

Universidad De Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

Distribución Temporal de la Precipitación en el Valle del Guarco

Trabajo de Graduación para obtener
el grado de Licenciado en Ingeniería Civil

Realizado por

Esteban Maroto Bianchini

Director de Proyecto de Graduación

Ing. Rafael Eduardo Murillo Muñoz, Ph. D.

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

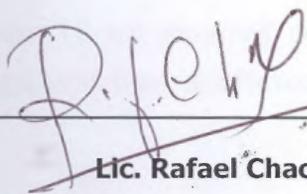
Marzo 2011

Tribunal Examinador



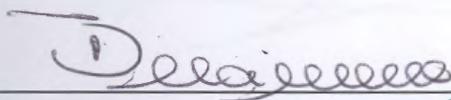
Ing. Rafael Murillo Muñoz, Ph. D.

Director de Proyecto de Graduación



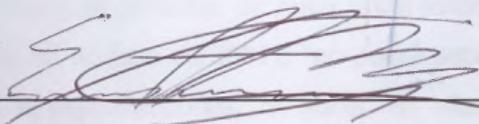
Lic. Rafael Chacón Mora.

Asesor del Proyecto de Graduación



Ing. Rafael Oreamuno Vega, Ms. C.

Asesor del Proyecto de Graduación



Esteban Maroto Bianchini.

Estudiante

Derechos de propiedad intelectual

A los 2 días del mes de marzo de 2011

El suscrito, **Esteban Maroto Bianchini**, cédula 2 – 0585 – 0832, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné **A12102**, manifiesta que es el autor del Proyecto de Graduación **Distribución Temporal de la Precipitación en el Valle del Guarco**, bajo la dirección del Ingeniero Rafael Murillo Muñoz, quien en consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación.

Asimismo, hago traspaso de los derechos de utilización del presente trabajo a la Universidad de Costa Rica, para fines académicos: docencia, investigación, acción social y divulgación.

Esteban Maroto Bianchini.



Nota: de acuerdo con la ley de derechos de Autor y Derechos conexos N° 6683, Artículo 7 (versión actualizada el 02 de julio de 2001); "no podrá suprimirse el nombre del autor en las publicaciones o reproducciones, ni hacer en ellas interpolaciones, sin una conveniente distinción entre el texto original y las modificaciones o ediciones editoriales". Además el autor conserva el derecho moral sobre la obra, artículo 13 de esta Ley, por lo que es obligatorio citar la fuente de origen cuando se utilice información contenida en esta obra.

Dedico este trabajo a mis padres
porque sin su apoyo no estaría donde estoy hoy.

Agradezco a Dios por todo.

Agradecimientos

Agradezco a mis padres por todo el apoyo que me han dado siempre, especialmente en los momentos más difíciles. Agradezco a mi director y a mis asesores por la paciencia y la ayuda que me brindaron en todo momento. Agradezco al Instituto Costarricense de Electricidad por el acceso a la información meteorológica. Sin este aporte este trabajo no hubiera sido posible. Gracias a todas las personas del I.C.E. que hicieron posible este trabajo, a Marco Rojas, a Frank Fernández, Berny Fallas, don Luis Acuña y a todas las personas de esa institución que colaboraron de una u otra manera. Agradezco a Tatiana, Alejandro, Priscilla, Diego Lobo y a Beatriz, a mis compañeros y amigos que me brindaron su ayuda cuando la necesité.

Índice general

Capítulo I	1
1. Generalidades	1
1.1 Justificación	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo general	2
1.2.2 Objetivos específicos	2
1.3 Antecedentes teóricos y prácticos del problema.....	3
1.4 Alcances y limitaciones del Proyecto	4
Capítulo II	5
2. Caracterización hidrológica	5
2.1 Descripción de la cuenca	5
2.2 Características morfométricas	7
2.3 Características climáticas	9
2.3.1 Temperatura	10
2.3.2 Precipitación.....	16
2.3.3 Brillo solar	19
2.3.4 Humedad relativa.....	20
2.3.5 Viento	21
Capítulo III	23
3. Relación lluvia – escurrimiento y tipos de tormentas.....	23
3.1 Relación lluvia – escurrimiento	23
3.2 Tipos de precipitación	25
Capítulo IV.....	26
4. Metodología	26
4.1 Región de estudio y procesamiento de datos.....	26
4.2 Características morfométricas	26
4.3 Mapas generales de la cuenca	26
4.3.1 Mapa de precipitación promedio anual	28
4.3.2 Mapas de temperatura media, máxima y mínima promedio anual.....	28
4.3.3 Mapa de brillo solar	28
4.3.4 Mapas de distribución de hietogramas característicos.....	28
4.4 Humedad relativa	29
4.5 Viento.....	29

4.6 Hietogramas característicos	29
Capítulo V.....	34
5. Resultados.....	34
Capítulo VI.....	107
6. Conclusiones y recomendaciones	107
Bibliografía	120
Anexos	122
Anexo A.....	122
A.1 Mapas generales de la cuenca.	122
Anexo B.....	127
B.1 Estaciones meteorológicas y máximos anuales utilizados.....	127
Anexo C.....	143
C.1 Ejemplos de cálculo	143
Anexo D	147
D.1 Curvas acumuladas de las tormentas por estación.....	147
Anexo E.....	175
E.1 Cuadros con valores de hietogramas característicos.....	175

Índice de figuras

Figura 2.1. Ubicación de la cuenca en estudio.....	6
Figura 2.2. Curva hipsométrica de la cuenca en estudio.....	8
Figura 2.3. Histograma de alturas de la cuenca en estudio.....	8
Figura 2.4. Mapa de temperatura mínima promedio anual.....	10
Figura 2.5. Mapa de temperatura media promedio anual.	12
Figura 2.6. Mapa de temperatura máxima promedio anual.....	14
Figura 2.7. Mapa de precipitación promedio anual.....	16
Figura 2.8. Mapa de brillo solar promedio anual.	19
Figura 2.9. Variación promedio mensual de la humedad relativa para cuatro estaciones de la cuenca en estudio.....	20
Figura 5.1. Hietograma característico familia 1 C.D. Sanatorio Durán.	40
Figura 5.2. Hietograma característico familia 2 C.D. Sanatorio Durán.	41
Figura 5.3. Hietograma característico familia 1 L.D. Sanatorio Durán.	42
Figura 5.4. Hietograma característico familia 2 L.D. Sanatorio Durán.	43
Figura 5.5. Hietograma característico familia 3 L.D. Sanatorio Durán.	43
Figura 5.6. Hietograma característico familia 1 C.D. San Rafael de Tapantí.....	44
Figura 5.7. Hietograma característico familia 2 C.D. San Rafael de Tapantí.....	45
Figura 5.8. Hietograma característico familia 3 C.D. San Rafael de Tapantí.....	45
Figura 5.9. Hietograma característico familia 1 L.D. San Rafael de Tapantí.	46
Figura 5.10. Hietograma característico familia 2 L.D. San Rafael de Tapantí.	47
Figura 5.11. Hietograma característico familia 1 C.D. El Cañón.	48
Figura 5.12. Hietograma característico familia 2 C.D. El Cañón.	48
Figura 5.13. Hietograma característico familia 3 C.D. El Cañón.	49
Figura 5.14. Hietograma característico familia 1 L.D. EL Cañón.....	50
Figura 5.15. Hietograma característico familia 1 C.D. El Humo.....	51
Figura 5.16. Hietograma característico familia 2 C.D. El Humo.....	52
Figura 5.17. Hietograma característico familia 1 L.D. El Humo.	53
Figura 5.18. Hietograma característico familia 1 C.D. Embalse - El Llano.	54
Figura 5.19. Hietograma característico familia 2 C.D. Embalse - El Llano.	55
Figura 5.20. Hietograma característico familia 1 L.D. Embalse - El Llano.....	56
Figura 5.21. Hietograma característico familia 2 L.D. Embalse - El Llano.....	57
Figura 5.22. Hietograma característico familia 1 C.D. Villa Mills.....	58
Figura 5.23. Hietograma característico familia 2 C.D. Villa Mills.....	59
Figura 5.24. Hietograma característico familia 1 L.D. Villa Mills.	60

Figura 5.25. Hietograma característico familia 2 L.D. Villa Mills.	61
Figura 5.26. Hietograma característico familia 1 C.D. Tres de Junio.	62
Figura 5.27. Hietograma característico familia 2 C.D. Tres de Junio.	63
Figura 5.28. Hietograma característico familia 1 L.D. Tres de Junio.	64
Figura 5.29. Hietograma característico familia 2 L.D. Tres de Junio.	65
Figura 5.30. Hietograma característico familia 1 C.D. La Cangreja.	66
Figura 5.31. Hietograma característico Familia 1 L.D. La Cangreja.	67
Figura 5.32. Hietograma característico comportamiento 2 L.D. La Cangreja.	68
Figura 5.33. Hietograma característico familia 1 C.D. La Suiza.	69
Figura 5.34. Hietograma característico familia 2 C.D. La Suiza.	70
Figura 5.35. Hietograma característico familia 3 C.D. La Suiza.	70
Figura 5.36. Hietograma característico familia 1 L.D. La Suiza.	71
Figura 5.37. Hietograma característico familia 2 L.D. La Suiza.	72
Figura 5.38. Hietograma característico familia 3 L.D. La Suiza.	72
Figura 5.39. Hietograma característico familia 4 L.D. La Suiza.	73
Figura 5.40. Hietograma característico familia 1 C.D. Cachí.	74
Figura 5.41. Hietograma característico familia 2 C.D. Cachí.	75
Figura 5.42. Hietograma característico familia 3 C.D. Cachí.	75
Figura 5.43. Hietograma característico familia 1 L.D. Cachí.	76
Figura 5.44. Hietograma característico familia 2 L.D. Cachí.	77
Figura 5.45. Hietograma característico familia 3 L.D. Cachí.	77
Figura 5.46. Hietograma característico familia 1 C.D. Tucurrique.	78
Figura 5.47. Hietograma característico familia 2 C.D. Tucurrique.	79
Figura 5.48. Hietograma característico familia 3 C.D. Tucurrique.	79
Figura 5.49. Hietograma característico familia 1 L.D. Tucurrique.	80
Figura 5.50. Hietograma característico familia 2 L.D. Tucurrique.	81
Figura 5.51. Hietograma característico familia 3 L.D. Tucurrique.	81
Figura 5.52. Hietograma característico familia 4 L.D. Tucurrique.	82
Figura 5.53. Hietograma característico familia 1 C.D. San Antonio de Turrialba.	83
Figura 5.54. Hietograma característico familia 2 C.D. San Antonio de Turrialba.	84
Figura 5.55. Hietograma característico familia 1 L.D. San Antonio de Turrialba.	85
Figura 5.56. Hietograma característico familia 2 L.D. San Antonio de Turrialba.	86
Figura 5.57. Hietograma característico familia 3 L.D. San Antonio de Turrialba.	86
Figura 5.58. Hietograma característico familia 4 L.D. San Antonio de Turrialba.	87
Figura 5.59. Hietograma característico familia 1 C.D. Oriente.	88

Figura 5.60. Hietograma característico familia 2 C.D. Oriente.	89
Figura 5.61. Hietograma característico familia 3 C.D. Oriente.	90
Figura 5.62. Hietograma característico familia 1 L.D. Oriente.....	91
Figura 5.63. Hietograma característico familia 2 L.D. Oriente.....	92
Figura 5.64. Hietograma característico familia 1 C.D. Presa Tapantí.	93
Figura 5.65. Hietograma característico familia 2 C.D. Presa Tapantí.	94
Figura 5.66. Hietograma característico familia 3 C.D. Presa Tapantí.	94
Figura 5.67. Hietograma característico familia 1 L.D Presa Tapantí.	95
Figura 5.68. Zona de influencia hietogramas característicos Tipo 1C	96
Figura 5.69. Zona de influencia hietogramas característicos Tipo 4C	97
Figura 5.70. Zona de influencia hietogramas característicos Tipo 5C	98
Figura 5.71. Zona de influencia hietogramas característicos Tipo 6C y 7C.....	99
Figura 5.72. Zona de influencia hietogramas característicos Tipo 2C y 3C.....	100
Figura 5.73. Zona de influencia hietogramas característicos Tipo 3L.....	101
Figura 5.74. Zona de influencia hietogramas característicos Tipo 2L.....	102
Figura 5.75. Zona de influencia hietogramas característicos Tipo 1L y 5L.....	103
Figura 5.76. Zona de influencia hietogramas característicos Tipo 1La, 1Lb y 6L.....	104
Figura 5.77. Zona de influencia hietogramas característicos Tipo 4L.....	105
Figura 5.78. Zona de influencia hietogramas característicos Tipo 7L y 8L.....	106
Figura A.1. Mapa de la cuenca con la ubicación de las estaciones utilizadas.....	123
Figura A.2. Mapa de la cuenca con las curvas de nivel cada 20 m.	124
Figura A.3. Mapa de la red hidrográfica de la cuenca y el número de orden de los cauces.	125
Figura A.4. Mapa de la red hidrográfica de la cuenca con el cauce principal.....	126
Figura D.1.1. Tormentas acumuladas de la estación Sanatorio Durán.....	147
Figura D.1.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración Sanatorio Durán.	148
Figura D.1.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración Sanatorio Durán.	148
Figura D.2.1. Tormentas acumuladas de la estación San Rafael de Tapantí.	149
Figura D.2.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración San Rafael de Tapantí.....	150
Figura D.2.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración San Rafael de Tapantí.....	150
Figura D.3.1. Tormentas acumuladas de la estación El Cañón.	151
Figura D.3.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración El Cañón.....	152
Figura D.3.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración El Cañón.....	152

Figura D.4.1. Tormentas acumuladas de la estación El Humo.....	153
Figura D.4.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración El Humo.	154
Figura D.4.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración El Humo.	154
Figura D.5.1. Tormentas acumuladas de la estación Embalse - El Llano.....	155
Figura D.5.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración Embalse – El Llano.	156
Figura D.5.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración Embalse – El Llano.	156
Figura D.6.1. Tormentas acumuladas de la estación Villa Mills.	157
Figura D.6.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración Villa Mills.	158
Figura D.6.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración Villa Mills.	158
Figura D.7.1. Tormentas acumuladas de la estación Tres de Junio.....	159
Figura D.7.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración Tres de Junio.....	160
Figura D.7.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración Tres de Junio.....	160
Figura D.8.1. Tormentas acumuladas de la estación La Cangreja.....	161
Figura D.8.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración La Cangreja.	162
Figura D.8.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración La Cangreja.	162
Figura D.9.1. Tormentas acumuladas de la estación La Suiza.	163
Figura D.9.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración La Suiza.	164
Figura D.9.3. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración La Suiza.	164
Figura D.10.1. Tormentas acumuladas de la estación Cachí (Plantel).	165
Figura D.10.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración Cachí (Plantel)..	166
Figura D.10.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración Cachí (Plantel)..	166
Figura D.11.1. Tormentas acumuladas de la estación Tucurrique.....	167
Figura D.11.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración	168
Figura D.11.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración Tucurrique.	168
Figura D.12.1. Tormentas acumuladas de la estación San Antonio de Turrialba.	169
Figura D.12.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración San Antonio de Turrialba.....	170
Figura D.12.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración San Antonio de Turrialba.....	170
Figura D.13.1. Tormentas acumuladas de la estación Oriente.....	171
Figura D.13.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración Oriente.....	172
Figura D.13.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración Oriente.....	172
Figura D.14.1. Tormentas acumuladas de la estación Sitio de Presa Tapantí.....	173

Figura D.14.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración Sitio de Presa Tapantí.....	174
Figura D.14.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración Sitio de Presa Tapantí.....	174

Índice de cuadros

Cuadro 2.1. Características morfométricas de la cuenca.....	7
Cuadro 2.2. Direcciones predominantes del viento en cuatro estaciones de la cuenca.....	21
Cuadro 5.1. Clasificación de tormentas para establecer hietogramas característicos de corta duración.....	35
Cuadro 5.2. Clasificación de tormentas para establecer hietogramas característicos de larga duración.....	35
Cuadro 5.3. Resumen de clasificación de tormentas de todas las estaciones.	37
Cuadro 5.4. Cantidad de tormentas de corta y larga duración y tiempos promedio de los hietogramas de corta y larga duración	39
Cuadro 5.5. Distribución de hietogramas característicos por estación y cantidad de tormentas que presentan determinado comportamiento	39
Cuadro 6.1. Fechas en que coincidieron los máximos anuales en distintas estaciones...	107
Cuadro B.1. Estaciones meteorológicas con medición de humedad relativa.....	127
Cuadro B.2. Estaciones meteorológicas con medición de viento.....	127
Cuadro B.3. Estaciones meteorológicas utilizadas para la elaboración de los hietogramas característicos.....	128
Cuadro B.4. Máximos anuales estación 73011 Sanatorio Durán.	129
Cuadro B.5. Máximos anuales estación 73026 San Rafael de Tapantí.	130
Cuadro B.6. Máximos anuales estación 73027 El Cañón.	131
Cuadro B.7. Máximos anuales estación 73028 El Humo.....	132
Cuadro B.8. Máximos anuales estación 73029 Embalse – El Llano (río Macho).	133
Cuadro B.9. Máximos anuales estación 73033 Villa Mills.....	134
Cuadro B.10. Máximos anuales estación 73039 Tres de Junio.....	135
Cuadro B.11. Máximos anuales estación 73041 La Cangreja.....	136
Cuadro B.12. Máximos anuales estación 73044 La Suiza.	137
Cuadro B.13. Máximos anuales estación 73046 Cachí (Plantel).	138
Cuadro B.14. Máximos anuales estación 73047 Tucurrique.....	139
Cuadro B.15. Máximos anuales estación 73074 San Antonio de Santa Cruz de Turrialba.	140
Cuadro B.16. Máximos anuales estación 73079 Oriente.	141
Cuadro B.17. Máximos anuales estación 73089 Sitio de Presa Tapantí.....	142
Cuadro C.1. Índices de compacidad	143
Cuadro E.1. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos hietogramas de corta duración.....	175

Cuadro E.2. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos hietogramas de corta duración.....	177
Cuadro E.3. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos hietogramas de corta duración.....	179
Cuadro E.4. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos hietogramas de larga duración.....	181
Cuadro E.5. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos hietogramas de larga duración.....	185
Cuadro E.6. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos hietogramas de larga duración.....	188

Simbología

C.D.	Corta duración.
°C	Grados Celsius.
Comp.	Comportamiento.
E	Dirección este.
ENE	Dirección este – noreste.
ESE	Dirección este – sur este.
Fam.	Familia.
h	Horas.
I.C.E.	Instituto Costarricense de Electricidad.
i-d-f	Intensidad – duración – frecuencia.
I.G.N.	Instituto Geográfico Nacional
I.M.N.	Instituto Meteorológico Nacional.
km	Kilómetro.
km²	Kilómetros cuadrados.
L.D.	Larga duración.
m	Metro.
mm	Milímetros.
min	Minutos.
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar.
N	Dirección norte.
NE	Dirección noreste.
NO	Dirección noroeste.
N.P.	No pertenece.
O	Dirección oeste.
p-d-f	Precipitación – duración – frecuencia.
PRODUS	Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica.
S	Dirección sur.
S.I.G.	Sistemas de información geográfica.
U.N.A.	Universidad Nacional de Costa Rica.

Maroto Bianchini Esteban

Distribución Temporal de la Precipitación en el Valle del Guarco

Tesis Ingeniería Civil – San José, C.R.:

E. Maroto B., 2011

xvii, 121, [69]h; ils. Col. – 20 refs.

Resumen

El comportamiento de la lluvia a través del tiempo y, específicamente, la generación de hietogramas característicos, se ha tratado muy poco a nivel nacional. Debido a los problemas generados por inundaciones en algunas zonas del Valle del Guarco se propone en este trabajo generar hietogramas característicos con duraciones máximas de 24 horas.

Se utiliza la cuenca del río Reventazón como unidad de estudio. Para la generación de los hietogramas característicos se va a hacer un análisis de las series anuales máximas que comprenden un período homogéneo de 40 años, desde 1970 hasta 2009. Esta información fue proporcionada por el Instituto Costarricense de Electricidad (I.C.E.).

Al utilizar la cuenca como unidad de estudio, se obtienen características físicas y climáticas generales que permiten una mejor interpretación y utilización de los hietogramas característicos. Estos hietogramas representan condiciones promedio de las series máximas anuales analizadas. Esta información generada es una herramienta importante para motivar la utilización de los métodos de área – tiempo para la generación de caudales. Se proporciona también información de diseño útil para mitigar los efectos producidos por las inundaciones en algunos sectores de la cuenca y además, de manera preliminar, se complementa el estudio de intensidades que Murillo (1994) realizó en la cuenca del río Virilla. E.M.B.

CARACTERIZACIÓN TEMPORAL LLUVIA, HIETOGRAMAS CARACTERÍSTICOS, CUENCA RÍO REVENTAZÓN, INUNDACIONES 1996 Y 1970.

Ing. Rafael Murillo Muñoz, Ph. D.

Escuela de Ingeniería Civil.

Capítulo I

1. Generalidades

La falta de herramientas adecuadas para el diseño hidrológico y los problemas de inundación en algunas zonas del Valle del Guarco son dos de las motivaciones principales para la elaboración de este trabajo.

En este capítulo se definen los alcances y los objetivos que delimitan esta investigación. También se va a hacer referencia a algunos trabajos que constituyen un precedente en cuanto a elaboración de herramientas de diseño hidrológico.

1.1. Justificación

La cuenca del río Reventazón es una extensa área de drenaje que se caracteriza por tener una red fluvial bien definida. El Valle del Guarco se encuentra contenido en dicha cuenca y alberga centros urbanos importantes como las ciudades de Cartago y Paraíso de Cartago, y las comunidades de Tejar del Guarco, Orosi, Taras, Agua Caliente, Oreamuno, entre otras.

En diversos sectores de este valle se presentan problemas de inundación. Las consecuencias que se generan se han ido agravando en los últimos años, debido principalmente al desarrollo urbano desordenado y sin planificación, al mal estado de los diques presentes en algunas zonas, a la deforestación de las cuencas y al vertido de basura en los cauces de los ríos.

Con el propósito de mitigar los efectos de las inundaciones se han hecho distintos esfuerzos, sin embargo los resultados obtenidos no han sido satisfactorios. Para esto se han usado tradicionalmente métodos de diseño hidrológico que utilizan información puntual de lluvia. El diseño se realiza tomando en cuenta solamente valores pico de caudal y esto tiene como desventaja que no se puede conocer el comportamiento de la lluvia en el tiempo.

El hietograma de tormenta describe la distribución temporal de la lluvia durante un evento dado. Esta herramienta muestra en un gráfico la totalidad de agua que precipita en una tormenta distribuida en intervalos establecidos.

Conociéndose el comportamiento de la lluvia en el tiempo se pueden utilizar métodos de diseño de área – tiempo que permiten una modelación más adecuada de las áreas de escurrimiento y se ajustan mejor a la complejidad de los sistemas drenantes actuales.

Se espera que los hietogramas característicos sean una herramienta de diseño importante para la construcción de obras de ingeniería como presas, diques, puentes, canales de riego, sistemas de agua potable, entre otros. Además del aprovechamiento desde el punto de vista de diseño ingenieril, hay un beneficio que recae sobre la población del Valle del Guarco: los hietogramas característicos funcionan como un recurso para modelar mejor las zonas de escurrimiento, esto permite mayor efectividad en las obras civiles afectadas directa o indirectamente por las inundaciones.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Generar hietogramas característicos en el Valle del Guarco.

1.2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar la cuenca mediante la obtención de parámetros físicos y climáticos, incluyendo mapas de precipitación promedio de la cuenca.
- Generar hietogramas característicos para las estaciones con registro continuo de precipitaciones dentro de la cuenca.
- Establecer un tiempo de duración promedio para cada hietograma característico.
- Caracterizar zonas de similar distribución temporal de precipitaciones.

1.3. Antecedentes teóricos y prácticos del problema

Actualmente, no se cuenta con estudios que describan la distribución temporal de la lluvia a través de hietogramas característicos en el Valle del Guarco. Existen datos de precipitación e intensidad puntuales y curvas de intensidad – duración – frecuencia (i-d-f) para la estación 73003 Comandancia de Cartago. Dichas curvas fueron desarrolladas en el informe final de Günter Varson (1992) sobre intensidades de lluvia en centros urbanos. Adicionalmente, en este informe el autor elaboró curvas de intensidad-duración-frecuencia para seis estaciones en todo el país. En el Valle Central únicamente se tomaron en cuenta las estaciones de San José y Aeropuerto.

En el proyecto final de graduación *Estudio de Intensidades de Lluvia en la Cuenca del Río Virilla* (Murillo, 1994), el autor generó mapas de intensidad de lluvia para diferentes periodos de retorno y duraciones, mapas de intensidad de lluvia promedio y hietogramas característicos para la cuenca del río Virilla. Este trabajo es el único encontrado que trató el tema de la distribución temporal de la lluvia.

Además de los estudios anteriores se han realizado otros trabajos de caracterización de precipitaciones referidos a estaciones específicas o al clima del Valle Central en términos generales. El Ing. Ramiro Gamboa (1969) obtuvo nomogramas para el cálculo de intensidades a partir de una curva de duración de una hora y periodo de retorno de un año. Finalmente el Ing. Carlos Vargas (1953), en su trabajo de graduación generó curvas de intensidad-duración-frecuencia para la estación San José utilizando un registro de treinta y seis años.

Por otro lado, los métodos de diseño que tradicionalmente se han usado en Costa Rica utilizan la información puntual de precipitaciones. Como ejemplo de esto se tiene la metodología basada en el mapa de isoyetas del Servicio Meteorológico Nacional (1967). Este mapa se obtiene a partir del análisis de series anuales y valores puntuales de profundidades de lluvia. Los valores leídos en el mapa se procesan mediante la utilización de gráficos correspondientes a distintos periodos de retorno, para finalmente obtener valores de intensidad utilizables en la fórmula racional con el fin de obtener caudales. Esta fórmula ha sido extensamente utilizada en nuestro país en el diseño de sistemas de alcantarillado pluvial y para el diseño de sistemas de canalización pluvial en carreteras.

Existen también métodos indirectos de obtención de hietogramas característicos. Para su elaboración se hace utilización de información puntual de precipitación y de curvas i-d-f.

Sin embargo, actualmente, debido a la complejidad de los sistemas drenantes, se hace necesario el modelado de la lluvia distribuida en el tiempo. Debido a esto, son importantes los hietogramas característicos; aunado a lo anterior, es importante también mencionar que los hietogramas característicos son fundamentales para el modelado correcto de una cuenca que incluya los sistemas de alcantarillado pluvial de las zonas urbanas que contenga.

1.4. Alcances y limitaciones del Proyecto

El estudio se limita a la cuenca del río Reventazón definida hasta la comunidad de Turrialba, en la confluencia de los ríos Reventazón y Guayabo.

Se van a determinar hietogramas característicos para distintas estaciones pluviográficas o con registro continuo, además se establecerán duraciones promedio de tormentas típicas hasta 24 horas. Se analizará el periodo de registro comprendido entre los años de 1970 y 2009 inclusive.

Se utilizarán las tormentas correspondientes a eventos máximos de las series anuales de precipitación comprendidas en el registro antes mencionado, con duraciones de hasta 24 horas.

Las caracterizaciones física y climática de la cuenca comprenden aspectos generales y no se pretende profundizar en ellas.

Capítulo II

2. Caracterización hidrológica

En este capítulo se describe la cuenca de manera general, sus límites, sus características físicas y sus características climáticas.

2.1 Descripción de la cuenca

La cuenca en estudio se encuentra ubicada en la vertiente Atlántica. Tiene orientación suroeste – noreste. Limita al norte con la Cordillera Volcánica Central, con los volcanes Irazú y Turrialba hasta una altura de 3432 m.s.n.m. Por el sur se encuentra la Cordillera de Talamanca, desde Tobosi hasta 10 km al sur de Villa Mills; sus alturas varían entre los 1900 m.s.n.m. hasta los 3491 m.s.n.m. Hacia el oeste se encuentra el Alto de Ochomogo y la línea divisoria de aguas entre los valles Central Oriental y Occidental. Finalmente, hacia el este la cuenca limita con la localidad de Turrialba.

Esta cuenca está bastante urbanizada en la parte del Valle del Guarco especialmente. En ella se encuentra la ciudad de Cartago, uno de los centros de población más importante del país y del Valle Central.

Hacia Turrialba se encuentran las centrales hidroeléctricas de Cachí y Angostura, ambas pertenecientes al Instituto Costarricense de Electricidad. En la Figura 2.1 se muestra el área que comprende la cuenca y la ubicación de las estaciones utilizadas para generar los hietogramas característicos y los valores mensuales de humedad relativa y viento. La información de cada estación se puede ver en los Cuadros del B.1 al B.3 en los anexos.

2.2 Características morfométricas

Las características morfométricas son parámetros físicos y de forma característicos de cada cuenca. Influyen fuertemente en la respuesta de la cuenca a eventos de precipitación y en las condiciones de los ríos en general.

Para la cuenca en estudio se calcularon las características morfométricas mostradas en el Cuadro 2.1.

Cuadro 2.1. Características morfométricas de la cuenca.

Índice	Valor
Área (km ²)	1525,7
Perímetro (km)	200,3
Elevación media de la cuenca (m.s.n.m.)	1515
Índice de compacidad	1,44 (Cuenca ovalada)
Lado mayor del rectángulo equivalente (km)	81,41
Lado menor del rectángulo equivalente (km)	18,74
Índice de pendiente (%)	18,1
Pendiente de la cuenca (%)	3,77
Pendiente media del cauce principal (%)	3,02
Longitud al centroide (km)	4
Densidad de drenaje (km/km ²)	1,2
Número de orden	6
Longitud de cauces tributarios (km)	1835,9
Longitud del cauce principal (km)	95,5

Fuente: el autor.

El área y el perímetro fueron obtenidos mediante el uso de sistemas de información geográfica (S.I.G). Se utilizaron las hojas cartográficas digitalizadas en escala 1:50 000 de Pejibaye, Tapantí, Vueltas, Cuericí, Tucurrique, Istarú, Caraigres, Carrillo, Bonilla y Abra, elaboradas por el Instituto Geográfico Nacional.

En las Figuras 2.2 y 2.3 se muestran la curva hipsométrica y el histograma de distribución de áreas según el rango de altura.

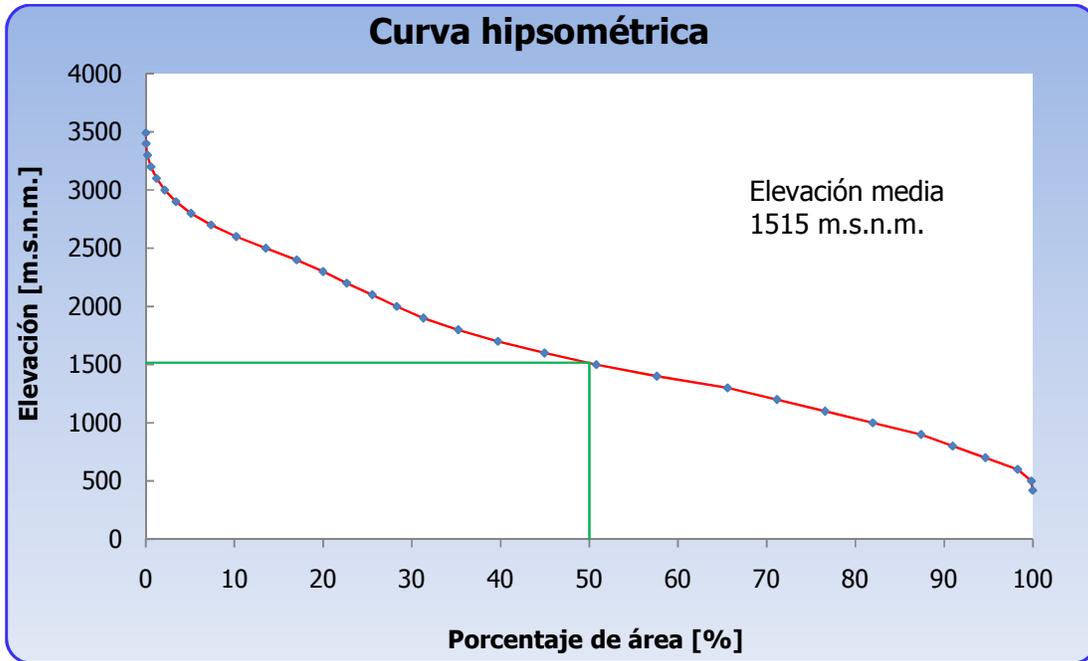


Figura 2.2. Curva hipsométrica de la cuenca en estudio.

Fuente: el autor.

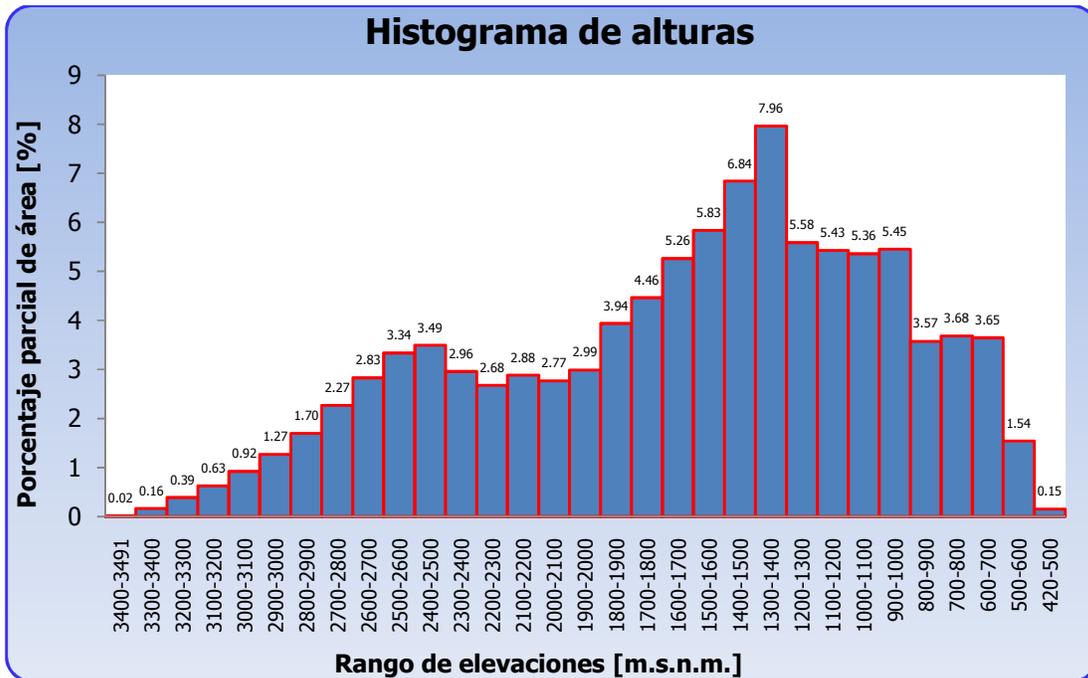


Figura 2.3. Histograma de alturas de la cuenca en estudio.

Fuente: el autor.

De los gráficos anteriores se puede observar que la mayor cantidad de área se encuentra entre las alturas medias y bajas de la cuenca. La elevación media de la cuenca es de 1515 m.s.n.m. Su altura mínima es de alrededor de 420 m.s.n.m, en la confluencia del río Reventazón con el río Guayabo. Su altura máxima es de 3491 m.s.n.m. que corresponde a la cumbre del Cerro Buena Vista (cerro de la Muerte), en la parte suroeste de la Cordillera de Talamanca.

Su forma es ovalada, debido a esto y a su extensión no es común que un mismo evento de precipitación la cubra totalmente.

Su índice de pendiente y su pendiente media del cauce principal indican que tiene una respuesta promedio de media a alta a un evento de precipitación. Esto es el tiempo que se tarda el agua en verse reflejada como escorrentía en los cauces.

Tiene una alta densidad de drenaje lo que hace que sus suelos se erosionen más fácilmente. El número de orden alto indica que es una cuenca cuya red fluvial está bien distribuida y esto aumenta el potencial erosivo de la cuenca también.

El río Reventazón se puede clasificar como un río de montaña predominantemente en su parte alta y media.

En las Figuras A.2 y A.3 del Anexo A se presentan los mapas con las curvas de nivel de la cuenca cada 20 m de elevación y la red hidrográfica con el número de orden.

2.3 Características climáticas

El clima se puede definir como un conjunto de condiciones atmosféricas que caracterizan a una región, y que se han definido a través de la observación cualitativa y cuantitativa a lo largo de un periodo de tiempo determinado.

Este apartado pretende hacer una caracterización general del clima de la cuenca sin profundizar en los diversos elementos climáticos incluidos. Es importante mencionar que esta cuenca contiene una gran cantidad de microclimas en espacios relativamente pequeños.

Se describen aquí los parámetros de temperatura, precipitación media, brillo solar, humedad relativa y viento.

En los mapas mostrados en las Figuras 2.4 a 2.8 se muestra solamente la ubicación de las estaciones que se utilizaron para la elaboración de los hietogramas característicos.

2.3.1 Temperatura

Temperatura mínima promedio anual

En la Figura 2.4 se muestra el mapa con la distribución de temperaturas promedio mínimas de la cuenca.

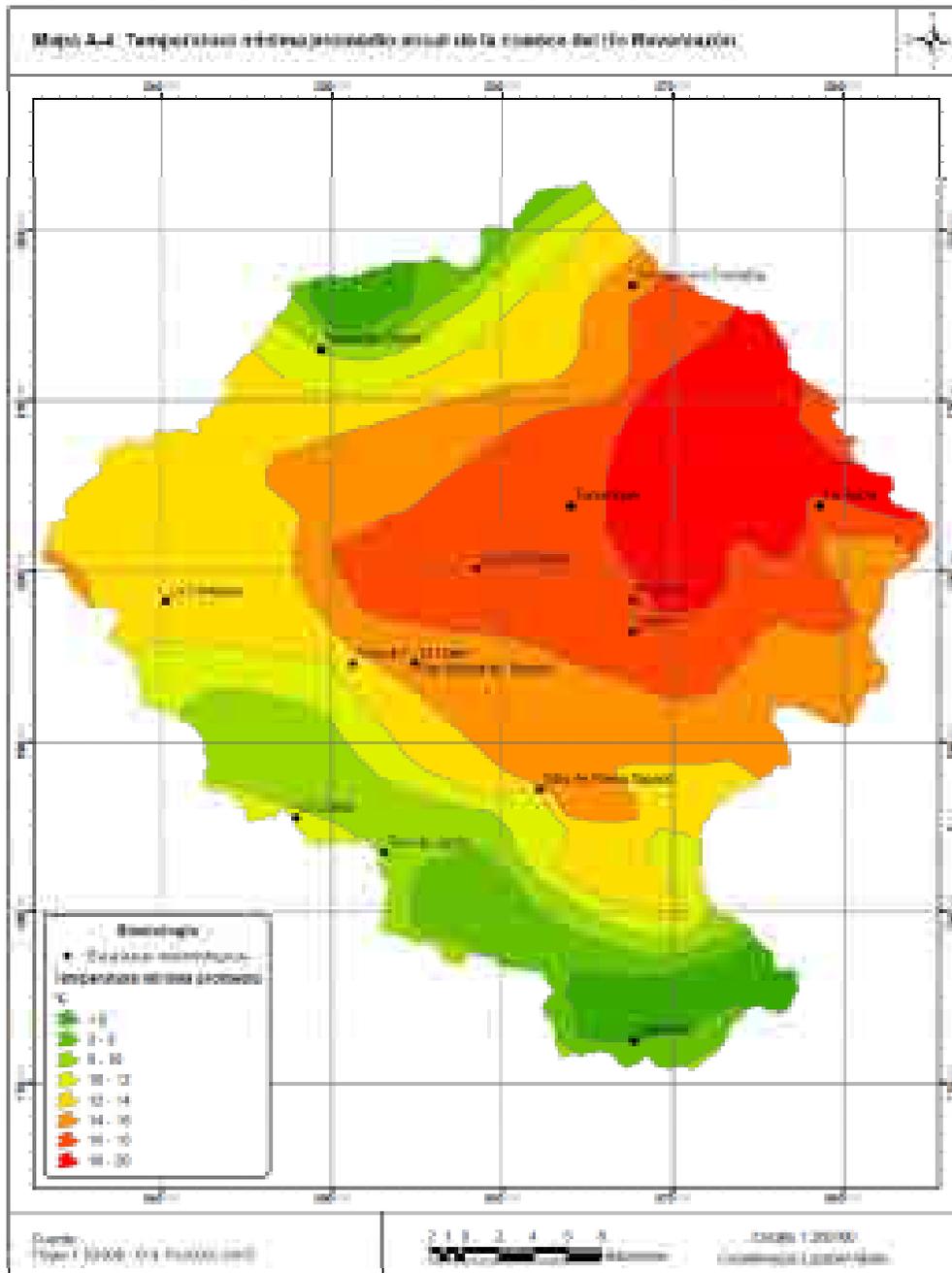


Figura 2.4. Mapa de temperatura mínima promedio anual.

Fuente: Atlas Climatológico I.M.N. (1998).

La temperatura mínima promedio anual oscila entre menos de 6 °C en las partes más altas de la cuenca, hasta 20 °C alrededor de Turrialba. Se puede apreciar en la Figura 2.4 que las temperaturas mínimas de hasta menos de 6 °C se dan en la parte norte y sur – sureste. Estas regiones corresponden a los Volcanes Turrialba e Irazú y a la Cordillera de Talamanca respectivamente. Luego la temperatura mínima promedio de la cuenca varía desde 12°C en la parte correspondiente al Alto de Ochomogo y la ciudad de Cartago (parte oeste), incrementándose conforme se avanza hacia la parte este y noreste hasta 20 °C cerca de Turrialba.

Se puede observar de la Figura 2.5 que las temperaturas medias menores de la cuenca se dan en la parte norte y sur – suroeste. Las laderas de los Volcanes Irazú y Turrialba y de la Cordillera de Talamanca presentan un comportamiento similar entre sí, aumentando desde las cimas hacia abajo hasta los 16 °C. Finalmente, la temperatura media se incrementa desde los 20 °C en el Alto de Ochomogo, siguiendo una franja hacia el noreste y el este, hasta los 24 °C cerca de Turrialba.

Temperatura máxima promedio anual

En la Figura 2.6 se puede apreciar la distribución de temperaturas máximas sobre la cuenca.

