estación cuenta con registros históricos de precipitación diaria desde el año 1945 hasta el año 2014 con datos faltantes en los años 1957, 1958, 1960, 1961, 1962 (65 años de datos).

A continuación se presentan cada uno de los análisis realizados sobre las diferentes variables de interés:

#### 1. Precipitación Máxima Diaria Anual.

La serie hidrológica de la precipitación máxima diaria anual es la que se muestra en la Figura 225:

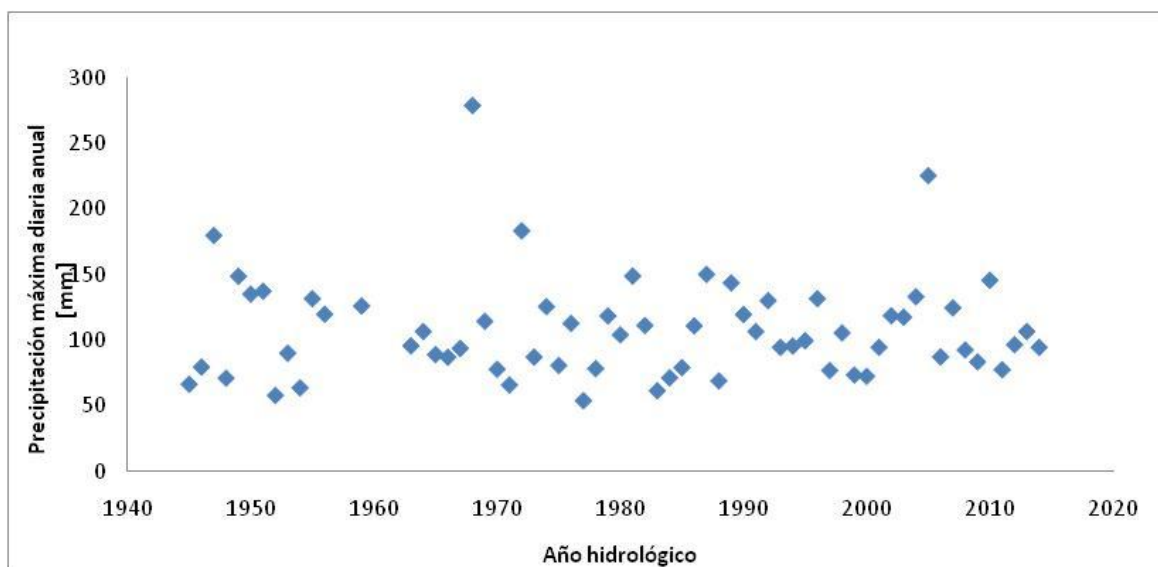


Figura 225: Serie de precipitaciones máximas diarias anuales, Bermejo Aguas Blancas.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 54.5 mm en el año 1977 y un máximo de 278.8 mm en el año 1968. El valor promedio de la serie es de 108.3 mm y posee un desvío estándar de 38.8 mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie se encontró un dato atípico correspondiente a 278.8 mm en el año 1968. Este dato atípico puede deberse a que ese año hidrológico fue demasiado húmedo. Este último dato

fue eliminado de la serie y se aplicó nuevamente el test el cual no arrojó ningún otro dato atípico. En base a esto último, la serie que finalmente fue analizada contaba 64 datos, con un mínimo de 54.5 mm en el año 1977 y un máximo de 225.5 mm en el año 2005. El valor promedio de la serie es de 105.6 mm y posee un desvío estándar de 32.6 mm. Por otro lado, se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Log-Normal. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 226:

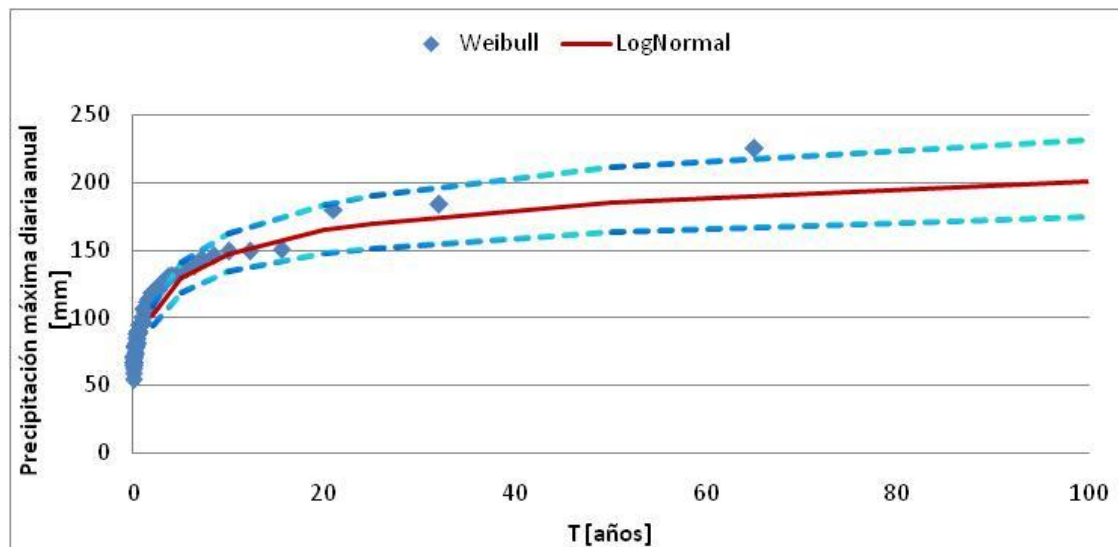


Figura 226: Distribución de probabilidades de la precipitación máxima diaria anual, Bermejo Aguas Blancas.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y la precipitación diaria máxima anual se puede ver que la FDP Teórica Log-Normal arroja valores de precipitación menores a los de la FDP empírica de Weibull para tiempos de retorno mayores a los 20 años. Esto puede deberse a que el valor máximo de la serie (225.5 mm) es muy probable que corresponda a una recurrencia de más de 100 años; y por razones de falta de muestreo (extensión de la serie) al aplicar la fórmula de Weibull aparece erróneamente asociado a 65 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza).



Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 15%, para 50 años es del 14%, para 25 años es del 12%, para 20 años es del 12%, para 10 años es del 12%, para 5 años es del 10% y para 2 años es de 9%.

A continuación, en la Tabla 82, se presentan los valores de precipitación máxima diaria anual obtenidos a partir de la función Log-Normal con sus respectivos intervalos de confianza:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[mm]		
2	94.1	101.1	108.7
5	119.0	129.4	140.8
10	133.8	147.6	162.7
20	147.1	164.4	183.7
25	151.2	169.7	190.4
50	163.4	185.6	210.9
100	174.9	201.1	231.2

Tabla 82: Valores de precipitación máxima diaria anual, Bermejo Aguas Blancas.

## 2. Precipitación Total Anual.

La serie hidrológica de precipitaciones totales anuales analizada es la que se muestra en la Figura 227:

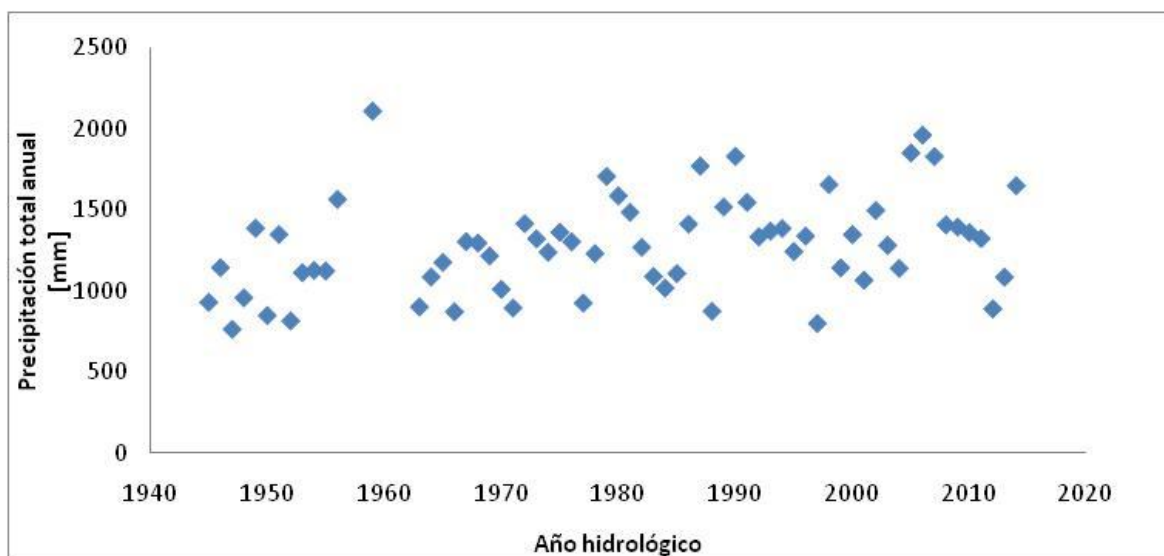


Figura 227: Serie de precipitación total anual, Bermejo Aguas Blancas.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 768.7 mm en el año 1947 y un máximo de 2111.7 mm en el año 1959. El valor promedio de la serie es de 1286.7 mm y posee un desvío estándar de 300.7 mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico. Por otro lado, se verificaron las hipótesis de independencia y homogeneidad, pero no se verificó la hipótesis de estacionariedad.

Luego de que la serie rechazó el test de Mann-Kendall, se sometió a la misma a la prueba de Mann-Kendall modificada y a la técnica de pre-blanqueo de manera tal de verificar si la no estacionariedad arrojada por Mann-Kendall era correcta. Tanto la prueba de Mann-Kendall modificada como la técnica de pre-blanqueo indicaron que existe una tendencia en la serie analizada, por lo tanto se procedió a realizar el análisis de serie no estacionaria mediante la utilización del Software NEVA.

En la Figura 228 se muestra la variación de los valores medios de las diferentes recurrencias en el tiempo al realizar el análisis no estacionario de la serie:

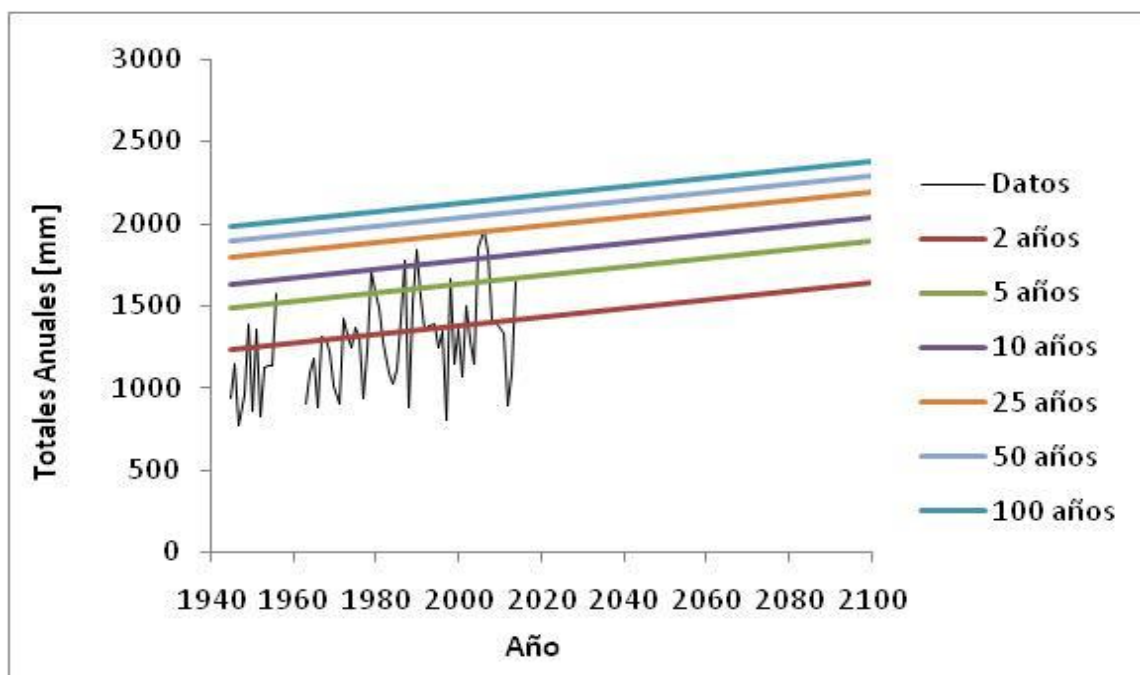


Figura 228: Valores de probabilidad para series no estacionarias de los totales anuales, Bermejo Aguas Blancas.

En la Figura 228 se puede ver con una línea negra como la serie de precipitaciones totales anuales se comporta a lo largo del tiempo, desde el año 1945 hasta el año 2014 (registro muestreado). Además se ve cómo se va modificando el valor medio del período de retorno a medida que pasa el tiempo. Por ejemplo, un valor de 2000 mm anuales tenía un período de retorno de 100 años en el año 1945; mientras que en el año 2000 la recurrencia de este valor bajó a 50 años.

A continuación, en la Figura 229 se muestran para 3 horizontes de tiempo dado como varía la relación entre la variable y el tiempo de retorno con su respectivo intervalo de confianza:

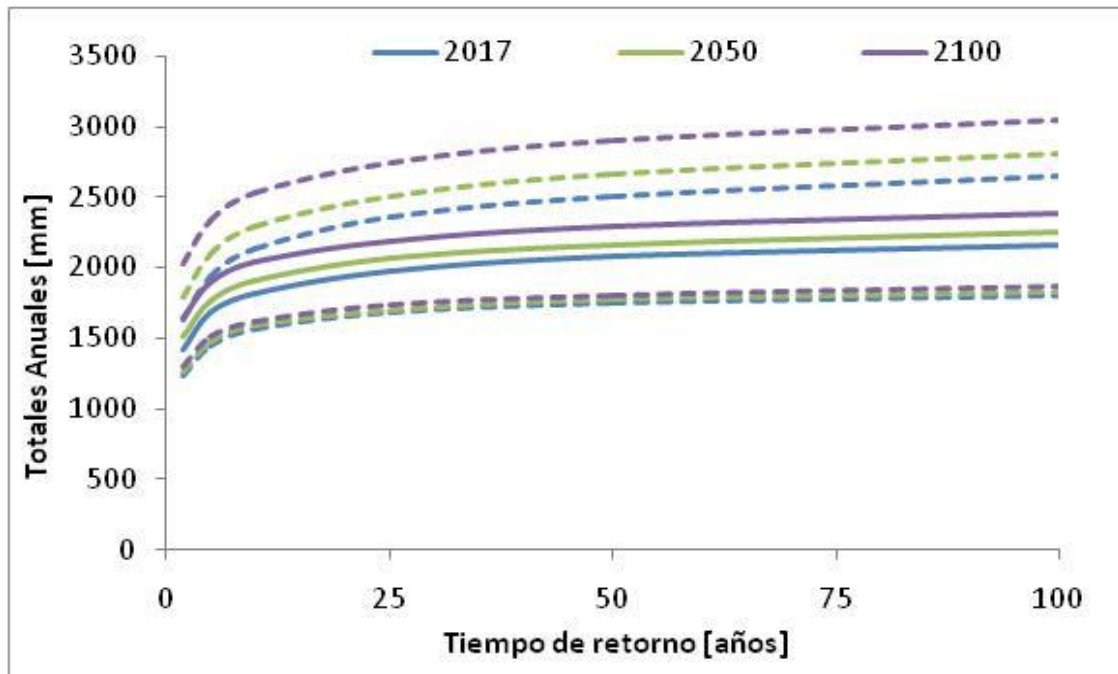


Figura 229: Comparación de periodos de retorno de la precipitación total anual, Bermejo Aguas Blancas.

De la última figura se puede ver que en la actualidad (año 2017) para un período de retorno de 50 años se asocia un valor de precipitación anual de 2000.0 mm, mientras que para el año 2050 se espera que este valor disminuya a 2100.0 mm. Es decir, para un mismo período de retorno el valor de precipitación total anual aumenta.

Además se observa que a medida que avanza el horizonte de tiempo en el cual se haga el análisis, el intervalo de confianza crece significativamente: mientras que para el horizonte 2017 la magnitud del intervalo para  $T=100$  años vale 22%, en el año 2050 este valor se reduce a 25%.

### 3. Días lluviosos al año.

La serie hidrológica de días lluviosos al año analizada es la que se muestra en la Figura 230:

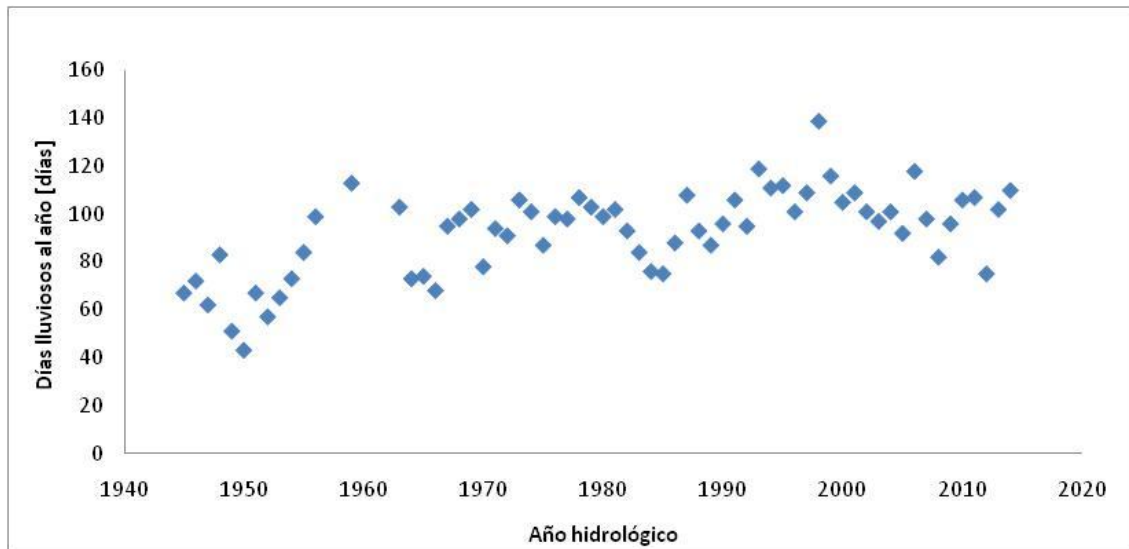


Figura 230: Serie de días lluviosos al año, Bermejo Aguas Blancas

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 43 días en el año 1950 y un máximo de 139 días en el año 1998. El valor promedio de la serie es de 92 días y posee un desvío estándar de 18 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie se encontró un dato atípico correspondiente a 43 días el año 1950. Este dato atípico puede deberse a que ese año hidrológico fue demasiado seco o bien que hay faltante de datos pluviométricos registrados en ese periodo. Este último dato fue eliminado de la serie y se aplicó nuevamente el test el cual arrojó otro dato atípico, 51 días en 1949. Se descarta la serie por no verificar datos atípicos.