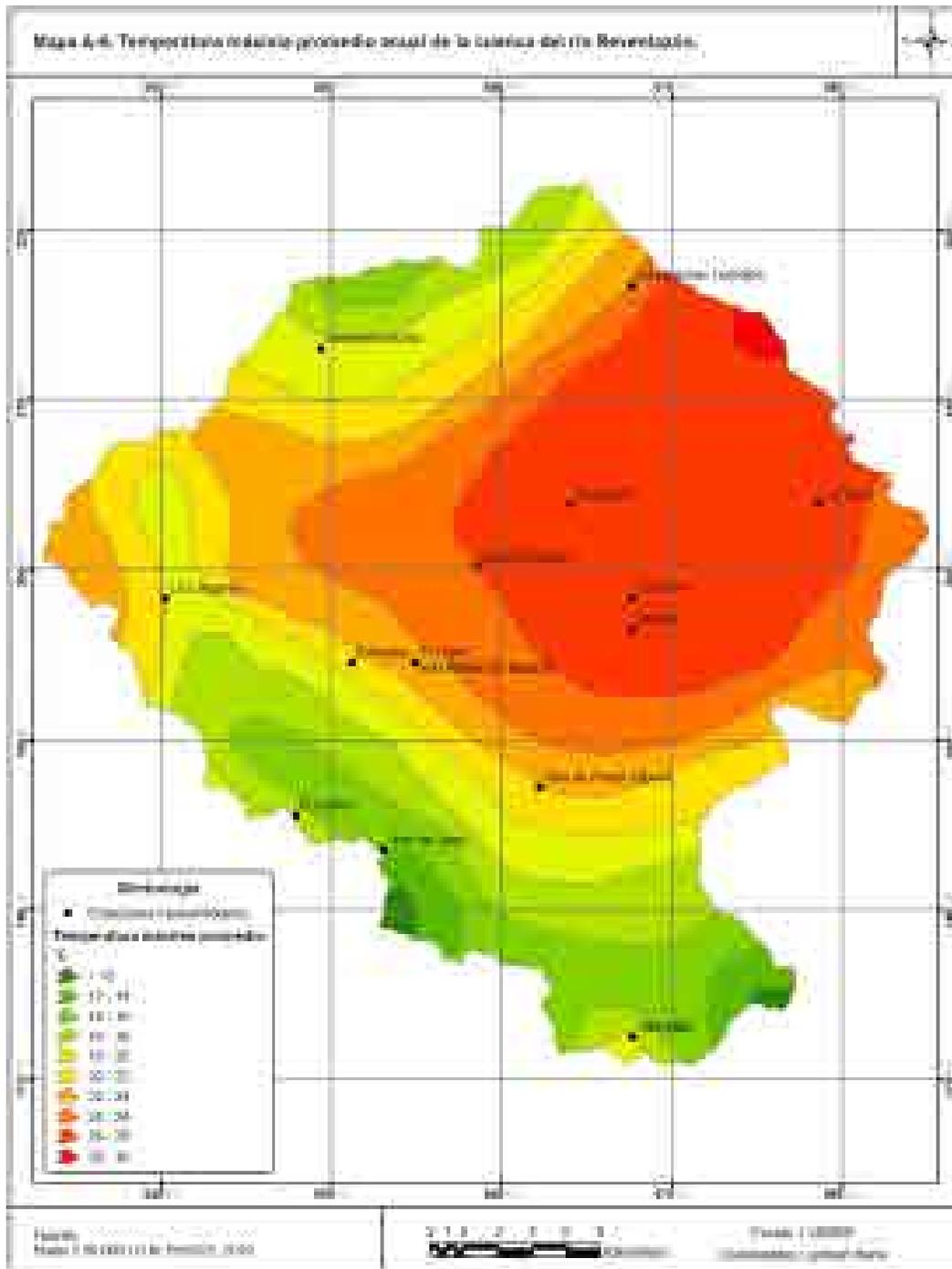


Figura 2.6. Mapa de temperatura máxima promedio anual.

Fuente: Atlas Climatológico I.M.N. (1998).

La temperatura máxima promedio anual oscila entre menos de 12 °C y 30 °C en las partes más bajas de la cuenca. Se puede observar de la Figura 2.6 que las temperaturas máximas promedio más bajas se dan en las cumbres de los Volcanes Irazú y Turrialba y la Cordillera de Talamanca, en los Cerros Sakira, Zacatales, Asunción, La Muerte o Buena Vista y Cuericí. Aquí se presentan valores de 14 °C o menos.

Hay un comportamiento muy marcado en la franja central de la cuenca y hacia el este y noreste. La temperatura se incrementa desde 22 °C en la parte oeste de la cuenca, cerca del Alto de Ochomogo, hasta 30 °C cerca de Turrialba. Hay una transición creciente muy marcada en cuatro rangos de temperatura desde los 22°C hasta los 30°C.

2.3.2 Precipitación

Se presenta a continuación en la Figura 2.7 el mapa de precipitación promedio anual de la cuenca en estudio.

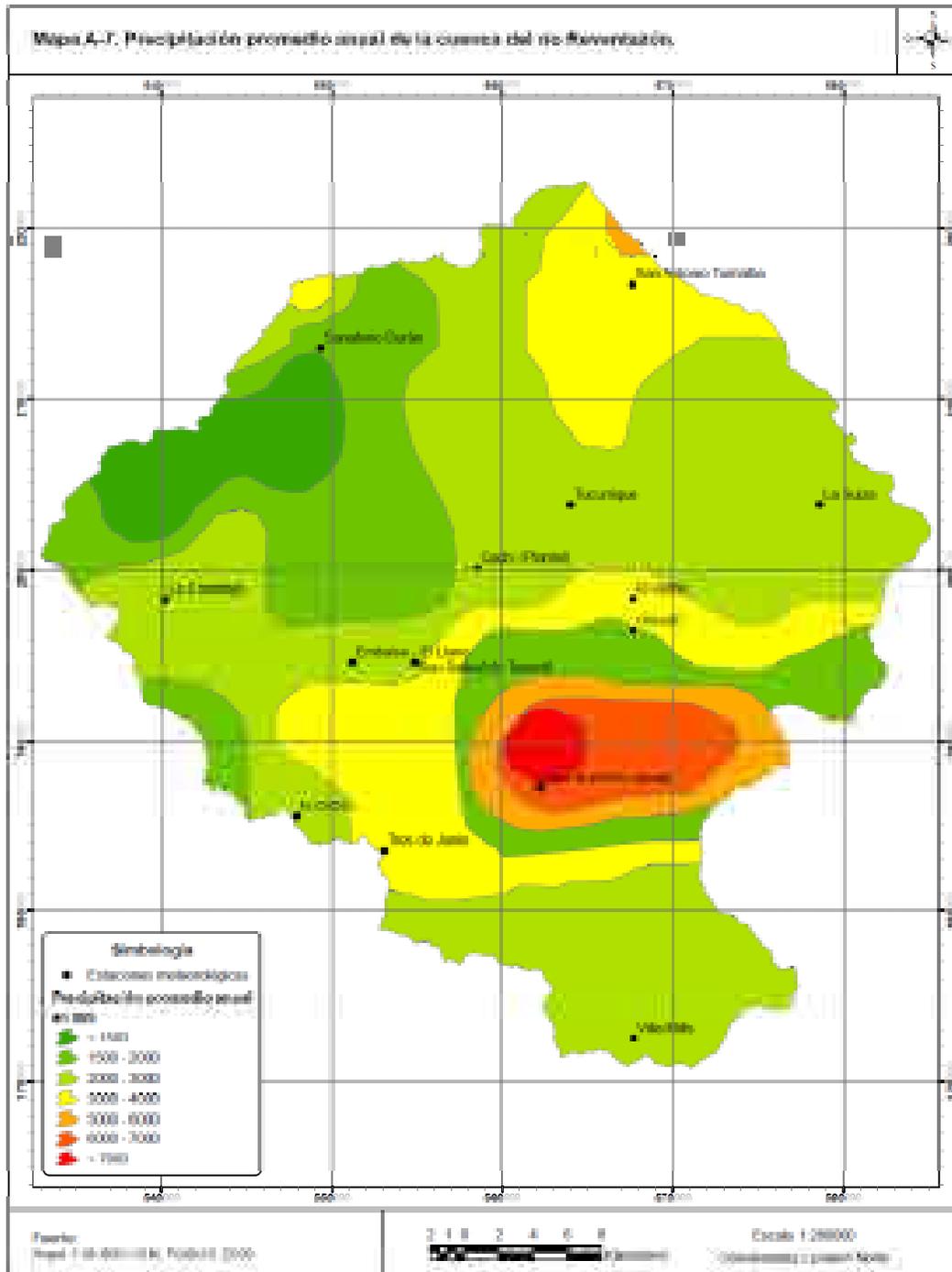


Figura 2.7. Mapa de precipitación promedio anual.

Fuente: PRODUS (2010).

Esta cuenca se encuentra influenciada por los regímenes climáticos de las Vertientes Pacífica y Atlántica. En el periodo de diciembre a abril se da un incremento del flujo Alisio y predominan las tormentas de tipo orográfico. En el periodo de mayo a noviembre predominan las tormentas de tipo convectivo, con duraciones de hasta 6 horas e intensidades fuertes (Chacón, 1983). En los meses de julio y agosto se da un aumento de nuevo en el flujo Alisio y se da un aumento de las tormentas orográficas.

En la mayor parte de la cuenca la precipitación promedio anual varía entre 2000 mm y 3000 mm. Esta banda de precipitación afecta al valle de Turrialba, La Suiza, Tucurrique y hasta Cachí. Afecta también el Valle de Orosi y la parte sur de la cuenca, alrededor de Villa Mills y el Cerro de la Muerte.

A partir de Turrialba, el nivel de lluvia promedio empieza a aumentar conforme se avanza hacia el noroeste por las faldas del Volcán Turrialba, con valores que alcanzan los 4000 mm anuales. De Turrialba hacia el sur de la cuenca se incrementa la precipitación hasta los 4000 mm y luego sigue una franja que oscila entre los 1500 mm y 2000 mm, para luego incrementarse de nuevo hasta un máximo de más de 7000 mm anuales. Esto sucede cerca de la estación 73026 Sitio de Presa Tapantí, entre los 1900 m.s.n.m. y 2000 m.s.n.m. Cerca de esta altura es donde las masas de aire provenientes del Caribe descargan la mayor cantidad de humedad debido al efecto orográfico de las montañas. Conforme las masas de aire siguen subiendo hacia el Cerro de la Muerte en dirección sur la precipitación promedio disminuye hasta los 2000 mm. Esto se debe probablemente a que la mayor parte de humedad ya se ha descargado en las montañas de Tapantí y en zonas aledañas.

En la parte oeste y noroeste de la cuenca es donde se dan los menores valores de precipitación promedio anual. Hay un núcleo alrededor del Alto de Ochomogo que comprende las zonas de Tobosi, Coris y la parte oeste de las laderas del Volcán Irazú, hasta Tierra Blanca. El valor promedio anual de lluvia en esta zona es de 1500 mm o menos. En el caso de la parte noroeste de la cuenca los valores bajos de precipitación se pueden deber al efecto de sombra de lluvia que produce el macizo del Volcán Irazú al interferir en el curso de los vientos Alisios del noreste principalmente. Se nota como la precipitación disminuye desde las faldas orientales del Volcán Turrialba hasta las faldas occidentales del Volcán Irazú y hacia el centro del Valle Central Oriental, donde se encuentra la ciudad de Cartago. Para el caso de la parte oeste de la cuenca, alrededor de las localidades de Tobosi, Coris y Bermejo, los valores de precipitación promedio anual

bajos se pueden deber a la débil influencia del viento Alisio, que llega con poca humedad a esa zona, y al efecto de sombra de lluvia que producen los cerros de la Fila Ventolera que dividen al Valle Central en Occidental y Oriental. Los vientos provenientes del Valle Central Occidental llegan más secos debido a la barrera orográfica que producen estos cerros.

La parte del Valle del Guarco donde están las ciudades de Cartago y Paraíso se ve afectada tanto por la influencia de los vientos provenientes del Valle Central Occidental, que entran por el cañón del río Grande de Tárcoles, como por los vientos Alisios. En esta zona urbana central los valores de precipitación promedio anual oscilan entre 1500 mm y 2000 mm. Los vientos Oestes también afectan la cuenca en forma de vaguadas de altura que generan temporales que se pueden extender por días y pueden afectar extensas zonas de la cuenca produciendo inundaciones. Las corrientes de viento que se infiltran por el cañón del río Grande de Tárcoles y entran por el Alto de Ochomogo llegan al Valle del Guarco con poca humedad y a esto se puede deber el bajo promedio anual de lluvia. Caso similar ocurre con los vientos Alisios, que han descargado la mayor parte de su humedad en la parte noreste y sureste de la cuenca.

En la parte noroeste de las faldas del Volcán Irazú se observa un aumento muy localizado de la precipitación hasta los 4000 mm. Esto se debe probablemente a la descarga por orografía de las masas de aire provenientes del Valle Central Occidental.

Murillo (1994) estableció en su trabajo de graduación núcleos de alta precipitación en la parte noreste de la cuenca del río Virilla, cerca de la localidad de Tres Ríos, debido al frente de brisa que se forma por el choque de los vientos Alisios y los vientos provenientes del Océano Pacífico y que entran por el cañón del río Grande de Tárcoles. Esto sucede entre los meses de mayo a noviembre y es probable que afecte la parte noroeste de la cuenca en estudio, donde se encuentra el núcleo de precipitación más intenso (4000 mm), y podría afectar la parte oeste del Valle del Guarco. Sin embargo al no contar con información de la variación mensual de la lluvia promedio no se puede establecer con certeza el desplazamiento del frente de brisa hacia el Valle del Guarco. Tampoco se hizo un estudio de distribución espacial de la lluvia y esto dificulta la identificación del desplazamiento del frente de brisa.

2.3.3 Brillo solar

En la Figura 2.8 se muestra la distribución del brillo solar promedio diario sobre la cuenca.



Figura 2.8. Mapa de brillo solar promedio anual.

Fuente: Atlas Climatológico I.M.N. (1998).

Los valores que se presentan en la Figura 2.8 son promedios diarios al año. En esta cuenca hay tres zonas bien definidas de horas sol al año. Se puede observar que en la parte este, noreste, central y suroeste se presentan en promedio entre 4 h y 5 h de sol directo al día. Hacia el sureste de la cuenca las horas sol disminuyen hasta 3 h ó 4 h diarias. Se presenta una zona de 5 h a 6 h diarias de sol directo en la parte oeste de la cuenca, esto es cerca de Ochomogo, Cartago, Tobosi y parte de las faldas occidentales del Volcán Irazú.

2.3.4 Humedad relativa

Se analizaron 4 estaciones de la cuenca que cuentan con un registro continuo de 2004 a 2009 inclusive. En el Cuadro B.1 del Anexo B se muestran las estaciones utilizadas.

En la Figura 2.9 se observa el comportamiento promedio mensual de las diferentes estaciones.

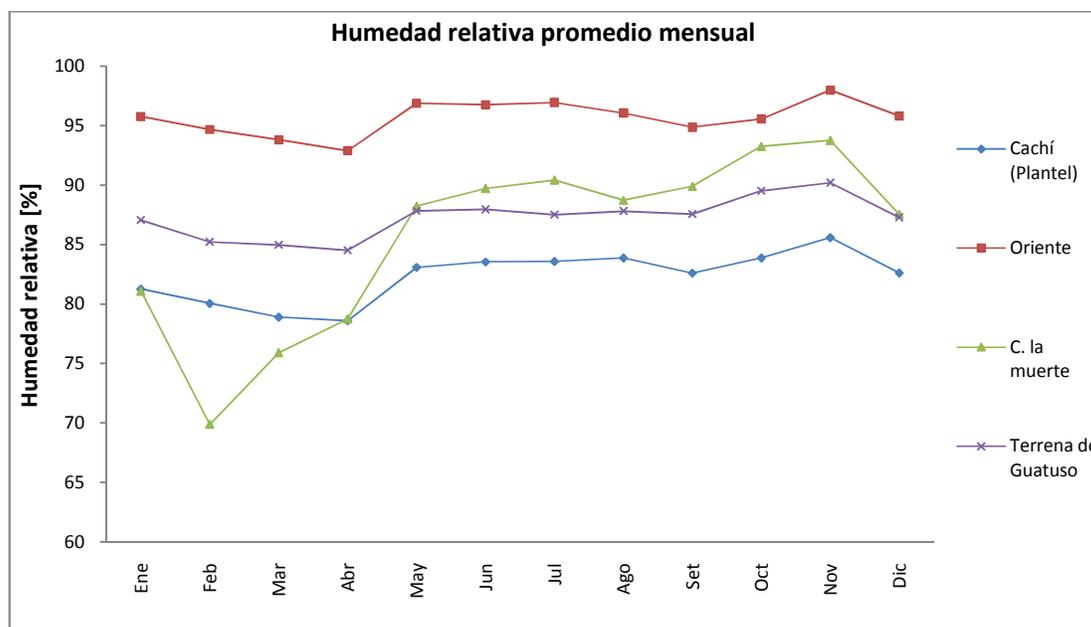


Figura 2.9. Variación promedio mensual de la humedad relativa para cuatro estaciones de la cuenca en estudio.

Fuente: el autor.

Las estaciones de Oriente, Terrena de Guatuso y Cachí (Plantel) presentan comportamientos muy similares. El valor mínimo se da en el mes de abril y el máximo en noviembre. Según Chacón (1983) los valores promedio de lluvia del periodo de mayo a noviembre son mayores a los valores para el periodo de diciembre – abril. Esto explica

porque la humedad relativa es mayor entre los meses de mayo a noviembre. Los valores de humedad relativa son mayores para la estación de Oriente porque ésta se encuentra ubicada en una zona de mayor precipitación promedio anual que las otras estaciones. La estación de Cerro de la Muerte tiene un comportamiento similar, sin embargo los valores de humedad son marcadamente menores al resto de estaciones en los meses de febrero y marzo. Esta estación es la única de las cuatro estudiadas que se encuentra en la parte alta de la cuenca. Entre los meses de febrero y marzo se da una ausencia marcada de precipitaciones en esa zona. Esto podría ser una de las causas de la humedad relativa tan baja que se presenta en ese periodo.

2.3.5 Viento

Se cuenta con datos de cuatro estaciones con registros desde 2006 a 2009 inclusive. Si bien es cierto este periodo es muy corto para definir un comportamiento característico del viento, por lo menos da una aproximación del comportamiento en esas estaciones. En la Figura 2.1 se puede observar la ubicación de las estaciones utilizadas. En el Cuadro B.2 del Anexo B se presenta la lista de estaciones utilizadas. En el Cuadro 2.2 se presentan las direcciones predominantes por mes para cada estación.

Cuadro 2.2. Direcciones predominantes del viento por mes en cuatro estaciones de la cuenca.

	Campamento	Pacayas	San Pablo de Cot	Tierra Blanca
Enero	N – S	ENE	NE	E
Febrero	S	ENE	NE – ENE	E – ENE
Marzo	N – NE	-----	NE – ENE	E
Abril	N	E	NE – ENE	E
Mayo	N – S	-----	NE	E
Junio	S	ENE	NE	ENE
Julio	N	-----	NE	ENE
Agosto	S	N – ENE	NE	E – ENE
Septiembre	S	E	NE	-----
Octubre	S	ESE	N	NO
Noviembre	N – S	ENE	NE – ENE	E
Diciembre	S	ENE	NE – ENE	ENE

Fuente: el autor.

En la Figura 2.1 se observa que las estaciones utilizadas se encuentran ubicadas en la parte norte de la cuenca (Tierra Blanca, San Pablo de Cot y Pacayas) y en la parte este

(campamento). Hay una clara predominancia de vientos con componente este y noreste en las tres estaciones de la parte norte de la cuenca durante todo el año. Es clara la influencia del flujo Alisio. En el caso de la estación de Campamento las direcciones predominantes tienen componentes norte y sur. Es probable que esto sea un fenómeno local que se deba a la topografía de la región. La depresión formada por el cañón del río Reventazón en las cercanías de la estación podría desviar los vientos con componente noreste generando vientos con componente norte. Es probable también que las montañas hacia el sur de la estación provoquen un reflujó del viento dándole a este un componente sur. Fenómenos de mesoescala como la brisa valle – montaña y viceversa también podrían afectar.

La influencia del flujo Alisio afecta la cuenca especialmente entre los meses de diciembre a abril y entre julio y agosto. A pesar de que no se cuenta con más información de dirección del viento se sabe que la mayoría de precipitaciones por orografía y una gran parte de la humedad se dan por la influencia del flujo Alisio.

También se sabe que los Vientos Oestes afectan a la cuenca en forma de vaguadas de altura. Debido a esto se producen temporales que pueden durar varios días y que pueden también producir inundaciones. Prueba de esto son los eventos ocurridos en febrero de 1996 y abril de 1970. En el capítulo VI se habla en detalle sobre lo ocurrido en esas fechas.

Hay una influencia de vientos provenientes del Pacífico que entran al Valle Central Occidental por el cañón del río Grande de Tárcoles y que producen precipitaciones en la época lluviosa, entre mayo y noviembre. Murillo (1994) estableció la presencia de frentes de brisa debido a la convergencia de los vientos Alisios con estos vientos provenientes del Pacífico. Determinó zonas de alta precipitación asociadas a estos frentes en el cantón de Tres Ríos. No se descarta que esta zona de convergencia se pueda desplazar afectando principalmente la parte oeste de la cuenca del Reventazón, sin embargo no se cuenta con promedios mensuales de lluvia ni estudios de distribución espacial de la lluvia para asegurar esto.

Capítulo III

3. Relación lluvia – escurrimiento y tipos de tormentas

En este capítulo se va a explicar brevemente la relación que hay entre la lluvia y el escurrimiento de esta en la cuenca. Hay una importante relación aquí entre el hietograma de tormenta y el hidrograma de caudal.

Se va a explicar también de manera general los distintos tipos de precipitación que hay.

3.1 Relación lluvia – escurrimiento

Cuando el agua de lluvia cae sobre la superficie de una cuenca sigue una serie de trayectorias hasta que llega a los cauces de los ríos y posteriormente sale de la cuenca.

Una vez que la lluvia hace contacto con la superficie se infiltra. Cuando las capas superiores del suelo se saturan el agua empieza a escurrir sobre la superficie. En este proceso se llenan las depresiones del terreno y el agua escurre por las laderas hacia los cauces. A lo largo del trayecto del agua hacia los cauces más cercanos continúa el proceso de infiltración y se da la evaporación en pequeñas cantidades. Cuando finalmente el agua llega a un cauce se produce el *escurrimiento en corrientes*. Al flujo sobre el terreno, junto con el escurrimiento en corrientes se le llama *escurrimiento superficial*.

La parte del agua llovida que se infiltró previamente escurre dentro de la tierra en dos formas: *flujo subsuperficial* y *flujo subterráneo*. El flujo subsuperficial es el que escurre en capas cercanas y subyacentes a la superficie, más o menos en forma paralela a esta. El flujo subterráneo corresponde al agua que se ha infiltrado por debajo del nivel freático y puede tardar hasta años en salir de la cuenca (Aparicio, 1989).

El flujo superficial es el que más rápido de los tres llega a las corrientes de agua y hasta la salida de la cuenca. De esta manera está relacionado con un evento de precipitación en particular y se dice que proviene de la precipitación en exceso o *efectiva*, o sea el agua de lluvia que no se infiltra sino que escurre (Aparicio, 1989). Los escurrimientos subterráneo y subsuperficial son los responsables de mantener el *flujo base*, que es el agua que fluye por el cauce de los ríos durante todo el año, incluso en la época seca.

Lo más importante en la relación lluvia – escurrimiento es la rapidez con que una cuenca responde a una tormenta, pues esto es lo que determina la magnitud de las crecientes en los cauces (Aparicio, 1989). Esta rapidez depende de la geomorfología de la cuenca y de los tipos de suelos y estratos subyacentes principalmente.

Hietograma de tormenta e hidrograma de caudal

Ahora corresponde hablar sobre las partes inicial y final de este proceso de escurrimiento de la lluvia: el hietograma de tormenta y el hidrograma de caudal. El hietograma es un gráfico de lluvia contra el tiempo que muestra la distribución temporal de una determinada tormenta. De esta manera explica la parte inicial del proceso de escurrimiento del agua sobre una cuenca, la caída de la precipitación sobre la cuenca.

Existen métodos directos e indirectos para obtener hietogramas de tormentas. Entre los métodos indirectos están el Método del Hietograma Triangular y métodos derivados de curvas de intensidad – duración – frecuencia. Como método directo se cita el análisis de series parciales o anuales de precipitación. El método del hietograma triangular aproxima un hietograma suponiendo una distribución triangular de la lluvia, dados una precipitación total de tormenta, una duración de tormenta y un coeficiente de retardo. Este coeficiente de retardo se estima a partir de mediciones de distintas tormentas e indica el momento en que una tormenta alcanza el pico de intensidad a lo largo de su duración. A partir de curvas de intensidad – duración – frecuencia se pueden utilizar métodos como el del bloque alterno. Este método consiste en obtener incrementos diferenciales de precipitación a partir de una curva i-d-f para una duración dada y luego reordenarlos alrededor del pico de la tormenta, distribuyendo los incrementos menores a ambos lados del pico de la tormenta. El método directo citado anteriormente consiste en la identificación de patrones temporales de comportamiento con base en series anuales o parciales de lluvia. En este trabajo se pretende hacer uso de este último método para la obtención de los hietogramas característicos.

Finalmente el agua de lluvia que llega a los cauces de los ríos puede ser explicada mediante el hidrograma de caudal. El hidrograma de caudal es un gráfico que relaciona el volumen de agua que pasa por determinada sección de un cauce en el tiempo.

3.2 Tipos de precipitación

Se pueden distinguir tres tipos básicos de precipitación: convectiva, ciclónica y orográfica.

Precipitación convectiva

Este tipo de precipitación está asociada a nubes de gran desarrollo vertical. Ejemplo de esto son los *cumulonimbus*, que son nubes que internamente están formadas por aire cálido y húmedo, con carácter ascendente formando grandes desarrollos verticales.

Se forman celdas convectivas cuando se calienta la superficie del terreno intensamente, este calor superficial hace ascender las masas de aire cargadas de humedad. En este proceso las masas de aire se van enfriando hasta alcanzar el punto de rocío, posteriormente se produce la lluvia. Las precipitaciones que se generan pueden ser en forma de granizo y usualmente están acompañadas de tormentas eléctricas, aunque no necesariamente (Barry y Chorley, 1987). Entre las principales características de estas tormentas están su corta duración y el área relativamente pequeña que cubren. Una tormenta de este tipo usualmente dura entre media y una hora (Barry y Chorley, 1987), y puede cubrir un área de 20 km² a 50 km². Sin embargo se sabe que hay tormentas de origen convectivo que pueden durar hasta 6 horas (Chacón, 1980).

Precipitación ciclónica

Esta precipitación está asociada a sistemas de baja presión. Las características de la precipitación van a depender del tipo de sistema de baja presión y de su estado de desarrollo (Barry y Chorley, 1987). El mecanismo esencial es el ascenso de masas de aire debido a convergencia horizontal de corrientes en un centro de baja presión.

Precipitación orográfica

Este tipo de precipitación se da por el efecto de barrera producido generalmente por sistemas montañosos. En Costa Rica el sistema montañoso con dirección noroeste – sureste divide al país en dos y funciona como barrera orográfica. Los vientos Alisios arrastran las masas de aire cargadas de humedad provenientes del Caribe y las hacen ascender por las laderas de las montañas. En este proceso de ascenso se da la condensación y a determinadas alturas se empiezan a dar precipitaciones.

Capítulo IV

4 Metodología

Se describe el procedimiento empleado para la elaboración de este trabajo.

4.1 Región de estudio y procesamiento de datos

El área de estudio comprende la cuenca del río Reventazón hasta la confluencia de este con el río Guayabo. El Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible (PRODUS) facilitó las hojas cartográficas digitalizadas en escala 1:50 000 de Pejibaye, Tapantí, Vueltas, Cuericí, Tucurrique, Istarú, Carraigres, Carrillo, Bonilla y Abra. La cuenca queda contenida entonces entre las coordenadas 9° 30` y 10° 30` latitud norte y 83° 30` y 84° 15` longitud oeste.

El procesamiento de datos para el ajuste de los hietogramas característicos y para la obtención de los índices morfométricos se realizó con hoja electrónica de cálculo.

La generación y el análisis de los mapas se realizaron mediante sistemas de información geográfica (S.I.G.). Se utilizó el paquete informático ArcGIS de ESRI®.

4.2 Características morfométricas

Se obtuvieron del S.I.G. los siguientes valores: área y perímetro de la cuenca, áreas parciales entre curvas de nivel, longitud al centroide, longitud de cauces tributarios y longitud del cauce principal. La elevación media de la cuenca se obtuvo directamente de la curva hipsométrica.

El resto de características que se presentan en el Cuadro 2.1 se obtuvieron de forma analítica o se extrajeron de los mapas generados. En el Anexo C se muestran los ejemplos de cálculo y las ecuaciones utilizadas.

4.3 Mapas generales de la cuenca

Se utilizó el paquete informático ArcGIS de ESRI®, que es un sistema de información geográfica (S.I.G.). El mapa básico a partir del cual se obtuvieron los demás es el de contorno de la cuenca. Este mapa se generó a partir de las curvas de nivel proporcionadas por PRODUS.

Generación del mapa base de contorno de la cuenca

Lo primero que se hace es cargar en el G.I.S. la información de cada hoja cartográfica que se va a utilizar.

Con la instrucción "Merge" se une la información de las distintas hojas cartográficas y se genera una capa que contiene la información de todas las hojas cartográficas a utilizar.

A partir de la información de curvas de nivel se genera un modelo de elevación digital de la cuenca. El S.I.G, a través de interpolaciones entre curvas de nivel genera un modelo en tres dimensiones del área en estudio.

Se genera ahora un archivo tipo "Raster" a partir del archivo obtenido en el paso anterior. En este paso es cuando se afina el modelo y se procede a corregir defectos ocasionados por errores en las curvas de nivel. Para esto se usa la extensión "Hydrology Modeling" del S.I.G.

Una vez hecho esto se generan los archivos de dirección de escurrimiento y acumulación de aguas empleando la herramienta "Hydrology Modeling".

Con estos modelos y con la extensión "Hydrology Modeling" se genera el archivo de contorno de la cuenca. Se utiliza la instrucción "Watershed". El resultado de este paso es un archivo tipo "Raster".

Finalmente el archivo obtenido en el paso anterior se convierte en un polígono con la herramienta "3D Analyst". El archivo resultante es un archivo tipo "Shape" y es más conveniente para extracción de información y para la visualización en los mapas.

Mapas de red hidrográfica y curvas de nivel

Para generar el mapa con la red hidrográfica de la cuenca se digitalizaron los ríos con el S.I.G. Se generó una capa con esta información y se superpuso sobre el mapa de contorno de la cuenca. Este mapa se presenta en el Anexo A.

El mapa de curvas de nivel se generó de manera similar al de la red hidrográfica. Con el contorno de la cuenca se recortó una capa con la información de las curvas de nivel. Luego se sobre puso esta capa a la cuenca. En el Anexo A se muestra el mapa que contiene las curvas de nivel de la cuenca.

Mapas con ubicación de las estaciones

Los mapas con la ubicación de las estaciones se generaron ubicando las estaciones de acuerdo a sus coordenadas utilizando el S.I.G. Estos mapas se pueden ver en el Anexo A.

4.3.1 Mapa de precipitación promedio anual

Este mapa fue obtenido de PRODUS. Para su confección se utilizaron estaciones del I.C.E. y se utilizó un periodo de registro de 10 años, de 1976 a 1985 inclusive.

4.3.2 Mapas de temperatura media, máxima y mínima promedio anual

Para su generación se utilizaron las fotos de los mapas de temperatura media, máxima y mínima promedio anual contenidos en el Atlas Climatológico Interactivo del I.M.N. (I.M.N, 1998).

El primer paso fue referenciar las figuras del I.M.N. con el S.I.G. para hacerlas coincidir con un sistema de coordenadas. Luego, haciendo uso de la herramienta "Editor" se generaron archivos tipo "shape" con la información de los mapas del I.M.N. Para esto se utilizó el archivo de contorno de la cuenca previamente generado. De esta forma se puede observar la variación en los valores de temperatura dentro de la cuenca.

4.3.3 Mapa de brillo solar

Para la obtención de este mapa se siguió una metodología igual a la usada para los mapas de temperaturas. Se utilizó la información del Atlas Climatológico Interactivo del I.M.N. (I.M.N, 1998).

4.3.4 Mapas de distribución de hietogramas característicos

Para la elaboración de estos mapas se partió del contorno de la cuenca. Se generaron Polígonos de Thiessen para determinar el área de influencia de cada estación.

Lo primero que hay que hacer es cargar el archivo tipo "Shape" que contiene la información de las estaciones. Luego se utiliza la extensión "Thiessen" del S.I.G. La salida de este proceso es un archivo tipo "Shape" que contiene las áreas de influencia de todas las estaciones. Se seleccionan las áreas afectadas por determinado tipo de hietograma característico según sea el caso y se generan nuevos polígonos. Para esto se utiliza la instrucción "Export Data". Cuando se tienen los diferentes polígonos según el tipo de

hietograma y el área de influencia se puede seleccionar cuáles mostrar en los distintos mapas.

4.4 Humedad relativa

Los datos de humedad relativa se obtuvieron del I.C.E. Se utilizó un periodo de 6 años de registro desde 2004 hasta 2009 inclusive. Para completar la información faltante se utilizaron los valores promedio del registro. En el Cuadro B.1 del Anexo B se encuentran las estaciones utilizadas. El procesamiento de los datos se realizó con hoja electrónica de cálculo.

4.5 Viento

Los datos de viento se obtuvieron del I.C.E. Se cuenta con el registro de cuatro estaciones que comprende el periodo de 2006 a 2009 inclusive. En el Cuadro B.2 del Anexo B se encuentra la lista de estaciones utilizada.

4.6 Hietogramas característicos

Se usaron 14 estaciones con registro de precipitación continuo del I.C.E. En el Cuadro B.3 del Anexo B se muestran las estaciones utilizadas.

Primero se determinó el periodo en que la mayor cantidad de estaciones tenía un registro continuo de precipitación. Se determinó que lo mejor era usar un periodo de 40 años desde 1970 hasta 2009 inclusive.

Una vez hecho esto se hizo un listado con los días en que se presentaron los máximos de precipitación de cada año para todas las estaciones. Con esta información se empezó a buscar y organizar las bandas de cada una de las estaciones. Se agruparon por estaciones y se verificó que todos los máximos anuales se encontraran. Para sustituir los máximos faltantes o los de las bandas que estaban dañadas se utilizaron bandas con el máximo inferior siguiente del mismo año, o en su defecto con un máximo de una banda de otro año pero de la misma estación.

Lectura de bandas pluviográficas

Con la información organizada se digitalizó cada banda correspondiente al máximo anual de cada estación. Para digitalizar las bandas se utilizó un escáner. Se colocó la banda sobre la pantalla del escáner y se tomaron una o dos imágenes dependiendo de la duración de la tormenta. Las tormentas de menor duración se podían digitalizar en una

sola imagen pero las de mayor duración no porque el largo de la banda excede el largo de la pantalla del escáner. Una vez que las bandas fueron digitalizadas se cargaron en el programa informático AutoCAD para hacer la lectura. Se les dio escala y se procedió a trazar una polilínea con la instrucción "Polyline" para extraer los incrementos de precipitación cada 10 minutos. Esta información se digitó en una hoja electrónica de cálculo y se obtuvieron los hietogramas para cada tormenta máxima anual de cada estación graficando los datos de lluvia cada 10 minutos. De esta forma se obtuvieron cuarenta hietogramas para cada estación.

Los totales de precipitación obtenidos de la lectura de las bandas se compararon con los totales registrados por el I.C.E. y se hicieron los ajustes necesarios. Es importante destacar que hay un margen de error en la lectura de las bandas y que se debe principalmente al factor de escala, a la distorsión de la imagen y a fallas en el funcionamiento de los pluviógrafos. Luego de la lectura de todas las bandas se encontró que este error puede llegar a ser hasta 4% del total llovido. Inicialmente se tomaron como patrón los valores registrados por el I.C.E, sin embargo como esas lecturas fueron hechas de forma visual directamente de las bandas también están sujetas a errores. Por este motivo para cada caso en particular se hizo el análisis correspondiente para determinar el total de cada tormenta. Una vez leída la banda se hizo una revisión visual y si la diferencia entre el total leído y el total registrado por el I.C.E. era de 2% del total o menor se ajustaba el valor leído con el total del I.C.E. Si la diferencia era mayor se tomó el valor leído como válido.

En el caso de las estaciones que se encuentran automatizadas no fue necesaria la lectura de las bandas. Se obtuvo del I.C.E. la información tabulada cada 10 ó 5 minutos, se digitó en la hoja electrónica de cálculo y se elaboraron los hietogramas.

Ajuste de los hietogramas característicos

Una vez que se procesó y ajustó la información de las tormentas se procedió a generar los hietogramas característicos para cada estación. En cada estación se generaron dos o más hietogramas característicos según la duración y el comportamiento de las tormentas en el tiempo.

Clasificación de las tormentas

Se clasificaron las tormentas de cada estación en dos grupos generales: tormentas de larga duración y tormentas de corta duración. Los criterios que se utilizaron para la

división en estas dos categorías fueron la duración y el comportamiento en el tiempo. Se elaboraron gráficos de lluvia acumulada contra tiempo en minutos para hacer la separación de las tormentas en cada estación. Cada estación tiene distribuciones temporales diferentes en sus tormentas debido a factores geográficos y climáticos como el viento y los distintos microclimas que se presentan en la cuenca.

No hay un tiempo único y definido válido para todas las estaciones a la hora de separar las tormentas en corta y larga duración. La mayoría de las tormentas de larga duración en todas las estaciones van desde 15 horas hasta 24 horas. Las tormentas de corta duración se extienden desde 3 horas hasta 13 horas aproximadamente. Para cada estación se hizo el análisis en particular y se clasificaron las tormentas.

Una vez que se hizo esta clasificación general se analizaron los grupos de tormentas de corta y larga duración separadamente. Se identificaron patrones temporales de comportamiento de las tormentas. Se agruparon las tormentas que presentaron patrones de comportamiento similares y se elaboraron los hietogramas característicos para cada grupo presente en cada estación. Estos hietogramas se analizaron para encontrar comportamientos similares entre distintas estaciones de la cuenca. Más adelante en esta sección se explica en detalle este proceso.

Recortes en la duración de las tormentas

En algunas tormentas fue necesario hacer recortes en la duración. Esto se hizo para ajustar las tormentas a comportamientos específicos y para eliminar partes de la tormenta en las cuales la intensidad de la lluvia es tan baja que no tiene fines prácticos incluirla para el diseño. Se hicieron recortes siguiendo los siguientes criterios:

Criterio 1

Algunas tormentas presentan al inicio o al final tramos en que cae muy poca precipitación en mucho tiempo, o sea su intensidad es muy baja. Esto afecta la duración y no aporta precipitación significativa al cuerpo de la tormenta. En algunos de estos casos se hicieron recortes de hasta 2% de la precipitación total.

Criterio 2

Hay otras tormentas de corta duración en las cuales después de caer la mayor cantidad de agua (95% o más), transcurridas tres horas o más sin lluvia, presentan un pequeño remanente. En este caso se puede recortar ese remanente que representa hasta un 5%

del total de lluvia. Se puede aplicar este criterio cuando esta pequeña cantidad de lluvia cae antes del cuerpo de la tormenta, siempre espaciados por tres horas o más sin lluvia. Es muy importante tomar en cuenta el periodo que transcurre entre el cuerpo de la tormenta y el remanente para poder realizar el recorte. Para este trabajo se ha fijado en tres horas. Este criterio es arbitrario pero se ha consultado con meteorólogos del I.C.E. para fijar el tiempo.

Elaboración de los hietogramas característicos

La determinación de los distintos comportamientos característicos se hizo de manera visual. Se analizaron por separado las tormentas de corta y larga duración. Se utilizaron los gráficos de lluvia acumulada en porcentaje contra tiempo en minutos elaborados previamente y se confeccionaron nuevos gráficos para cada estación en los cuales se mostraron los valores de precipitación acumulada contra tiempo acumulado, ambos valores en porcentaje. De esta manera se pudo observar los distintos comportamientos en el tiempo de las tormentas. Para complementar esto se sobrepusieron en un histograma de lluvia cada 10 minutos las distintas tormentas. Mediante inspección visual de los gráficos anteriores y desplazando las tormentas sobre el eje de la duración de los histogramas se identificaron los distintos comportamientos característicos. Esto último se hizo para hacer coincidir patrones temporales que puedan estar desplazados en el tiempo. Se tomaron en cuenta tres cosas importantes: la duración de cada tormenta, su intensidad y su distribución temporal, esto último quiere decir la forma que presenta el histograma de precipitación cada 10 minutos. Estos tres elementos deben ser lo más homogéneos que se pueda en cada grupo de tormentas.

Cuando se determinaron los distintos comportamientos característicos se sacaron los promedios de precipitación de todas las tormentas que se clasificaron dentro de un mismo grupo. Al estar las tormentas superpuestas se promediaron los intervalos en los cuales hay lluvia, cada 10 minutos. De esta manera se obtuvo un hietograma resultante pero con una duración que no es representativa. Esto porque al desplazar las tormentas sobre el eje horizontal de los histogramas para hacer coincidir patrones de comportamiento similares, la duración del hietograma promediado resultante es mayor que la de las tormentas individuales que lo conforman. Lo que se hizo entonces fue promediar las duraciones de todas las tormentas que se agruparon como un mismo tipo para obtener un único tiempo. Con base en este tiempo promedio se seleccionó la parte del hietograma en la cual la mayor cantidad de tormentas que lo forman coincidieron. Esta parte del

hietograma debe reflejar lo mejor posible el comportamiento de las tormentas individuales que pertenecen a ese grupo. De esta forma se ajustó un solo hietograma característico para el grupo de tormentas, de acuerdo a un tiempo promedio y con intensidades promedio. El hietograma se muestra en porcentaje de lluvia cada 10 minutos.

Cuando se obtuvieron todos los hietogramas característicos de todas las estaciones se buscaron comportamientos que se repitieran en distintas estaciones y se procedió a hacer una clasificación para determinar luego las zonas de la cuenca que se vieron afectadas por distintos hietogramas característicos.

Capítulo V

5 Resultados

En esta sección se presentan los hietogramas característicos obtenidos para cada estación. En el Cuadro B.3 del Anexo B se encuentra la lista de estaciones utilizadas para la elaboración de los hietogramas. En los Cuadros del B.4 al B.17 se muestran los máximos anuales de precipitación utilizados. Se indica entre paréntesis el máximo anual que se utilizó para sustituir datos faltantes en caso de que fuera necesario. En el Anexo D se muestran los gráficos con las curvas acumuladas de todas las tormentas por estación y de los hietogramas característicos obtenidos para cada estación. En el Anexo E se muestran los valores tabulados de los hietogramas característicos obtenidos para todas las estaciones.