#### 4. Días lluviosos al mes.

La serie hidrológica de días lluviosos al mes analizada es la que se muestra en la Figura 231:

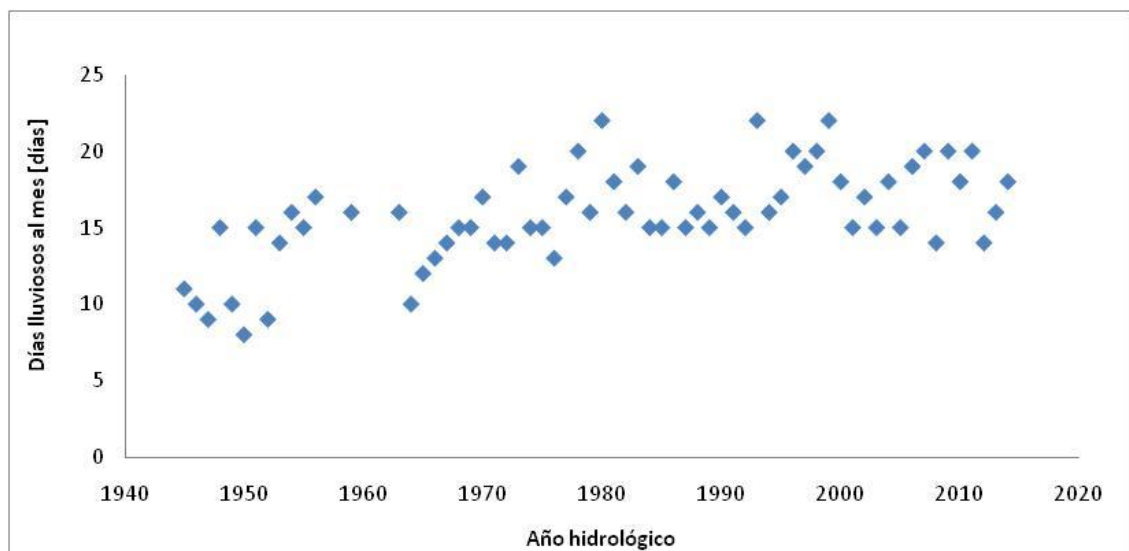


Figura 231: Serie de días lluviosos al mes, Bermejo Aguas Blancas

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 8 días en los años 1950 y 1952, y un máximo de 22 días en los años 1980, 1993 y 1999. El valor promedio de la serie es de 16 días y posee un desvío estándar de 3 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie se encontró un dato atípico correspondiente a 8 días en el año 1950. Este dato atípico puede deberse a que ese año hidrológico fue demasiado seco o bien que hay faltante de datos pluviométricos registrados en ese periodo. Este último dato fue eliminado de la serie y se aplicó nuevamente el test el cual no arrojó ningún otro dato atípico. En base a esto último, la serie que finalmente fue analizada contaba 64 datos, con entre un mínimo de 9 días en los años 1947 y 1952, y un máximo de 22 días en los años 1980, 1993 y 1999. El valor promedio de la serie es de 16 días y posee un desvío estándar de 3 días. Por otro lado se verificó las hipótesis de independencia, pero no se verificaron las hipótesis de estacionariedad y homogeneidad.

Luego de que la serie rechazó el test de Mann-Kendall, se sometió a la misma a la prueba de Mann-Kendall modificada y a la técnica de pre-blanqueo de manera tal de verificar si la no estacionariedad arrojada por Mann-Kendall era correcta. Tanto la prueba de Mann-Kendall modificada como la técnica de pre-blanqueo indicaron que existe una tendencia en la serie analizada, por lo tanto se procedió a realizar el análisis de serie no estacionaria mediante la utilización del Software NEVA.

En la Figura 232 se muestra la variación de los valores medios de las diferentes recurrencias en el tiempo al realizar el análisis no estacionario de la serie:

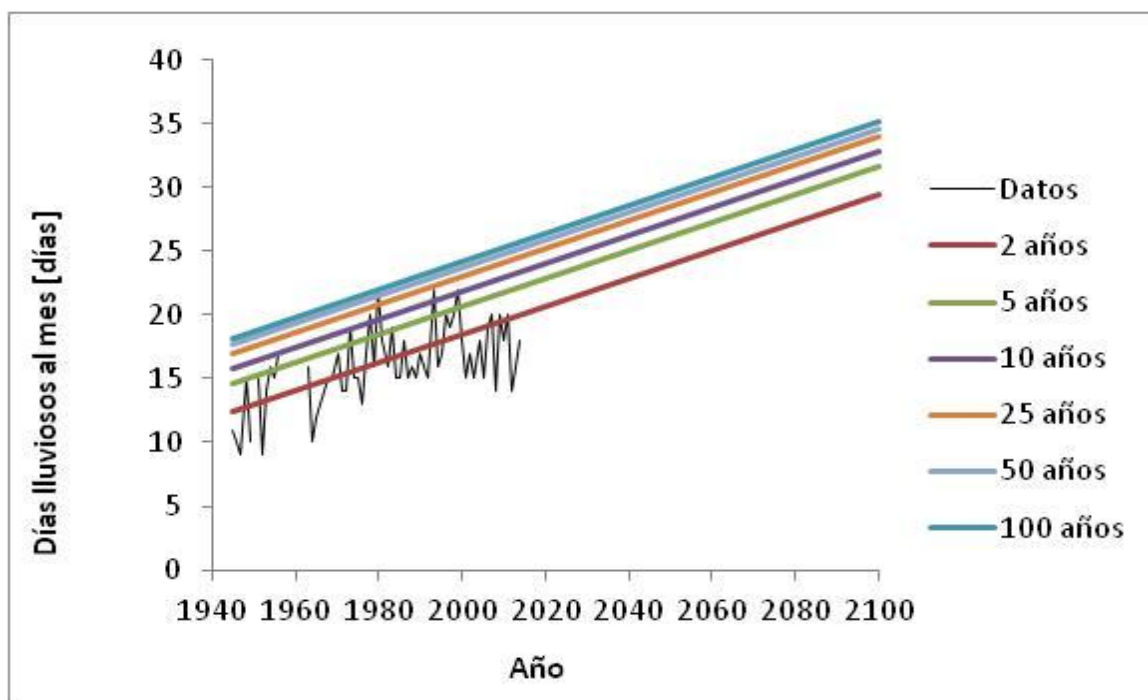


Figura 232: Valores de probabilidad para series no estacionarias de días lluviosos al mes, Bermejo Aguas Blancas.

En la Figura 232 se puede ver con una línea negra como la serie de precipitaciones totales anuales se comporta a lo largo del tiempo, desde el año 1945 hasta el año 2014 (registro muestreado). Además se ve cómo se va modificando el valor medio del período de retorno a medida que pasa el tiempo. Por ejemplo, un valor de 15 días tenía un período de retorno de 5 años en el año 1945; mientras que en el año 1985 la recurrencia de este valor bajó a 2 años.

A continuación, en la Figura 233 se muestran para 2 horizontes de tiempo dado como varía la relación entre la variable y el tiempo de retorno con su respectivo intervalo de confianza:

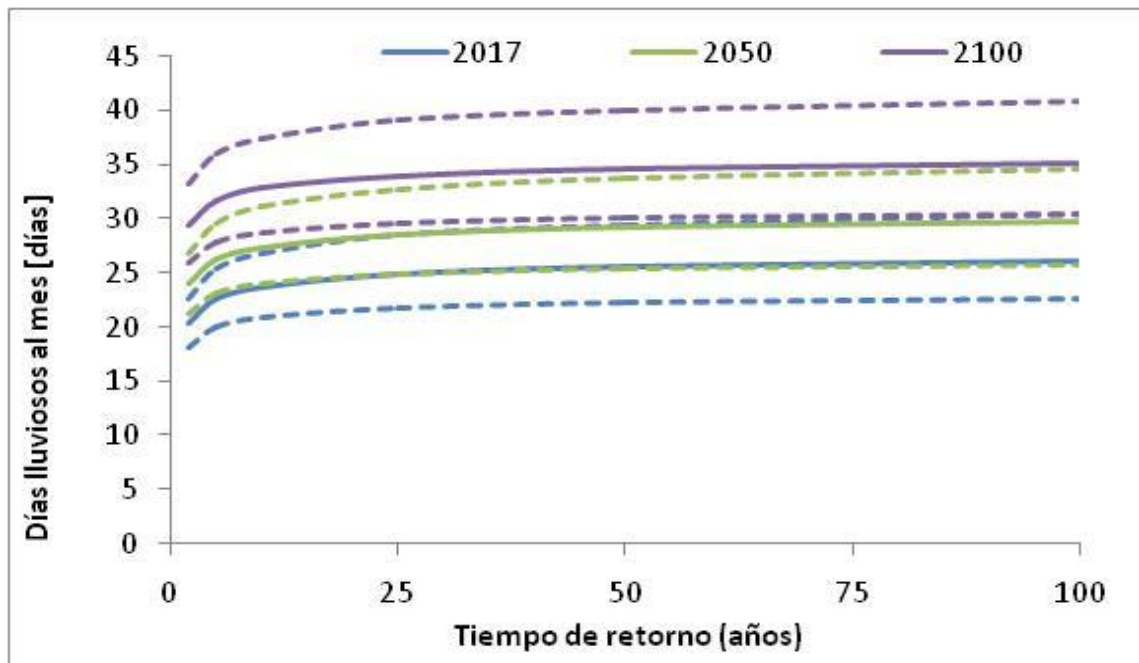


Figura 233: Comparación de períodos de retorno de los días lluviosos al mes, Bermejo Aguas Blancas.

De la última figura se puede ver que en la actualidad (año 2017) para un período de retorno de 50 años se asocia un valor 24 días lluviosos al mes, mientras que para el año 2050 se espera que este valor aumente a 28 días. Es decir, para un mismo período de retorno el valor de precipitación total anual aumenta.

Además se observa que a medida que avanza el horizonte de tiempo en el cual se haga el análisis, el intervalo de confianza crece significativamente: mientras que para el horizonte 2017 la magnitud del intervalo para  $T=100$  años vale 50%, en el año 2030 este valor se reduce a 74%.

Por otro lado se puede ver que los valores medios de días lluviosos al mes que se tienen actualmente, coinciden con el intervalo inferior correspondiente al año 2050. Mientras que los valores medios de este último año, coinciden con el

intervalo inferior del año 2100. Y por último, los valores medios correspondientes al año 2100 coinciden con el intervalo superior del año 2050.