Se muestra además de forma preliminar las zonas de influencia de los distintos tipos de hietogramas característicos sobre la cuenca.

Se hizo un análisis para cada estación por separado. Se dividieron las tormentas en dos categorías principales: corta duración y larga duración. Luego estas categorías se subclasificaron en diferentes tipos de acuerdo a la distribución temporal de las tormentas. En los Cuadros 5.1 y 5.2 se muestran los criterios utilizados para la clasificación de los diferentes tipos de hietogramas característicos obtenidos.

**Cuadro 5.1. Criterios utilizados para la clasificación de hietogramas
característicos de corta duración.**

Tipos de tormentas corta duración	
Tipo 1C	El 70% o más de la lluvia precipita antes del 50% del tiempo de duración de la tormenta. Presenta forma de campana sesgada hacia la izquierda y decrece hacia la derecha.
Tipo 2C	El 70% o más de la lluvia precipita antes del 50% del tiempo de duración de la tormenta. Presenta forma de campana sesgada hacia la izquierda y decrece hacia la derecha pero tiene dos máximos en vez de uno en la parte superior de la campana.
Tipo 3C	Más del 85% de la lluvia precipita después del 50% del tiempo de duración de la tormenta. Presenta forma de campana sin sesgo pero desplazada hacia la derecha.
Tipo 4C	El 70% o más de la lluvia está concentrada hacia el centro de la duración de la tormenta. Presenta forma de campana sin sesgo.
Tipo 5C	Presenta una forma de dos campanas consecutivas, donde la lluvia de la tormenta se divide aproximadamente igual entre las dos campanas. La separación entre las dos campanas es de entre 12% y 30% del tiempo de la tormenta.
Tipo 6C	Presenta una forma de dos campanas consecutivas, donde la lluvia de la tormenta se divide aproximadamente igual entre las dos campanas. La separación entre las dos campanas es menor que la Tipo 5C, apenas alcanza a 8% de la duración de la tormenta.
Tipo 7C	La forma del hietograma presenta tres máximos entre los que se intercalan zonas de poca lluvia. Cada máximo tiene forma aproximada de campana.

Fuente: el autor

**Cuadro 5.2. Criterios utilizados para la clasificación de hietogramas
característicos de larga duración.**

Tipos de tormentas larga duración	
Tipo 1L	Presenta forma de campana sesgada hacia la izquierda y decrece hacia la derecha. Aproximadamente el 60% de la lluvia precipita antes o al cumplirse el 50% del tiempo de la tormenta
Tipo 1La	Tiene forma de campana sesgada a la izquierda pero inicia con una intensidad muy alta. Aproximadamente 30% de la lluvia precipita antes o al cumplirse el 5% de la duración de la tormenta. Decrece hacia la derecha.
Tipo 1Lb	Más del 85% de la lluvia de la tormenta precipita al cumplirse el 50% del tiempo de la tormenta. El 10% restante de lluvia precipita hacia el final de la tormenta. Ambos porcentajes de lluvia están distribuidos hacia los extremos y su forma es poco regular.
Tipo 2L	El 70% o más de la lluvia precipita después del 50% del tiempo de duración de la tormenta. Presenta forma de campana sesgada hacia la derecha y decrece hacia la izquierda.

Continuación Cuadro 5.2. Criterios utilizados para la clasificación de hietogramas característicos de larga duración.

Tipo 3L	En algunos casos la lluvia se concentra hacia el centro pero en general su intensidad es bastante uniforme a lo largo de toda la tormenta. Las curvas acumuladas de los hietogramas de este tipo son bastante rectas y forman un ángulo aproximado de 45° con el eje horizontal.
Tipo 4L	Tiene forma de campana sin sesgo y la mayor parte de la lluvia se concentra hacia el centro de la tormenta.
Tipo 5L	Aproximadamente el 90% de la lluvia precipita al cumplirse el 70% del tiempo. Hasta este punto el hietograma presenta intensidades uniformes aumentando hacia el centro del hietograma. El 10% se distribuye al final con una intensidad baja y uniforme.
Tipo 6L	La forma del hietograma presenta tres máximos entre los que se intercalan zonas de poca lluvia. Cada máximo tiene forma aproximada de campana.
Tipo 7L	La forma del hietograma presenta cuatro máximos entre los que se intercalan zonas de poca lluvia. Cada máximo tiene forma aproximada de campana.
Tipo 8L	La lluvia de la tormenta se distribuye aproximadamente igual acumulándose hacia los extremos del hietograma.

Fuente: el autor

En cada estación se analizaron 40 tormentas máximas anuales. Algunas de ellas conformaron comportamientos de corta o larga duración o no encajaron en ningún comportamiento. En el Cuadro 5.3 se muestra el resumen de los distintos tipos de hietogramas característicos de corta y larga duración obtenidos por estación, sus duraciones promedio, su clasificación según los Cuadros 5.1 y 5.2, la cantidad de tormentas que presentaron el comportamiento de dicho hietograma característico y los porcentajes que representan esas tormentas del total de 40 tormentas por estación. Las tormentas que no pertenecen a ningún tipo de hietograma característico se clasifican como N.P.

Cuadro 5.3. Resumen de clasificación de tormentas de todas las estaciones.

Estación	Categoría según duración	Duración [min]	Tipo de hietograma	Número de tormentas	Total de tormentas	Porcentaje del total de tormentas
Sanatorio Durán	C.D.	410	1C	15	26	57,7
		450	2C	3		11,5
	N.P.	-----	8	30,8		
	L.D.	1000	1La	6	14	42,9
		1210	4L	6		42,9
1340		2L	2	14,2		
San Rafael de Tapantí	C.D.	350	4C	16	29	55,2
		420	1C	3		10,3
		370	5C	6		20,7
	N.P.	-----	4	13,8		
	L.D.	1440	3L	8	11	72,7
1010		6L	3	27,3		
El Cañón	C.D.	520	1C	8	23	34,8
		480	3C	7		30,4
		650	7C	2		8,7
	N.P.	-----	6	26,1		
	L.D.	1360	3L	13	17	76,5
N.P.		-----	4	23,5		
El Humo	C.D.	430	5C	9	26	34,6
		340	4C	12		46,2
	N.P.	-----	5	19,2		
	L.D.	1400	3L	11	14	78,6
N.P.		-----	3	21,4		
Embalse - El Llano	C.D.	380	4C	17	31	54,8
		420	5C	7		22,6
	N.P.	-----	7	22,6		
	L.D.	1440	3L	6	9	66,7
		900	5L	2		22,2
N.P.	-----	1	11,1			
Villa Mills	C.D.	570	1C	12	25	48,0
		640	5C	5		20,0
	N.P.	-----	8	32,0		
	L.D.	1260	1L	4	15	26,7
		1260	2L	7		46,6
N.P.	-----	4	26,7			
Tres de Junio	C.D.	460	4C	6	17	35,3
		530	5C	9		52,9
	N.P.	-----	2	11,8		
	L.D.	1400	3L	13	23	56,6
		1440	1L	7		30,4
N.P.	-----	3	13,0			
La Cangreja	C.D.	440	1C	25	37	67,6
	N.P.	-----	12	32,4		
	L.D.	1240	2L	2	3	66,7
1200		1Lb	1	33,3		

Continuación cuadro 5.3. Resumen de clasificación de tormentas de todas las estaciones.

Estación	Categoría según duración	Duración [min]	Tipo de hietograma	Número de tormentas	Total de tormentas	Porcentaje del total de tormentas
La Suiza	C.D.	470	5C	6	15	40,0
		480	4C	4		26,7
		420	6C	2		13,3
	N.P.		-----	3		20,0
	L.D.	1440	2L	6	25	24,0
		1440	1L	11		44,0
		1150	4L	4		16,0
1350		7L	4	16,0		
Cachí (Plantel)	C.D.	450	1C	6	21	28,6
		450	6C	4		19,0
		300	4C	8		38,1
	N.P.		-----	3		14,3
	L.D.	1440	3L	11	19	57,8
		1320	6L	4		21,1
		1330	4L	4		21,1
Tucurrique	C.D.	380	5C	3	17	17,6
		320	7C	3		17,6
		340	1C	7		41,3
	N.P.		-----	4		23,5
	L.D.	1440	2L	5	23	21,7
		1440	3L	5		21,7
		1350	5L	6		26,2
		1440	8L	4		17,4
N.P.		-----	3		13,0	
San Antonio de Turrialba	C.D.	560	4C	6	8	75,0
		400	1C	2		25,0
	L.D.	1440	3L	10	32	31,2
		1440	6L	6		18,8
		1330	1L	7		21,9
		1440	8L	6		18,8
N.P.		-----	3		9,3	
Oriente	C.D.	470	1C	6	28	21,4
		330	4C	10		35,7
		350	6C	5		17,9
	N.P.		-----	7		25,0
	L.D.	1440	3L	8	12	66,7
		1440	2L	3		25,0
N.P.		-----	1		8,3	
Sitio de Presa Tapantí	C.D.	400	4C	13	24	54,2
		340	7C	2		8,3
		470	1C	6		25,0
	N.P.		-----	3		12,5
	L.D.	1440	1L	13	16	81,3
	N.P.		-----	3		18,7

Fuente: el autor.

En el Cuadro 5.4 se presentan la cantidad total de tormentas de corta y larga duración tomando en cuenta todas las estaciones. El número que no está entre paréntesis representa el total de tormentas que presentaron alguno de los tipos de comportamientos descritos en los Cuadros 5.1 y 5.2. Los datos entre paréntesis representan el total de tormentas de corta o larga duración analizadas; estos suman 560 que es el número total de tormentas analizadas. Finalmente se presenta el tiempo promedio tomando en cuenta todos los hietogramas característicos de corta y larga duración por separado.

Cuadro 5.4. Cantidad de tormentas de corta y larga duración y tiempos promedio de los hietogramas de corta y larga duración.

	Cantidad total de tormentas C.D.	Cantidad total de tormentas L.D.
Total tormentas	255 (327)	208 (233)
Tiempo promedio [min]	435	1334

Fuente: el autor

En el Cuadro 5.5 se presenta la cantidad de estaciones que tienen determinado tipo de hietograma característico y el total de tormentas de todas las estaciones que se ajustan a determinado tipo de hietograma.

Cuadro 5.5. Distribución de hietogramas característicos por estación y cantidad de tormentas que presentan determinado comportamiento.

	Comportamientos corta duración									
	Tipo 1C	Tipo 2C	Tipo 3C	Tipo 4C	Tipo 5C	Tipo 6C	Tipo 7C			
Cantidad de estaciones	10	1	1	9	7	3	3			
Cantidad de tormentas	90	3	7	92	45	11	7			
	Comportamientos larga duración									
	Tipo 1L	Tipo 1La	Tipo 1Lb	Tipo 2L	Tipo 3L	Tipo 4L	Tipo 5L	Tipo 6L	Tipo 7L	Tipo 8L
Cantidad de estaciones	5	1	1	6	8	3	2	3	1	2
Cantidad de tormentas	42	6	1	25	85	14	8	13	4	10

Fuente: el autor

Se muestran a continuación los hietogramas característicos de todas las estaciones. En el Cuadro 5.3 se pueden observar la cantidad de tormentas que conforman cada hietograma característico.

5.1 73011 Sanatorio Durán

Hietogramas corta duración

Hay 26 tormentas de corta duración. Se encontraron dos comportamientos característicos. Hay 8 tormentas que no se ajustan a ninguno de los comportamientos y representan 30,8% del total de tormentas.

Tipo 1C

Tiene 15 tormentas que representan 57,7% del total.

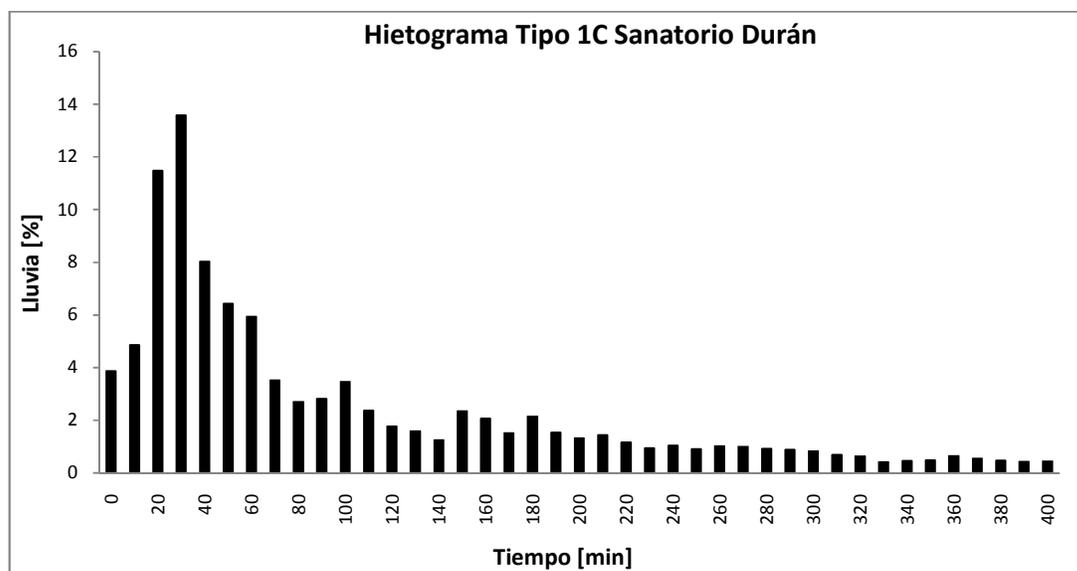


Figura 5.1. Hietograma característico Tipo 1C Sanatorio Durán.

Fuente: el autor.

Tipo 2C

Tiene 3 tormentas que representan 11,5% del total.

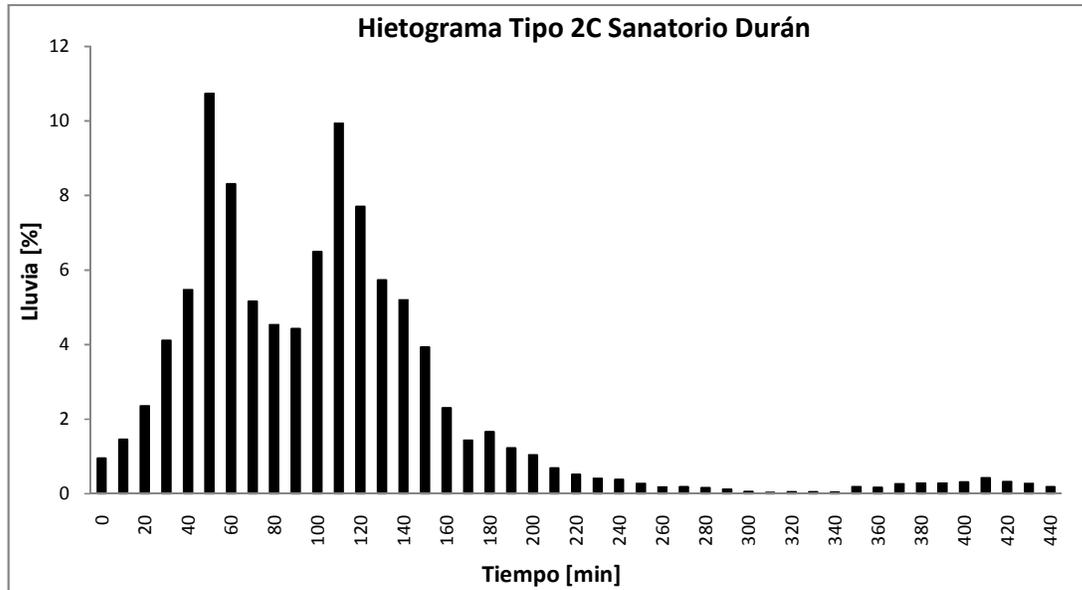


Figura 5.2. Hietograma característico Tipo 2C Sanatorio Durán.

Fuente: el autor.

Hietogramas larga duración

Hay 14 tormentas. Se encontraron tres comportamientos característicos.

Tipo 1La

Tiene 6 tormentas que representan 42,9% del total.

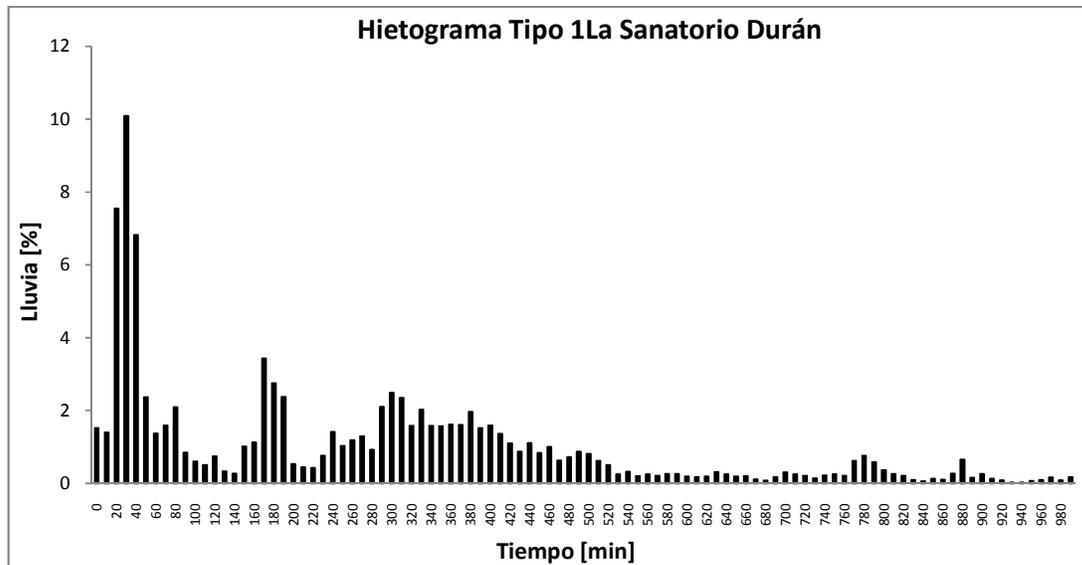


Figura 5.3. Hietograma característico Tipo 1La Sanatorio Durán.

Fuente: el autor.

Tipo 4L

Tiene 6 tormentas que representan 42,9% del total.

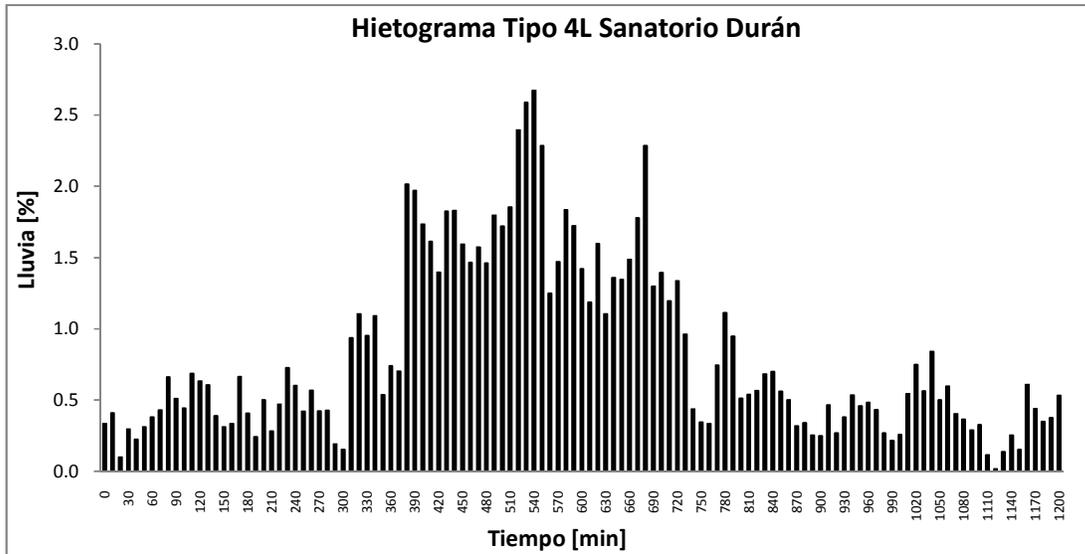


Figura 5.4. Hietograma característico Tipo 4L Sanatorio Durán.

Fuente: el autor.

Tipo 2L

Tiene 2 tormentas que representan 14,2% del total.

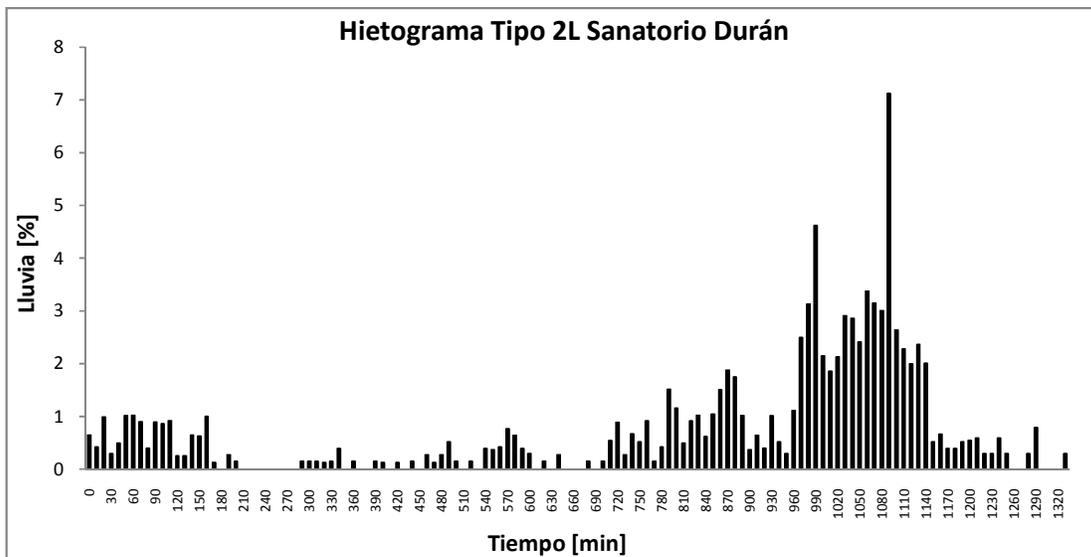


Figura 5.5. Hietograma característico Tipo 2L Sanatorio Durán.

Fuente: el autor.

5.2 73026 San Rafael de Tapantí

Hietogramas corta duración

Hay 29 tormentas de corta duración. Se encontraron tres comportamientos característicos. Hay 4 tormentas que no se ajustan a ningún comportamiento y representan 13,8% del total de tormentas.

Tipo 4C

Tiene 16 tormentas que representan 55,2% del total.

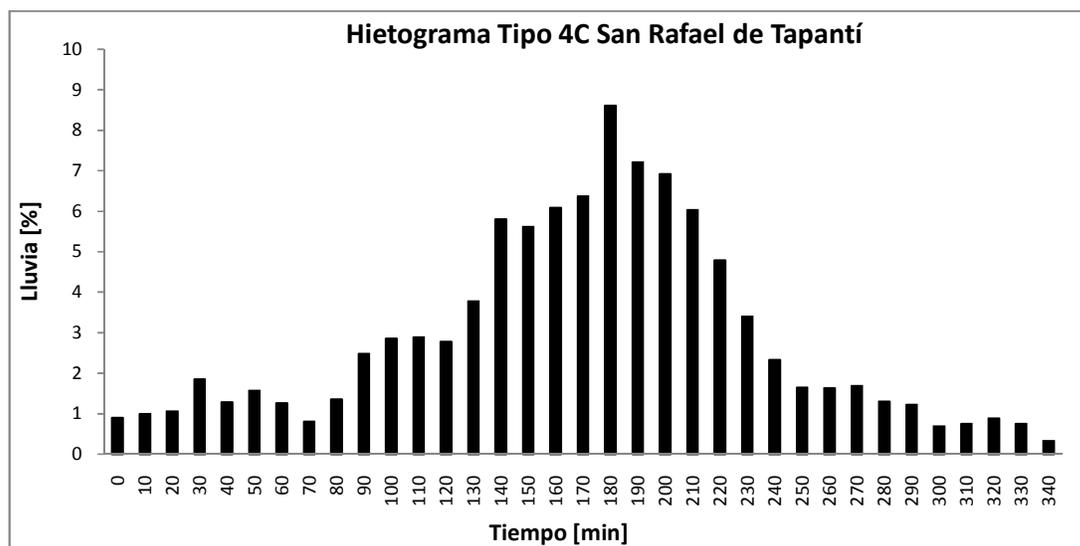


Figura 5.6. Hietograma característico Tipo 4C San Rafael de Tapantí.

Fuente: el autor.

Tipo 1C

Tiene 3 tormentas que representan 10,3% del total.

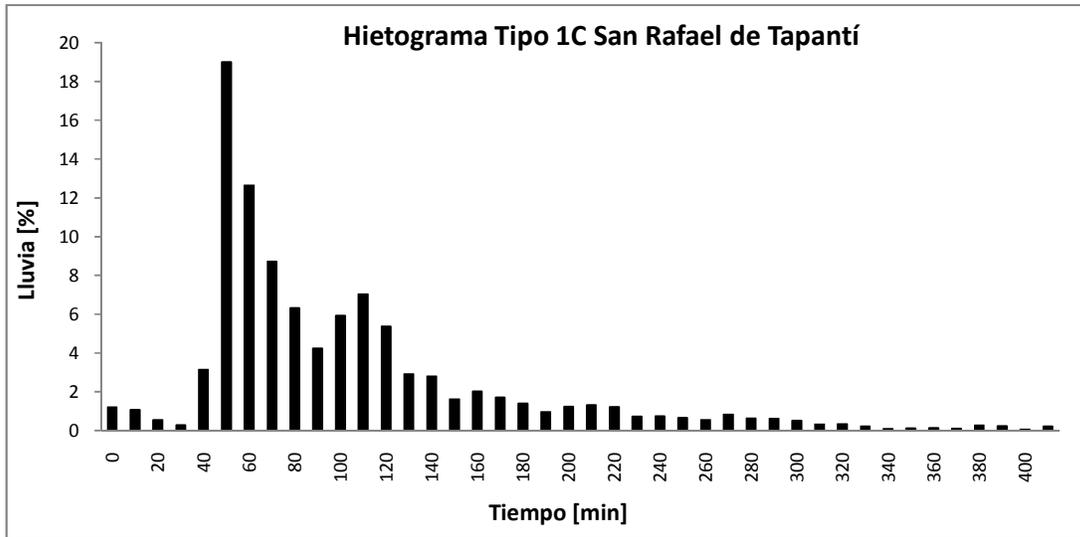


Figura 5.7. Hietograma característico Tipo 1C San Rafael de Tapantí.

Fuente: el autor.

Tipo 5C

Tiene 6 tormentas que representan 20,7% del total.

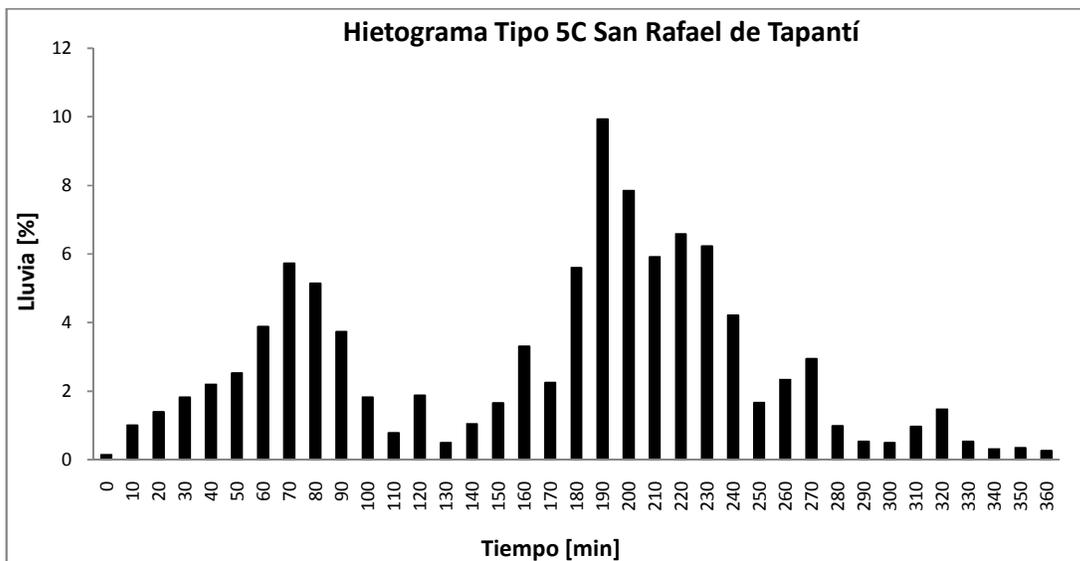


Figura 5.8. Hietograma característico Tipo 5C San Rafael de Tapantí.

Fuente: el autor.

Hietogramas larga duración

Hay 11 tormentas de larga duración. Se encontraron dos comportamientos característicos.

Tipo 3L

Tiene 8 tormentas que representan 72,7% del total.

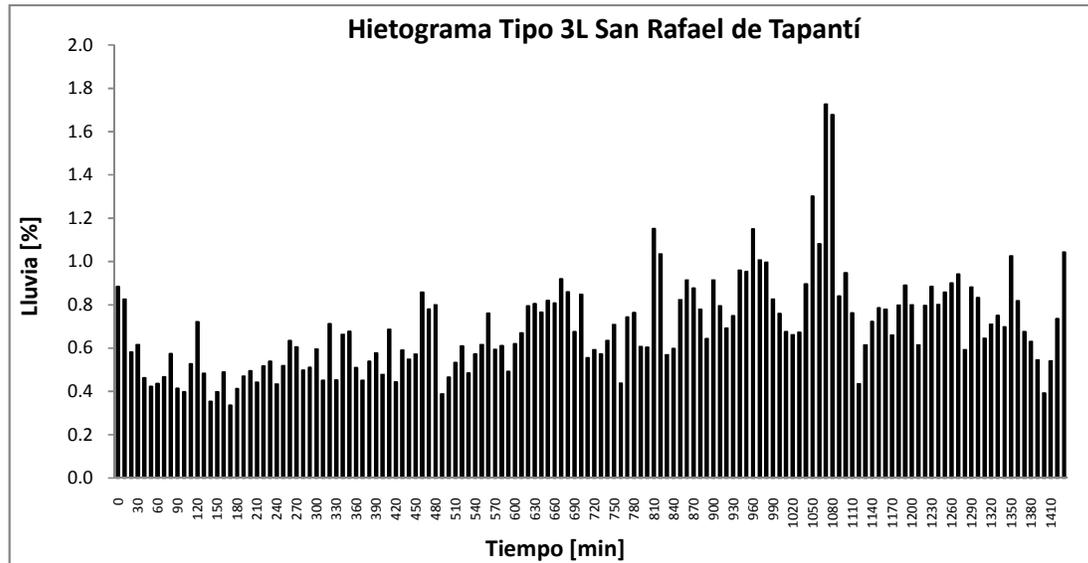


Figura 5.9. Hietograma característico Tipo 3L San Rafael de Tapantí.

Fuente: el autor.

Tipo 6L

Tiene 3 tormentas que representan 27,3% del total.

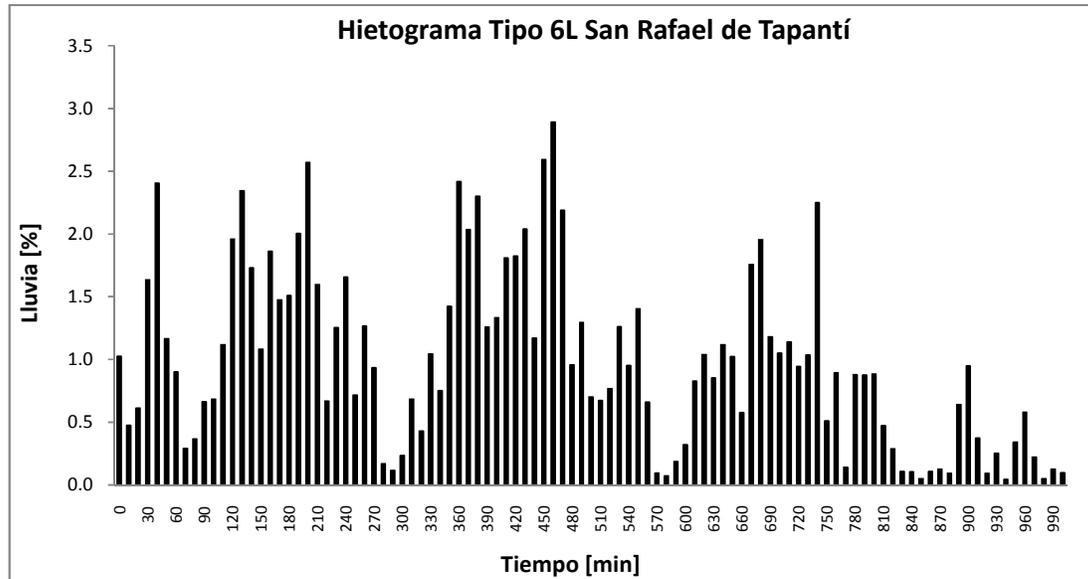


Figura 5.10. Hietograma característico Tipo 6L San Rafael de Tapantí.

Fuente: el autor.

5.3 73027 El Cañón

Hietogramas corta duración

Hay 23 tormentas de corta duración. Se encontraron dos comportamientos característicos. Se menciona un tercer comportamiento que representa un porcentaje muy bajo del total de tormentas (8,7%). Seis tormentas no pertenecen a ninguna familia y representan el 26,1% del total de tormentas.

Tipo 1C

Tiene 8 tormentas que representan 34,8% del total.

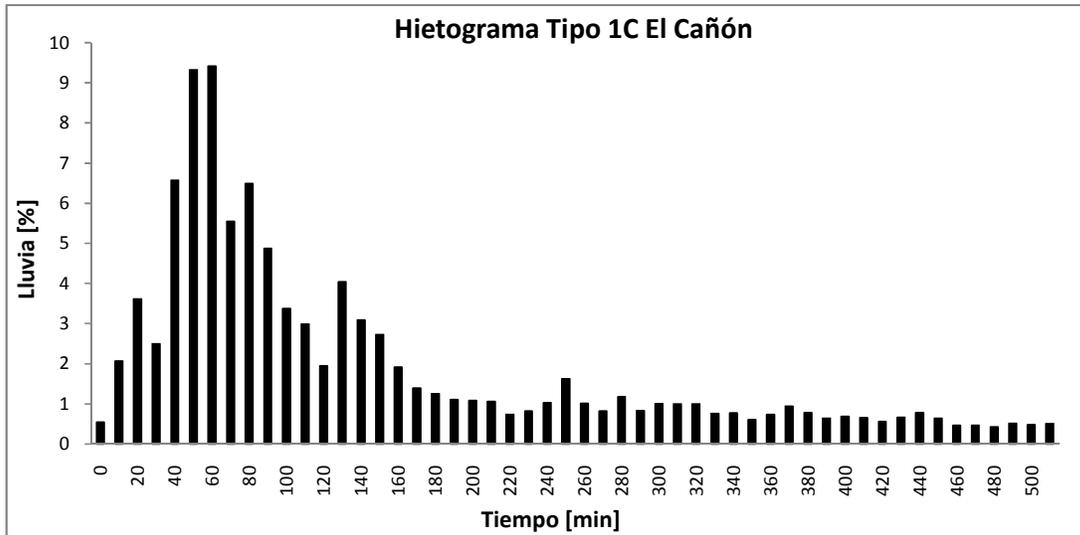


Figura 5.11. Hietograma característico Tipo 1C El Cañón.

Fuente: el autor.

Tipo 3C

Tiene 7 tormentas que representan 30,4% del total.

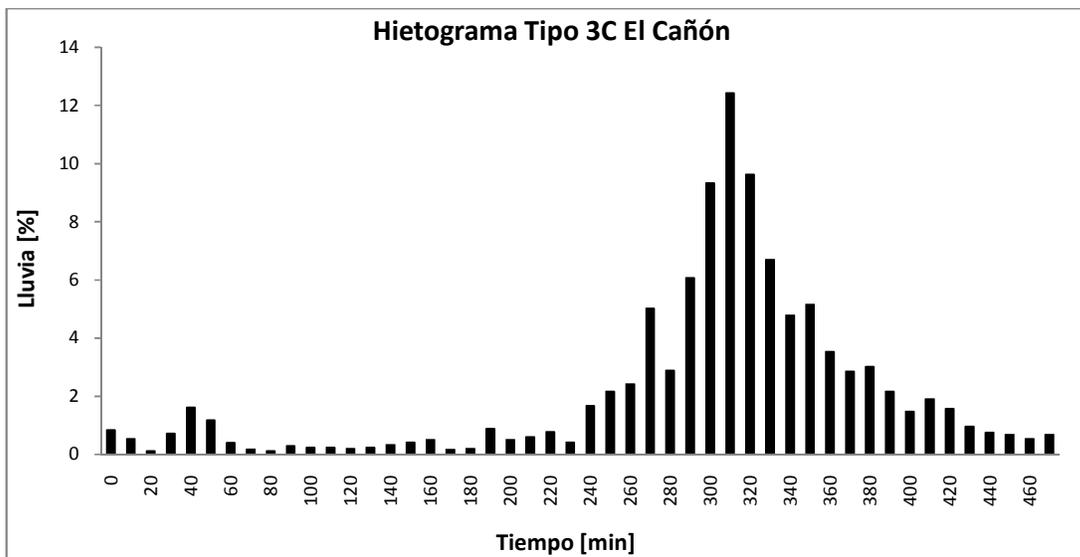


Figura 5.12. Hietograma característico Tipo 3C El Cañón.

Fuente: el autor.

Tipo 7C

Tiene 2 tormentas que representan 8,7% del total. Se debe tomar en cuenta que este hietograma representa un porcentaje bajo del total de tormentas que se dieron en la estación.

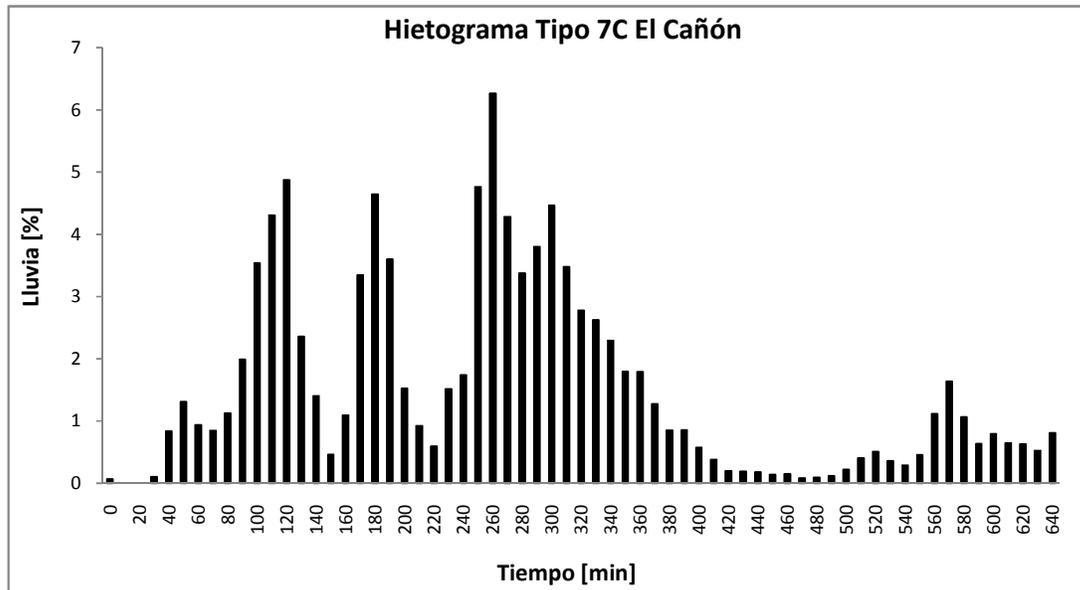


Figura 5.13. Hietograma característico Tipo 7C El Cañón.

Fuente: el autor.

Hietogramas larga duración

Hay 17 tormentas. Se encontró un comportamiento característico con 13 tormentas que representan 76,5% del total. Cuatro tormentas no se ajustan a dicho comportamiento característico y representan 23,5% del total de tormentas.

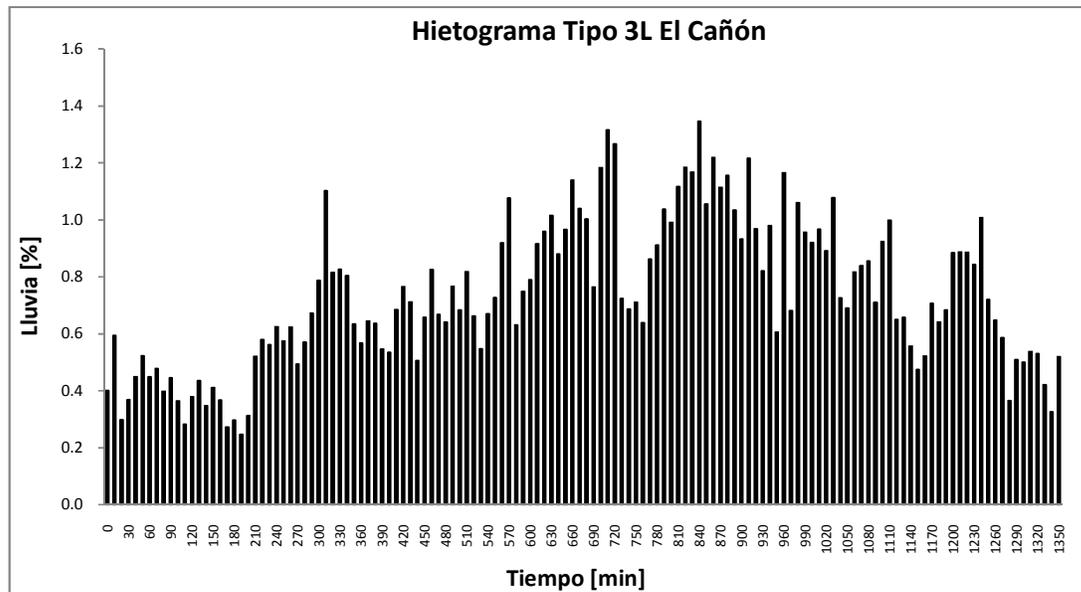


Figura 5.14. Hietograma característico Tipo 3L EL Cañón.

Fuente: el autor.

5.4 73028 El Humo

Hietogramas corta duración

Hay 26 tormentas cortas. Se encontraron dos comportamientos característicos. Cinco tormentas no pertenecen a ninguna familia y representan el 19,2% del total de tormentas.

Tipo 5C

Tiene 9 tormentas que representan 34,6% del total.

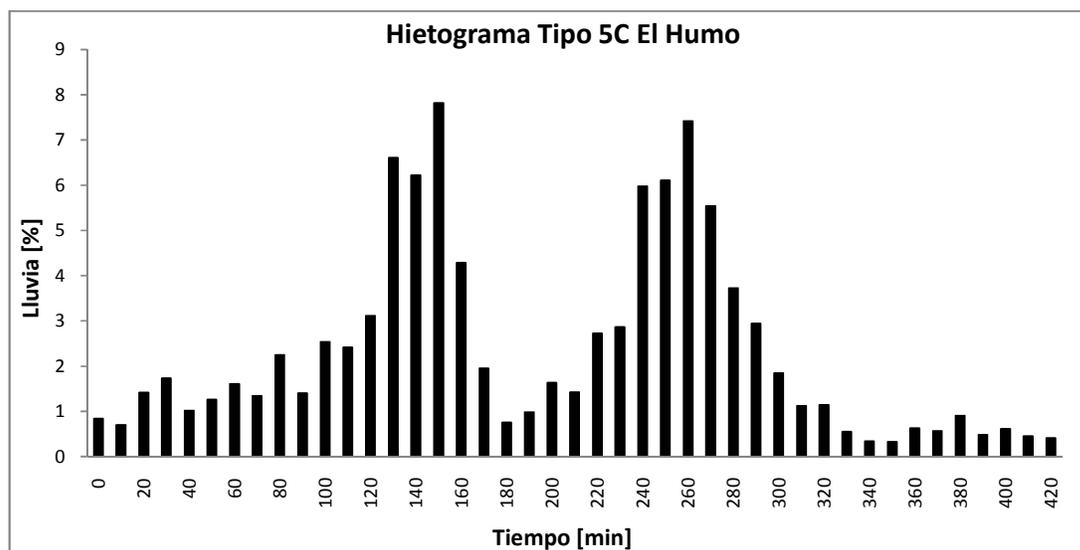


Figura 5.15. Hietograma característico Tipo 5C El Humo.

Fuente: el autor.

Tipo 4C

Tiene 12 tormentas que representan 46,2% del total.

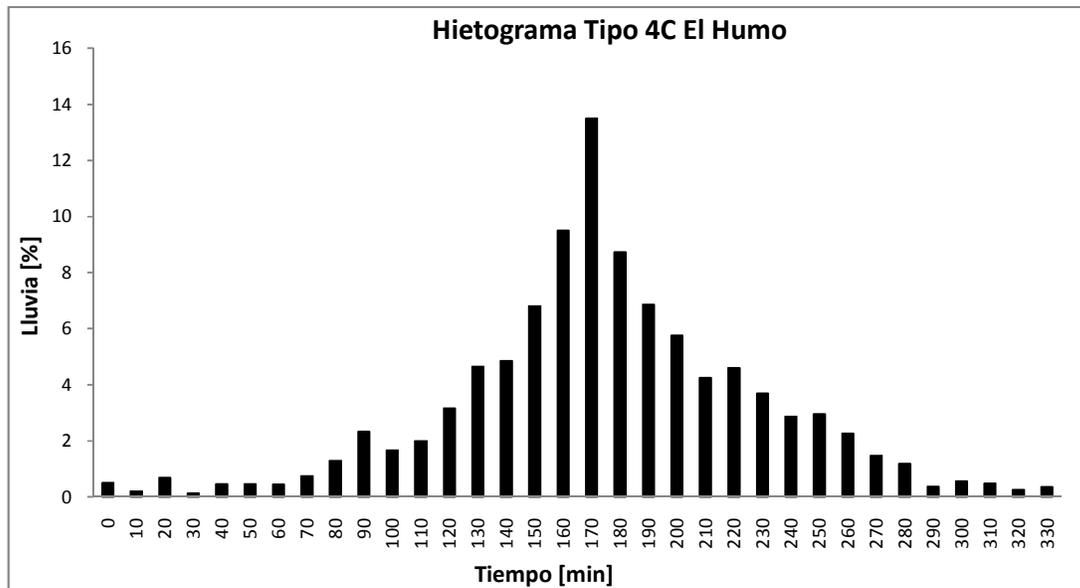


Figura 5.16. Hietograma característico Tipo 4C El Humo.

Fuente: el autor.

Hietogramas larga duración

Hay 14 tormentas de larga duración. Se encontró un comportamiento característico con 11 tormentas que representan un 79% del total. Tres tormentas no concuerdan con este comportamiento y representan 21% del total de tormentas.

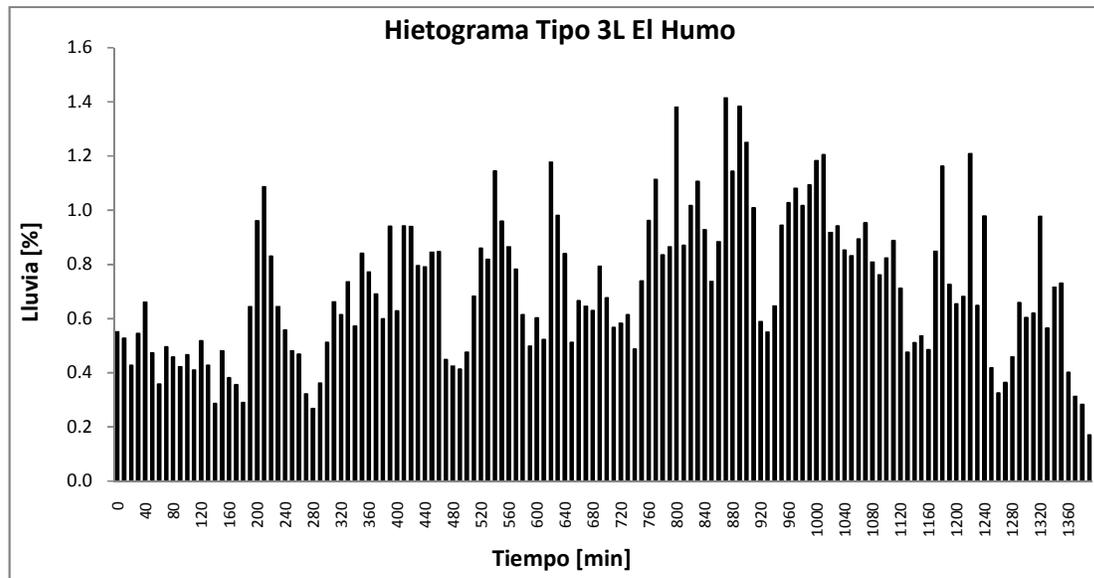


Figura 5.17. Hietograma característico Tipo 3L El Humo.

Fuente: el autor.

5.5 73029 Embalse – El Llano (río Macho)

Hietogramas corta duración

Hay 31 tormentas. Se encontraron dos comportamientos característicos definidos. Hay 7 tormentas que no se ajustan a dichos comportamientos y representan 22,6% del total de tormentas.

Tipo 4C

Tiene 17 tormentas que representan 54,8% del total.

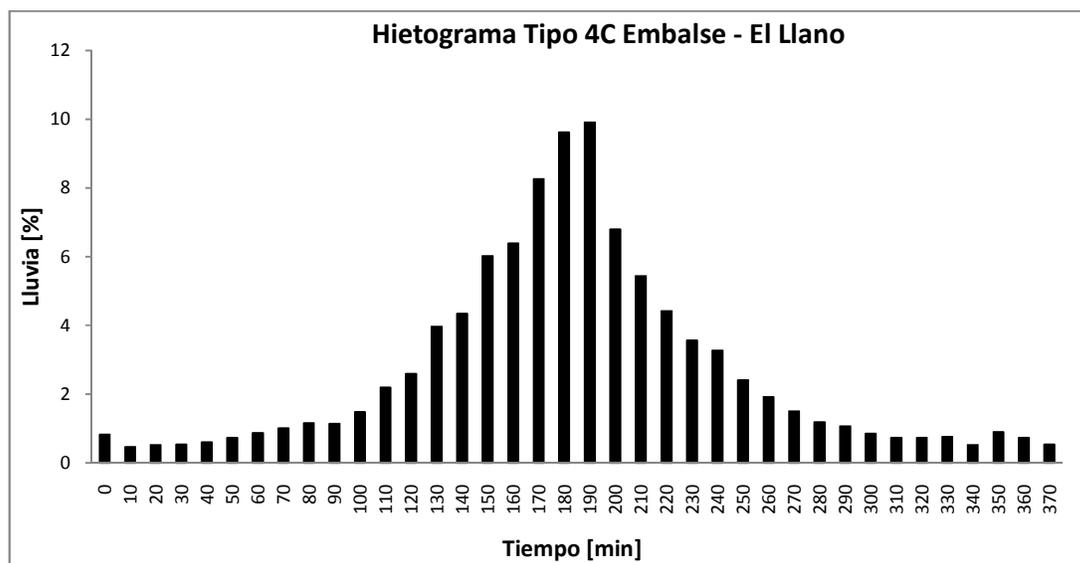


Figura 5.18. Hietograma característico Tipo 4C Embalse - El Llano.

Fuente: el autor.

Tipo 5C

Tiene 7 tormentas que representan 22,6% del total.

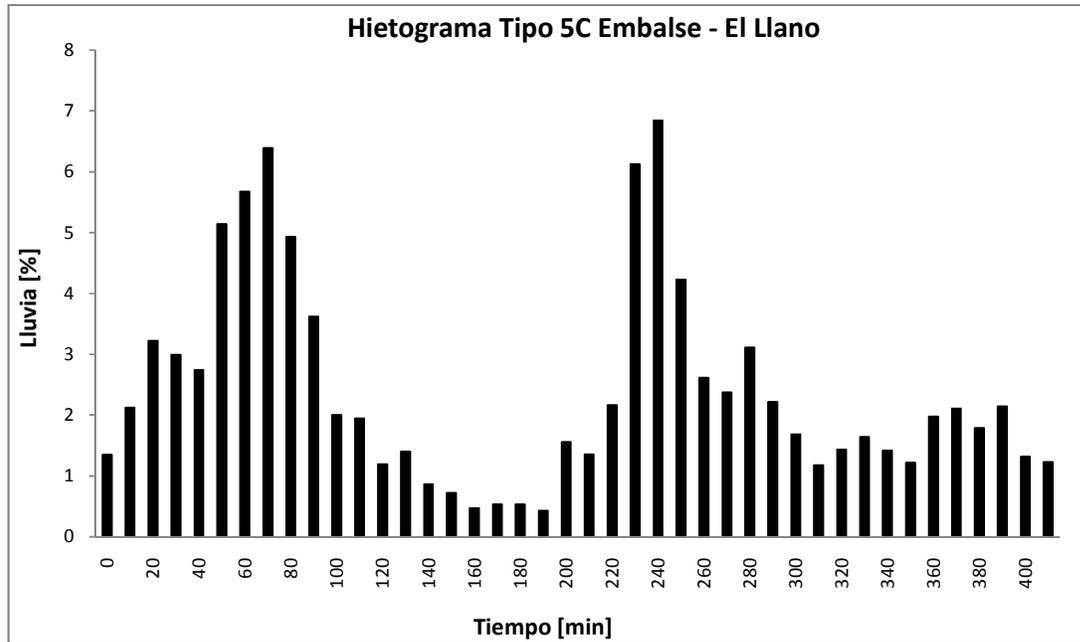


Figura 5.19. Hietograma característico Tipo 5C Embalse - El Llano.

Fuente: el autor.

Hietogramas larga duración

Hay nueve tormentas de larga duración. Se encontraron dos comportamientos característicos. Una tormenta no se ajusta a ningún comportamiento y representa 11,1% del total de tormentas.

Tipo 3L

Tiene 6 tormentas que representan 66,7% del total.

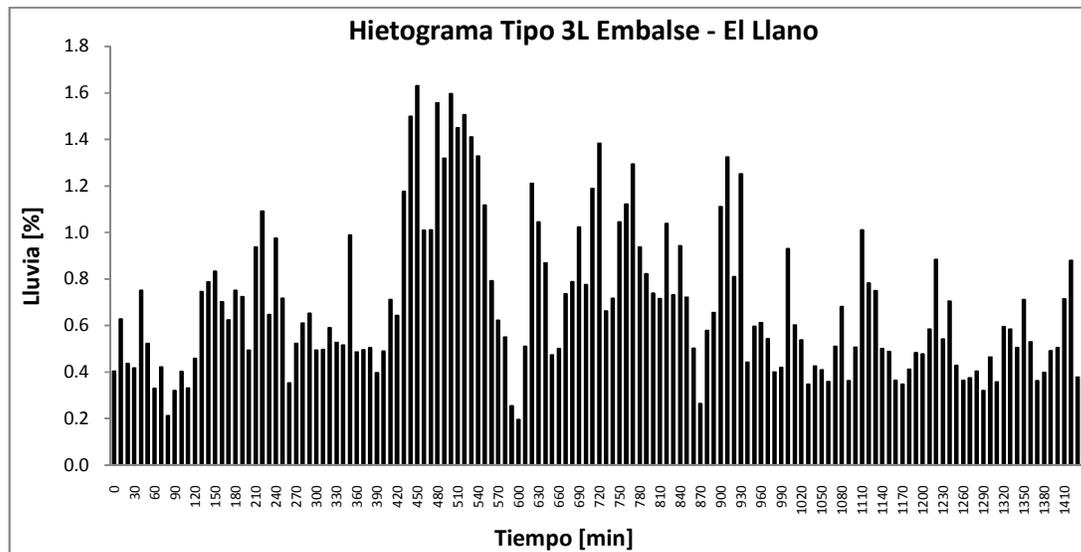


Figura 5.20. Hietograma característico Tipo 3L Embalse - El Llano.

Fuente: el autor.

Tipo 5L

Tiene 2 tormentas que representan 22,2% del total.

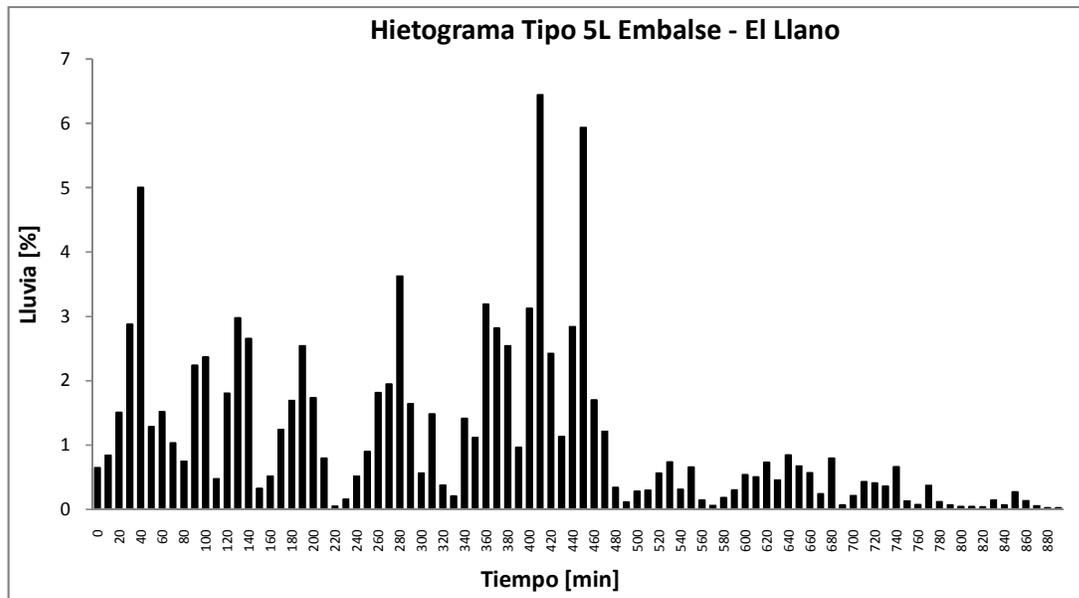


Figura 5.21. Hietograma característico Tipo 5L Embalse - El Llano.

Fuente: el autor.

5.6 73033 Villa Mills

Hietogramas corta duración

Hay 25 tormentas de corta duración. Se encontraron dos comportamientos característicos. Ocho tormentas no se ajustan a ningún comportamiento y representan 32% del total de tormentas.

Tipo 1C

Tiene 12 tormentas que representan 48% del total.

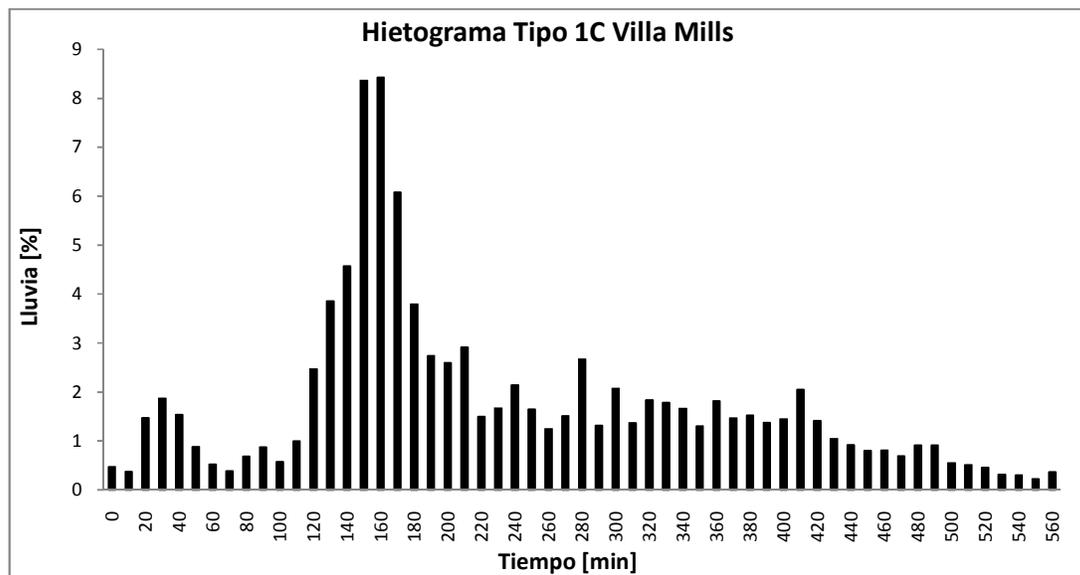


Figura 5.22. Hietograma característico Tipo 1C Villa Mills.

Fuente: el autor.

Tipo 5C

Tiene 5 tormentas que representan 20% del total.

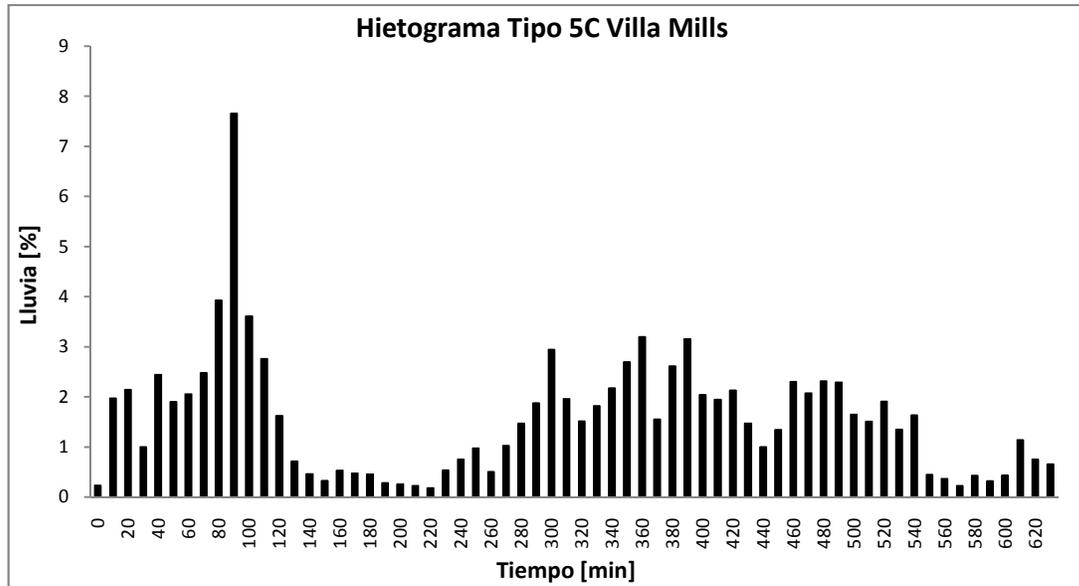


Figura 5.23. Hietograma característico Tipo 5C Villa Mills.

Fuente: el autor.

Hietogramas larga duración

Hay 15 tormentas de larga duración. Se encontraron dos comportamientos característicos. Cuatro tormentas no se identificaron con los comportamientos característicos y representan 26,7% del total de tormentas.

Tipo 1L

Tiene 4 tormentas que representan 26,7% del total.

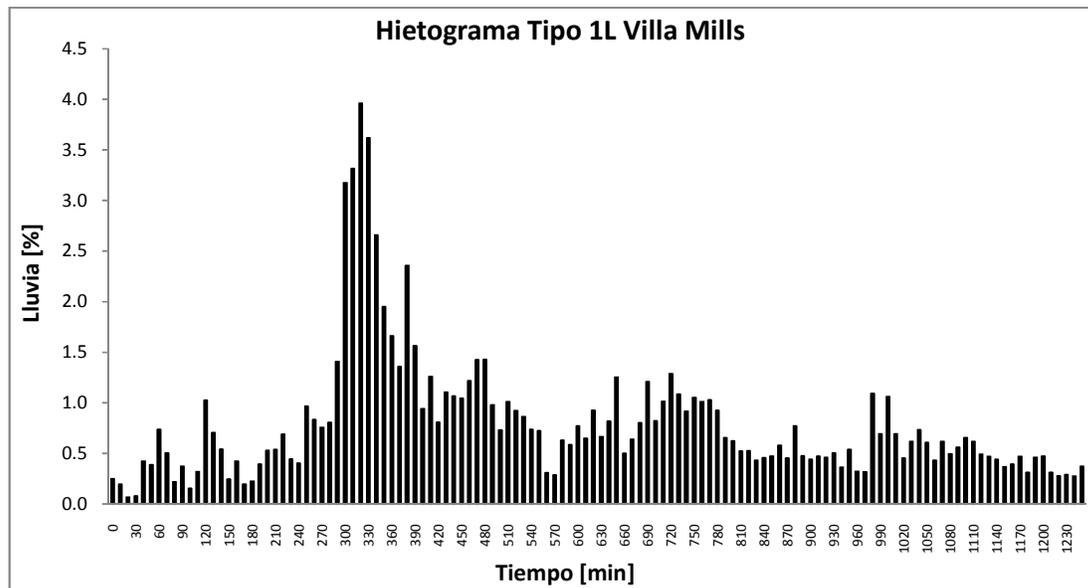


Figura 5.24. Hietograma característico Tipo 1L Villa Mills.

Fuente: el autor.

Tipo 2L

Tiene 7 tormentas que representan 46,6% del total.

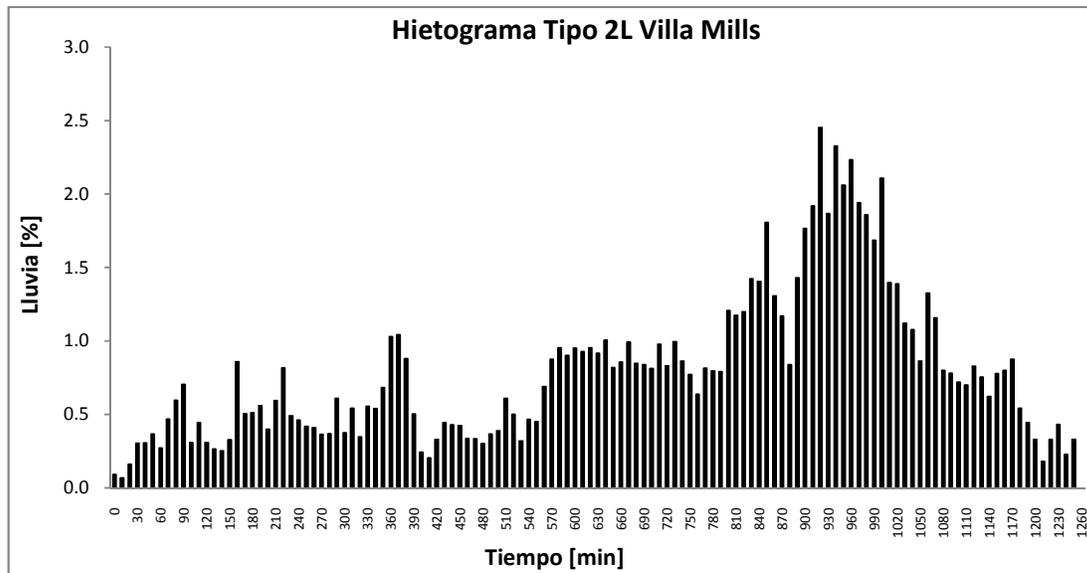


Figura 5.25. Hietograma característico Tipo 2L Villa Mills.

Fuente: el autor.

5.7 73039 Tres de Junio

Hietogramas corta duración

Hay 17 tormentas de corta duración. Se encontraron dos comportamientos característicos. Hay dos tormentas que no se ajustan a ningún comportamiento, una de ellas se descartó por un error en el comportamiento de la aguja del pluviógrafo. Estas dos tormentas representan el 11,8% del total de tormentas.

Tipo 4C

Tiene 6 tormentas que representan 35,3% del total.

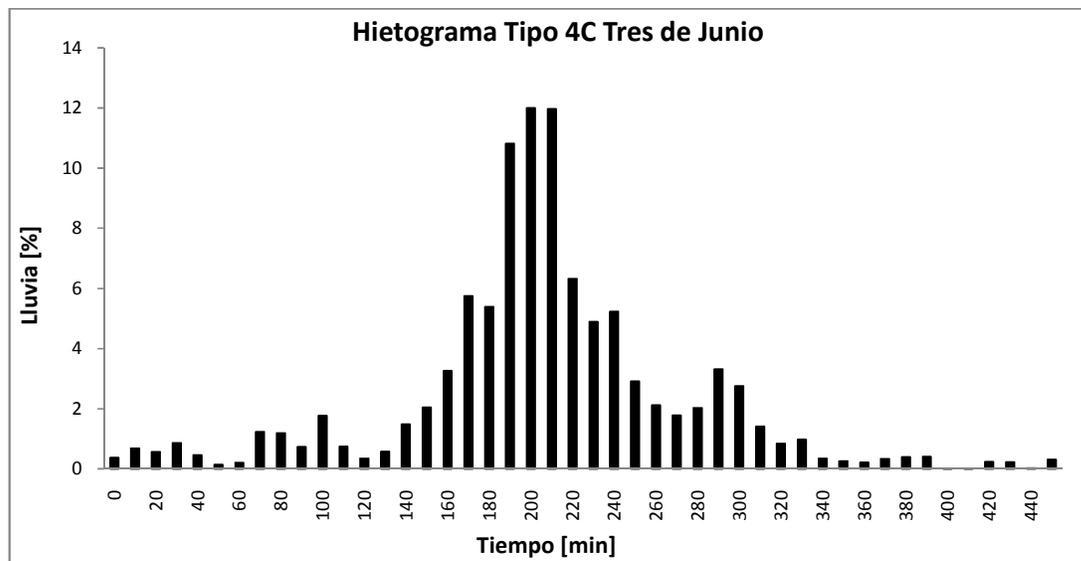


Figura 5.26. Hietograma característico Tipo 4C Tres de Junio.

Fuente: el autor.

Tipo 5C

Tiene 9 tormentas que representan 52,9% del total.

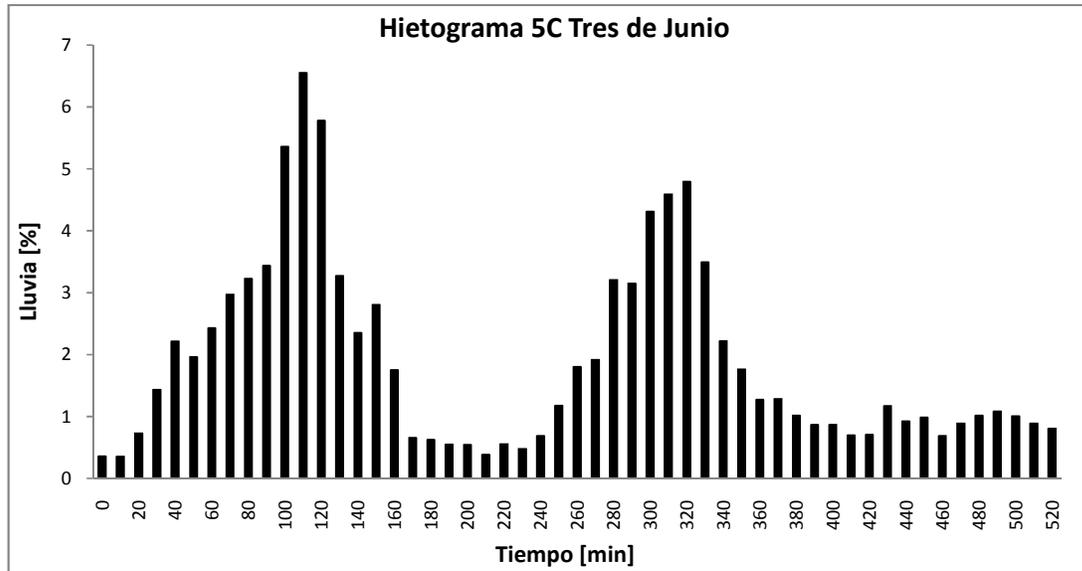


Figura 5.27. Hietograma característico Tipo 5C Tres de Junio.

Fuente: el autor.

Hietogramas larga duración

Hay 23 tormentas de larga duración. Se encontraron 2 comportamientos característicos. Tres tormentas tienen un patrón atípico y representan 13% del total de tormentas.

Tipo 3L

Tiene 13 tormentas que representan 56,6% del total.

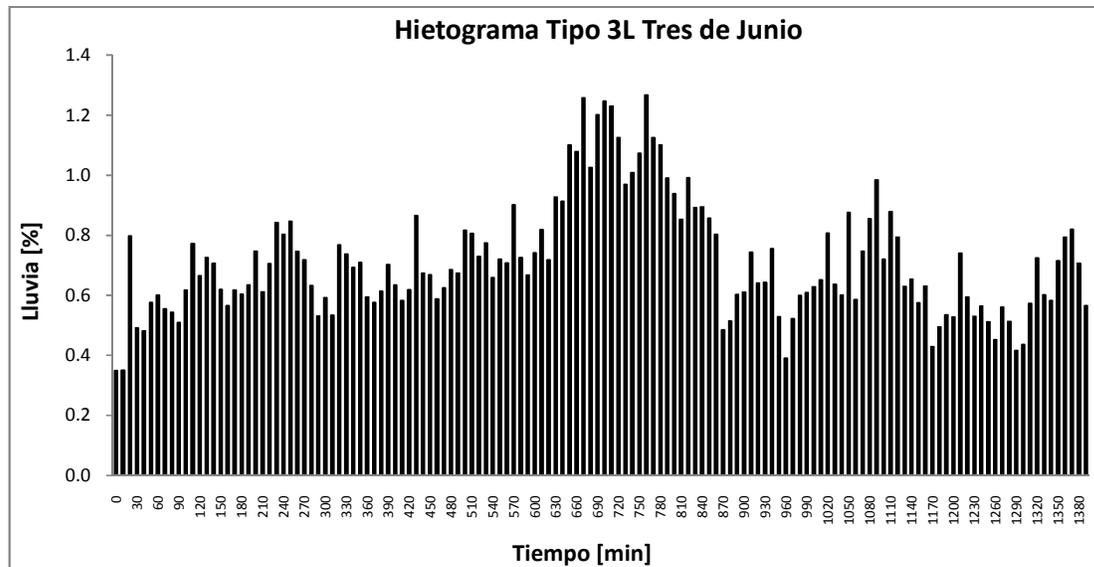


Figura 5.28. Hietograma característico Tipo 3L Tres de Junio.

Fuente: el autor.

Tipo 1L

Tiene 7 tormentas que representan 30,4% del total.

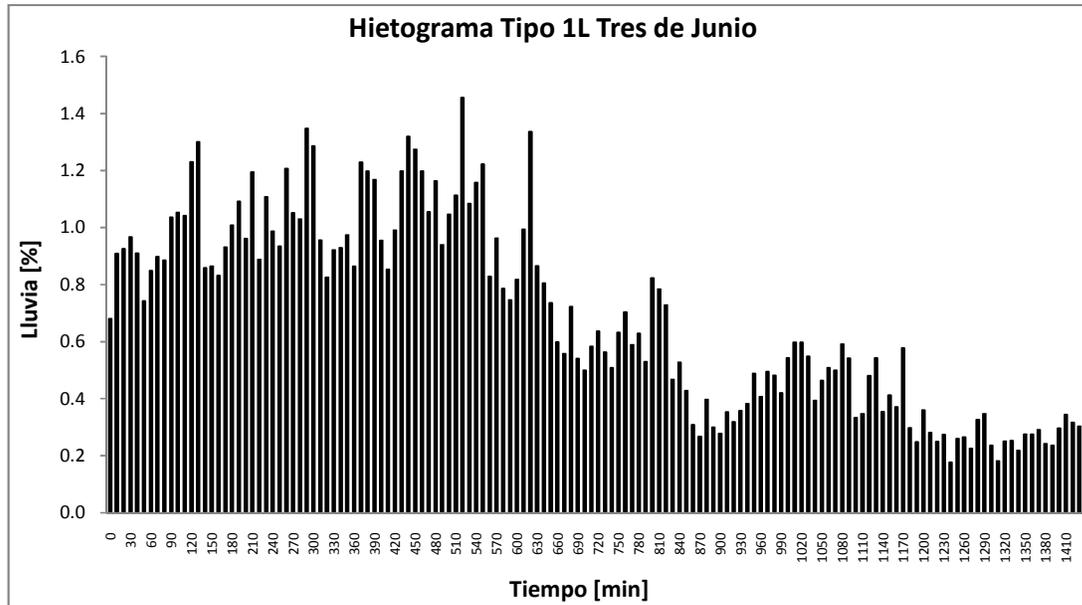


Figura 5.29. Hietograma característico Tipo 1L Tres de Junio.

Fuente: el autor.

5.8 73041 La Cangreja

Hietograma corta duración

Hay 37 tormentas. Se encontró un comportamiento característico con 25 tormentas que representan un 67,6% del total. Doce tormentas no se ajustan a este comportamiento y representan 32,4% del total de tormentas.

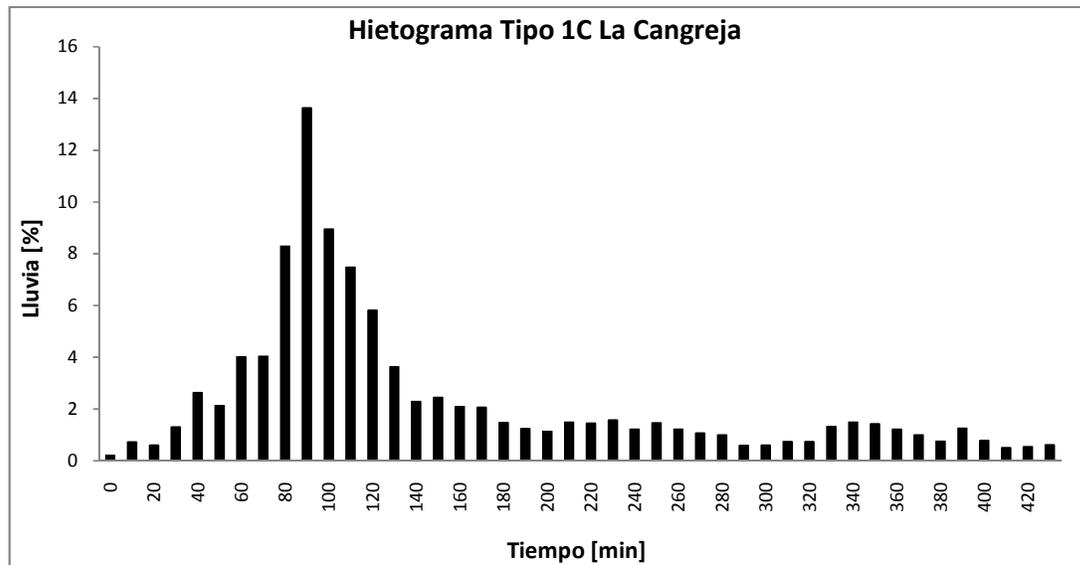


Figura 5.30. Hietograma característico Tipo 1C La Cangreja.

Fuente: el autor.

Hietograma larga duración

Hay 3 tormentas de larga duración. Se encontraron dos comportamientos característicos.

Tipo 2L

Tiene dos tormentas que representan el 66,7% del total.

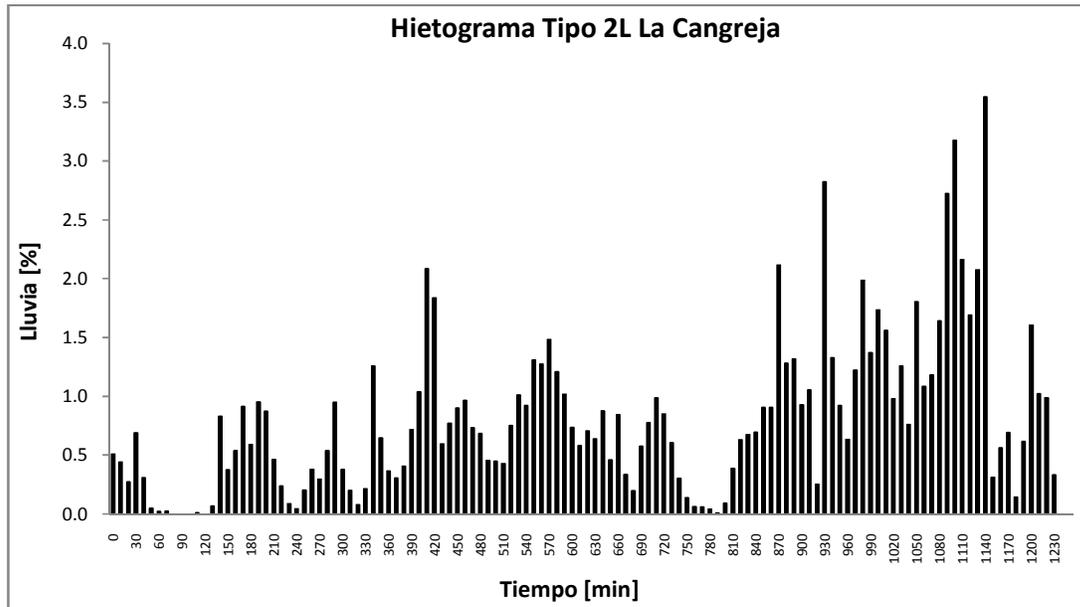


Figura 5.31. Hietograma característico Tipo 2L La Cangreja.

Fuente: el autor.

Tipo 1Lb

Tiene 1 tormenta que corresponde al 15 de julio de 1989. Representa 33,3% del total.

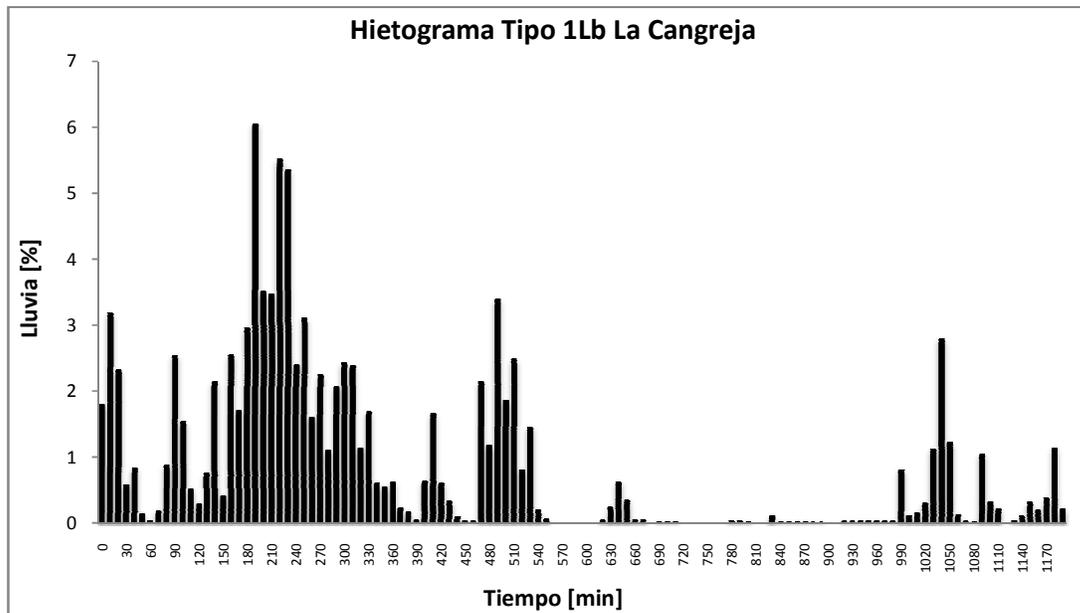


Figura 5.32. Hietograma característico Tipo 1Lb La Cangreja.

Fuente: el autor.

5.9 73044 La Suiza

Hietogramas corta duración

Hay 15 tormentas de corta duración. Se encontraron 3 comportamientos característicos. Tres tormentas no se ajustan a estos comportamientos y representan el 20% del total de tormentas.

Tipo 5C

Tiene 6 tormentas que representan 40% del total.

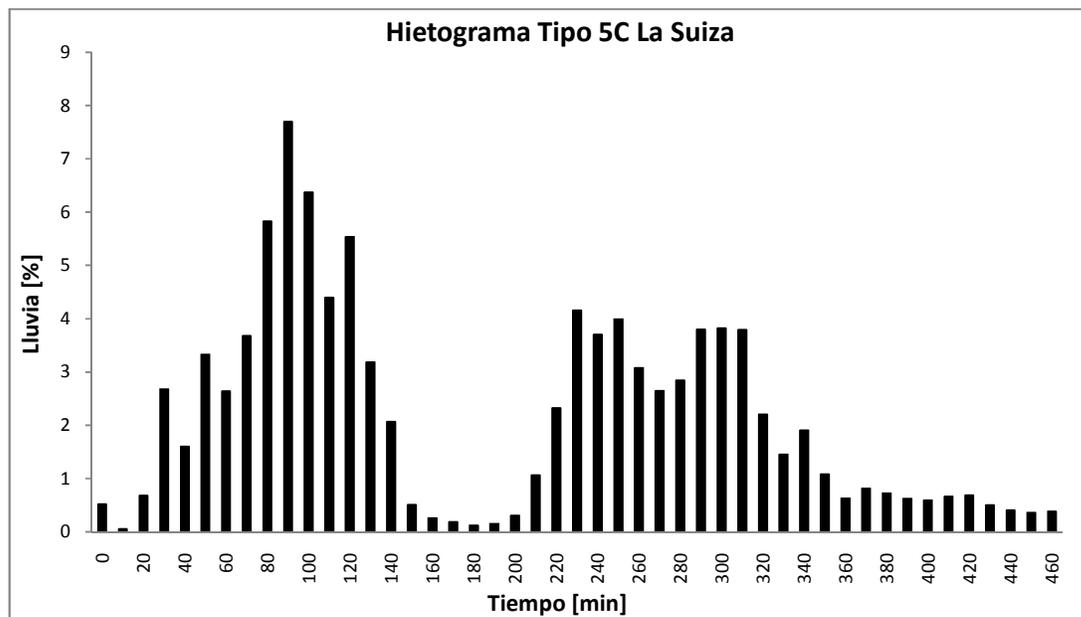


Figura 5.33. Hietograma característico Tipo 5C La Suiza.