### 5. Días consecutivos con lluvia

La serie hidrológica de días consecutivos con lluvia es la que se muestra en la Figura 234:

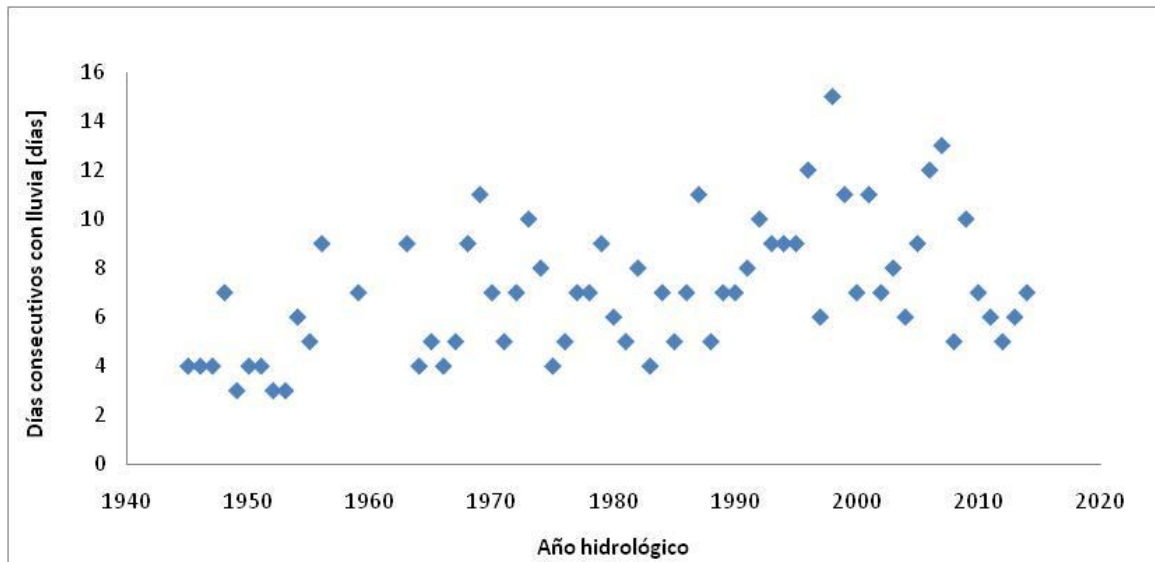


Figura 234: Comparación de periodos de retorno de los días lluviosos al mes, Bermejo Aguas Blancas.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 3 días en los años 1949, 1952 y 1953, y un máximo de 15 días en el año 1998. El valor promedio de la serie es de 7 días y posee un desvío estándar de 3 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontraron datos atípicos y se verificaron las hipótesis de independencia y homogeneidad, pero no se verificó la hipótesis de estacionariedad. Por lo tanto, se encontraron patrones que muestran variabilidad en el tiempo.

Luego de que la serie rechazó el test de Mann-Kendall, se sometió a la misma a la prueba de Mann-Kendall modificada y a la técnica de pre-blanqueo de manera tal de verificar si la no estacionariedad arrojada por Mann-Kendall era correcta. Tanto la prueba de Mann-Kendall modificada como la técnica de pre-blanqueo indicaron que existe una tendencia en la serie analizada, por lo tanto se procedió a realizar el análisis de serie no estacionaria mediante la utilización del Software NEVA.

En la Figura 235 se muestra la variación de los valores medios de las diferentes recurrencias en el tiempo al realizar el análisis no estacionario de la serie:

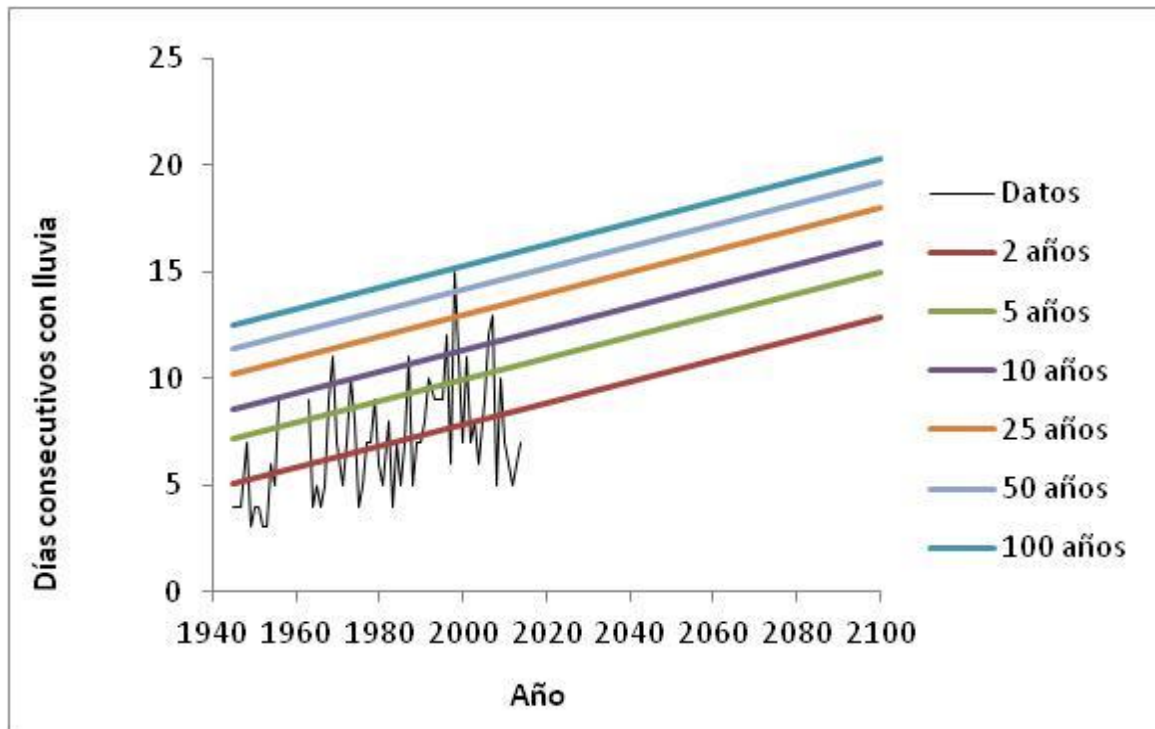


Figura 235: Valores de probabilidad para series no estacionarias de días consecutivos con lluvia, Bermejo Aguas Blancas.

En la Figura 235 se puede ver con una línea negra como la serie de precipitaciones totales anuales se comporta a lo largo del tiempo, desde el año 1945 hasta el año 2014 (registro muestreado). Además se ve cómo se va modificando el valor medio del período de retorno a medida que pasa el tiempo. Por ejemplo, un valor de 17 días tenía un período de retorno de 5 años en el año 1965; mientras que en el año 1985 la recurrencia de este valor bajó a 2 años.

A continuación, en la Figura 236 se muestran para 3 horizontes de tiempo dado como varía la relación entre la variable y el tiempo de retorno con su respectivo intervalo de confianza:



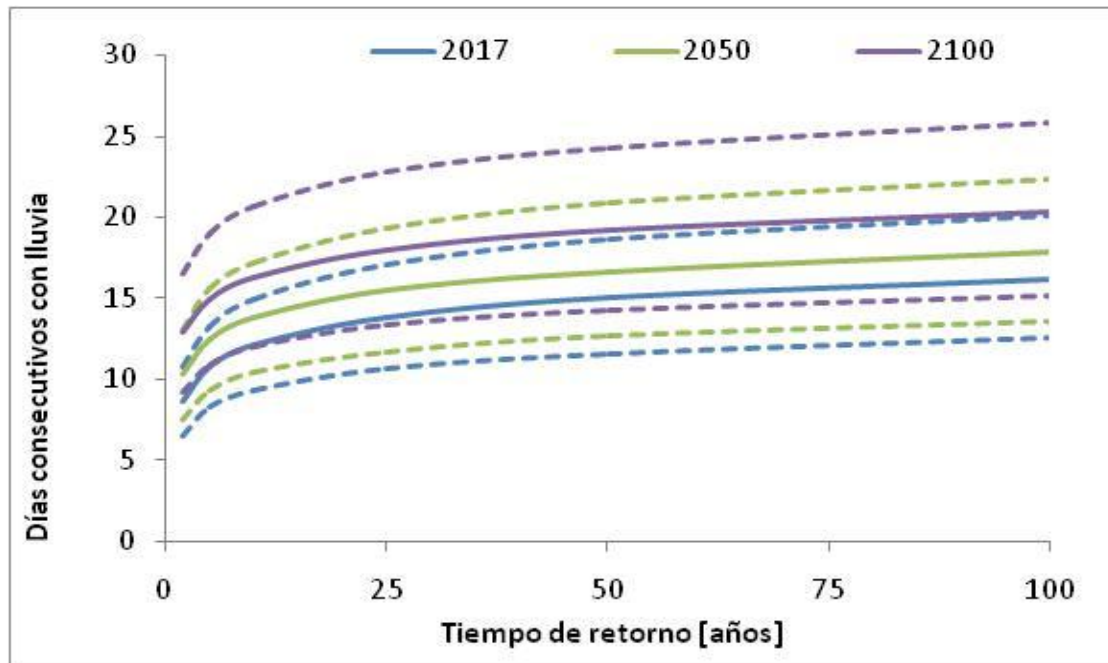


Figura 236: Comparación de períodos de retorno de los días consecutivos con lluvia, Bermejo Aguas Blancas.

De la última figura se puede ver que en la actualidad (año 2017) para un período de retorno de 50 años se asocia un valor de 13 días consecutivos con lluvia, mientras que para el año 2050 se espera que este valor aumente a 14 días. Es decir, para un mismo período de retorno el valor de precipitación total anual aumenta.

Además se observa que a medida que avanza el horizonte de tiempo en el cual se haga el análisis, el intervalo de confianza crece significativamente: mientras que para el horizonte 2017 la magnitud del intervalo para  $T=100$  años vale 25%, en el año 2030 este valor se reduce a 26%.

Por otro lado se puede ver que los valores medios de días consecutivos con lluvia que se tienen actualmente, coinciden con el intervalo inferior correspondiente al año 2050. Mientras que los valores medios de este último año, coinciden con el intervalo inferior del año 2100. Y por último, los valores medios correspondientes al año 2100 coinciden con el intervalo superior del año 2050.

### Estación: 23 – La Quiaca Yavi - Jujuy

Esta estación cuenta con registros históricos de precipitación diaria desde el año 1970 hasta el año 2013 sin datos faltantes (44 años de datos).