Fuente: el autor.

Tipo 4C

Tiene 4 tormentas que representan 26,7% del total.

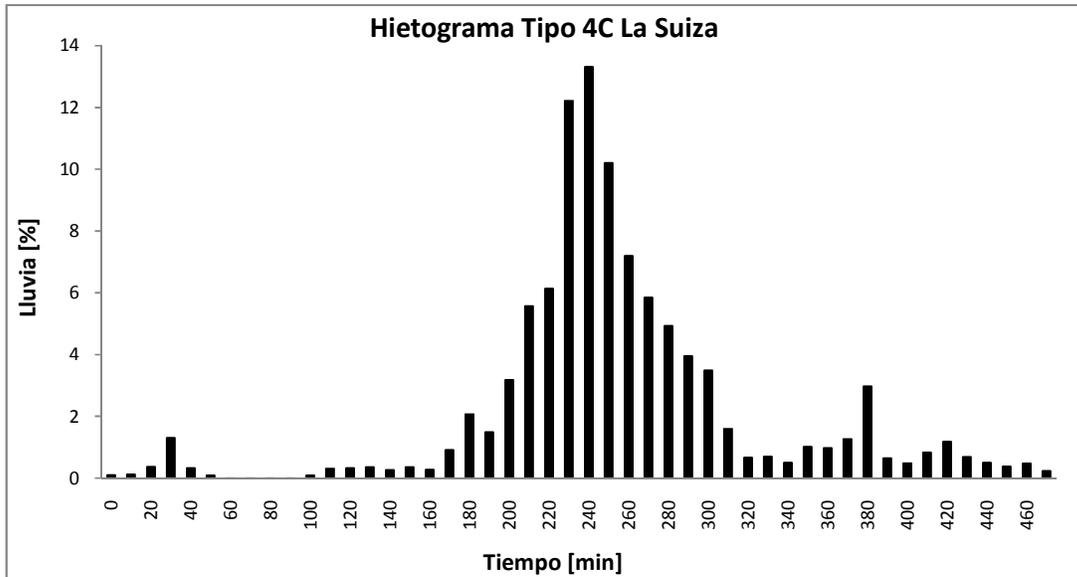


Figura 5.34. Hietograma característico Tipo 4C La Suiza.

Fuente: el autor.

Tipo 6C

Tiene 2 tormentas que representan 13,3% del total.

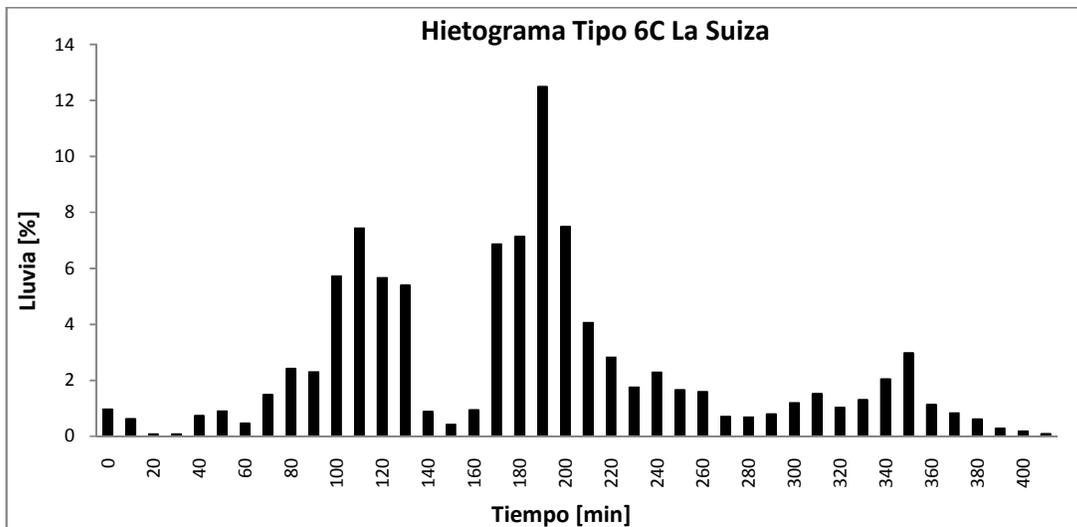


Figura 5.35. Hietograma característico Tipo 6C La Suiza.

Fuente: el autor.

Hietogramas larga duración

Hay 25 tormentas. Se encontraron cuatro comportamientos característicos.

Tipo 2L

Tiene 6 tormentas que representan un 24% del total.

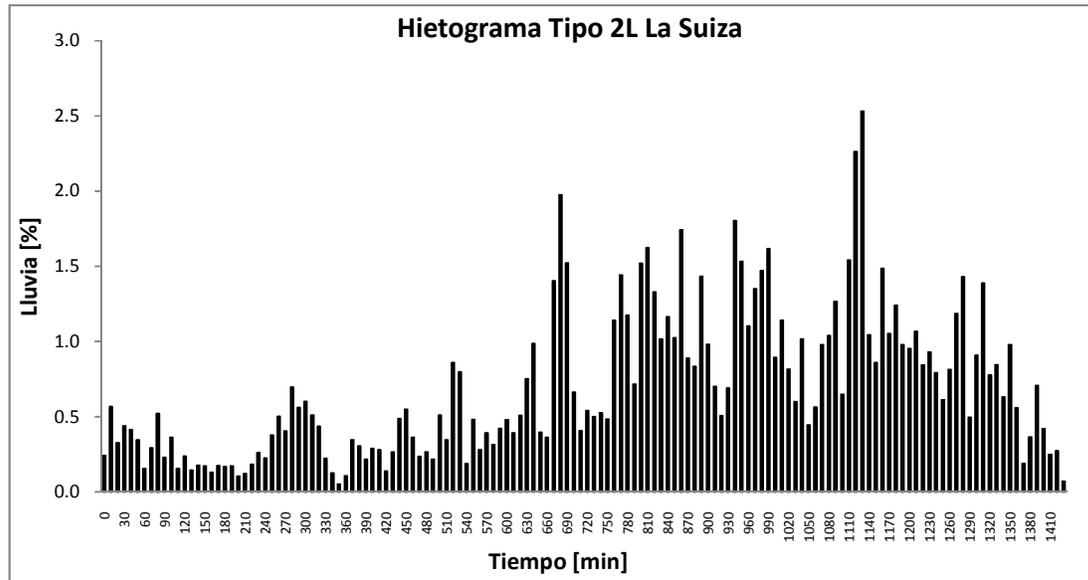


Figura 5.36. Hietograma característico Tipo 2L La Suiza.

Fuente: el autor.

Tipo 1L

Tiene 11 tormentas que representan un 44% del total.

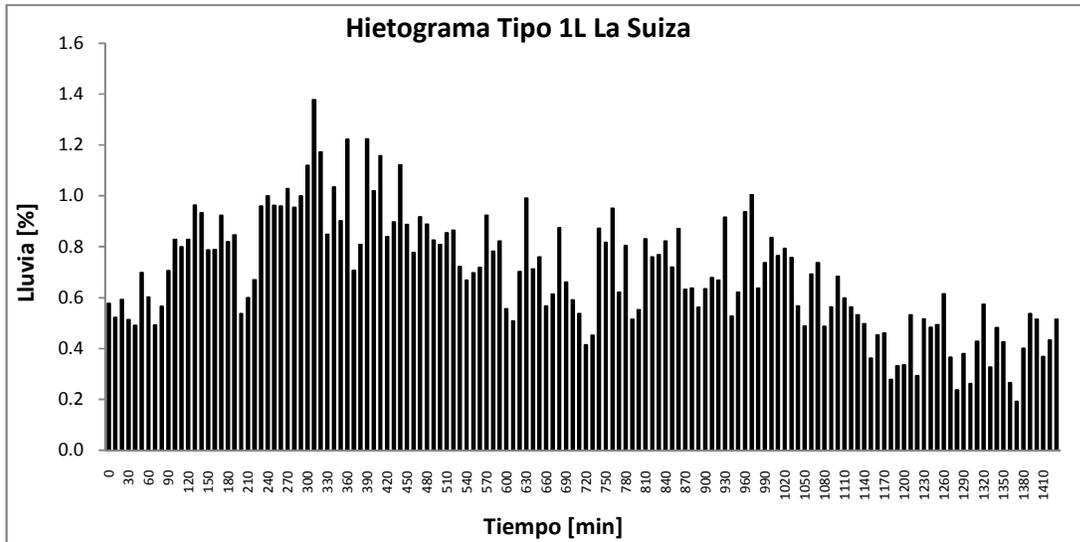


Figura 5.37. Hietograma característico Tipo 1L La Suiza.

Fuente: el autor.

Tipo 4L

Tiene 4 tormentas que representan un 16% del total.

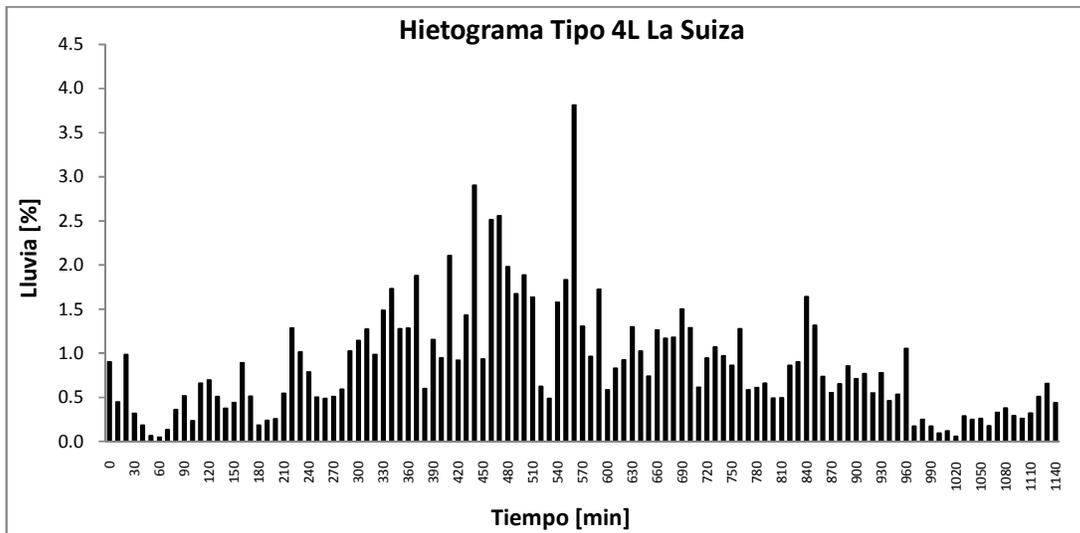


Figura 5.38. Hietograma característico Tipo 4L La Suiza.

Fuente: el autor.

Tipo 7L

Tiene 4 tormentas que representan un 16% del total.

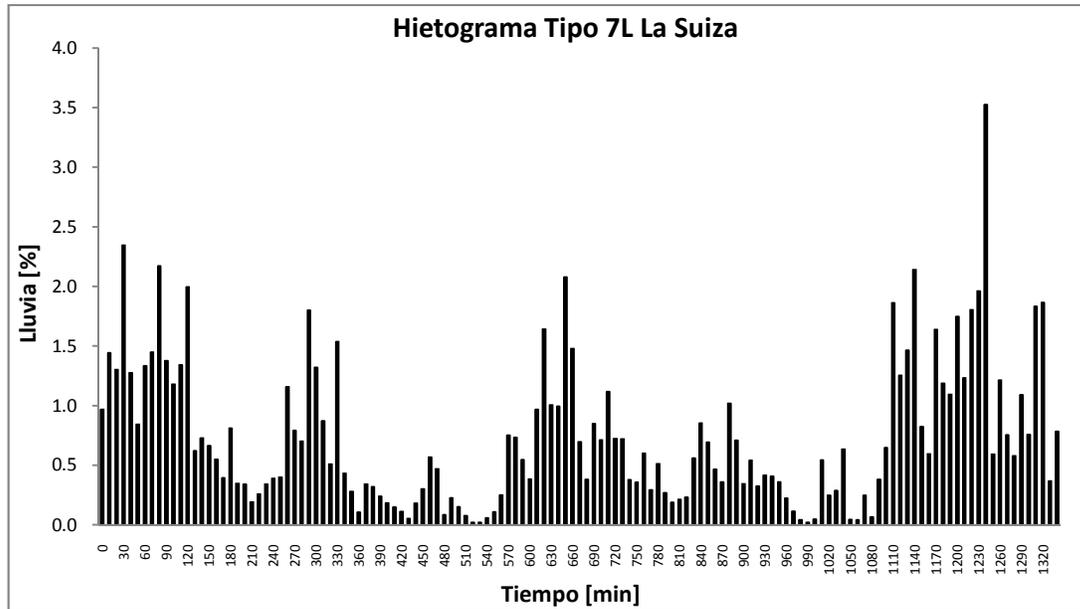


Figura 5.39. Hietograma característico Tipo 7L La Suiza.

Fuente: el autor.

5.10 73046 Cachí (Plantel)

Hietogramas corta duración

Hay 21 tormentas de corta duración. Se encontraron tres comportamientos característicos. Tres tormentas no se ajustan a estos comportamientos y representan 14,3% del total de tormentas.

Tipo 1C

Tiene 6 tormentas que representan el 28,6% del total.

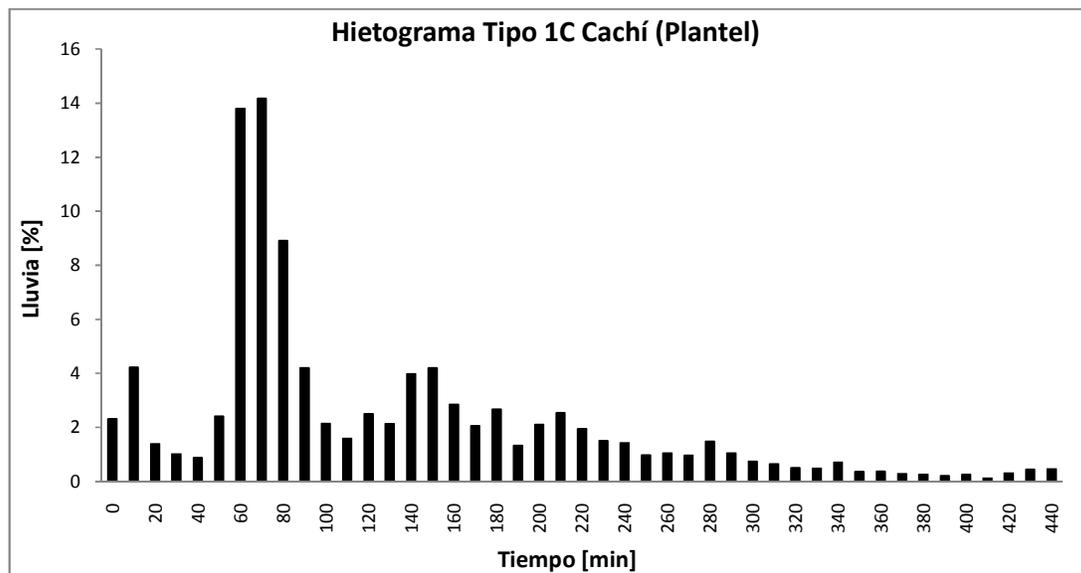


Figura 5.40. Hietograma característico Tipo 1C Cachí (Plantel).

Fuente: el autor.

Tipo 6C

Tiene 4 tormentas que representan el 19% del total.

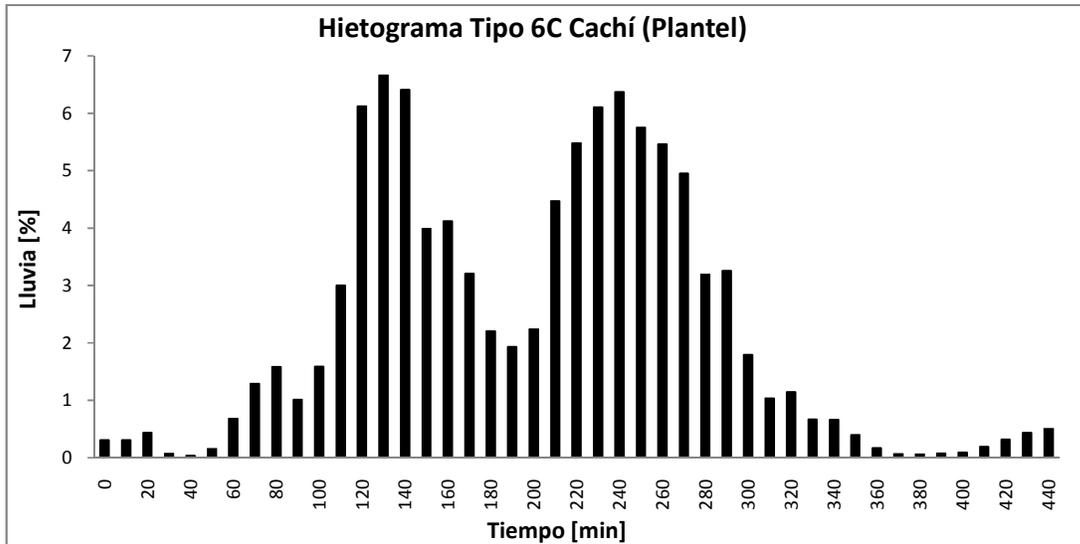


Figura 5.41. Hietograma característico Tipo 6C Cachí (Plantel).

Fuente: el autor.

Tipo 4C

Tiene 8 tormentas que representan el 38,1% del total.

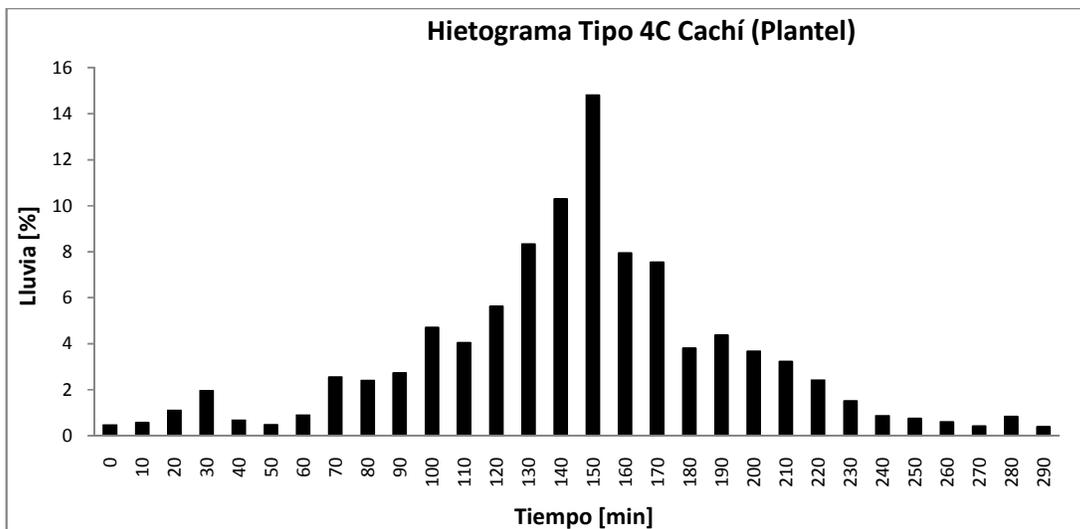


Figura 5.42. Hietograma característico Tipo 4C Cachí.

Fuente: el autor.

Hietogramas larga duración

Hay 19 tormentas de larga duración. Se encontraron tres comportamientos característicos.

Tipo 3L

Tiene 11 tormentas que representan el 57,8% del total.

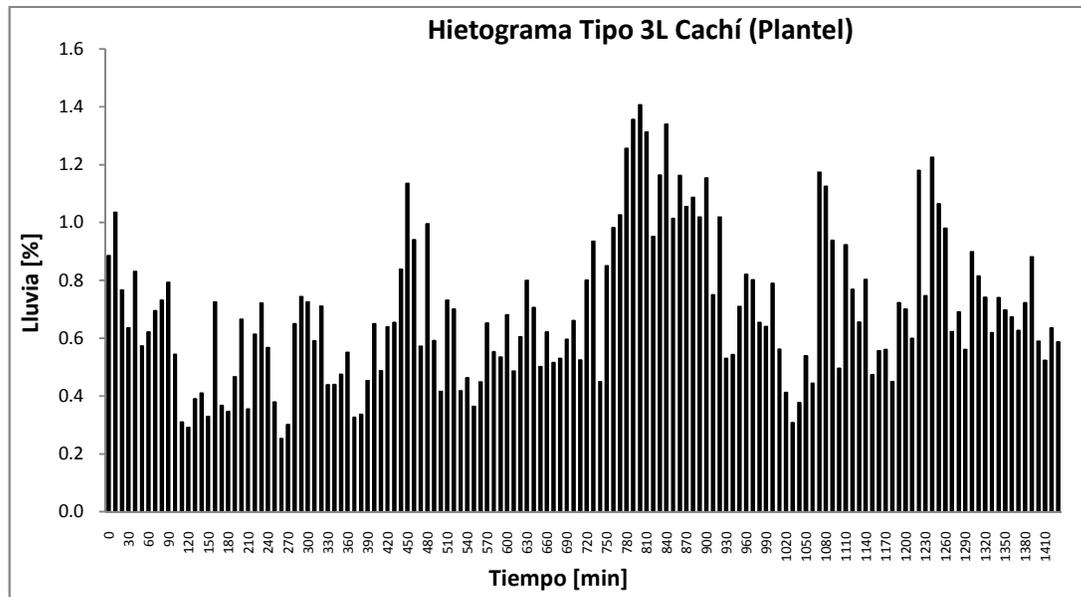


Figura 5.43. Hietograma característico Tipo 3L Cachí (Plantel).

Fuente: el autor.

Tipo 6L

Tiene 4 tormentas que representan el 21,1% del total.

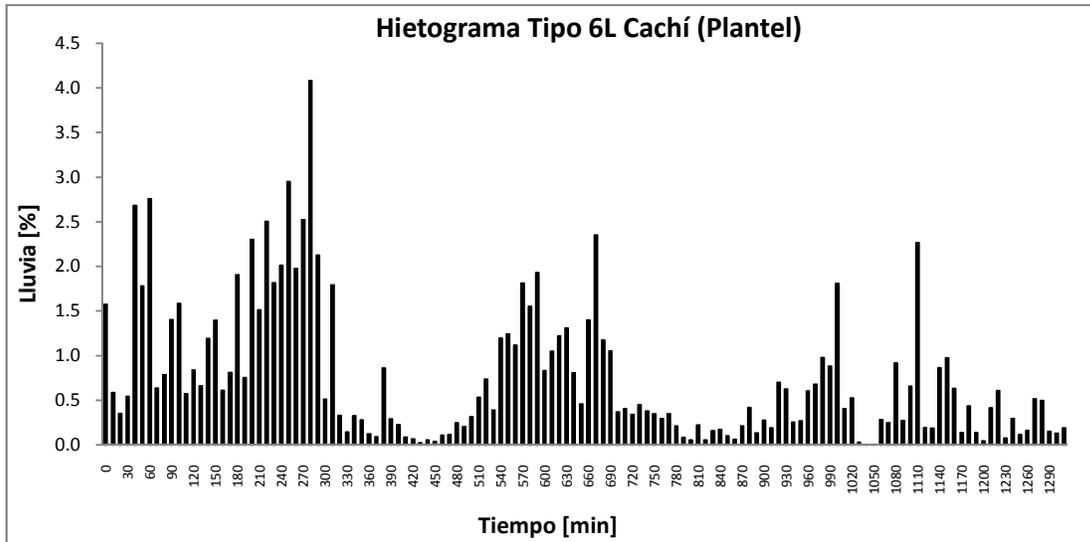


Figura 5.44. Hietograma característico Tipo 6L Cachí.

Fuente: el autor.

Tipo 4L

Tiene 4 tormentas que representan el 21,1% del total.

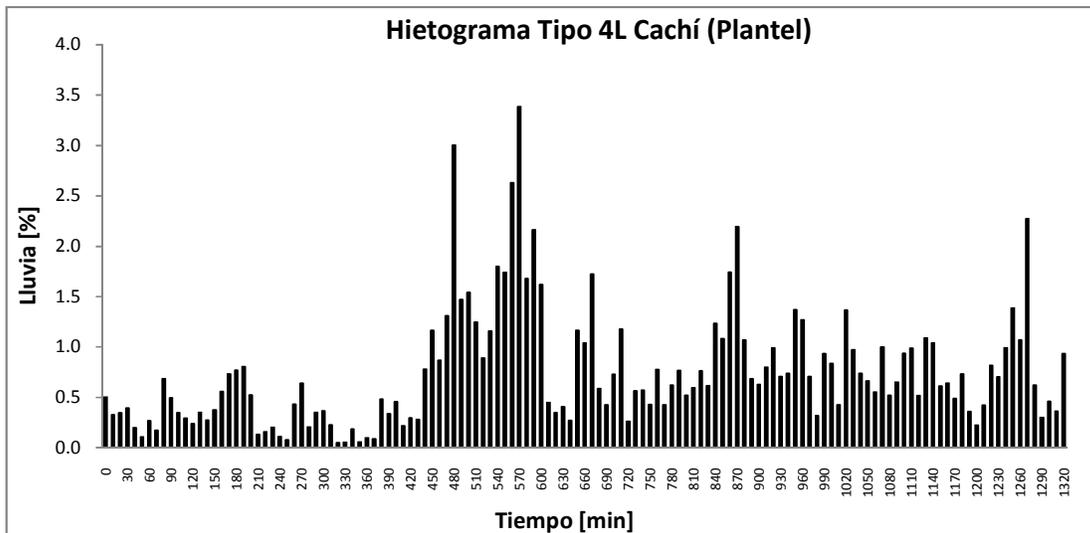


Figura 5.45. Hietograma característico Tipo 4L Cachí.

Fuente: el autor.

5.11 73047 Tucurrique

Hietogramas corta duración

Hay 17 tormentas de corta duración. Se encontraron tres comportamientos característicos. Cuatro tormentas no se ajustan a ningún comportamiento y representan 23,5% del total de tormentas.

Tipo 5C

Tiene 3 tormentas que representan 17,6% del total.

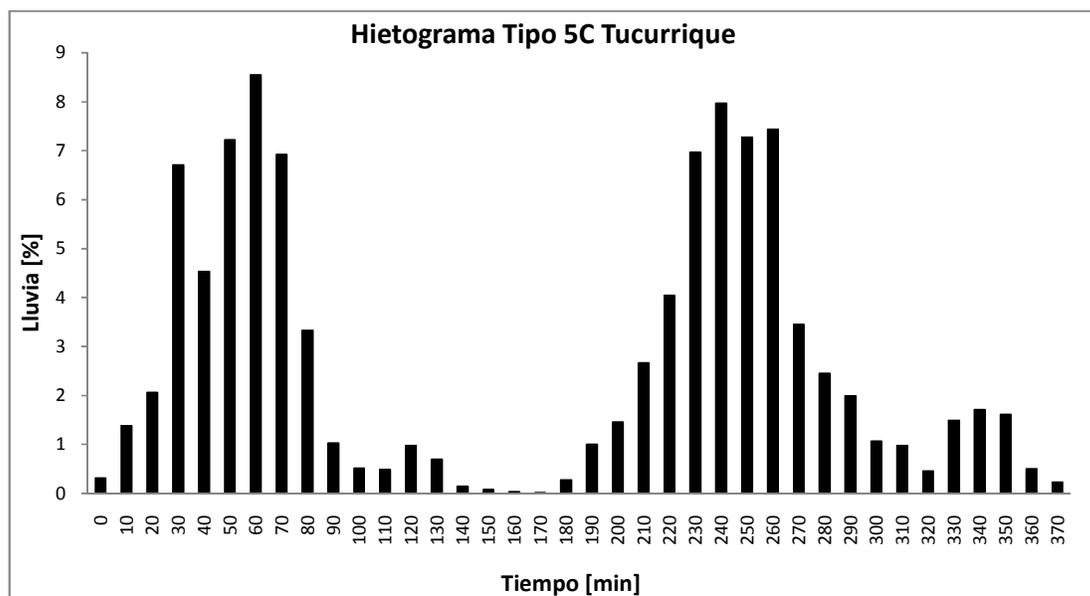


Figura 5.46. Hietograma característico Tipo 5C Tucurrique.

Fuente: el autor.

Tipo 7C

Tiene 3 tormentas que representan 17,6% del total.

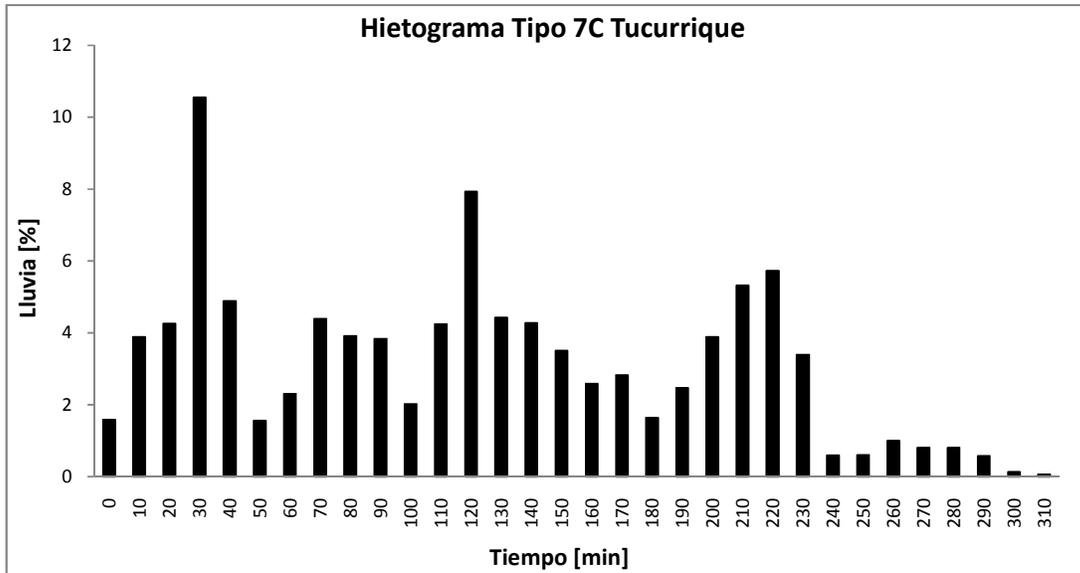


Figura 5.47. Hietograma característico Tipo 7C Tucurrique.

Fuente: el autor.

Tipo 1C

Tiene 7 tormentas que representan 41,3% del total.

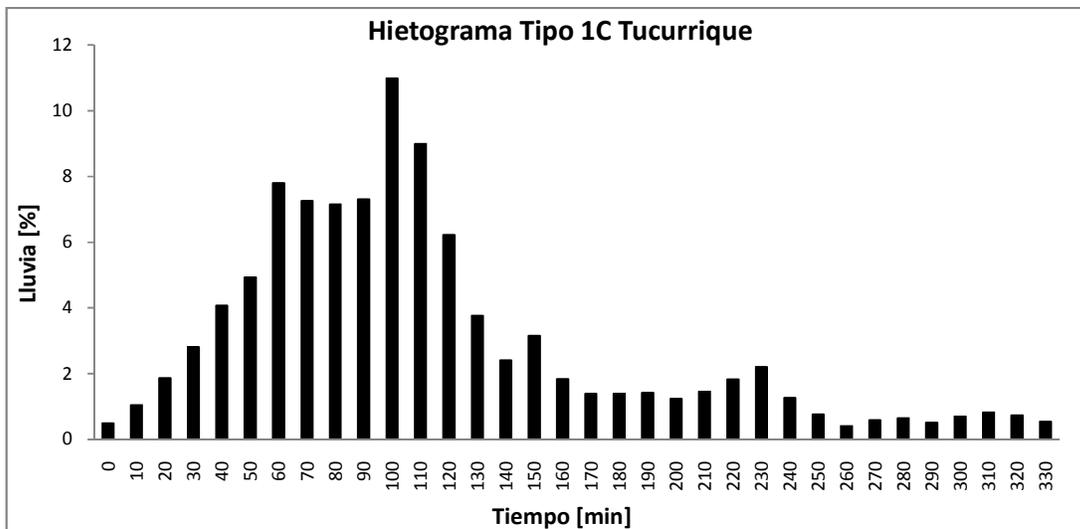


Figura 5.48. Hietograma característico Tipo 1C Tucurrique.

Fuente: el autor.

Hietogramas larga duración

Hay 23 tormentas de larga duración. Se encontraron 4 comportamientos característicos bien definidos. Tres tormentas presentan comportamientos distintos y representan 13% del total de tormentas.

Tipo 2L

Tiene 5 tormentas que representan el 21,7% del total.

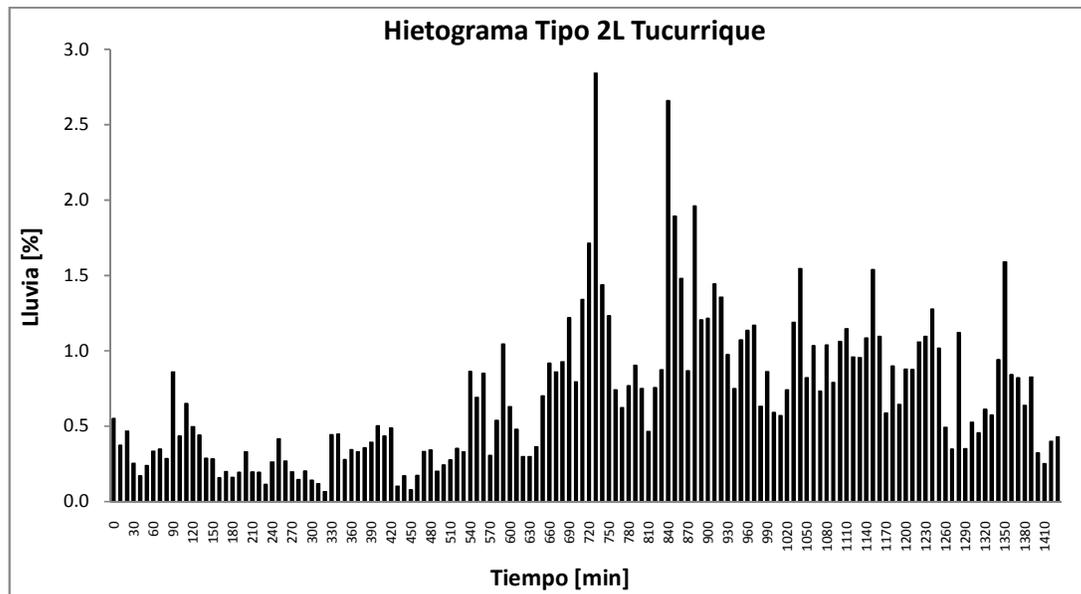


Figura 5.49. Hietograma característico Tipo 2L Tucurrique.

Fuente: el autor.

Tipo 3L

Tiene 5 tormentas que representan el 21,7% del total.

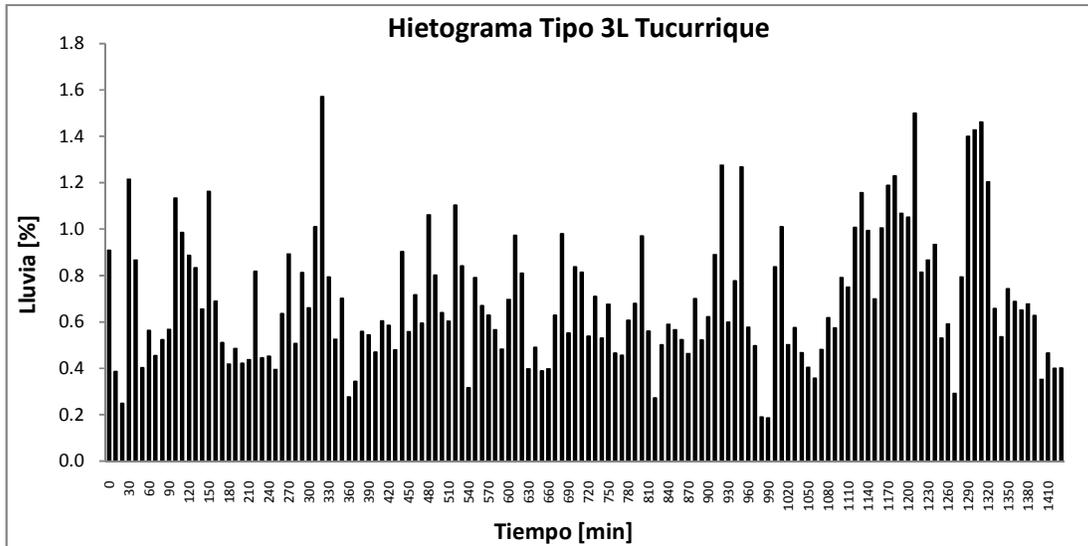


Figura 5.50. Hietograma característico Tipo 3L Tucurrique.

Fuente: el autor.

Tipo 5L

Tiene 6 tormentas que representan el 26,2% del total.

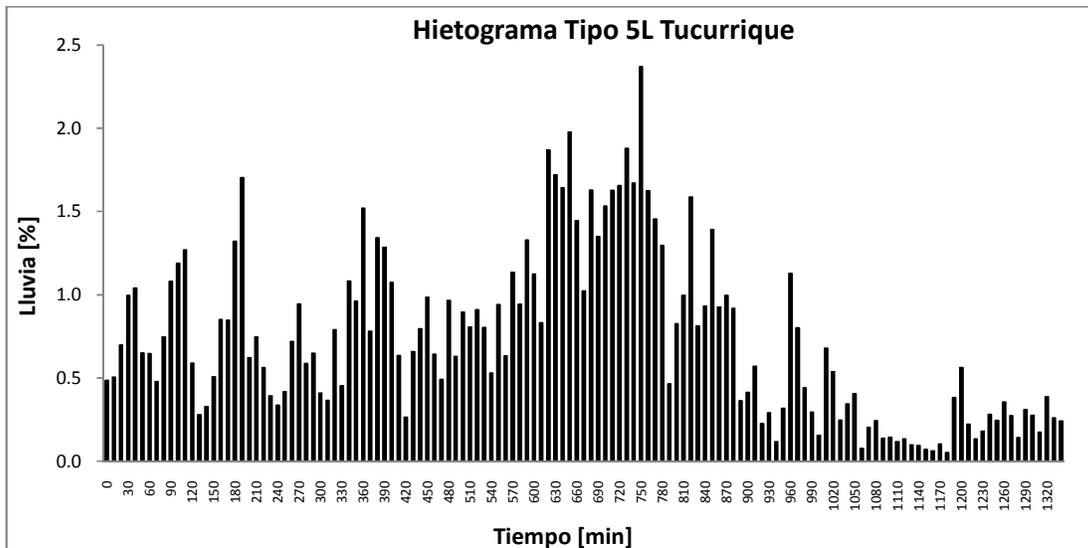


Figura 5.51. Hietograma característico Tipo 5L Tucurrique.

Fuente: el autor.

Tipo 8L

Tiene 4 tormentas que representan el 17,4% del total.

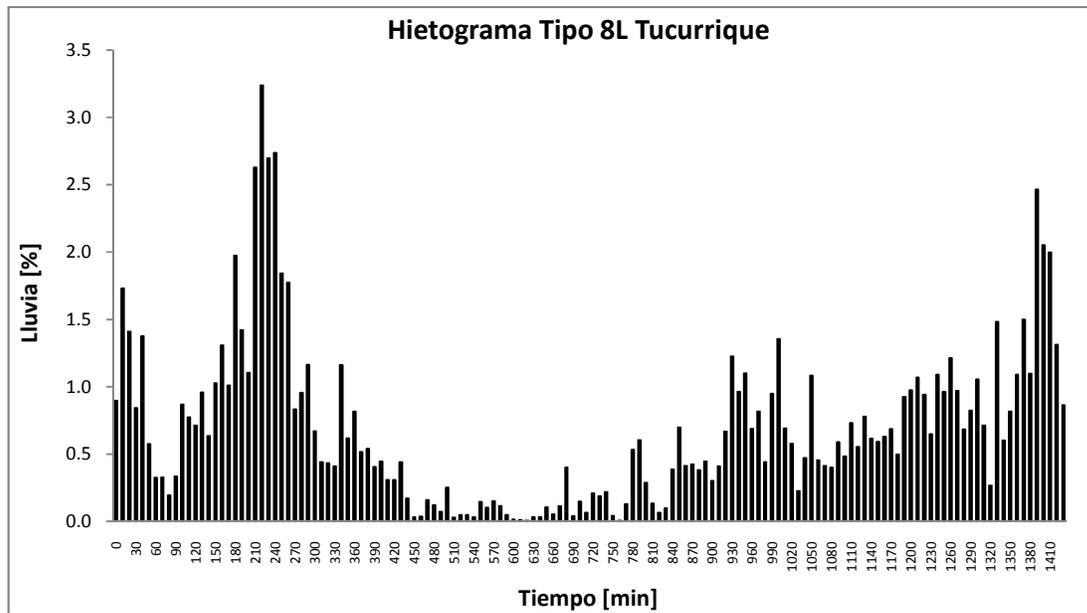


Figura 5.52. Hietograma característico Tipo 8L Tucurrique.

Fuente: el autor.

5.12 73074 San Antonio de Santa Cruz de Turrialba

Hietogramas corta duración

Hay 8 tormentas cortas. Se encontraron dos comportamientos característicos.

Tipo 4C

Tiene 6 tormentas que representan el 75% del total.

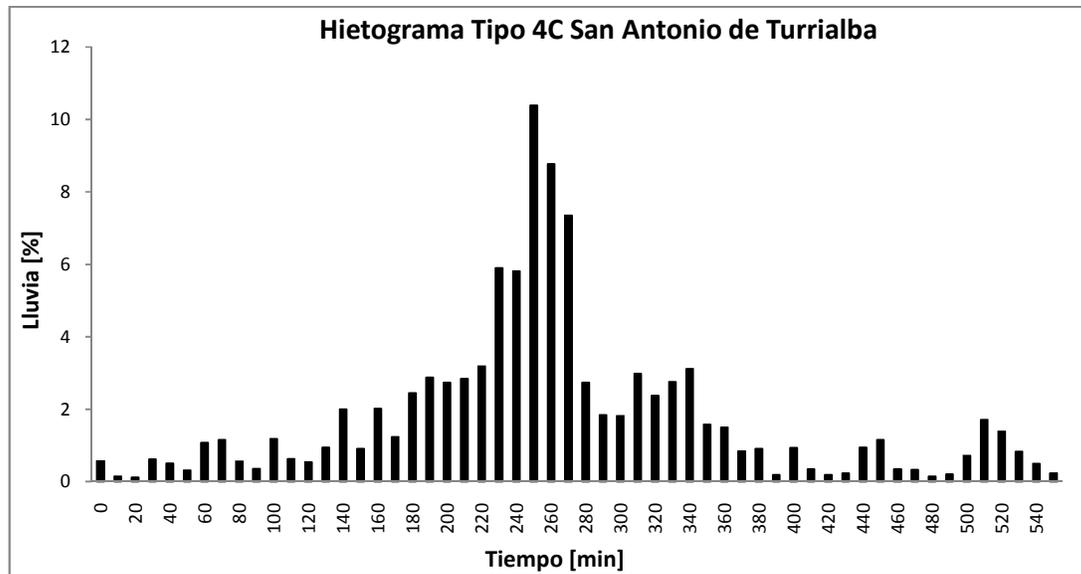


Figura 5.53. Hietograma característico Tipo 4C San Antonio de Turrialba.

Fuente: el autor.

Tipo 1C

Tiene 2 tormentas que representan el 25% del total.

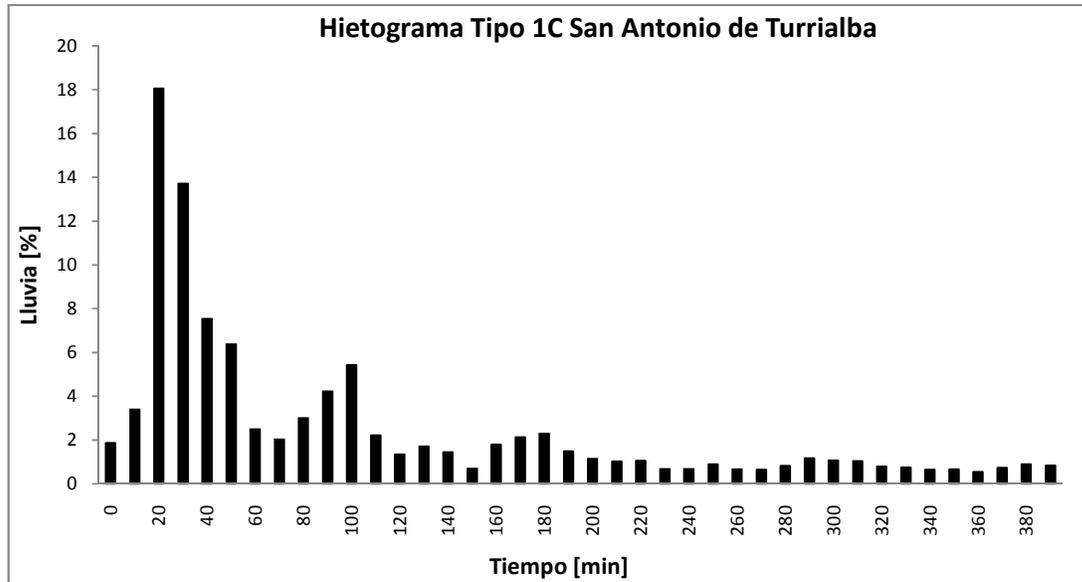


Figura 5.54. Hietograma característico Tipo 1C San Antonio de Turrialba.

Fuente: el autor.

Hietogramas larga duración

Hay 32 tormentas de larga duración. Se encontraron 4 comportamientos característicos. Tres tormentas no se ajustan a ningún comportamiento característico y representan 9,3% del total de tormentas.

Tipo 3L

Tiene 10 tormentas que representan el 31,2% del total.

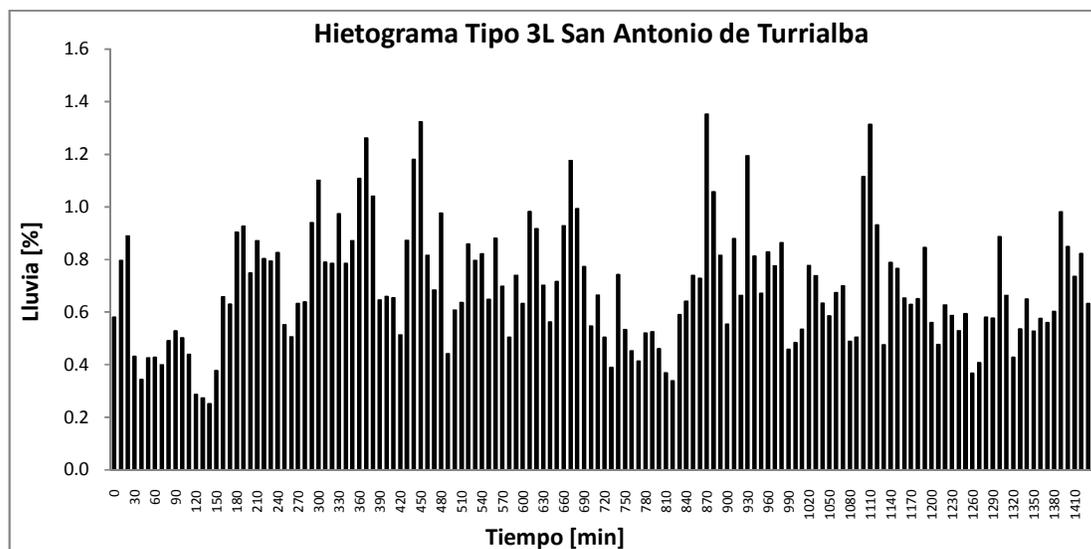


Figura 5.55. Hietograma característico Tipo 3L San Antonio de Turrialba.

Fuente: el autor.

Tipo 6L

Tiene 6 tormentas que representan el 18,8% del total.

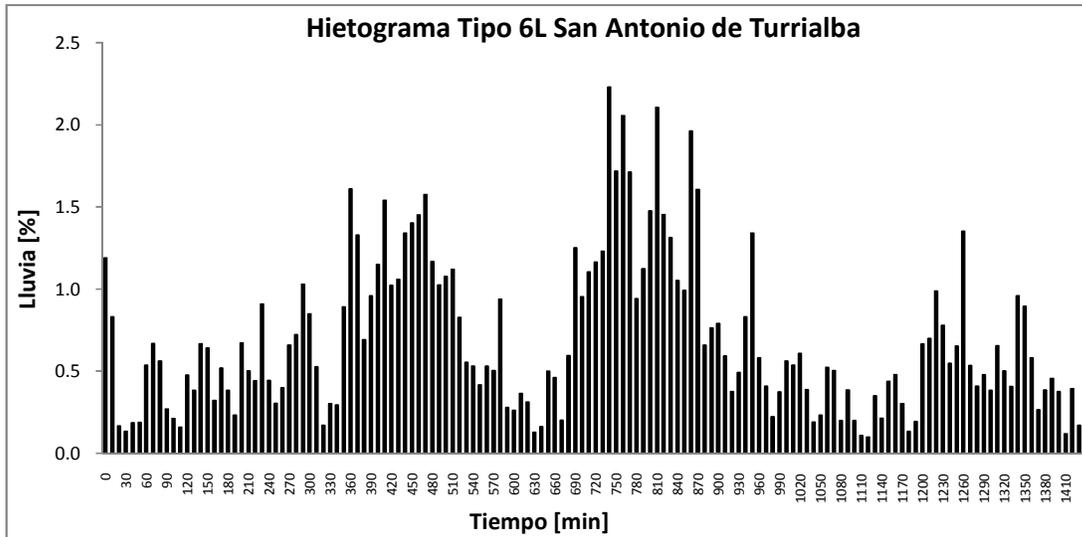


Figura 5.56. Hietograma característico Tipo 6L San Antonio de Turrialba.

Fuente: el autor.

Tipo 1L

Tiene 7 tormentas que representan el 21,9% del total.

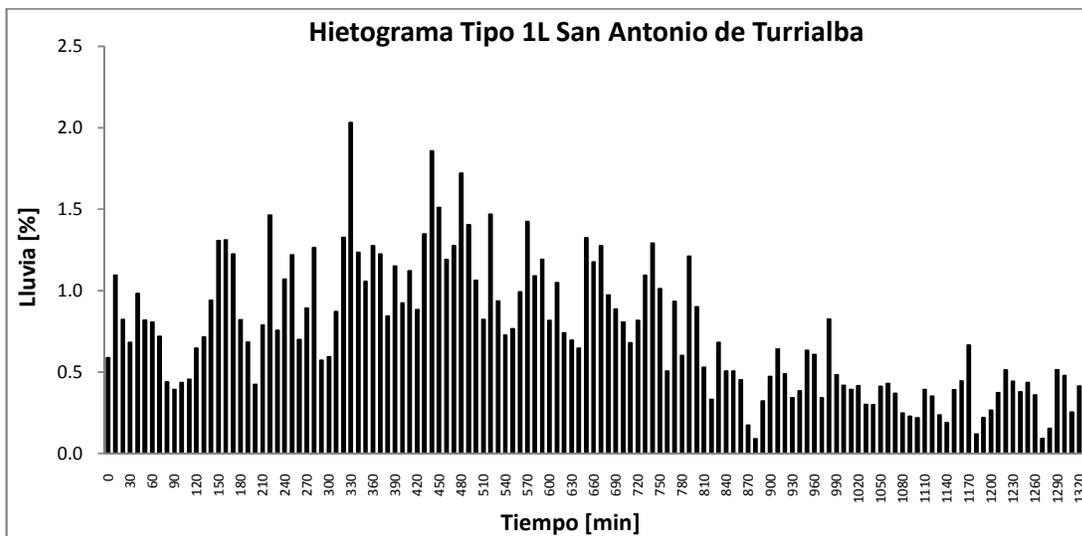


Figura 5.57. Hietograma característico Tipo 1L San Antonio de Turrialba.

Fuente: el autor.

Tipo 8L

Tiene 6 tormentas que representan el 18,8% del total.

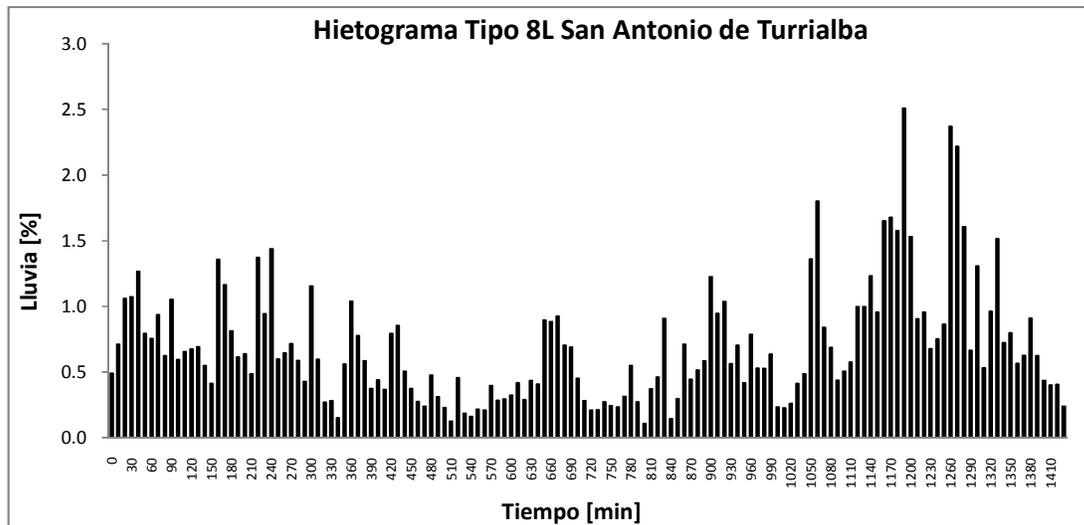


Figura 5.58. Hietograma característico Tipo 8L San Antonio de Turrialba.

Fuente: el autor.

5.13 73079 Oriente

Hietogramas corta duración

Hay 28 tormentas de corta duración. Se encontraron 3 comportamientos característicos. Siete tormentas no se ajustan a ningún comportamiento característico y representan 25% del total de tormentas.

Tipo 1C

Tiene 6 tormentas que representan un 21,4% del total.

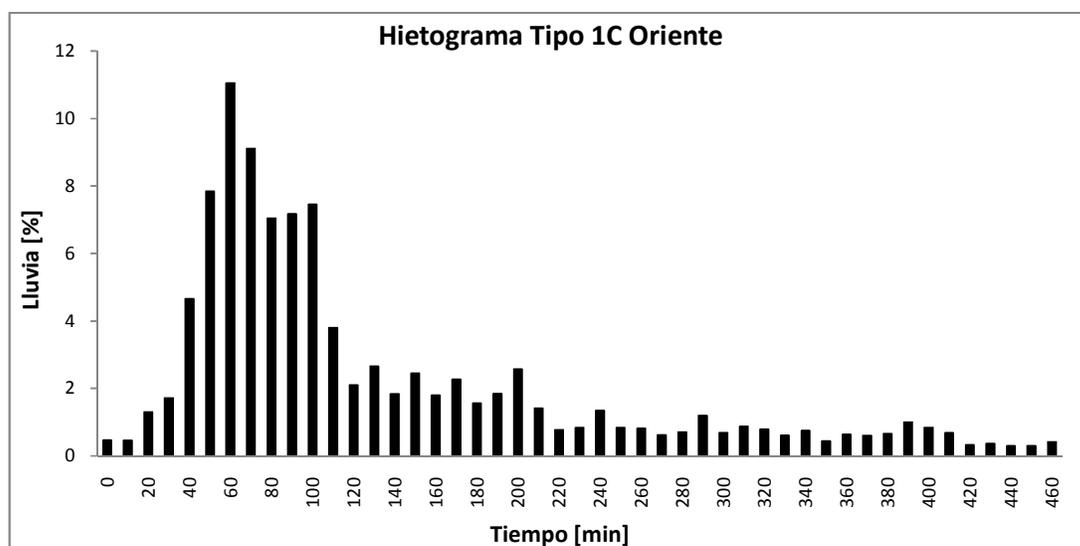


Figura 5.59. Hietograma característico Tipo 1C Oriente.

Fuente: el autor.

Tipo 4C

Tiene 10 tormentas que representan el 35,7% del total.

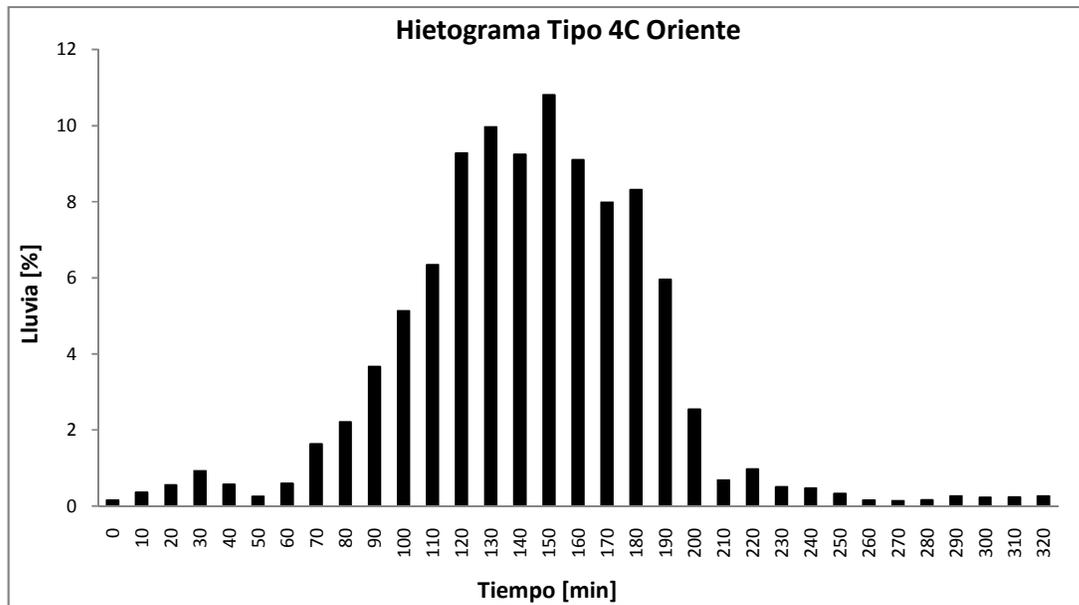


Figura 5.60. Hietograma característico Tipo 4C Oriente.

Fuente: el autor.

Tipo 6C

Tiene 5 tormentas que representan el 17,9% del total.

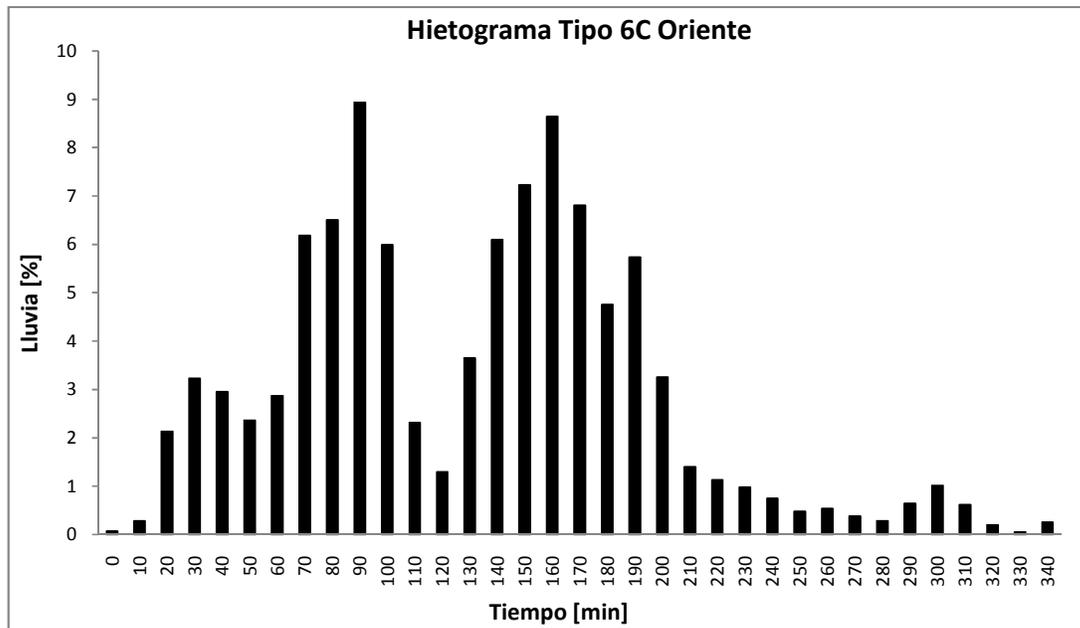


Figura 5.61. Hietograma característico Tipo 6C Oriente.

Fuente: el autor.

Hietogramas larga duración

Hay 12 tormentas de larga duración. Se encontraron dos comportamientos característicos. Una tormenta no se ajusta bien a estos comportamientos y representan 8,3% del total de tormentas.

Tipo 3L

Tiene 8 tormentas que representan 66,7% del total.

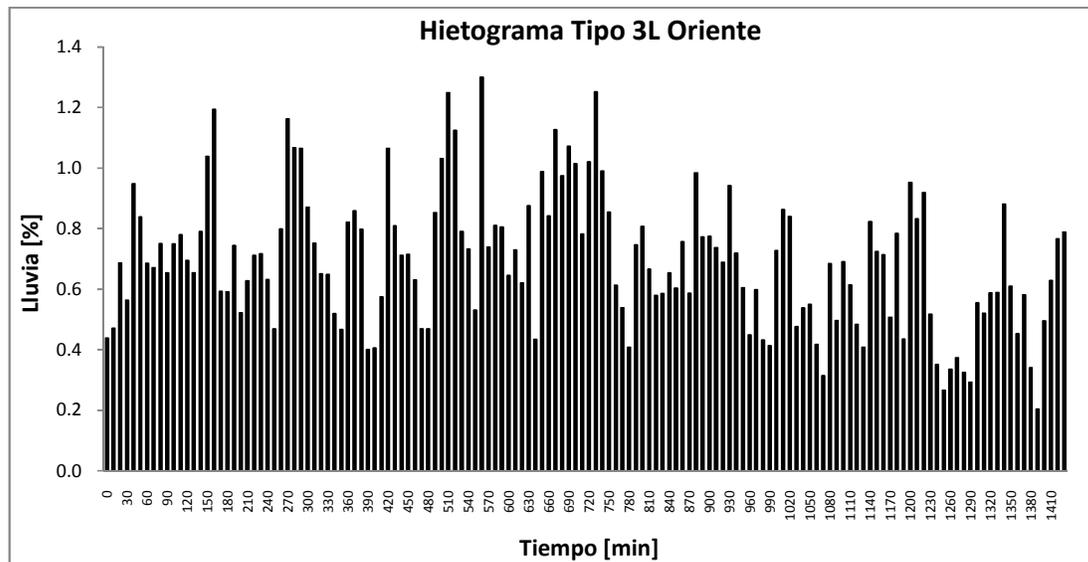


Figura 5.62. Hietograma característico Tipo 3L Oriente.

Fuente: el autor.

Tipo 2L

Tiene 3 tormentas que representan 25% del total.

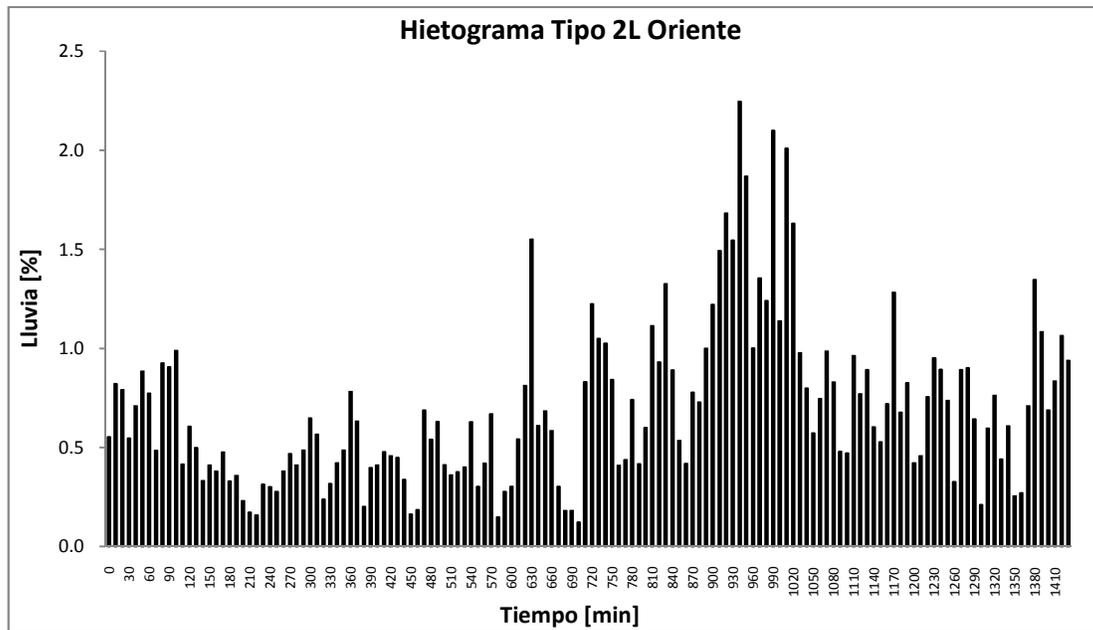


Figura 5.63. Hietograma característico Tipo 2L Oriente.

Fuente: el autor.

5.14 73089 Sitio de Presa Tapantí

Hietogramas corta duración

Hay 24 tormentas de corta duración. Se encontraron tres familias con comportamientos característicos. Tres tormentas no se ajustaron a ningún comportamiento y representan 12,5% del total de tormentas.

Tipo 4C

Tiene 13 tormentas que representan el 54,2% del total.

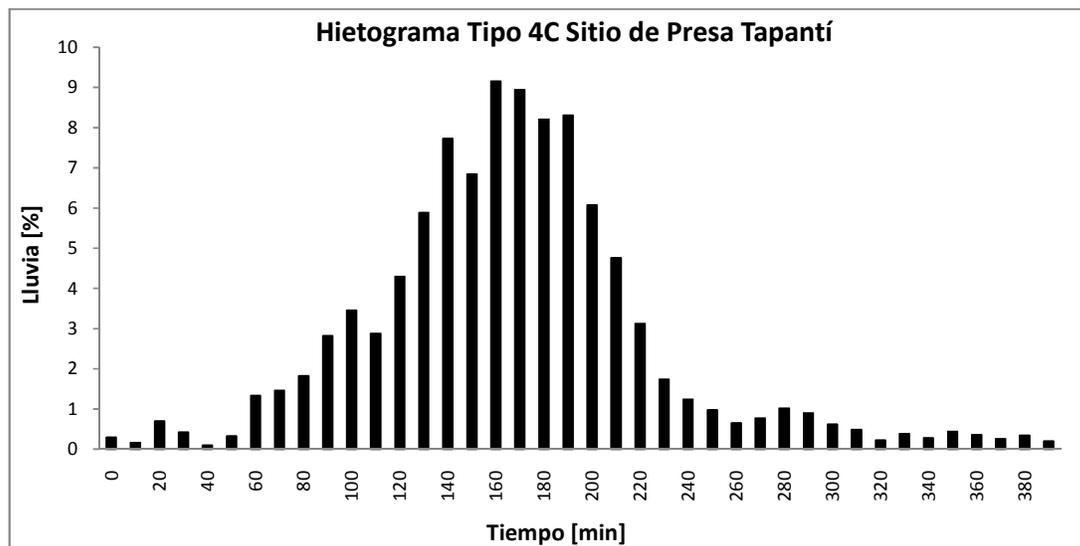


Figura 5.64. Hietograma característico Tipo 4C Sitio de Presa Tapantí.

Fuente: el autor.

Tipo 7C

Tiene 2 tormentas que representan el 8,3% del total.

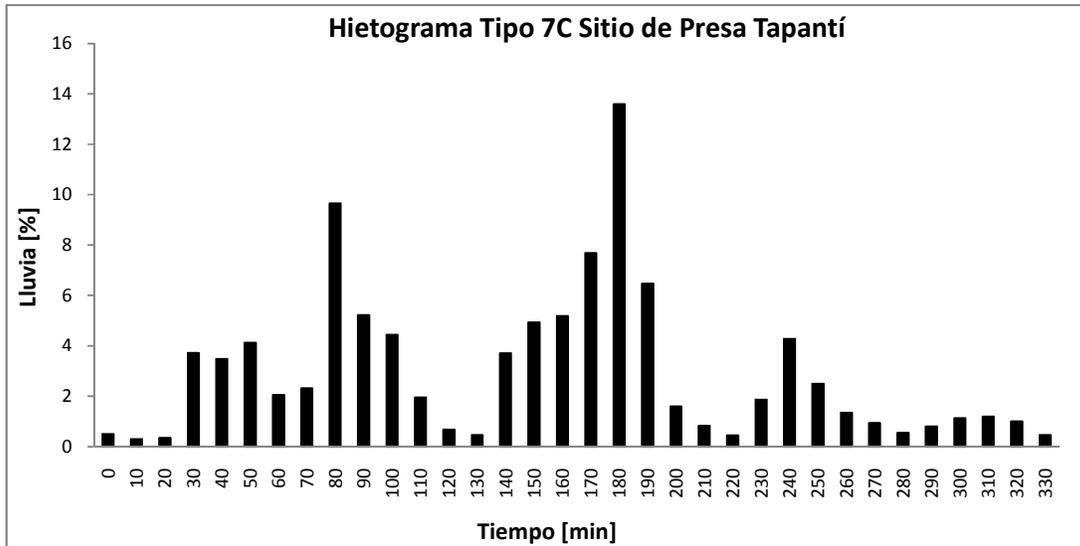


Figura 5.65. Hietograma característico Tipo 7C Sitio de Presa Tapantí.

Fuente: el autor.

Tipo 1C

Tiene 6 tormentas que representan el 25,0% del total.

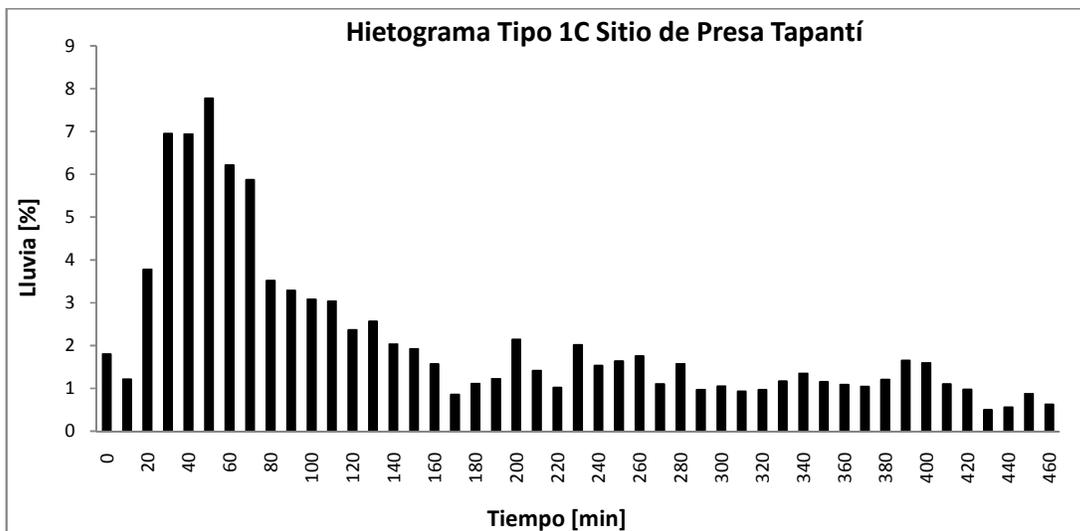


Figura 5.66. Hietograma característico Tipo 1C Sitio de Presa Tapantí.

Fuente: el autor.

Hietogramas larga duración

Hay 16 tormentas de larga duración. Se encontró una familia característica. Tres tormentas no se ajustan al comportamiento (18,7% del total de tormentas).

Tipo 1L

Tiene 13 tormentas que representan un 81,3% del total.

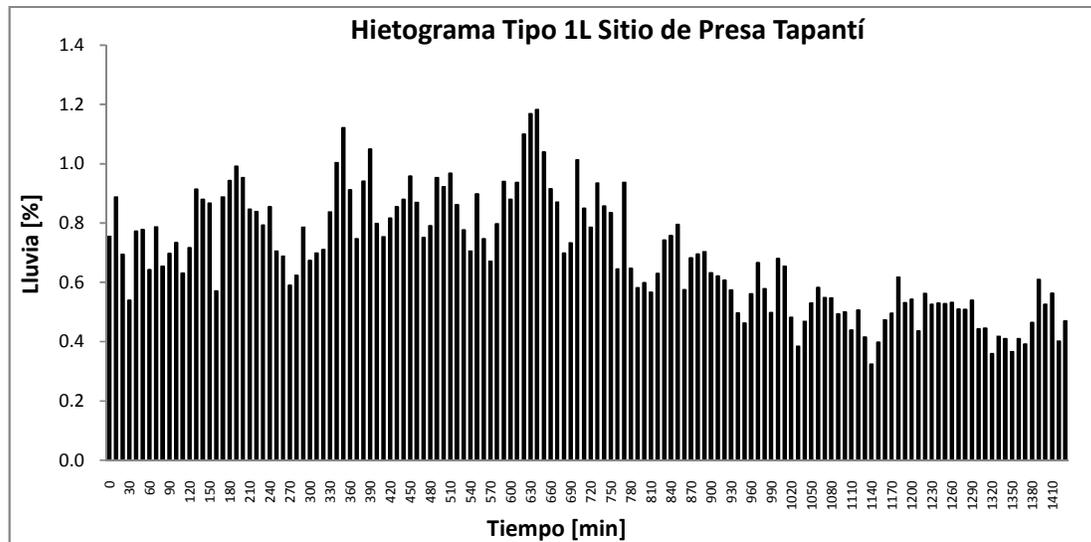


Figura 5.67. Hietograma característico Tipo 1L Sitio de Presa Tapantí.

Fuente: el autor.

A continuación se muestran los mapas con las zonas de influencia de los distintos tipos de hietogramas sobre la cuenca. Se muestran primero los hietogramas de corta duración y luego los de larga duración.

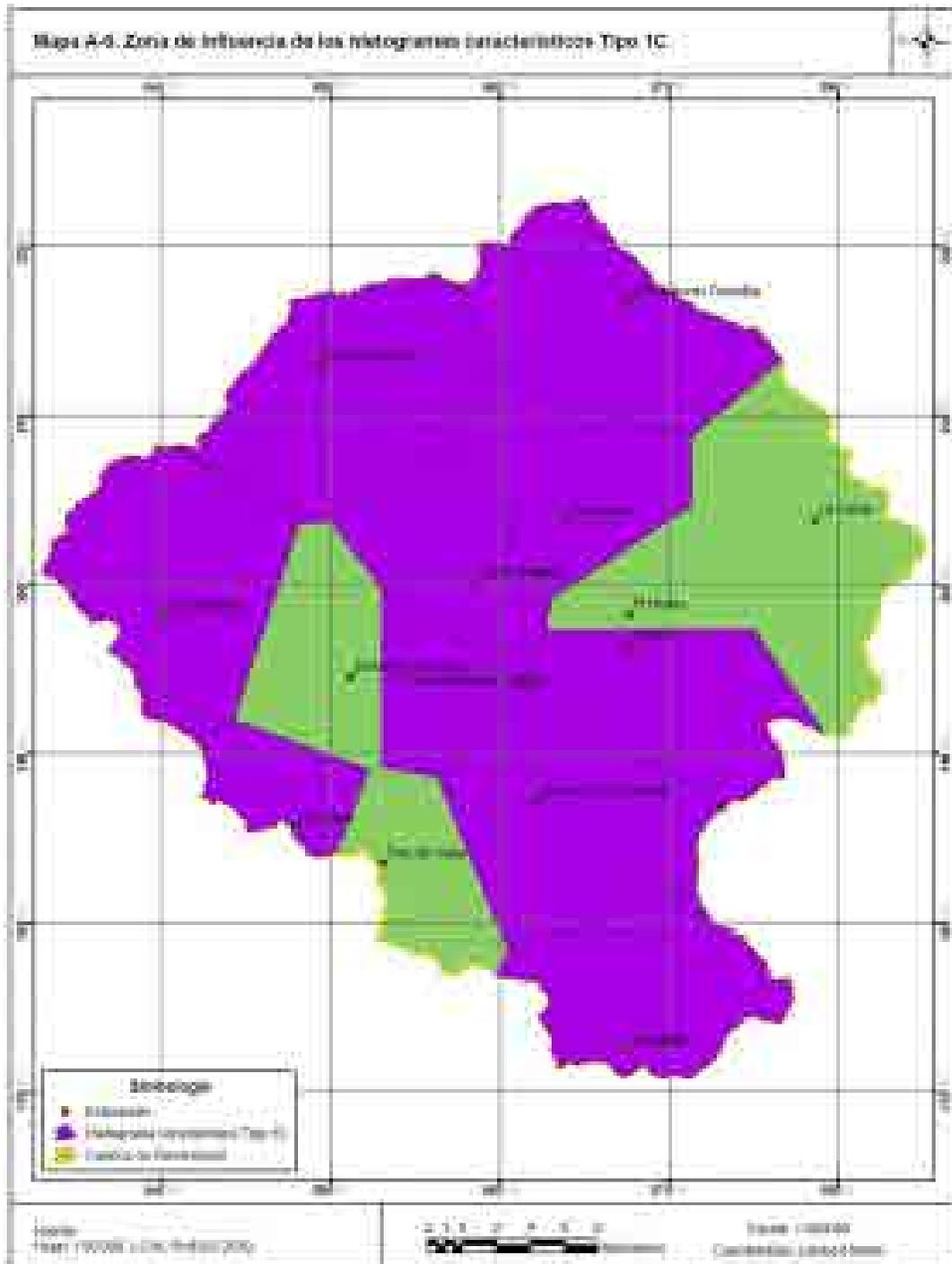


Figura 5.68. Zona de influencia hietogramas característicos Tipo 1C.

Fuente: el autor.

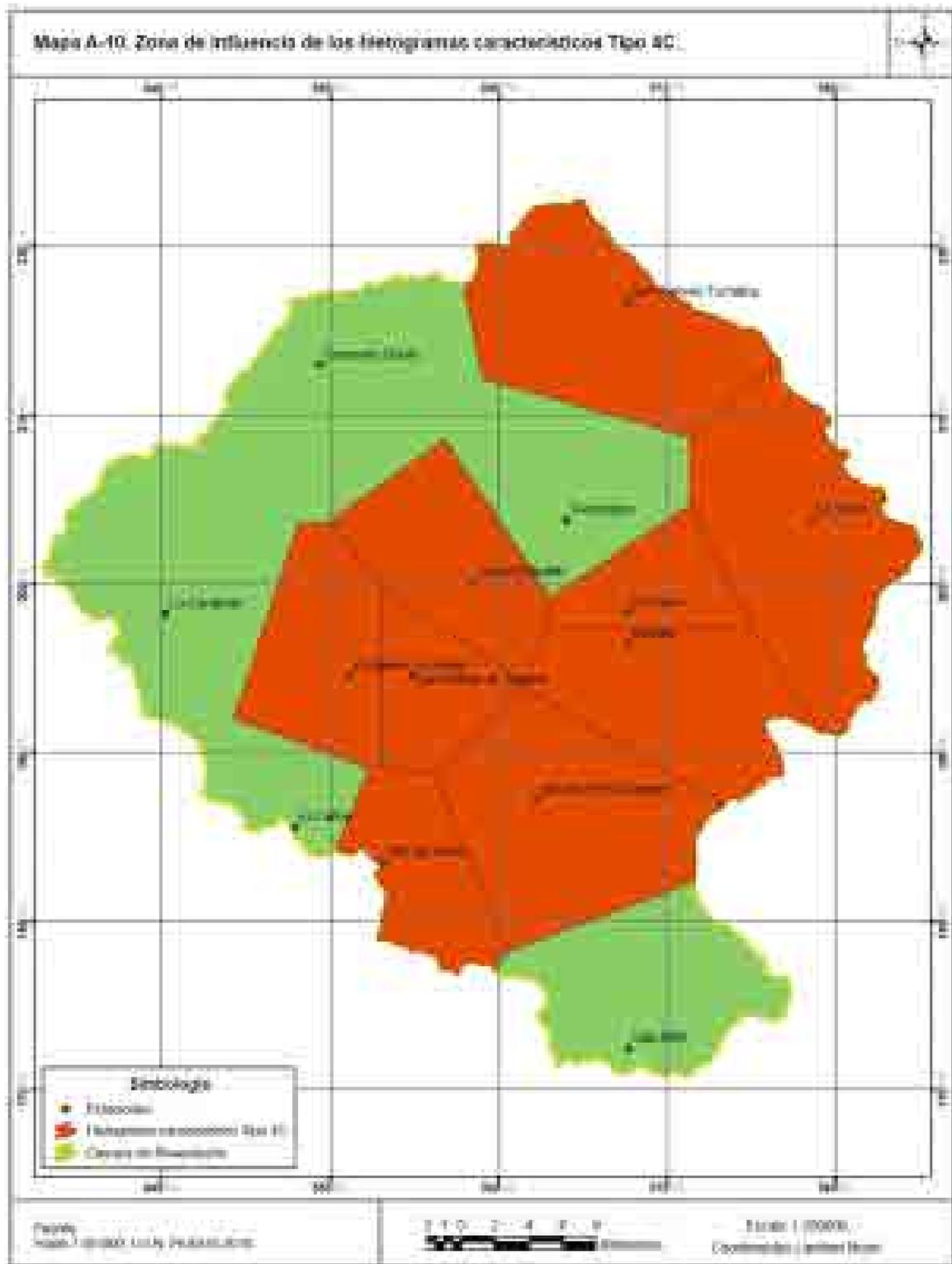


Figura 5.69. Zona de influencia hietogramas característicos Tipo 4C.

Fuente: el autor.

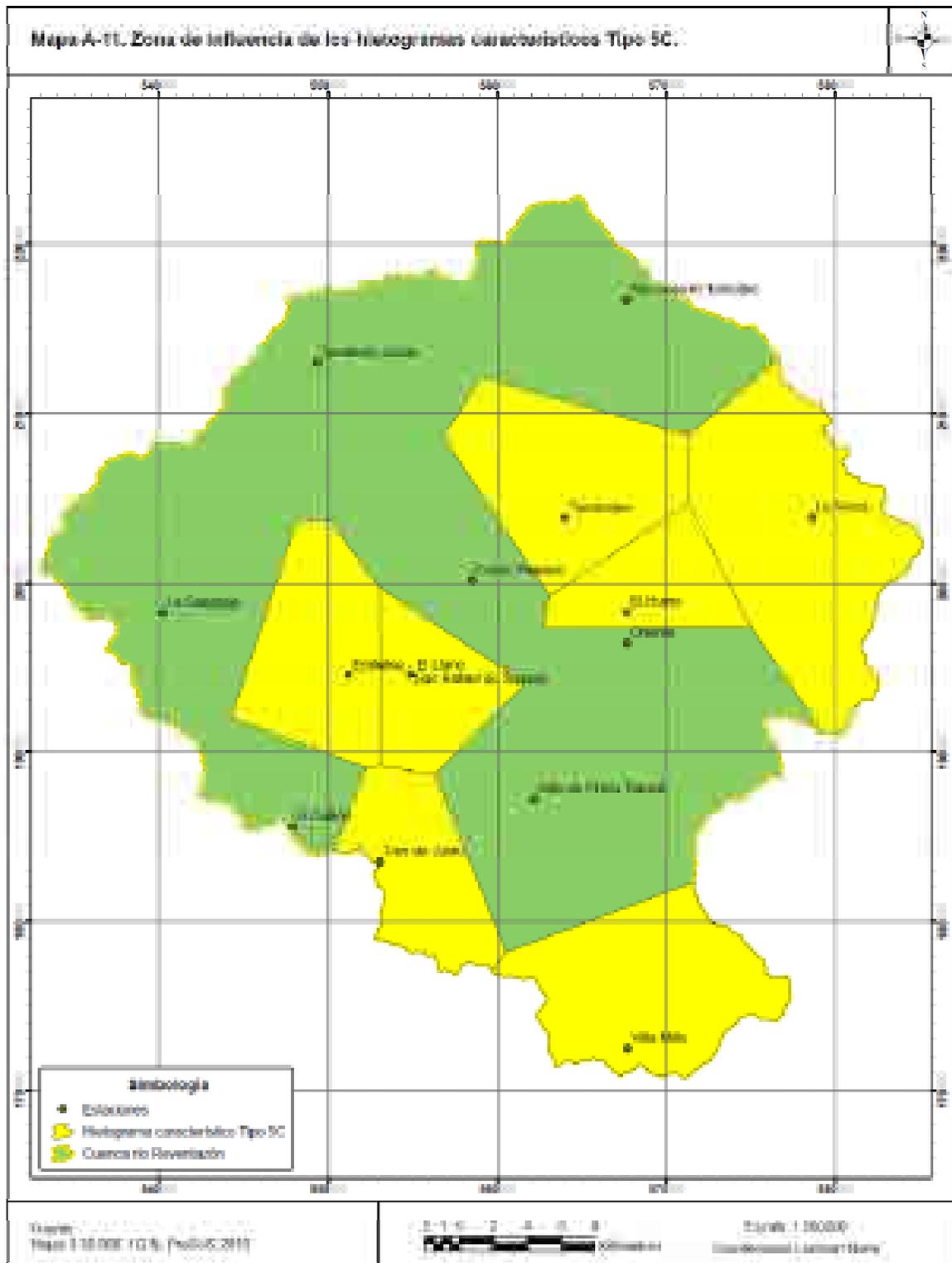


Figura 5.70. Zona de influencia hietogramas característicos Tipo 5C.