A continuación se presentan cada uno de los análisis realizados sobre las diferentes variables de interés:

#### 1. Precipitación Máxima Diaria Anual.

La serie hidrológica de la precipitación máxima diaria anual es la que se muestra en la Figura 237:

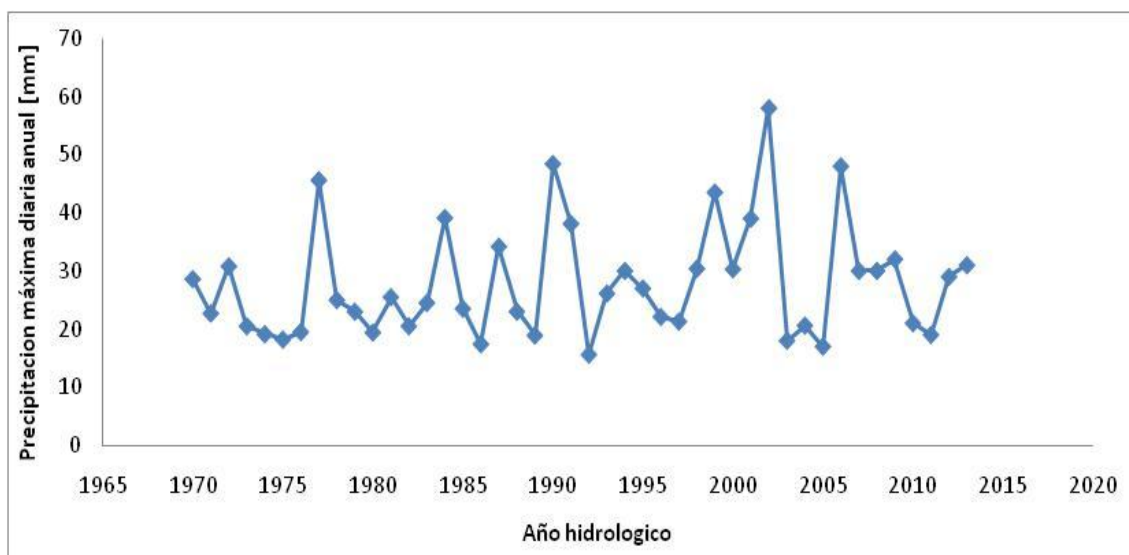


Figura 237: Serie de precipitaciones máximas diarias anuales, La Quiaca Yavi.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 15.6 mm en el año 1992 y un máximo de 58.0 mm en el año 2002. El valor promedio de la serie es de 27.8 mm y posee un desvío estándar de 9.8mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Log-Pearson por el método de los momentos. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 238:

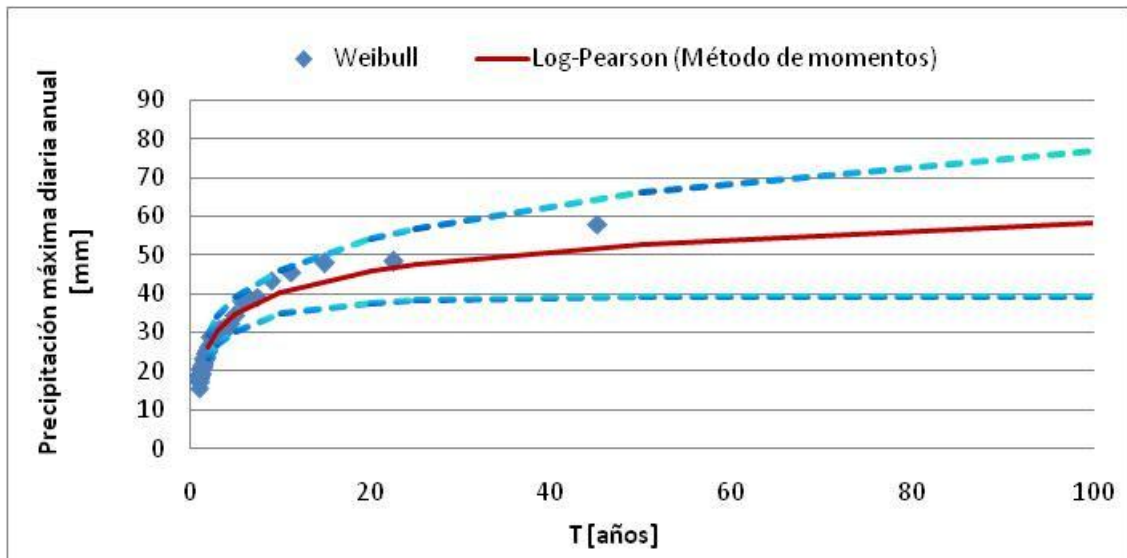


Figura 238: Distribución de probabilidades de la precipitación total anual, La Quiaca Yavi.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y la precipitación diaria máxima anual se puede ver que la FDP Teórica Log-Pearson por el método de los momentos arroja valores de precipitación menores a los de la FDP empírica de Weibull para tiempos de retorno mayores a los 20 años. Esto puede deberse a que el valor máximo de la serie (58.0 mm) es muy probable que corresponda a una recurrencia del orden de 100 años o aún mayor; y por razones de falta de muestreo (extensión de la serie) al aplicar la fórmula de Weibull aparece erróneamente asociado a 45 años

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 32%, para 50 años es del 25%, para 25 años es del 19%, para 20 años es del 18%, para 10 años es del 14%, para 5 años es del 13% y para 2 años es de 12%.

A continuación, en la Tabla 83, se presentan los valores de precipitación máxima diaria anual obtenidos a partir de la función Log-Pearson por el método de los momentos con sus respectivos intervalos de confianza:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[mm]		
2	23.2	26.2	29.3
5	30.4	34.8	39.2
10	34.8	40.4	46.1
20	37.7	45.8	54.0
25	38.3	47.5	56.7
50	39.4	52.8	66.2
100	39.3	58.1	76.9

Tabla 83: Valores de precipitación máxima diaria anual, La Quiaca Yavi.

## 2. Precipitación Total Anual.

La serie hidrológica de precipitaciones totales anuales analizada es la que se muestra en la Figura 239:

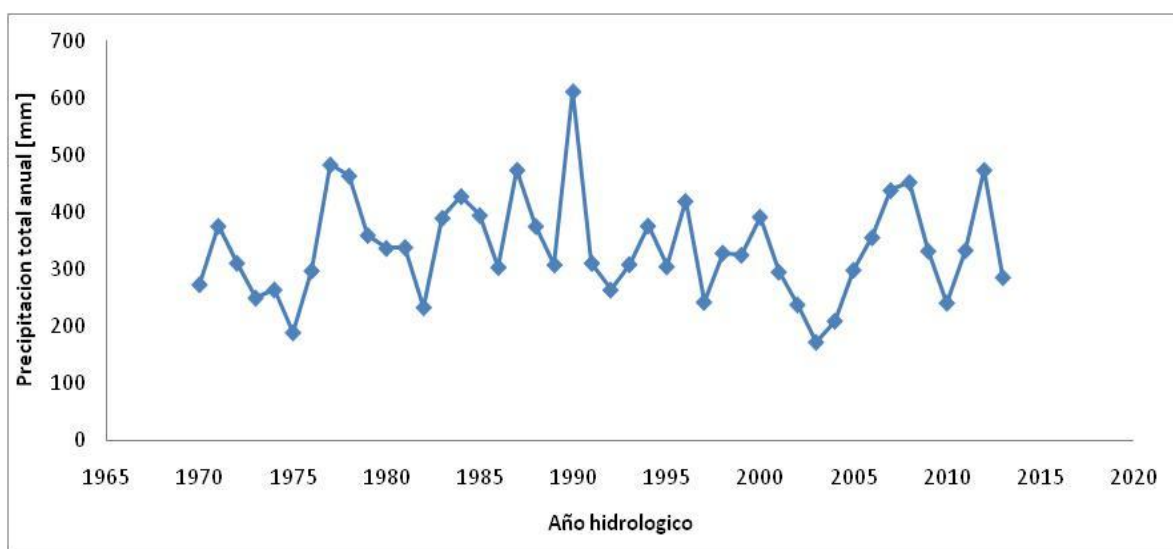


Figura 239: Serie de precipitaciones totales anuales, La Quiaca Yavi.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 172.4 mm en el año 2003 y un máximo de 612.0 mm en el año 1990. El valor promedio de la serie es de 337.9 mm y posee un desvío estándar de 89.3 mm.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico y se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontró ningún patrón que muestre variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar, se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Gumbel por el método de máxima verosimilitud. Se puede ver la relación entre la variable y

las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 240:

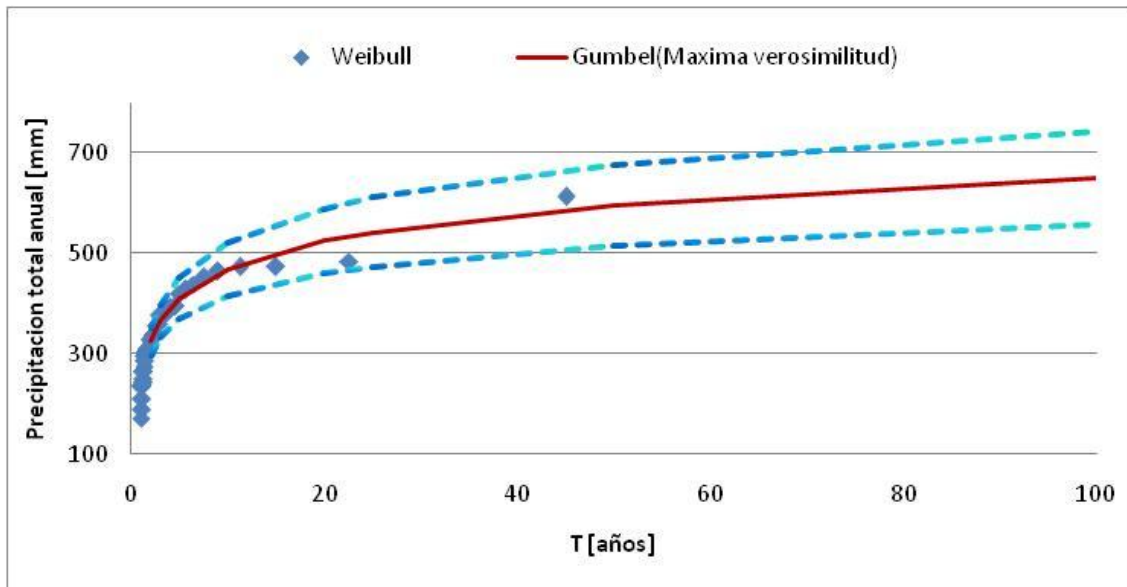


Figura 240: Distribución de probabilidades de la precipitación total anual, La Quiaca Yavi.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y la precipitación total anual se puede ver que la FDP Teórica Gumbel por el método de máxima verosimilitud ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que la lámina máxima (612.0 mm) tiene una recurrencia del orden de los 55 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 14%, para 50 años es del 14%, para 25 años es del 13%, para 20 años es del 12%, para 10 años es del 11%, para 5 años es del 10% y para 2 años es de 8%.