Fuente: el autor.



Figura 5.72. Zona de influencia hietogramas característicos Tipo 2C y 3C.

Fuente: el autor.

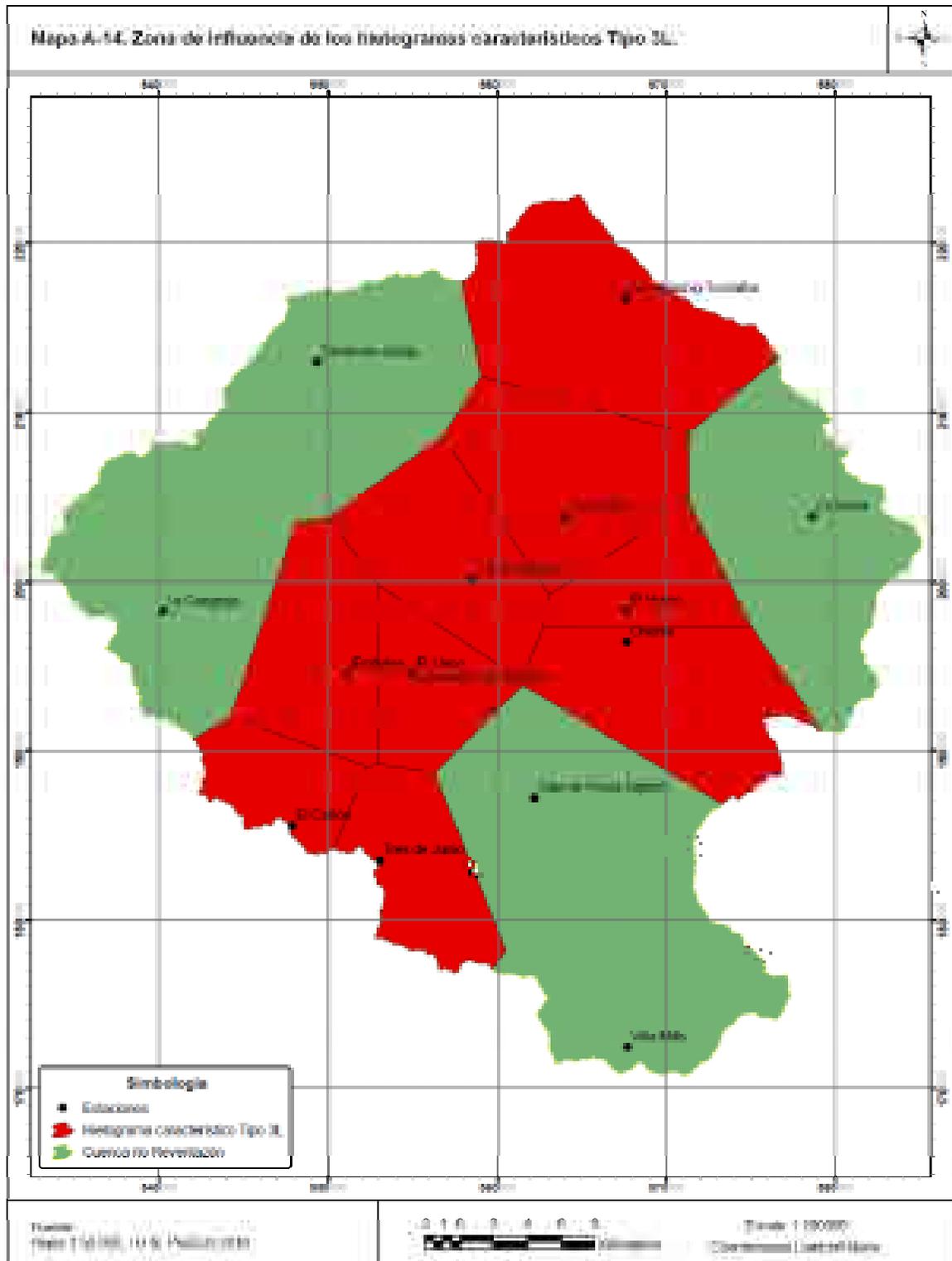


Figura 5.73. Zona de influencia hietogramas característicos Tipo 3L.

Fuente: el autor.



Figura 5.75. Zona de influencia hietogramas característicos Tipo 1L y 5L.

Fuente: el autor.



Figura 5.76. Zona de influencia hietogramas característicos Tipo 1La, 1Lb y6L.

Fuente: el autor.



Figura 5.78. Zona de influencia hietogramas característicos Tipo 7L y 8L.

Fuente: el autor.

Capítulo VI

6 Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Debido a la gran área sobre la cual la cuenca del río Reventazón se extiende, no es común que un mismo evento de precipitación la cubra en su totalidad. Sin embargo en 1970 y 1996 los máximos anuales de precipitación se dieron en la misma fecha en algunas estaciones. En el Cuadro 6.1 se muestran las estaciones con sus respectivos valores de lluvia máxima en 24 horas en mm.

Cuadro 6.1. Fechas en que coincidieron los máximos anuales en distintas estaciones.

1970			1996		
Estación	Fecha	Lluvia en 24 h [mm]	Estación	Fecha	Lluvia en 24 h [mm]
San Rafael de Tapantí	9-abr	216,8	Sanatorio Durán	12-feb	51,1
El Cañón	9-abr	160,1	San Rafael de Tapantí	12-feb	213,2
El Humo	9-abr	353,5 ¹	El Humo	12-feb	267,3
Embalse – El Llano	9-abr	131,1	Embalse – El Llano	12-feb	141,2
Tres de Junio	4-dic	144,9 ¹	La Suiza	12-feb	279,7
La Suiza*	9-abr / 3-dic	231,6	Cachí (Plantel)	13-feb	238,1
Cachí (Plantel)	9-abr	148,4	Tucurrique	12-feb	331,7
Tucurrique	9-abr	272,8	San Antonio de Turrialba	12-feb	367,3
Oriente	3-dic	273,8	Oriente	12-feb	273,6

¹Este total corresponde al valor leído de la banda. No corresponde al total dado por el I.C.E. No se pudo determinar la causa de la diferencia.

*Esta banda se perdió y se sustituyó por la del 3 de diciembre. Sin embargo el máximo quedó registrado en el I.C.E. el 9 de abril de 1970.

Fuente: el autor.

Estos eventos afectaron estas estaciones pero es probable que hayan sido registrados en otras estaciones que no se utilizaron en este trabajo. Además, es posible que alguno de los eventos se registró en determinada estación pero no representó el máximo anual.

No se cuenta con información suficiente para decir que se cubrió la totalidad de la cuenca, sin embargo si es evidente que los eventos del 9 de abril de 1970, 3 y 4 de diciembre de 1970 y 12, 13 y 14 de febrero de 1996 afectaron gran parte de la cuenca.

Nueve de abril de 1970

El máximo anual se dio en esa fecha para 7 de 14 estaciones (50%) utilizadas en este trabajo. Este evento de precipitación se dio debido a un centro de baja presión en el mar Caribe (Hidalgo, 1980).

Tres y Cuatro de diciembre de 1970

En el estudio realizado por Grandoso (1980) se analizó la situación meteorológica que afectó la Vertiente del Caribe el 3 y 4 de diciembre de 1970. Se determinó que las lluvias se originaron por la profundización de los vientos Oestes de altura de latitudes medias y su penetración en los trópicos. Las precipitaciones que se generaron fueron de tipo moderado continuo y se dieron por ascenso orográfico. Alcanzaron grandes cantidades debido a la persistencia del evento.

Es probable que el evento del 3 y 4 de diciembre haya afectado otras estaciones no utilizadas en este trabajo o que las lluvias registradas en las estaciones utilizadas no alcanzaran el valor máximo anual.

Doce de febrero de 1996

El evento que se presentó del 12 al 14 de febrero de 1996 generó máximos anuales en 9 de 14 (64%) estaciones utilizadas en este trabajo. En la bandas pluviográficas de la mayoría de estaciones afectadas se observó la persistencia de las lluvias a lo largo de estos tres días.

Los sistemas a gran escala que afectan a nuestro país en el mes de febrero provienen en su mayoría del hemisferio norte. El evento producido el 12, 13 y 14 de enero de 1996 se puede interpretar como una reacción de la atmósfera tropical al recrudescimiento del invierno en el hemisferio norte. Estos cambios se tradujeron en perturbaciones en la troposfera alta y baja (I.M.N, 1996). Este temporal ha sido catalogado como el más severo registrado en cuanto a lluvias y daños civiles.

Si se observa la Figura 2.1 y se ubican las estaciones afectadas por estas lluvias se puede decir que este evento afectó toda la parte baja de la cuenca ubicada hacia el este; penetró hasta Cachí y afectó las montañas de Tapantí en el valle de Orosi. No se puede asegurar que el máximo de Sanatorio Durán haya sido producido por este evento.

Entre los lugares afectados por inundaciones estuvieron los cantones de Turrialba y Paraíso y se reportaron grandes crecidas en los ríos Reventazón, Turrialba, Tuis y Pejibaye entre otros (La Gaceta, 1996).

Es probable que este evento se haya registrado en otras estaciones no utilizadas en este trabajo o que las lluvias medidas en las estaciones utilizadas no alcanzaran el valor máximo anual.

La caracterización climática de esta cuenca es complicada debido a la variabilidad climática tan grande que presenta. Esto se debe en parte a que se ve afectada por los regímenes climáticos de la Vertiente Pacífica y Atlántica y ambos afectan simultáneamente zonas de la cuenca. No se cuenta además con la adecuada distribución y cantidad de estaciones medidoras de algunas variables climáticas como brillo solar, humedad relativa y viento. A pesar de eso y complementando los resultados obtenidos de este trabajo con resultados de otras investigaciones, se pueden diferenciar dos periodos con respecto a la precipitación. Los vientos Alisios del este y del noreste inciden sobre la cuenca con mayor intensidad entre los meses de diciembre y abril, y entre julio y agosto. Esto hace que predominen las tormentas de tipo orográfico y los temporales que se pueden extender por varios días. Entre los meses de mayo a noviembre disminuye la influencia de los Alisios y hay mayor ocurrencia de fenómenos convectivos, predominan entonces tormentas con duraciones menores que las de tipo orográfico. En esta época hay incidencia de vientos provenientes del Pacífico y que entran por el Alto de Ochomogo. Estos vientos afectan principalmente la parte oeste de la cuenca. Es posible también, que el frente de brisa que produce núcleos de precipitación intensa alrededor del cantón de Tres Ríos, se desplace afectando zonas de la cuenca en la parte oeste principalmente. La localización de los frentes de brisa fue establecida por Murillo (1994) en su trabajo de graduación para la cuenca del río Virilla, sin embargo en esta caracterización climática general de la cuenca del río Reventazón no se obtuvo la información necesaria para documentar el desplazamiento de dichos frentes dentro de la cuenca. Finalmente hay que tomar en cuenta la influencia de vaguadas de altura provenientes del oeste que pueden afectar la cuenca produciendo fuertes temporales e inundaciones con consecuencias desastrosas para algunas zonas de la cuenca.

Hay una diferencia muy grande entre las precipitaciones mínimas y máximas promedio anuales. Varían en un rango de entre menos de 1500 mm hasta más de 7000 mm anuales, de modo que esta cuenca contiene una de las regiones más lluviosas del país

(Chacón, 1983). Esto se debe a la influencia de los regímenes climáticos Vertiente Pacífico y Caribe, a la canalización del flujo Alisio durante todo el año sobre la zona montañosa de la parte sureste de la cuenca y a la orografía de la región.

El mapa de lluvia promedio anual mostrado en la Figura 2.7 fue elaborado con un periodo de registro de 10 años. Para obtener condiciones promedio de lluvia se recomienda usar periodos de registro de por lo menos 20 años. Esto podría afectar la distribución espacial de las precipitaciones. Se debe tomar en cuenta este factor a la hora de su utilización.

A pesar de que hay pocas estaciones medidoras de viento distribuidas en la cuenca se pudo establecer la predominancia del viento Alisio con componentes del este y del noreste en las estaciones de San Pablo de Cot, Pacayas y Tierra Blanca. En la estación de Campamento predominan los vientos con componente norte y sur casi durante todo el año. Esto se debe a la topografía de la zona donde se encuentra ubicada la estación. El cañón del río Reventazón canaliza el viento y le da un componente norte. El componente sur se puede deber a un reflujó del viento con componente norte ocasionado por colinas cercanas. Este fenómeno es muy localizado y específico. Sistemas de viento de mesoescala como la brisa valle – montaña y viceversa también podrían influir, sin embargo no hay suficiente información para asegurar esto.

Si se comparan los resultados de viento obtenidos para las estaciones analizadas en la cuenca del río Reventazón, con los resultados obtenidos por Murillo (1994) para la cuenca del río Virilla, se puede ver la predominancia del viento Alisio del E y el NE a lo largo de casi todo el año en ambas cuencas. Sin embargo en la cuenca del río Virilla hay una influencia mayor del viento con componente oeste y suroeste especialmente en la temporada lluviosa comprendida entre los meses de mayo a noviembre. Estos vientos con componente oeste no se presentan con predominancia por lo menos en las estaciones analizadas para la cuenca del río Reventazón. Esto se puede deber a que la única entrada de vientos con componente oeste a la cuenca del río Reventazón es por el Alto de Ochomogo, mientras que la cuenca del río Virilla se encuentra expuesta al viento con componente oeste a través del cañón del río Grande de Tárcoles. Por su parte la influencia de los Alisios en la cuenca del río Virilla se manifiesta a través de los pasos de La Palma y El Desengaño.

De un total de 560 tormentas analizadas 327 (58,4%) son de corta duración y 233 (41,6%) son de larga duración. Chacón (1983) estableció que los promedios de precipitación mensuales para tres estaciones representativas de la parte alta, Valle Central

Oriental y este de la cuenca del Reventazón, en el periodo de mayo a noviembre son mayores que en el periodo de diciembre a abril. También estableció que de mayo a noviembre aumenta la cantidad de tormentas convectivas y disminuye la cantidad de tormentas orográficas; a su vez aumenta la cantidad de días al mes con lluvia. Esto puede ser una de las razones por las cuales hay más cantidad de tormentas de corta duración.

El tiempo promedio de los hietogramas característicos de corta duración es de 435 minutos (7 h 15 min); para los hietogramas característicos de larga duración se tiene un tiempo promedio de 1334 minutos (22 h 14 min). Estos valores no toman en cuenta las tormentas que no se ajustaron a ningún tipo de comportamiento.

El tiempo promedio de los hietogramas característicos de corta duración es mayor al tiempo de una tormenta de tipo convectivo que puede ser de hasta 6 horas (Chacón 1983). Debido a esta razón no se caracterizaron las tormentas como convectivas o como orográficas. A pesar de esto se puede ver claramente la influencia de fenómenos convectivos en los hietogramas característicos de las tormentas de corta duración. Las intensidades de los hietogramas característicos de corta duración son mayores que las de los hietogramas de larga duración. Las intensidades máximas que se presentaron en 10 min para los hietogramas característicos de corta duración varían entre 6% y 19% aproximadamente, mientras que para la mayoría de hietogramas característicos de larga duración las intensidades máximas en 10 min varían entre 1,5% y 3,5% aproximadamente.

En el Cuadro 5.3 se muestra la cantidad total de tormentas por estación. En cuatro estaciones la cantidad de tormentas de corta duración es del 70% o más del total. Estas estaciones son San Rafael de Tapantí, Embalse – El Llano, La Cangreja y Oriente. Chacón (1983) concluyó que los máximos valores de precipitación en esta cuenca se dan a una elevación cercana a la altura media entre el nivel del mar y la altura máxima de la cuenca (1746 m.s.n.m). Al estar tres de estas estaciones ubicadas por debajo o cerca de la altura media (1515 m.s.n.m.) es probable que las precipitaciones por orografía se den más arriba y debido a esto estas áreas sean más influenciadas por fenómenos de tipo convectivo. En el caso de La Cangreja, su ubicación al oeste de la cuenca hace que la influencia de los vientos Alisios del este y del noreste llegue muy debilitada y haya una predominancia de fenómenos convectivos. Los cerros de la Fila Ventolera, que dividen al Valle Central en Occidental y Oriental, afectan los vientos con humedad provenientes del Valle Central Occidental produciendo un efecto de sombra de lluvia y provocando mayor

sequedad en el lado de sotavento, siendo las tormentas de más corta duración. Los tiempos promedio de los hietogramas característicos de corta duración de estas estaciones son 380 min (6 h 20 min), 400 min (6 h 40 min), 440 min (7 h 20 min) y 383 min (6 h 23 min), respectivamente. Los promedios se extrajeron de la información del Cuadro 5.3.

El 80% de las tormentas que se analizaron en la estación de San Antonio de Turrialba son de larga duración. Esta estación está ubicada a una altura de 1190 m.s.n.m. en las faldas orientales del Volcán Turrialba, por debajo de la altura media (1515 m.s.n.m). Sin embargo, se encuentra directamente expuesta al flujo Alisio con componente este y recibe la influencia con componente noreste. Debido a esto hay una marcada predominancia de tormentas de larga duración que descargan por orografía en esa zona.

Entre las tormentas de corta duración de todas las estaciones se encontraron 7 tipos de hietogramas característicos distintos. En el Cuadro 5.5 se puede observar que predominan los Tipos 1C, 4C y 5C. Se presentan respectivamente en 10 estaciones con 90 tormentas, en 9 estaciones con 92 tormentas y en 7 estaciones con 45 tormentas. El Tipo 1C cubre las zonas noreste, norte y noroeste, centro, oeste, parte del suroeste y el sur de la cuenca. El Tipo 4C cubre la parte central y este sin incluir la estación de Tucurrique, la parte noreste donde está la estación de San Antonio de Turrialba y un área al suroeste donde está la estación Tres de Junio. El Tipo 5C se presenta en la parte este de la cuenca donde están las estaciones de La Suiza, El Humo y Tucurrique; en la parte sur y suroeste donde están Villa Mills y Tres de Junio y en una pequeña porción de la parte centro-oeste donde están las estaciones de Embalse – El Llano y San Rafael de Tapantí. El resto de tipos de tormentas se presentan de manera aislada en unas pocas estaciones de la cuenca. En las Figuras 5.69 a 5.73 se puede observar las zonas de influencia de los tipos de hietogramas característicos de corta duración. En el Cuadro 5.3 se puede observar los tipos de hietogramas y la cantidad de tormentas que los constituyen.

Para las tormentas de larga duración se encontró que los comportamientos predominantes son el 3L, 2L y 1L, con 8 estaciones y 85 tormentas, 6 estaciones y 25 tormentas y 5 estaciones y 42 tormentas, respectivamente. El Tipo 3L afecta la parte noreste donde está la estación de San Antonio de Turrialba; la parte central donde están las estaciones de Tucurrique, El Humo, Oriente, Cachí (Plantel) y la parte suroeste donde están las estaciones de Embalse – El Llano, San Rafael de Tapantí, Tres de Junio y El Cañón. El Tipo 1L cubre la parte noreste de la cuenca donde está ubicada la estación de

San Antonio de Turrialba y la parte sur donde están Villa Mills, Sitio de Presa Tapantí y Tres de Junio. El Tipo 2L Afecta la parte noroeste donde está Sanatorio Durán y la parte oeste donde está La Cangreja; la parte sur donde está Villa Mills y finalmente la parte este donde están las estaciones de Tucurrique, La Suiza y Oriente. Encerrada por las zonas de influencia de estas tres estaciones está la zona de influencia de El Humo que no presenta este tipo de comportamiento. El resto de tipos de hietogramas afectan zonas aisladas de la cuenca. En las Figuras 5.74 a 5.79 se puede observar las zonas de afectación de los tipos de hietogramas de larga duración. En el Cuadro 5.3 se puede observar los tipos de hietogramas y la cantidad de tormentas que los constituyen.

Los hietogramas característicos obtenidos son aplicables solo a la cuenca en estudio y se deben limitar a las zonas de influencia alrededor de cada estación. Se debe tomar en cuenta que los mapas de cobertura de cada tipo de hietograma son preliminares y fueron elaborados a partir de una distribución de estaciones meteorológicas que no es la más adecuada para reflejar las variaciones climáticas dentro de la cuenca. Esto porque las estaciones utilizables debían tener un registro continuo de por lo menos 40 años y almacenar información de forma diaria y continua. No todas las estaciones disponibles contaban con estos requisitos. De esta manera los mapas de zonas de influencia de los distintos tipos de hietogramas son útiles al no haber otra información disponible, pero se debe tratar de limitar la zona de influencia de cada hietograma lo más cerca de la estación meteorológica como sea posible.

Los métodos de área – tiempo tienen como ventaja que se puede obtener un hidrograma de caudal en vez de un dato aislado de caudal máximo. Esto permite una mejor modelación de las cuencas y es útil para diseñar sistemas de retención que permitan que las zonas urbanas descarguen las aguas pluviales en un tiempo que no coincida con el tiempo en el que se presenta el pico de caudal en el cauce receptor. De manera que los hietogramas característicos obtenidos aquí son una herramienta de diseño importante que permite una mejor modelación de áreas de escurrimiento dentro de la cuenca del río Reventazón.

Cada estación tiene distintos tipos de hietogramas característicos de corta o larga duración. Todos los tipos de hietogramas son representativos y confiables. La probabilidad de ocurrencia de distintos tipos de hietograma en cada estación está relacionada con la cantidad de tormentas de la serie que conformaron un hietograma en particular. En el capítulo V se muestra cuántas tormentas conforman cada uno de los

hietogramas característicos de cada estación. Los hietogramas que están conformados por más tormentas tienen una probabilidad más alta de ocurrir que los que están conformados por menor cantidad de tormentas. No se hizo un estudio para determinar la probabilidad de ocurrencia de los distintos tipos de hietogramas característicos, esto queda fuera del alcance de este trabajo.

A pesar de que los hietogramas característicos fueron diseñados a partir de eventos de precipitación extremos, sus intensidades son valores promedio de esas condiciones extremas. Aunque se tuvo el cuidado de que las intensidades de las tormentas que conformaron cada hietograma característico fueran lo más homogéneas posible, se podrían presentar intensidades un poco menores o mayores en algunos intervalos de determinada tormenta pero se espera que la distribución temporal siga los patrones descritos por alguno de los hietogramas característicos que se determinaron para cada estación.

Este trabajo es un preámbulo en la elaboración de herramientas de diseño hidrológico en esta cuenca y no abarca en su totalidad la caracterización temporal de la lluvia en la cuenca ni desarrolla elementos de diseño como curvas i-d-f, relaciones p-d-f, mapas de distribución espacial mensual de la lluvia o mapas de intensidades de lluvia para distintos periodos de retorno y duraciones. Sus resultados abren el camino para el desarrollo de otras investigaciones que lo complementen, lo mejoren, y que permitan al profesional encargado en la prevención de desastres naturales contar con una amplia gama de herramientas de diseño que se ajusten a las diversas circunstancias que se puedan presentar.

Los hietogramas característicos obtenidos en este trabajo evidencian diferencias climáticas entre las cuencas de los ríos Virilla y Reventazón. Los hietogramas característicos generados para la cuenca del río Reventazón se clasificaron en dos grandes grupos de corta y larga duración. Inclusive cada estación presentó hietogramas característicos de un mismo grupo (corta o larga duración) con distribuciones temporales diferentes. Esto refleja la gran variabilidad climática de la cuenca y la influencia marcada de los regímenes climáticos de las vertientes Pacífica y Atlántica dentro de la cuenca. Las duraciones de los hietogramas característicos de corta duración generados para la cuenca del río Reventazón varían entre los 300 min (5 h) y los 650 min (10 h 50 min), por lo que no se puede decir que estos hietogramas representan tormentas con una formación puramente convectiva. Además las intensidades de los hietogramas de corta duración son

bajas si se comparan por ejemplo con las intensidades obtenidas para los hietogramas característicos de la cuenca del río Virilla. Por otro lado los hietogramas característicos de larga duración obtenidos son una evidencia de la afectación del viento Alisio sobre la cuenca del río Reventazón durante la mayor parte del año y de que descargan gran parte de su humedad sobre ella.

En contraste con estos resultados, las estaciones analizadas por Murillo (1994) presentan un solo hietograma característico, lo que refleja una mayor uniformidad en el comportamiento de las tormentas en las estaciones analizadas. Sus duraciones son menores a la de los hietogramas característicos de la cuenca del río Reventazón. De los diez hietogramas generados para la cuenca del río Virilla, ocho tienen duraciones de entre 110 min (1 h 50 min) en el caso de la estación 84034 Embalse La Garita y 290 min (4 h 50 min) para la estación 84001 San José. Los dos hietogramas restantes de las estaciones 84021 Aeropuerto Juan Santa María y 84046 San Josecito tienen duraciones de 320 min (5 h 20 min) y 380 min (6 h 20 min) respectivamente. Aunado a lo anterior, en todas las tormentas típicas obtenidas para la cuenca del río Virilla las intensidades máximas en 10 minutos varían entre 20% y 40% aproximadamente, exceptuando la estación 84046 San Josecito, cuya intensidad mayor en 10 minutos es de 12% aproximadamente y que es el hietograma característico de mayor duración entre todos los obtenidos para esa cuenca. Para el caso de la cuenca del río Reventazón, la mayor intensidad en 10 minutos se da en un hietograma característico de la estación 73026 San Rafael de Tapantí y es de 19% aproximadamente. De esta manera se puede ver, por lo menos en las estaciones en las que se generaron hietogramas característicos para la cuenca del río Virilla, una marcada influencia de fenómenos puramente convectivos y la nula incidencia de tormentas con varios días de duración y que representen máximos de precipitación en 24 horas.

Los resultados del presente trabajo en cuanto a caracterización climática complementan el trabajo de graduación elaborado por Murillo (1994) en la cuenca del río Virilla. Aunque la caracterización climática aquí realizada no es profunda, permite tener una continuidad de parámetros climáticos entre las dos cuencas y conecta desde el punto de vista de caracterización climática a los valles centrales Occidental y Oriental, que son dos de las regiones más pobladas del país. Del mismo modo los hietogramas característicos aquí generados complementan los realizados para la cuenca del río Virilla y aumentan la cantidad de herramientas de diseño en la zona del Valle Central, que es la más poblada del país.

Este trabajo se centra en el valor desde el punto de vista de diseño hidrológico que representa conocer la distribución temporal de una tormenta para el mejor modelado de un área de escurrimiento. Con esto se pretende motivar al ingeniero civil a que haga uso de métodos de diseño más precisos en la modelación de cuencas y áreas de escurrimiento y generar las herramientas necesarias para un cambio en los patrones de diseño que se han mantenido en Costa Rica hasta el momento.

Recomendaciones

Es importante tener en cuenta que los hietogramas característicos generados en este trabajo representan distribuciones temporales de eventos extremos, pero sus intensidades y duraciones corresponden a condiciones promedio de dichos eventos extremos. Se debe tomar en cuenta este aspecto a la hora de hacer uso de ellos.

Se recomienda hacer un estudio probabilístico que genere hietogramas característicos con la misma distribución temporal pero con intensidades asociadas a distintas probabilidades de ocurrencia. De esta forma se puede complementar el presente trabajo y no se limita el uso de los hietogramas a condiciones promedio solamente.

Debido a que los mapas de influencia de los hietogramas característicos son preliminares se debe tratar de restringir el uso de determinado tipo de hietograma característico a la zona más cercana a la estación. Entre más se aleja uno de las estaciones medidoras menor es la certeza de que se va a mantener el comportamiento de determinado hietograma característico.

Se recomienda ampliar este trabajo generando hietogramas característicos en otras estaciones conforme vaya aumentando el registro de información de precipitación diaria continua. De esta manera se puede tener una mayor cobertura de la cuenca y se pueden generar mapas de influencia de los hietogramas más precisos. También se recomienda actualizar los hietogramas característicos existentes conforme el registro de sus estaciones aumente. De este modo se puede tener un registro de posibles cambios en los patrones de distribución temporal de las tormentas y de esta forma depurar los resultados obtenidos en este trabajo.

Para complementar este trabajo se recomienda hacer un estudio probabilístico para generar los totales de lluvia máxima para diferentes periodos de retorno. Esto es necesario para la utilización de los hietogramas y facilitaría mucho la labor del ingeniero civil.

A mediano y largo plazo, la actualización de los hietogramas característicos puede ser un modo útil para establecer posibles efectos del cambio climático en los patrones de distribución temporal de las tormentas. Por ejemplo, se pueden detectar cambios como la duración de las tormentas máximas anuales, la variación en sus intensidades y el cambio en la cantidad de tormentas de corta o larga duración que se puedan presentar.

Se debe aprovechar el hecho de que hay una gran cantidad de información de precipitación diaria procesada y hacer uso de ella para hacer estudios como el realizado por Murillo (1994) en la cuenca del río Virilla que incluyan herramientas de diseño como curvas i-d-f y mapas de intensidades, siempre utilizando a la cuenca como unidad de estudio. De este modo se complementa el trabajo ya realizado y se generan herramientas de diseño que pueden ser útiles en casos específicos y que permiten mayor libertad al diseñador a la hora de solucionar diversos problemas. Esto es útil y no excluye o limita la utilización de métodos de área – tiempo que permitan un mejor modelado de las áreas de escurrimiento.

Se plantea la necesidad de operar más estaciones medidoras de viento y humedad relativa sobre todo en las partes centro, oeste y sur de la cuenca. Para esto es necesaria la coordinación entre instituciones como el I.C.E. y el I.M.N.

Es posible conectar los resultados obtenidos en el trabajo de graduación de Murillo (1994) y este trabajo especialmente en la línea divisoria entre las dos cuencas. Se pueden realizar mapas de distribución espacial de la lluvia y que permitan verificar el desplazamiento de los frentes de brisa hacia la parte oeste de la cuenca del río Reventazón. Esto se puede complementar haciendo una caracterización más detallada del comportamiento del viento en el Valle Central Oriental.

Es conveniente utilizar la cuenca hidrográfica como unidad de estudio a la hora de generar herramientas de diseño porque esto proporciona al diseñador más información a la hora de hacer uso de ellas. Genera además información más completa desde el punto de vista hidrológico y que puede ser utilizada en otros campos distintos a la ingeniería, como la meteorología o la agricultura.

Como consideración de diseño, se recomienda utilizar los diferentes hietogramas característicos disponibles en una estación para así tener posibles escenarios que permitan determinar las condiciones críticas para cada situación de diseño. Esto se puede complementar haciendo un estudio de probabilidad de ocurrencia de los distintos tipos de hietogramas para cada estación.

En la elaboración del mapa de precipitación promedio anual obtenido de PRODUS se utilizó un registro de años corto para obtener condiciones de lluvia promedio (10 años). Es conveniente utilizar un registro más extenso de por lo menos 25 a 30 años para describir el comportamiento de condiciones promedio de lluvia.

Se debe contar con la información de lluvia diaria en formato de hoja de cálculo para facilitar el manejo de la información a la hora de procesar los datos.

Se recomienda la digitalización de las bandas pluviográficas para facilitar el uso de los registros de precipitación diaria. Esto lo puede realizar el I.C.E. en coordinación con universidades y bajo una estricta supervisión que resguarde la información, de modo que el estudiante de ingeniería civil pueda entrar en contacto con información meteorológica y familiarizarse con su proceso de obtención y registro, y que la institución pueda digitalizar la gran cantidad de información que se encuentra en las bandas pluviográficas.

Es importante contar con las coordenadas de ubicación de estaciones y mapas en grados, minutos y segundos, y en proyecciones Lambert y CRTM05. Esto con el fin de facilitar la manipulación de la información mediante S.I.G.

Se debe extender estudios de este tipo a otras cuencas del país empezando por la cuenca del río Virilla. De este modo se complementa el trabajo realizado por Murillo (1994) y se avanza en la iniciativa de modelar las áreas de escurrimiento urbano con métodos de área – tiempo. Las subsiguientes cuencas se deben elegir en función de su importancia y grado de urbanización.

Bibliografía

1. Aparicio Mijares, Francisco (1989). Fundamentos de Hidrología de Superficie. Limusa, México.
2. Barry, R & Chorley, R (1987). Atmosphere, Weather & Climate. Routledge, U.S.A. & England.
3. Chacón Mora, Rafael E. (1983). Variabilidad espacial y Temporal de la Precipitación en la Región Montañosa de la Cuenca del Río Reventazón. Proyecto de graduación presentado en la Universidad de Costa Rica para optar por el grado de licenciatura.
4. Chacón M., Rafael & Fernández, W. (1985). Temporal and Spatial Rainfall Variability in the Mountainous Region of the Reventazón River Basin, Costa Rica. Journal of Climatology, vol. 5, pags. 175-188.
5. Chow, Ven Te et al. (1994). Hidrología Aplicada. McGraw Hill Latinoamericana.
6. Gaceta Diario Oficial, (1996). Alcance Nº 10 a La Gaceta Nº 34 Decreto 24973 – MP-MOPT, Imprenta Nacional, Costa Rica.
7. Gamboa, Ramiro. (1969). Diseño Hidrológico e Hidráulico de Drenajes de Carreteras. Proyecto de graduación presentado en la Universidad de Costa Rica para optar por el grado de Ingeniero Civil.
8. Grandoso, Héctor. (1980). Estudio Meteorológico de las Inundaciones de Diciembre de 1970 en Costa Rica. Trabajo de investigación para el Instituto Meteorológico Nacional. I.M.N, San José, Costa Rica.
9. Günter Varson, W. y Alfredo M. (1992). Las Intensidades de las Tormentas en los Centros Urbanos más Importantes de Costa Rica. Informe final al Colegio de Ingenieros Civiles. Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.
10. Hidalgo, Hugo (1980). Heavy Rainfall in Costa Rica. M.sc. Thesis, Birmingham University.
11. Instituto Meteorológico Nacional, 1967. *Mapa de Isoyetas en mm Para una Lluvia con una Duración de Una Hora, que Puede Esperarse Una Vez Cada Año.*
12. Instituto Meteorológico Nacional, 1996. Boletín Meteorológico Mensual. Instituto Meteorológico Nacional, Costa Rica, Febrero de 1996.
13. Instituto Meteorológico Nacional, 1998. Atlas Climatológico Interactivo versión digital.
14. Linsley, Ray K. (1977). Hidrología para Ingenieros. McGraw Hill, México.

15. Murillo Muñoz, Rafael (1994). Estudio de Intensidades de Lluvia en la Cuenca del Río Virilla. Proyecto de graduación presentado en la Universidad de Costa Rica para optar por el grado de Ingeniero Civil.
16. Vargas, Carlos. (1953). Análisis de Condiciones de Precipitación Lluviosa Máxima para la ciudad de San José basado en 36 Años de Observaciones. Proyecto de graduación presentado en la Universidad de Costa Rica para optar por el grado de Ingeniero Civil.
17. Villón Béjar, Máximo (2004). Hidrología. Editorial Tecnológica de Costa Rica, San José, Costa Rica.
18. Villón Béjar, Máximo (2006). Hidrología Estadística. Editorial Tecnológica de Costa Rica, San José, Costa Rica.
19. Zárate Hernández, Eladio. (1977). Principales Sistemas de Vientos que Afectan a Costa Rica y sus Relaciones con la Precipitación. Proyecto de graduación presentado en la Universidad de Costa Rica para optar por el grado de licenciatura.
20. Zárate Hernández, Eladio (1978). Comportamiento del Viento en Costa Rica. Nota de Investigación N° 2, I.M.N, Costa Rica.

Anexos

Anexo A

Mapas generales de la cuenca.

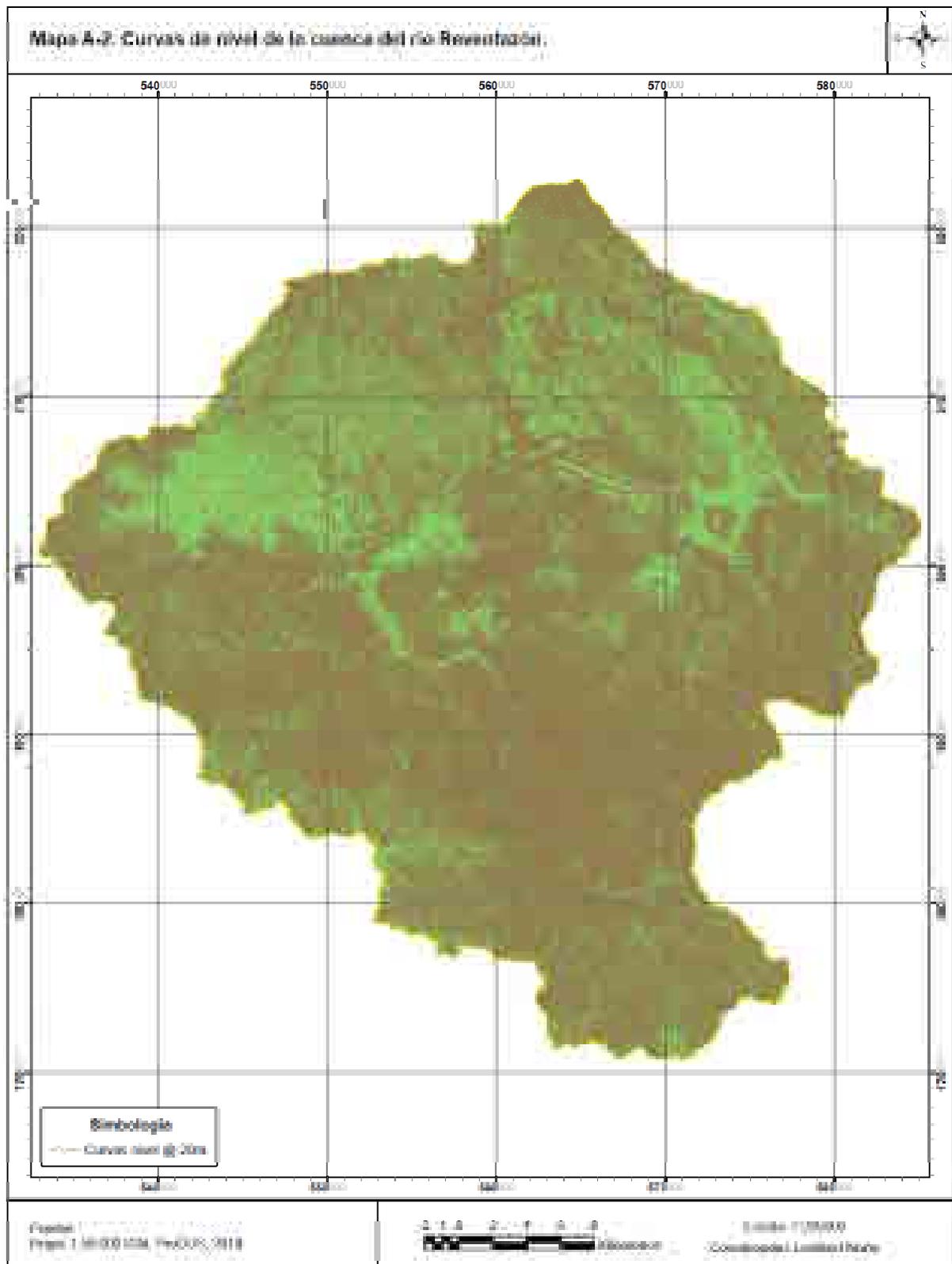


Figura A.2. Mapa de la cuenca con las curvas de nivel cada 20 m.

Fuente: el autor.



Figura A.3. Mapa de la red hidrográfica de la cuenca y el número de orden de los cauces.

Fuente: el autor.



Figura A.4. Mapa de la red hidrográfica de la cuenca con el cauce principal.

Fuente: el autor.

Anexo B

Estaciones meteorológicas y máximos anuales utilizados

Cuadro B.1. Estaciones meteorológicas con medición de humedad relativa.

Número	Estación	Operador	Altura [m.s.n.m.]	Coordenadas			
				Latitud		Longitud	
				Grados	Minutos	Grados	Minutos
73046	Cachí (Plantel)	I.C.E.	1018	9	49	83	48
73079	Oriente	I.C.E.	740	9	47	83	43
73080	Cerro de la muerte (repetidoras)	I.C.E.	3130	9	34	83	46
73126	Terrena de Guatuso	I.C.E.	1390	9	49	83	57

Fuente: el autor.

Cuadro B.2. Estaciones meteorológicas con medición de viento.

Número	Estación	Operador	Altura [m.s.n.m.]	Coordenadas			
				Latitud		Longitud	
				Grados	Minutos	Grados	Minutos
73116	Campamento	I.C.E.	570	9	53	83	39
73132	Pacayas	I.C.E.	1890	9	55	83	49
73134	San Pablo de Cot	I.C.E.	2219	9	56	83	50
73136	Tierra Blanca	I.C.E.	2123	9	55	83	53

Fuente: el autor.

Cuadro B.3. Estaciones meteorológicas utilizadas para la elaboración de los hietogramas característicos.

Número	Estación	Operador	Altura [m.s.n.m.]	Coordenadas			
				Latitud		Longitud	
				Grados	Minutos	Grados	Minutos
73011	Sanatorio Durán	I.C.E.	2337	9	56	83	53
73026	San Rafael de Tapantí	I.C.E.	1203	9	46	83	50
73027	El Cañón	I.C.E.	2460	9	41	83	54
73028	El humo	I.C.E.	680	9	48	83	43
73029	Embalse - El Llano (río Macho)	I.C.E.	1572	9	46	83	52
73033	Villa Mills	I.C.E.	3000	9	34	83	43
73039	Tres de Junio	I.C.E.	2630	9	40	83	51
73041	La Cangreja	I.C.E.	1830	9	48	83	58
73044	La Suiza	I.C.E.	620	9	51	83	37
73046	Cachí (Plantel)	I.C.E.	1018	9	49	83	48
73047	Tucurrique	I.C.E.	770	9	51	83	45
73074	San Antonio Santa Cruz de Turrialba	I.C.E.	1190	9	58	83	43
73079	Oriente	I.C.E.	740	9	47	83	43
73089	Sitio de Presa Tapantí	I.C.E.	1921	9	42	83	46

Fuente: el autor.