A continuación, en la Tabla 84, se presentan los valores de precipitación total anual obtenidos a partir de la función Gumbel por el método de máxima verosimilitud con sus respectivos intervalos de confianza:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[mm]		
2	297	324	350
5	370	411	452
10	416	469	522
20	459	524	589
25	473	542	611
50	515	596	677
100	557	650	743

Tabla 84: Valores de precipitación total anual, La Quiaca Yavi.

### 3. Días lluviosos al año.

La serie hidrológica de días lluviosos al año analizada es la que se muestra en la Figura 241:

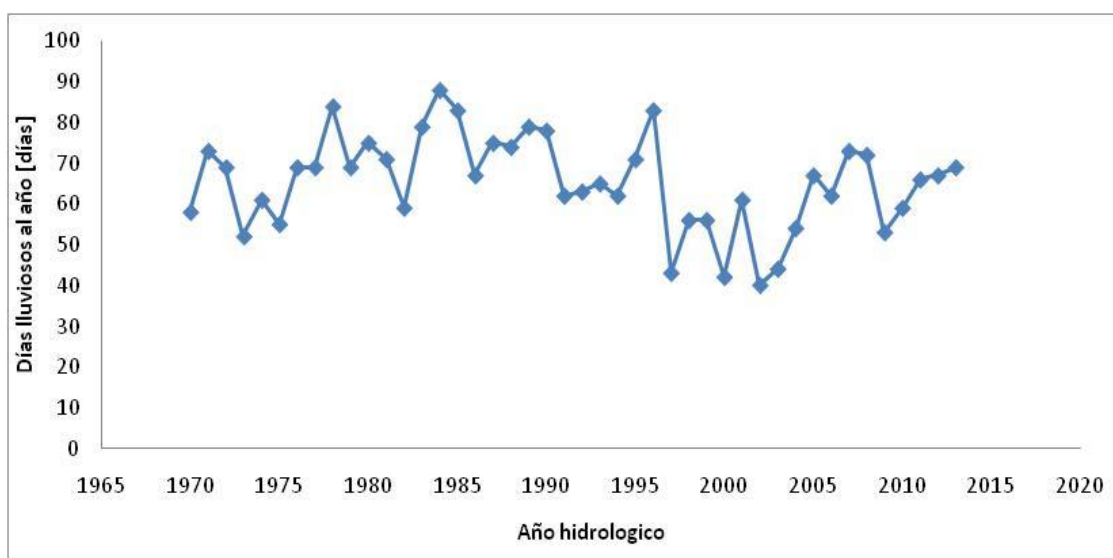


Figura 241: Serie de días lluviosos al año, La Quiaca Yavi.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 40 días en el año 2002 y un máximo de 88 días en el año 1984. El valor promedio de la serie es de 65 días y posee un desvío estándar de 12 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontró ningún dato atípico, pero no se verificó la hipótesis de independencia. Por lo tanto, la serie se descartó y no se prosiguió con el análisis.

### 4. Días lluviosos al mes.

La serie hidrológica de días lluviosos al mes analizada es la que se muestra en la Figura 242:

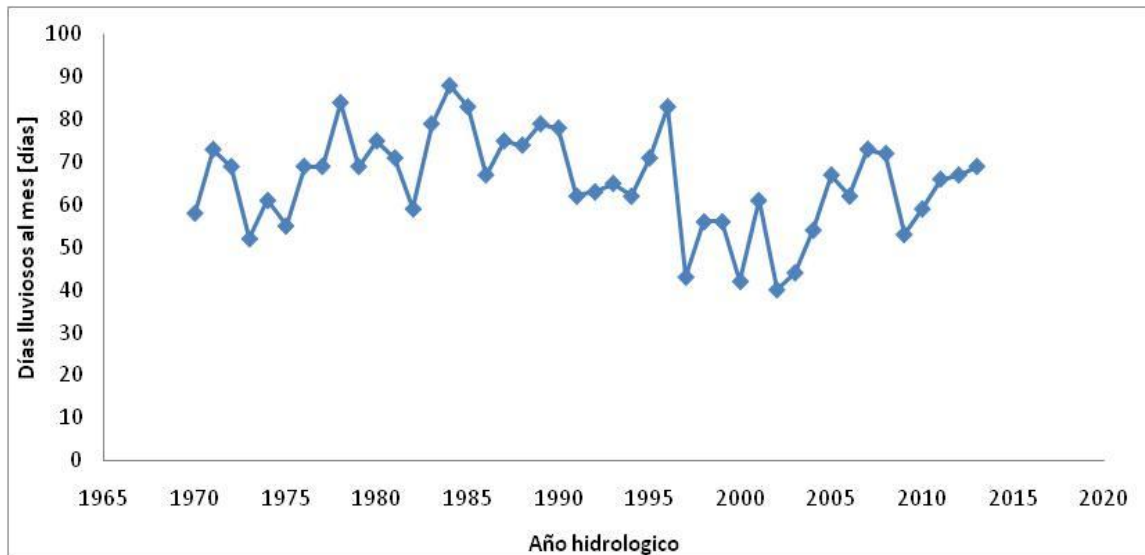


Figura 242: Serie de días lluviosos al mes, La Quiaca Yavi.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 9 días en el año 2002 y un máximo de 23 días en el año 1985. El valor promedio de la serie es de 17 días y posee un desvío estándar de 3 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie se encontró un dato atípico correspondiente a 9 días en el año 2002. Este dato atípico puede deberse a que ese año hidrológico fue demasiado seco o bien que hay faltante de datos pluviométricos registrados en ese periodo. Este último dato fue eliminado de la serie y se aplicó nuevamente el test el cual no arrojó ningún otro dato atípico. En base a esto último, la serie que finalmente fue analizada contaba con 43 datos, con un mínimo de 13 días en el año 1977, 1997 y 2000, y un máximo de 23 días en el año 1985. El valor promedio de la serie es de 17 días y posee un desvío estándar de 3 días. Por otro lado se verificaron las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Por lo tanto, no se encontraron patrones que muestran variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Log-Normal. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 243:

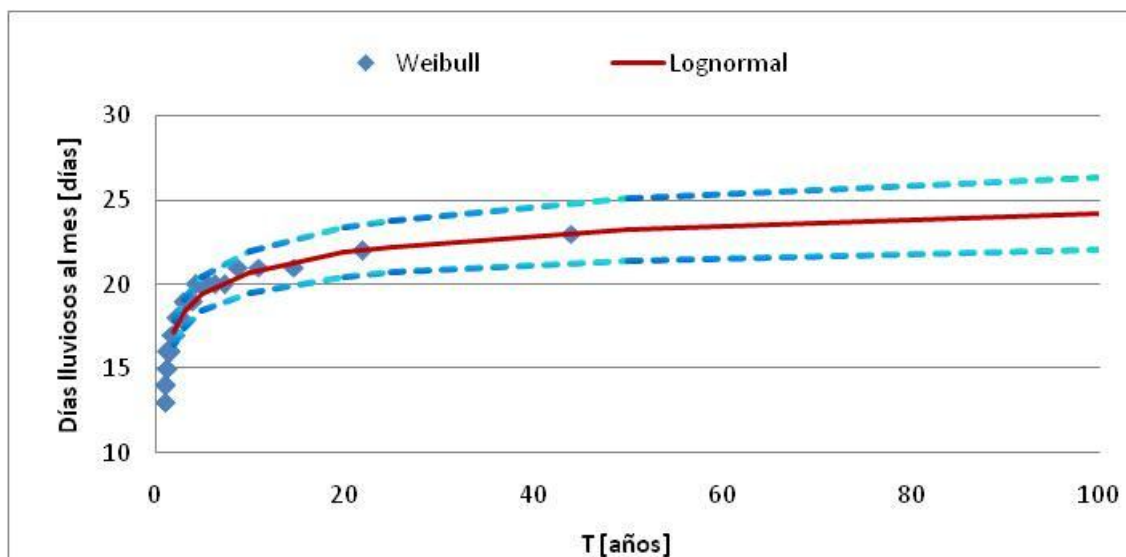


Figura 243: Distribución de probabilidades de los días lluviosos al mes, La Quiaca Yavi.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días lluviosos al mes se puede ver que la FDP Teórica Log-Normal ajusta bien a los datos empíricos (Weibull). Se observa que el valor máximo (23 días) tiene una recurrencia del orden de los 45 a 50 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 9%, para 50 años es del 8%, para 25 años es del 7%, para 20 años es del 7%, para 10 años es del 6%, para 5 años es del 5% y para 2 años es de 4%.

A continuación, en la Tabla 85, se presentan los valores de días obtenidos a partir de la función Log-Normal con sus respectivos intervalos de confianza:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[días]		
2	16	17	18
5	18	19	20
10	20	21	22
20	20	22	23
25	21	22	24
50	21	23	25
100	22	24	26

Tabla 85: Valores de días lluviosos al mes, La Quiaca Yavi.



## 5. Días consecutivos con lluvia

La serie hidrológica de días consecutivos con lluvia es la que se muestra en la Figura 244:

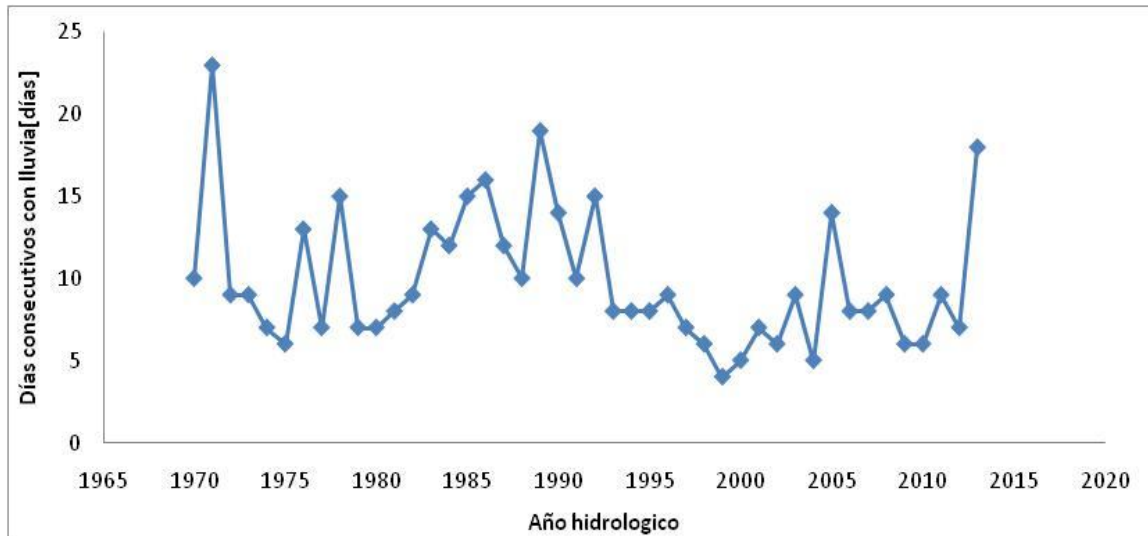


Figura 244: Serie de días consecutivos con lluvia, La Quiaca Yavi.

Los valores de esta serie varían entre un mínimo de 4 días en el año 1994 y un máximo de 23 días en el año 1971. El valor promedio de la serie es de 10 días y posee un desvío estándar de 4 días.

Al aplicar las diferentes pruebas estadísticas a la serie no se encontraron datos atípicos y se verificaron las hipótesis de independencia, homogeneidad y estacionariedad. Por lo tanto, no se encontraron patrones que muestren variabilidad en el tiempo.

Debido a que se detectó que la serie era estacionaria mediante la prueba de Mann Kendall, se procedió al análisis de estadística inferencial clásico, que consiste en relacionar los diferentes valores de la variable con un período de retorno. En primer lugar se aplica la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull y luego a partir de los datos obtenidos se determinó que la función de distribución de probabilidad teórica que mejor ajusta es Gumbel por el método de máxima verosimilitud. Se puede ver la relación entre la variable y las diferentes recurrencias con su respectivo intervalo de confianza en la Figura 245:

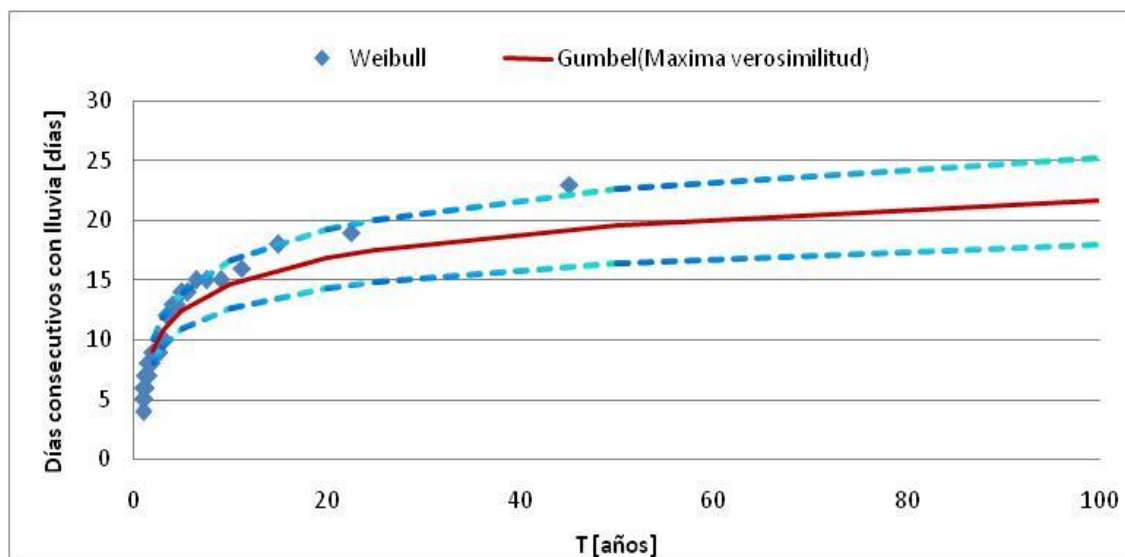


Figura 245: Distribución de probabilidades de los días consecutivos con lluvia, La Quiaca Yavi.

Al analizar la relación existente entre la recurrencia y los días consecutivos con lluvia se puede ver que la FDP Teórica Gumbel por el método de máxima verosimilitud arroja valores menores a los de la FDP empírica de Weibull para tiempos de retorno mayores a los 10 años. Esto puede deberse a que el valor máximo de la serie (23 días) es muy probable que corresponda a una recurrencia de más de 100 años; y por razones de falta de muestreo (extensión de la serie) al aplicar la fórmula de Weibull aparece erróneamente asociado a 45 años.

Otra aclaración que vale la pena realizar es que además se calcularon los intervalos de confianza (95%) y los mismos se muestran en la figura anterior. Se observa que a medida que la recurrencia crece la incertidumbre también lo hace y este grado de incertidumbre también tiene que ver con la longitud de la serie de la muestra (a más datos siempre es menor el intervalo de confianza). Se puede ver que para 100 años la incertidumbre relativa (que surge de calcular la diferencia entre el valor del intervalo sobre el medio y dividir esa diferencia por el valor medio) es del 17%, para 50 años es del 16%, para 25 años es del 15%, para 20 años es del 15%, para 10 años es del 14%, para 5 años es del 12% y para 2 años es de 11%.

A continuación, en la Tabla 86, se presentan los valores de días consecutivos con lluvia obtenidos a partir de la función Gumbel por el método de máxima verosimilitud con sus respectivos intervalos de confianza:

T	Intervalo inferior	Valor Medio	Intervalo Superior
[años]	[días]		
2	8	9	10
5	11	13	14
10	13	15	17
20	14	17	19
25	15	18	20
50	16	20	23
100	18	22	25

Tabla 86: Valores de días consecutivos con lluvia, La Quiaca Yavi.

#### 4.1. Resumen de resultados obtenidos.

A continuación, en la Tabla 87, se presenta un resumen de los resultados del test de estacionariedad arrojados por las distintas estaciones, para cada una de las variables analizadas.

Estación	Variable analizada				
	Precipitación máxima diaria anual	Precipitación total anual	Días lluviosos al año	Días lluviosos al mes	Días consecutivos con lluvia
1	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica
2	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica
3	Verifica	No verifica	Verifica	Verifica	Verifica
4	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica
5	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica
6	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica
7	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica
8	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica
9	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica
10	Verifica	No verifica	Verifica	No verifica	Verifica
11	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica
12	No verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica
13	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica
14	Verifica	No verifica	Verifica	Verifica	Verifica
15	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	No verifica
16	Verifica	Verifica	No verifica	Verifica	Verifica
17	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica
18	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica
19	Verifica	Verifica	No verifica	No verifica	No verifica
20	Verifica	No verifica	No verifica	Verifica	No verifica
21	No verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica
22	Verifica	No verifica	Verifica	No verifica	No verifica
23	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica

Tabla 87: Resumen de variables

Al analizar la variable *Precipitación máxima diaria anual*, las estaciones que no verificaron estacionariedad son:

1. **Iruya Poscaya (12):** el promedio es de 37.2 mm. Presenta tendencia ascendente.

2. **Santa Bárbara (21)**: el promedio es de 75.5 mm. Presenta tendencia descendente.

Para el caso de la variable *Precipitación total anual*, las estaciones que no verificaron estacionariedad son:

3. **Iruya San Isidro (3)**: el promedio de precipitaciones totales anuales estimado en este trabajo es de 503 mm. Presenta tendencia descendente.
4. **Iruya El nazareno (10)**: el promedio de precipitaciones totales anuales estimado en este trabajo es de 593 mm. Presenta tendencia descendente.
5. **Bermejo Alarcho (14)**: el promedio de precipitaciones totales anuales estimado en este trabajo es de 2200 mm. Presenta tendencia descendente.
6. **Mojotoro Güemes (20)**: el promedio de precipitaciones totales anuales estimado en este trabajo es de 406 mm. Presenta tendencia descendente.
7. **Bermejo Aguas Blancas (22)**: el promedio de precipitaciones totales anuales estimado en este trabajo es de 1286 mm. Presenta tendencia ascendente.

Al analizar la variable *Días lluviosos al año*, las estaciones que no verificaron estacionariedad son:

1. **Pescado Cuatro Cedros (16)**: Presenta tendencia ascendente.
2. **San Francisco Caimancito (19)**: Presenta tendencia ascendente.
3. **Mojotoro Güemes (20)**: Presenta tendencia descendente.

En cuanto a la variable *Días lluviosos al mes*, las estaciones que no verificaron estacionariedad son:

1. **Iruya El Nazareno (10)**: Presenta tendencia ascendente.
2. **San Francisco Caimancito (19)**: Presenta tendencia ascendente.
3. **Bermejo Aguas Blancas (22)**: Presenta tendencia ascendente.

Por último, para la variable *Días consecutivos con lluvia*, las estaciones que no verificaron estacionariedad son:

1. **Iruya San Antonio (15)**: Presenta tendencia descendente.
2. **San Francisco Caimancito (19)**: Presenta tendencia ascendente.
3. **Mojotoro Güemes (20)**: Presenta tendencia descendente.
4. **Bermejo Aguas Blancas (22)**: Presenta tendencia ascendente.

## 4.2. Contraste entre resultados obtenidos y antecedentes de la zona.

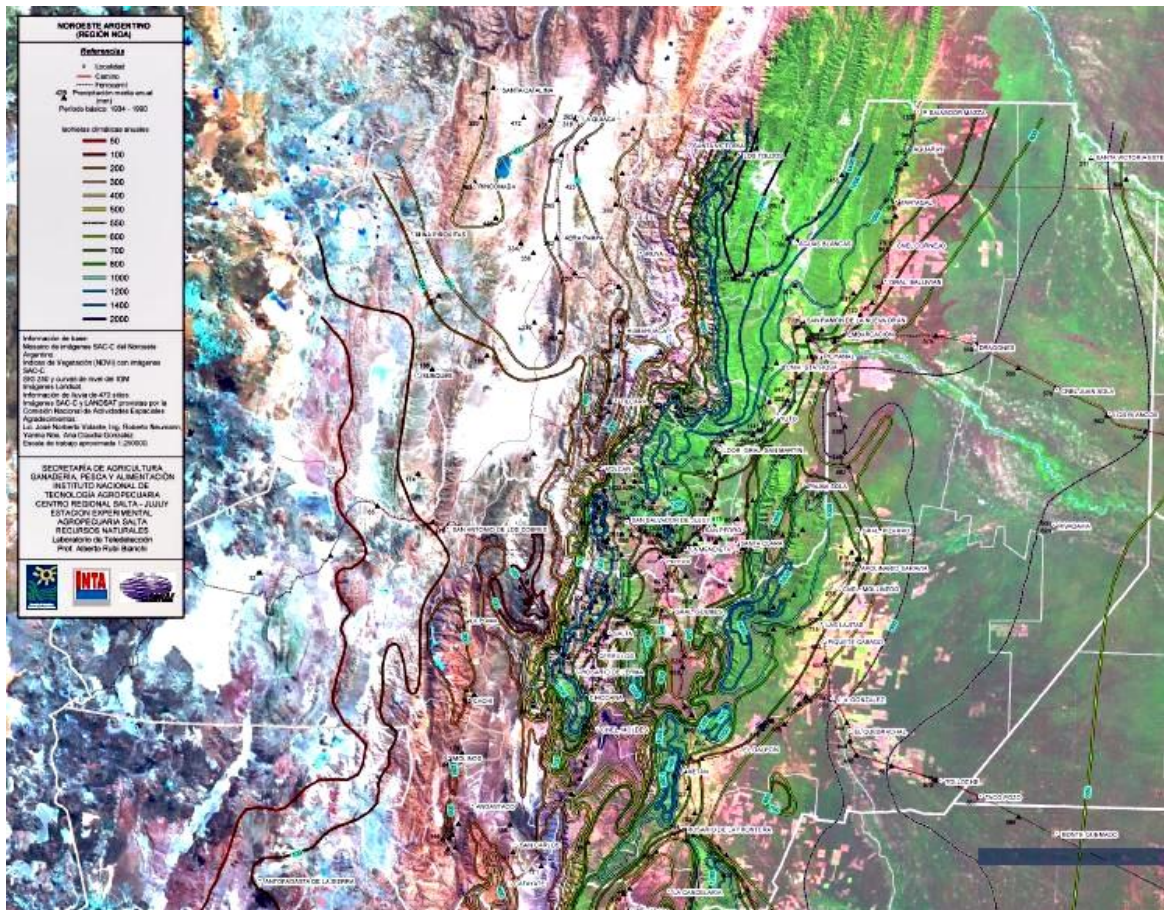


Figura 246: Mapa de isohietas de la región NOA del país, INTA.

Se compararon los resultados obtenidos de la variable precipitación total anual de las distintas estaciones analizadas con las isohietas de la región NOA aportadas por el INTA. De dicho contraste se observa que en aquellas estaciones en donde la serie de precipitaciones totales anuales no verificaba la prueba estacionariedad (es decir, la serie presentaba una tendencia), los valores de precipitación total anual eran diferentes a los aportados por dicho organismo. Las estaciones son las siguientes:

1. **Iruya San Isidro:** el promedio de precipitaciones totales anuales estimado en este trabajo es de 503 mm, mientras que según la información aportada por el INTA, la precipitación total anual en esa localización se alcanzan los 800 mm.
2. **Iruya El nazareno:** el promedio de precipitaciones totales anuales estimado en este trabajo es de 593 mm, mientras que según la información aportada por el INTA, la precipitación total anual en esa

localización es de 800 mm. En este caso la variable presentaba tendencia negativa.

3. **Bermejo Alarcho:** el promedio de precipitaciones totales anuales estimado en este trabajo es de 2200 mm, mientras que según la información aportada por el INTA, la precipitación total anual en esa localización es de 2000 mm, en este caso el promedio es mayor al valor de información, pero en el análisis realizado se espera que los valores disminuyan en el tiempo al ser una serie no estacionaria.
4. **Mojotoro Güemes:** el promedio de precipitaciones totales anuales estimado en este trabajo es de 406 mm, mientras que según la información aportada por el INTA, la precipitación total anual en esa localización es de 600 mm. En este caso la variable presentaba tendencia negativa.
5. **Bermejo Aguas Blancas:** el promedio de precipitaciones totales estimado en este trabajo es de 1286 mm, mientras que según la información aportada por el INTA, la precipitación total anual es en esa localización de 1200 mm. En este caso la variable presentaba tendencia positiva.

Se concluye que en la mayoría de los casos que no se verificó estacionariedad en las series de precipitaciones totales anuales; los valores estimados en este trabajo fueron inferiores o superiores (según la tendencia de la serie) a los estimados por el INTA.

## 5. Capítulo 5: Conclusiones.

### 5.1. Aspectos técnicos.

En este trabajo se analizaron 23 estaciones pluviométricas existentes en las provincias de Salta y Jujuy con datos actualizados al año 2016 y se estudió el fenómeno de variabilidad climática en este territorio.

Se definió una metodología de análisis para series tanto estacionarias (análisis clásico de datos) como para series no estacionarias. Cuando se realiza estadística inferencial sobre una serie estacionaria, se relaciona la variable analizada con una recurrencia dada; es decir para cada tiempo de retorno el análisis arroja el valor de la variable con su respectivo intervalo de confianza. A diferencia del caso anterior, cuando se realiza estadística inferencial sobre una serie no estacionaria, también se relaciona la variable analizada con una recurrencia dada, y el análisis arroja para un tiempo de retorno el valor de la variable con su respectivo intervalo de confianza pero para distintos horizontes de tiempo; es decir que la recurrencia de un evento ya no es estática en el tiempo sino que es variable.

Se encontró que en la mayoría de las estaciones analizadas no se detectó la presencia de cambios en la tendencia de los parámetros de lluvia estudiados. Sin embargo, en algunos casos (Iruya San Isidro, Bermejo Alarche, Mojotoro Güemes, etc.) se encontraron tendencias significativas en las series y se analizaron dichas tendencias aplicando el nuevo enfoque.

Es importante destacar que aplicando este nuevo enfoque en los casos de series no estacionarias el tiempo de retorno asociado a una variable ya no es constante. Incorporar el concepto de tiempo de retorno variable según el horizonte de tiempo en el que se realice un análisis de frecuencia será fundamental a futuro.

### 5.2. Aspectos personales.

El análisis de información pluviométrica es fundamental para poder tener bases para el desarrollo de infraestructura del País, históricamente el problema fue la falta de datos con la que se cuenta para poder proyectar cualquier tipo de obra con los costos sociales y económicos que estas incluyen. Particularmente, se tratan las series climáticas como estacionarias, el concepto de variabilidad climática esta en desarrollo y estudiar una serie como no estacionaria nos permite tener una mejor proyección del comportamiento climático, llevado al

campo de la ingeniería poder realizar el cálculo de periodos de retorno de manera más precisa.

La realización de esta práctica supervisada me brindo nuevos enfoques sobre conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera, realizando una tarea que a futuro inmediato será cada vez más necesaria en el campo de la ingeniería, permitiéndome también compartir conocimientos y aprender de cómo se trabaja en equipo para lograr un fin. Fue grato saber que la tarea que elegí junto con mis tutores, los cuales estuvieron constantemente a disposición para brindar ayuda y ser guías, servirá de algún modo para próximas investigaciones y desarrollos, que permitirán el mejor desarrollo de nuestro país.

### 5.3. Perspectivas a futuro.

Las metodologías empleadas en este trabajo serán utilizadas para el análisis de información pluviométrica de otras provincias, con el objetivo de evaluar los efectos del cambio y la variabilidad climática sobre el diseño hidrológico de medidas para mitigar el riesgo hídrico en el país.

La existencia de un cambio y/o variabilidad climática podría provocar, debido a las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de distintas propiedades, una variación de las variables seleccionadas para el diseño hidrológico de medidas para mitigar el riesgo hídrico a partir del análisis de series históricas.



## 6. Capítulo 6: Referencias.

Amador, A. Jorge; Alfaro, Eroc J. (2009). "Métodos de reducción de escala: aplicaciones al tiempo, clima, variabilidad climática y cambio climático". Revista Iberoamericana de Economía Ecológica Vol. 11: 39-52.

Barros, Vicente; Clarke, Robin; Silva Días, Pedro. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. (2006). "El cambio climático en la cuenca del Plata". Proyecto: "Tendencias en el ciclo hidrológico de la cuenca del Plata: Creando conciencia y nuevas herramientas para el manejo de los recursos hídricos".

Campos Aranda, Daniel Francisco. (2016). "Modelo probabilístico simple para análisis de frecuencias en registros hidrológicos extremos con tendencia". Tecnología y ciencias del agua. Versión On-line ISSN 2007-2422. Vol.7, No.3.

García González, Martha L.; Carvajal Escobar, Yesid; Jiménez Escobar, Henry. (2007). "La gestión integrada de los recursos hídricos como estrategia de adaptación al cambio climático". Ingeniería y competitividad, Vol. 9, No 1, p. 19-29. Universidad del Valle, Cali, Colombia.

Guillén, Nicolás Federico. (2014). "Estudios Avanzados para el Diseño Hidrológico e Hidráulico de Infraestructura Hídrica". Tesis de Maestría en Ciencias de la Ingeniería, mención Recursos Hídricos. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales – Universidad Nacional de Córdoba.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2001b). "Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of Working Group II to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change." J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken, & K.S. White (editors). Cambridge University Press, United Kingdom.

López, Patricia M.; Seoane, Rafael S.; Fornero, Luis A.; Rodríguez, José L.; Nuñez, Marta S. "Análisis de tendencia en series autocorrelacionadas".

Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2003). "Declaración de la OMM sobre la situación del clima mundial en 2003. 2003: El tercer año más caliente" Ginebra, Suiza.