Cuadro B.4. Máximos anuales estación 73011 Sanatorio Durán.

73011 Sanatorio Durán	
Fecha	Precipitación total [mm]
16-Nov-70	134,8
06-Sep-71	85,0
04-Sep-72	55,6
10-Sep-73	54,3
31-May-74	55,4
15-Ago-75	67,5
19-Jun-76	51,6
08-Ago-77	69,9
25-Ago-78	78,6
20-Oct-79	70,9
13-Dic-80	73,3
30-Oct-81	54,7
04-Oct-82	62,9
27-Ago-83	52,2
26-May-84	78,5
14-Oct-85	40,3
01-Sep-86	77,3
28-Oct-87	73,0
27-May-88	78,4
27-Sep-89	41,0
23-May-90	79,0
20-Oct-91	39,3
1992 (11-Oct-74)	74,5
01-Oct-93	49,2
04-Nov-94	68,6
28-Ago-95	57,0
12-Feb-96	51,1
1997 (13-Nov-80)	57,3
04-Dic-98	91,2
02-May-99	46,7
18-set-1999	64,8
30-Nov-00	44,8
15-May-01	36,7
30-Nov-02	63,3
11-Dic-03	67,2
07-Nov-04	111,5
11-Jul-05	70,1
03-Jun-06	84,8
06-Oct-07	51,4
21-May-08	72,7
23-Oct-09	93,7

Fuente: el autor.

Cuadro B.5. Máximos anuales estación 73026 San Rafael de Tapantí.

73026 San Rafael de Tapantí	
Fecha	Precipitación total [mm]
09-Abr-70	216,8
16-Jul-71	75,1
20-May-72	58,7
18-Jun-73	95,9
03-Dic-74	118,3
02-Jul-75	88,6
01-Jun-76	78,5
01-Sep-77	90,7
18-Dic-78	70,0
11-Jun-79	68,4
29-Sep-80	114,3
30-Oct-81	96,4
12-Oct-82	81,2
06-Jun-83	95,6
01-Jun-84	78,0
15-Jun-85	87,8
21-Ago-86	90,3
16-Jul-87	82,9
19-Jun-88	78,7
06-Jul-89	130,0
31-May-90	114,3
11-Sep-91	101,2
21-Oct-92	106,8
09-Dic-93	235,3
01-Oct-94	130,0
27-Sep-95	74,7
12-Feb-96	213,2
15-Ago-97	94,3
24-Jul-98	108,5
20-Jun-99	93,5
13-Ene-00	119,3
08-Oct-01	85,7
19-Ago-02	106,7
01-Abr-03	191,0
2004 (3-Dic-70)	180,8
2005 (6-Jul-03)	147,6
30-Nov-06	99,2
18-May-07	102,9
22-Nov-08	133,3
06-Feb-09	127,9

Fuente: el autor.

Cuadro B.6. Máximos anuales estación 73027 El Cañón.

73027 El Cañón	
Fecha	Precipitación total [mm]
09-Abr-70	160,1
18-set-71	107,0
19-Ago-72	50,2
28-Ago-73	127,8
16-May-74	63,0
23-Jun-75	74,1
05-Jun-76	66,5
21-Ago-77	64,6
25-set-78	65,0
17-Ago-79	60,9
12-Jun-80	99,9
04-May-81	66,5
24-May-82	69,9
02-Nov-83	72,6
27-Oct-84	78,1
21-Ago-85	56,4
27-May-86	127,3
07-Abr-87	76,5
12-Sep-88	140,1
09-Jul-89	53,6
15-Oct-90	64,5
30-Ago-91	76,0
24-Nov-92	72,3
09-Dic-93	113,9
08-Nov-94	71,6
07-Oct-95	90,4
27-Jul-96	223,0
08-Jun-97	61,6
29-Oct-98	115,7
30-set-99	76,9
26-May-00	56,2
03-Jun-01	55,8
02-Jul-02	59,6
01-Abr-03	215,7
19-May-04	101,2
20-Oct-05	75,1
17-Jul-06	75,7
18-May-07	57,1
12-Oct-08	127,1
04-Nov-09	71,0

Fuente: el autor.

Cuadro B.7. Máximos anuales estación 73028 El Humo.

73028 El Humo	
Fecha	Precipitación total [mm]
09-Abr-70	353,5
24-Sep-71	68,5
16-Oct-72	111,3
24-May-73	126,4
12-Jun-74	223,8
25-Sep-75	156,0
28-Ago-76	89,9
14-Sep-77	118,3
01-Jun-78	80,6
18-Oct-79	111,7
12-Dic-80	127,5
27-Ago-81	191,7
03-Jun-82	88,1
05-Jun-83	125,4
02-Dic-84	102,0
11-Jun-85	137,0
01-Nov-86	88,3
02-Jul-87	216,3
28-Ene-88	140,7
16-Jun-89	98,2
15-Ago-90	114,1
26-Oct-91	104,3
01-Sep-92	121,6
09-Dic-93	380,1
13-Oct-94	94,7
23-Ago-95	119,4
12-Feb-96	267,3
19-Ene-97	89,2
29-Jun-98	95,0
03-May-99	145,1
13-Ene-00	132,1
28-Sep-01	78,3
29-Nov-02	120,6
01-Abr-03	215,4
15-Jun-04	75,6
09-Ene-05	201,5
09-Jul-06	113,3
25-Dic-07	141,9
02-Dic-08	141,1
05-Feb-09	154,5

Fuente: el autor.

Cuadro B.8. Máximos anuales estación 73029 Embalse – El Llano (río Macho).

73029 Embalse - El Llano (río Macho)	
Fecha	Precipitación total [mm]
03-Dic-70	131,1
16-Jul-71	59,9
25-Ago-72	60,0
18-Jun-73	70,3
03-Dic-74	126,4
03-Jul-75	86,3
02-Sep-76	86,2
01-Sep-77	66,2
18-set-78	68,5
03-May-79	76,1
29-Sep-80	85,1
15-Sep-81	109,5
02-Nov-82	86,3
16-Jul-83	85,0
04-Jul-84	105,0
15-Jun-85	64,8
08-Jun-86	57,4
16-Jul-87	73,3
22-Oct-88	82,8
25-Sep-89	66,3
22-Ago-90	94,6
11-Sep-91	55,7
21-Oct-92	76,8
09-Dic-93	230,4
28-Ago-94	76,9
14-Sep-95	84,1
12-Feb-96	141,2
29-Nov-97	88,3
24-Jul-98	89,0
23-Sep-99	78,0
14-Ene-00	80,8
28-May-01	74,2
30-Ago-02	97,9
06-Jul-03	148,4
15-May-04	75,6
11-Jul-05	109,1
30-Nov-06	88,9
18-May-07	84,8
12-Ago-08	59,3
05-Feb-09	72,4

Fuente: el autor.

Cuadro B.9. Máximos anuales estación 73033 Villa Mills.

73033 Villa Mills	
Fecha	Precipitación total [mm]
16-Nov-70	124,4
18-Sep-71	146,3
18-May-72	52,9
28-Ago-73	118,9
23-Ago-74	73,5
17-Oct-75	84,7
25-May-76	63,5
25-Sep-77	77,2
01-Jun-78	53,8
20-Sep-79	57,1
12-Jun-80	79,0
31-May-81	87,9
23-May-82	68,2
07-Nov-83	74,9
27-Oct-84	106,4
07-May-85	37,8
27-May-86	125,9
07-Abr-87	53,3
13-Sep-88	236,3
07-Sep-89	68,4
08-Oct-90	84,0
30-Ago-91	116,1
04-May-92	55,6
15-Sep-93	59,6
07-Ago-94	48,4
13-Jun-95	88,4
27-Jul-96	357,7
19-Jun-97	49,5
07-Jul-98	84,5
10-Jul-99	52,9
15-set-00	69,1
30-Oct-01	84,5
10-Sep-02	64,4
13-Jun-03	83,7
19-May-04	100,5
19-Sep-05	63,4
19-Sep-06	29,3
20-Oct-07	100,2
29-Nov-08	20,9
05-Jun-09	50,5

Fuente: el autor.

Cuadro B.10. Máximos anuales estación 73039 Tres de Junio.

73039 Tres de Junio	
Fecha	Precipitación total [mm]
04-Dic-70	144,9
22-Ene-71	76,0
19-Ago-72	58,6
10-Dic-73	138,2
12-Jun-74	66,9
12-Dic-75	75,9
03-Jun-76	76,3
28-Sep-77	58,7
17-Dic-78	50,0
04-Jun-79	48,1
12-Dic-80	98,5
22-Nov-81	66,5
06-Sep-82	82,8
31-May-83	83,5
27-Oct-84	85,8
04-Sep-85	56,5
22-Mar-86	84,4
21-Oct-87	75,8
27-Ene-88	227,6
11-Sep-89	66,5
22-Ago-90	65,6
30-Nov-91	106,7
15-Ago-92	54,4
09-Dic-93	143,2
05-Ene-94	83,6
13-Jun-95	84,7
27-Jul-96	192,8
25-Dic-97	94,8*
19-Jun-98	102,3
01-Nov-99	125,2
11-Ene-00	74,1
26-Ene-01	104,9
23-Nov-02	90,3
27-Abr-03	91,7
18-Oct-04	84,6
11-Nov-05	65,9
15-Ene-06	126,8
20-May-07	76,1
22-Nov-08	196,4
05-Feb-09	120,2

*Banda no utilizada por mal funcionamiento del pluviógrafo.

Fuente: el autor.

Cuadro B.11. Máximos anuales estación 73041 La Cangreja.

73041 La Cangreja	
Fecha	Precipitación total [mm]
16-Nov-70	80,2
18-May-71	66,9
21-May-72	45,8
25-Jun-73	59,6
17-Oct-74	66,1
17-Nov-75	64,3
01-Jun-76	59,5
24-Sep-77	80,5
25-Oct-78	49,6
17-Ago-79	79,7
02-Jun-80	56,5
27-Ago-81	88,8
03-Oct-82	62,5
26-Ago-83	65,7
02-Dic-84	87,2
14-Oct-85	47,5
12-Oct-86	79,7
11-Oct-87	84,5
27-May-88	72,3
15-Jul-89	69,5
11-Oct-90	63,2
30-May-91	52,7
23-set-92	61,5
25-set-93	89,9
08-Jun-94	80,3
13-Jun-95	73,5
27-Jul-96	117,6
21-Abr-97	66,8
27-May-98	61,4
25-Ago-99	66,2
21-set-00	72,5
08-Sep-01	25,2
26-Ago-02	74,7
18-Jun-03	56,0
07-Sep-04	72,5
16-Nov-05	48,7
08-May-06	52,9
21-Ago-07	68,9
12-Oct-08	66,1
05-Jun-09	67,6

Fuente: el autor.

Cuadro B.12. Máximos anuales estación 73044 La Suiza.

73044 La Suiza	
Fecha	Precipitación total [mm]
03-Dic-70	231,6
25-Ago-71	96,1
23-Dic-72	114,7
10-Dic-73	160,3
03-Dic-74	154,0
12-Dic-75	102,3
31-Jul-76	103,9
14-Jun-77	156,2
17-Dic-78	72,6
17-Ago-79	64,4
12-Dic-80	168,0
22-Nov-81	148,6
25-Jul-82	97,3
01-Mar-83	90,3
02-Dic-84	221,6
22-Ago-85	95,0
21-Mar-86	99,4
05-Jun-87	91,1
27-Ene-88	236,5
01-Nov-89	82,4
06-Oct-90	84,6
11-Ago-91	142,6
08-Ago-92	162,9
09-Dic-93	295,5
27-Sep-94	83,9
27-Oct-95	91,5
12-Feb-96	279,7
26-Nov-97	150,6
06-Oct-98	90,1
04-Dic-99	103,5
13-Ene-00	132,4
29-Abr-01	88,2
23-Nov-02	212,5
10-Dic-03	187,2
08-Nov-04	133,2
09-Ene-05	214,2
13-Jun-06	139,2
25-Dic-07	165,2
23-Nov-08	216,6
05-Feb-09	129,4

Fuente: el autor.

Cuadro B.13. Máximos anuales estación 73046 Cachí (Plantel).

73046 Cachí (Plantel)	
Fecha	Precipitación total [mm]
09-Abr-70	148,4
06-Sep-71	65,7
04-Sep-72	62,0
19-May-73	55,9
03-Dic-74	108,1
13-Dic-75	124,9
16-Jul-76	74,3
06-Ago-77	53,4
17-Dic-78	78,4
01-Jun-79	57,1
11-Sep-80	116,0
27-Ago-81	82,1
26-Jun-82	62,5
01-Mar-83	65,4
02-Dic-84	229,9
11-Jun-85	69,5
26-Sep-86	77,2
02-Jul-87	116,9
28-Ene-88	78,4
15-Jul-89	121,5
23-Oct-90	84,7
11-Ago-91	82,9
01-Sep-92	91,2
09-Dic-93	130,0
01-Oct-94	58,2
1995 (30-Ago-02)	93,8
12-Feb-96	238,1
04-Ago-97	130,2
26-Jul-98	76,4
31-Ago-99	83,8
13-Ene-00	191,4
10-Feb-01	87,1
29-Nov-02	151,9
01-Abr-03	148,6
18-Sep-04	74,4
08-Ene-05	62,8
15-Ene-06	50,1
25-Dic-07	61,6
12-Oct-08	33,8
05-Jun-09	32,1

Fuente: el autor.

Cuadro B.14. Máximos anuales estación 73047 Tucurrique.

73047 Tucurrique	
Fecha	Precipitación total [mm]
09-Abr-70	272,8
15-Jul-71	118,6
23-Dic-72	82,3
06-Jun-73	63,3
04-Dic-74	148,3
02-Sep-75	106,8
16-Jul-76	110,4
23-Ago-77	71,4
03-May-78	62,4
30-set-79	65,5
12-Dic-80	108,8
22-Nov-81	103,5
26-Jul-82	66,9
01-Mar-83	77,1
02-Dic-84	247,0
11-Jun-85	83,5
01-Nov-86	133,6
16-Jun-87	90,6
28-Ene-88	117,3
16-Sep-89	68,0
15-Oct-90	75,3
11-Ago-91	143,4
02-Jul-92	139,2
09-Dic-93	284,2
31-Ago-94	130,6
13-Jun-95	99,4
12-Feb-96	331,7
03-Ago-97	181,0
08-Sep-98	76,5
02-Oct-99	74,0
13-Ene-00	214,5
04-Jul-01	125,5
30-Nov-02	158,7
01-Abr-03	206,6
30-set-05	100,9
09-Ene-05	180,8
14-Ene-06	155,7
25-Dic-07	141,7
02-Dic-08	135,0
04-Feb-09	116,5

Fuente: el autor.

Cuadro B.15. Máximos anuales estación 73074 San Antonio de Santa Cruz de Turrialba.

73074 San Antonio de Santa Cruz de Turrialba	
Fecha	Precipitación total [mm]
18-Dic-70	290,6
22-Jul-71	109,9
03-Abr-72	144,9
28-Nov-73	143,9
09-Ene-74	158,3
13-Dic-75	161,3
09-Dic-76	261,2
27-Jun-77	93,1
02-Feb-78	193,8
23-Oct-79	112,6
12-Dic-80	134,6
28-Feb-81	144,5
25-Jun-82	124,7
01-Mar-83	145,7
02-Dic-84	163,5
24-Ago-85	100,9
21-Mar-86	164,7
20-Dic-87	307,2
28-Ene-88	165,4
14-Ago-89	64,1
15-Dic-90	202,1
11-Ago-91	199,2
01-Mar-92	120,8
20-Ago-93	168,9
09-Dic-94	154,3
16-Oct-95	79,8
12-Feb-96	367,3
15-May-97	99,1
15-May-98	175,5
04-Dic-99	123,6
14-Ene-00	179,1
29-Abr-01	154,8
30-Nov-02	364,2
2003 (31-Jul-76)	228,6
2004 (09-Dic-93)	158,2
22-Sep-05	144,5
15-Ene-06	215,9
25-Dic-07	185,6
22-Nov-08	121,9
18-Jul-09	135,9

Fuente: el autor.

Cuadro B.16. Máximos anuales estación 73079 Oriente.

73079 Oriente	
Fecha	Precipitación total [mm]
03-Dic-70	273,8
02-Ago-71	82,6
16-Oct-72	135,0
09-Dic-73	128,8
03-Dic-74	211,2
31-May-75	102,2
23-Jun-76	98,8
30-Jun-77	142,5
12-Sep-78	101,1
11-Jul-79	131,8
09-Sep-80	132,7
27-Ago-81	138,0
21-Sep-82	84,7
23-Jul-83	99,5
30-Jun-84	96,3
09-Jun-85	100,9
03-Oct-86	84,4
02-Jul-87	132,7
27-Ene-88	223,4
04-Ago-89	93,6
15-Oct-90	140,0
24-Sep-91	102,8
01-Sep-92	224,8
09-Dic-93	435,2
04-Sep-94	129,0
01-Jul-95	113,3
12-Feb-96	273,6
29-Ago-97	162,0
29-Jun-98	99,2
17-May-99	116,7
09-Sep-00	100,9
04-Jun-01	62,0
23-Nov-02	164,0
01-Abr-03	200,7
15-Jun-04	143,3
09-Ene-05	160,2
15-Ene-06	119,4
06-Sep-07	151,9
22-Nov-08	102,0
05-Feb-09	167,5

Fuente: el autor.

Cuadro B.17. Máximos anuales estación 73089 Sitio de Presa Tapantí.

73089 Sitio de Presa Tapantí	
Fecha	Precipitación total [mm]
1970 (02-Ago-75)	107,3
1971 (02-Oct-75)	112,5
1972 (14-Ago-97)	129,8
1973 (20-Jun-83)	132,5
25-Jul-74	123,1
1975 (2-Ene-82)	108,9
18-Ene-76	121,6
21-May-77	78,2
30-Oct-78	92,4
01-Sep-79	91,4
17-Dic-80	181,6
22-Nov-81	129,4
10-Feb-82	116,1
05-May-83	159,4
28-Feb-84	194,4
01-Jun-85	106,1
1986 (25-Sep-89)	122,0
12-Jun-87	105,3
27-Ene-88	310,5
19-Ago-89	160,7
1990 (30-Ago-02)	133,6
14-Jun-91	91,1
11-Sep-92	86,9
22-Oct-93	151,1
05-Ene-94	112,8
29-Jun-95	97,6
05-Feb-96	169,3
09-Jun-97	136,8
11-Jul-98	91,7
30-Nov-99	177,4
30-Oct-00	155,3
25-Ene-01	149,8
23-Nov-02	222,6
2003 (24-Oct-02)	126,5
08-Nov-04	268,3
17-Abr-05	88,2
15-Ene-06	178,3
06-Nov-07	118,7
23-Nov-08	209,2
05-Feb-09	157,4

Fuente: el autor.

Anexo C

Ejemplos de cálculo

Ejemplos de cálculo de las características morfométricas de la cuenca obtenidas de forma analítica mediante fórmulas.

Índice de compacidad

El índice de compacidad es la relación entre el perímetro de la cuenca en estudio y el perímetro de una cuenca imaginaria circular con la misma área. Es una medida de la forma de la cuenca, que tan redonda o alargada es. El índice de compacidad está definido por la siguiente fórmula (Villón, Máximo 2004):

$$I_c = \frac{0,28 \cdot P}{\sqrt{A}} \quad (\text{C.1})$$

Donde:

P = Perímetro de la cuenca en km.

A = Área de la cuenca en km².

Con este índice se puede expresar la influencia del perímetro y del área en la escorrentía, particularmente en las características del hidrograma (Villón, Máximo 2004).

Para la cuenca en estudio se tiene un I_c de $I_c = 0,28 * \frac{200,3}{\sqrt{1525,7}} = 1,44$.

Según sea el valor del I_c la cuenca se puede clasificar en los tipos expuestos en la Cuadro C.1

Cuadro C.1. Índices de compacidad

Forma aproximada de la cuenca	I_c
Circular	[1-1,25[
Ovalada	[1,25-1,5[
Oblonga	[1,5-1,75[
Rectangular alargada	Mayor a 1,75

Fuente: Notas de clase Hidrología (IC - 0808), Prof: Ing. Rafael Oreamuno Vega.

Esta cuenca se clasifica como Ovalada.

Rectángulo equivalente

El rectángulo equivalente es una transformación geométrica que permite representarla cuenca con la forma de un rectángulo de igual área y perímetro. Esto implica que la cuenca transformada tiene el mismo índice de compacidad, la misma distribución de alturas, la misma curva hipsométrica y la misma distribución de cobertura de terreno (Máximo, V. 2004). Sus lados "L" y "l" se encuentran con las siguientes fórmulas:

$$L = \frac{I_c \sqrt{A}}{1,12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{I_c} \right)^2} \right) \quad (C.2)$$

$$l = \frac{I_c \sqrt{A}}{1,12} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{I_c} \right)^2} \right) \quad (C.3)$$

Donde:

L = Lado mayor.

l = Lado menor.

I_c = Índice de compacidad.

A = Área de la cuenca.

Los lados "L" y "l" de la cuenca en estudio tienen las siguientes longitudes:

$$L = \frac{1,44 * \sqrt{1525,7}}{1,12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{1,44} \right)^2} \right) = 81,41 \text{ Km.}$$

$$l = \frac{1,44 * \sqrt{1525,7}}{1,12} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{1,44} \right)^2} \right) = 18,74 \text{ Km.}$$

Índice de pendiente

Es una ponderación de las pendientes de los distintos tramos recorridos por el cauce del río. Con este valor se puede establecer aproximadamente el tipo de granulometría que se encuentra en el cauce. Este valor es diferente de la pendiente media del río. La fórmula para calcular el índice de pendiente está dada por la siguiente ecuación:

$$I_p = \sum_{i=2}^n \sqrt{\beta_i (a_i - a_{i-1})} * \frac{1}{\sqrt{L}} \quad (C.4)$$

$$I_p = 18,1$$

Donde:

- **I_p** = Índice de Pendiente.
- **n** = número de curvas de nivel existente en el rectángulo.
- $(a_i - a_{i-1})$ = Resta de los valores de las cotas de las curvas "a_i" y "a_{i-1}".
- **β_i** = factor de ponderación correspondiente al área entre curvas de nivel "i" e "i - 1" dividida por el área total de la cuenca.
- **L** = Longitud del lado mayor del rectángulo equivalente, en kilómetros (ver ec. C.2).

Pendiente de la cuenca

Este parámetro es importante porque tiene una relación importante con la humedad del suelo, la escorrentía superficial, la infiltración y la contribución del agua subterránea a la escorrentía. La magnitud de las crecidas del río se ve afectada por este parámetro, ya que este controla el tiempo de escurrimiento del agua hasta los canales de drenaje.

Existen distintos métodos para encontrar la pendiente de la cuenca. Entre ellos están los métodos de Horton, Alvord, Nash y el del rectángulo equivalente (Villón, Máximo 2004).

Utilizando el criterio del rectángulo equivalente se obtiene un valor de pendiente de la cuenca expresado en porcentaje de 3,77 %.

$$S = \frac{H}{L} \quad (C.5)$$

$$S = \frac{(3,491 - 0,420)}{81,41} = 0,0377$$

Donde:

S = pendiente de la cuenca.

H = desnivel total (cota de la máxima elevación – cota de mínima elevación), en km.

L= lado mayor del rectángulo equivalente, en km.

Pendiente media del cauce principal

La pendiente media de un tramo del cauce de un río es el resultado de la división del desnivel de los extremos del tramo, entre la longitud horizontal de dicho tramo (Villón, Máximo 2004).

Es importante conocer este parámetro para lograr un aprovechamiento hidroeléctrico óptimo o para el manejo de inundaciones.

Existen distintos métodos para la determinación de la pendiente de un cauce. Entre ellos están el método de la pendiente uniforme, el método de compensación de áreas y mediante la ecuación de Taylor y Schwarz (Villón, Máximo 2004).

Utilizando el método de la pendiente uniforme se obtiene un valor en porcentaje de la pendiente media del cauce principal de 3,02%.

$$S = \frac{H}{C_p}$$
$$S = \frac{(3,300 - 0,420)}{95,5} = 0,0302$$

Donde:

S = pendiente media del cauce principal.

H = Desnivel total entre las partes superior e inferior del cauce principal.

C_p = Longitud del cauce principal en km.

Anexo D

Curvas acumuladas de las tormentas por estación

Se muestran tres gráficos por estación. El primero muestra la totalidad de las tormentas de cada estación en curvas acumuladas de precipitación en porcentaje contra tiempo en minutos. El segundo y el tercero contienen las curvas acumuladas de las tormentas de corta y larga duración y la respectiva curva acumulada de los hietogramas característicos que se encontraron. Estos se muestran como una línea de mayor grosor en el gráfico. Se muestra también las curvas de las tormentas que no se ajustaron a ningún comportamiento característico.

D.1 Sanatorio Durán

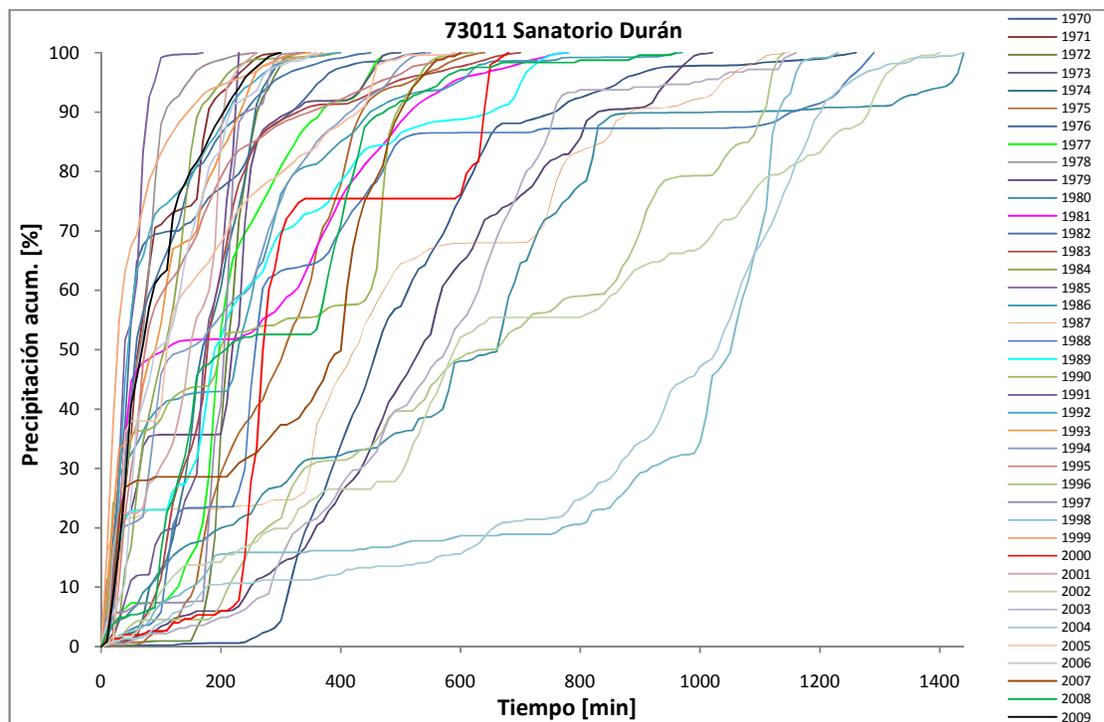


Figura D.1.1. Tormentas acumuladas de la estación Sanatorio Durán.

Fuente: el autor.

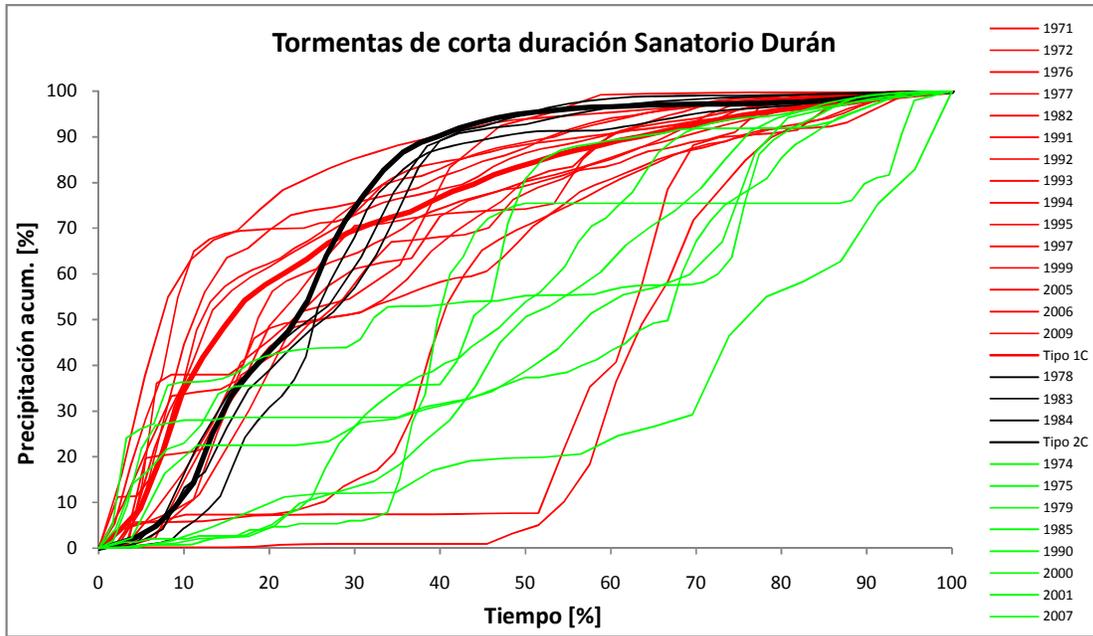


Figura D.1.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración Sanatorio Durán.

Fuente: El autor.

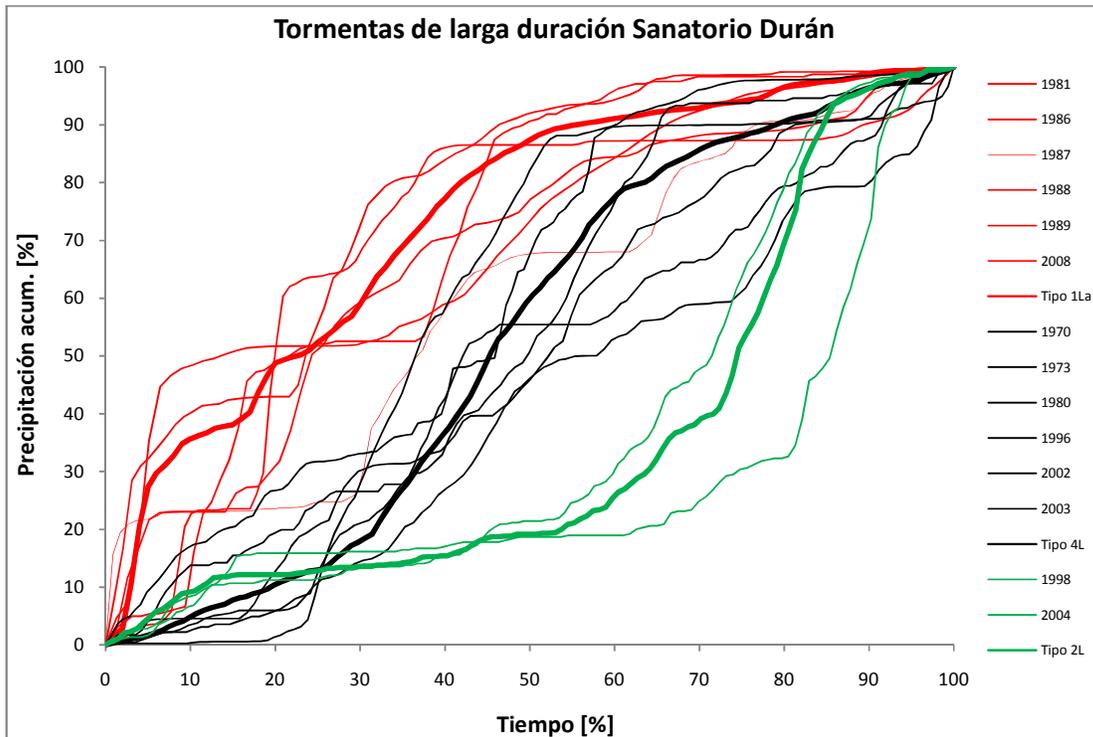


Figura D.1.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración Sanatorio Durán.

Fuente: El autor.

D.2 San Rafael de Tapantí

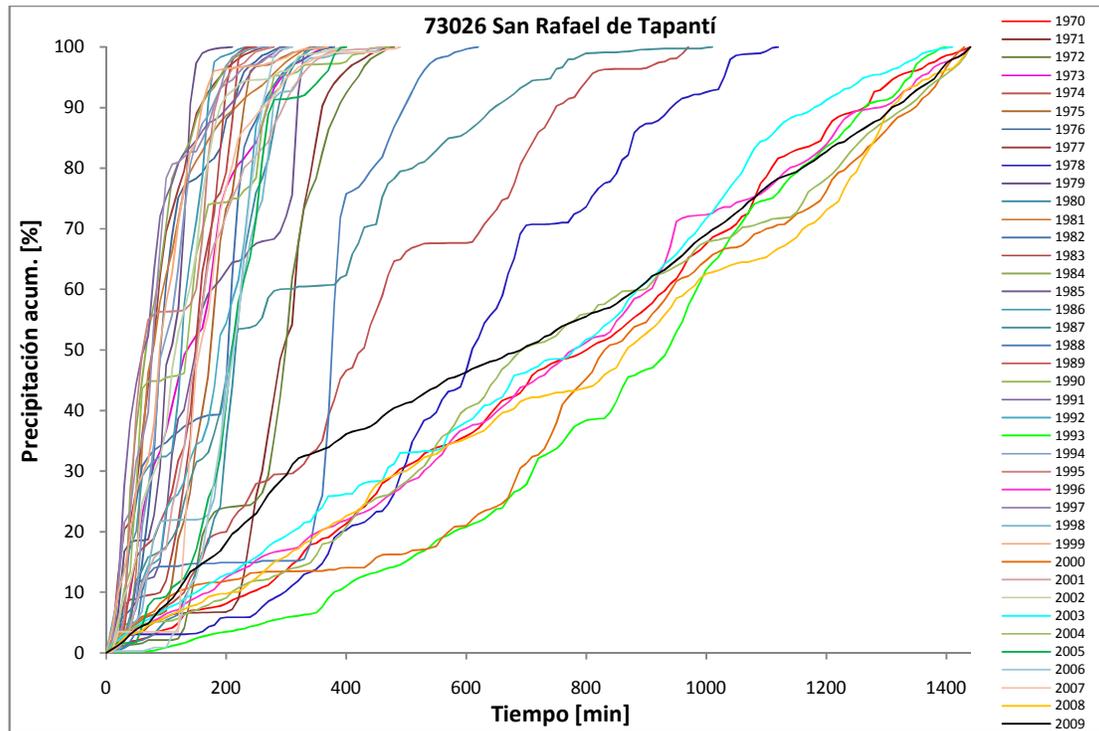


Figura D.2.1. Tormentas acumuladas de la estación San Rafael de Tapantí.

Fuente: el autor.

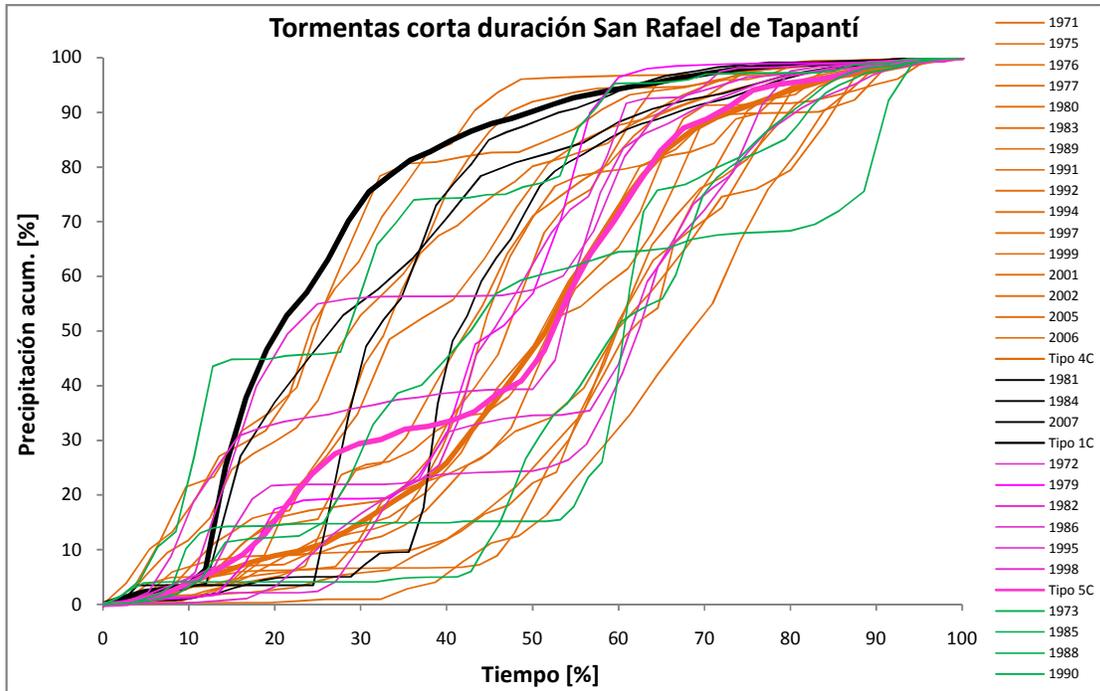


Figura D.2.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración San Rafael de Tapantí.

Fuente: El autor.

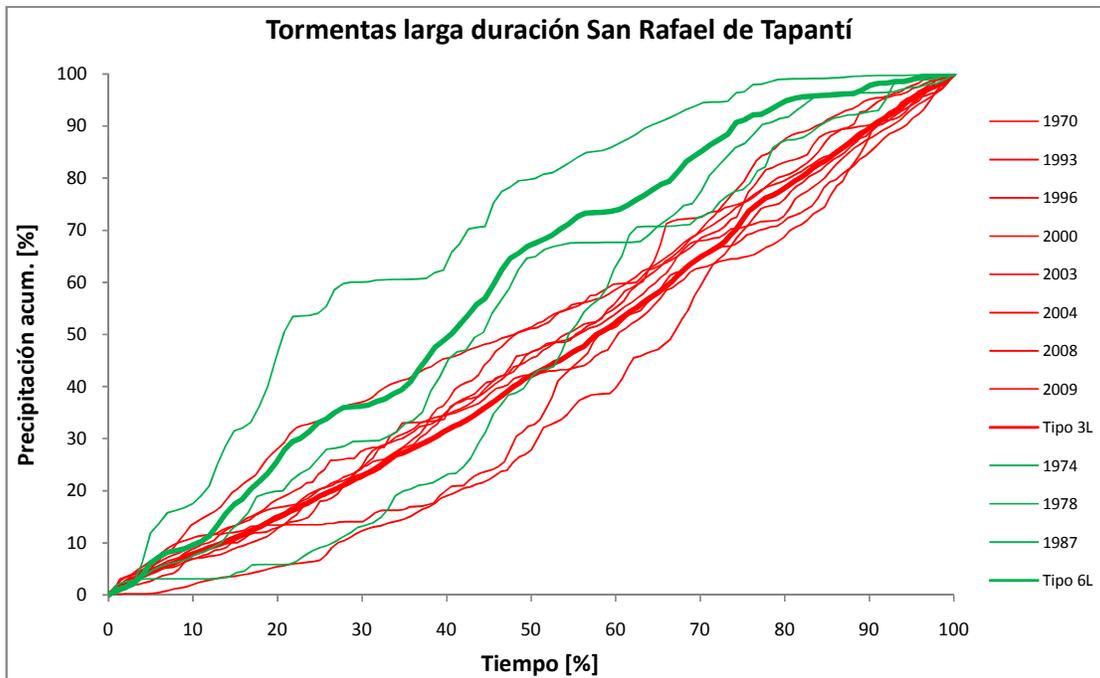


Figura D.2.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración San Rafael de Tapantí.

Fuente: El autor.

D.3 El Cañón

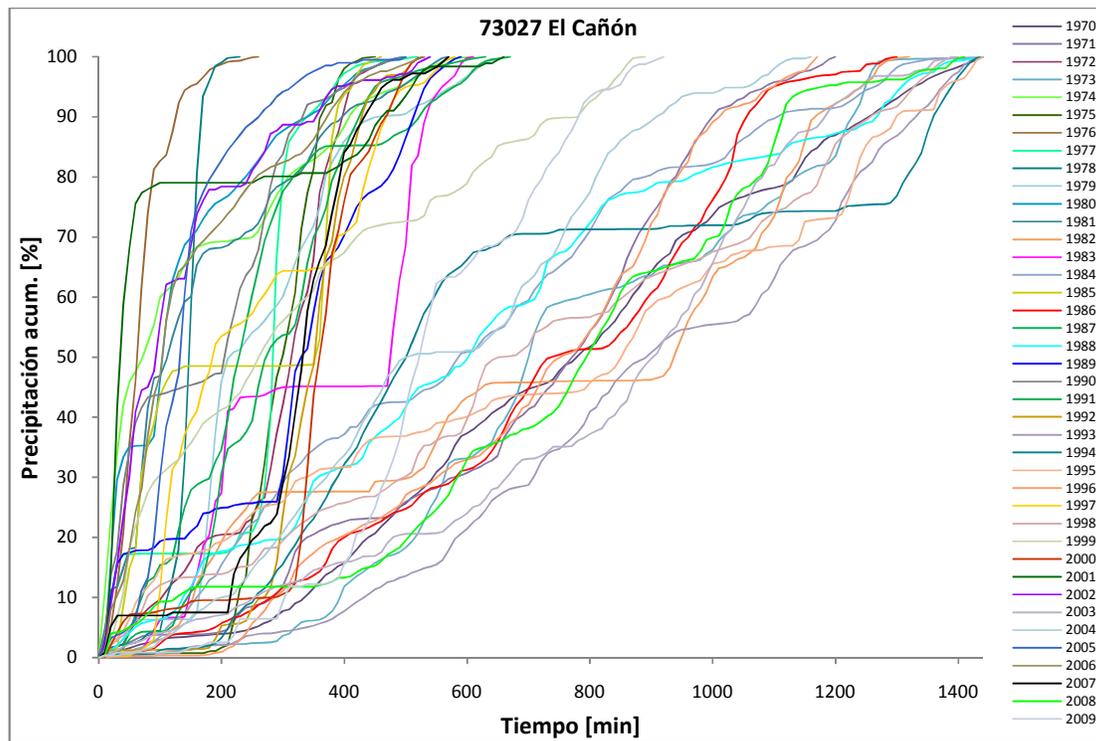


Figura D.3.1. Tormentas acumuladas de la estación El Cañón.

Fuente: el autor.

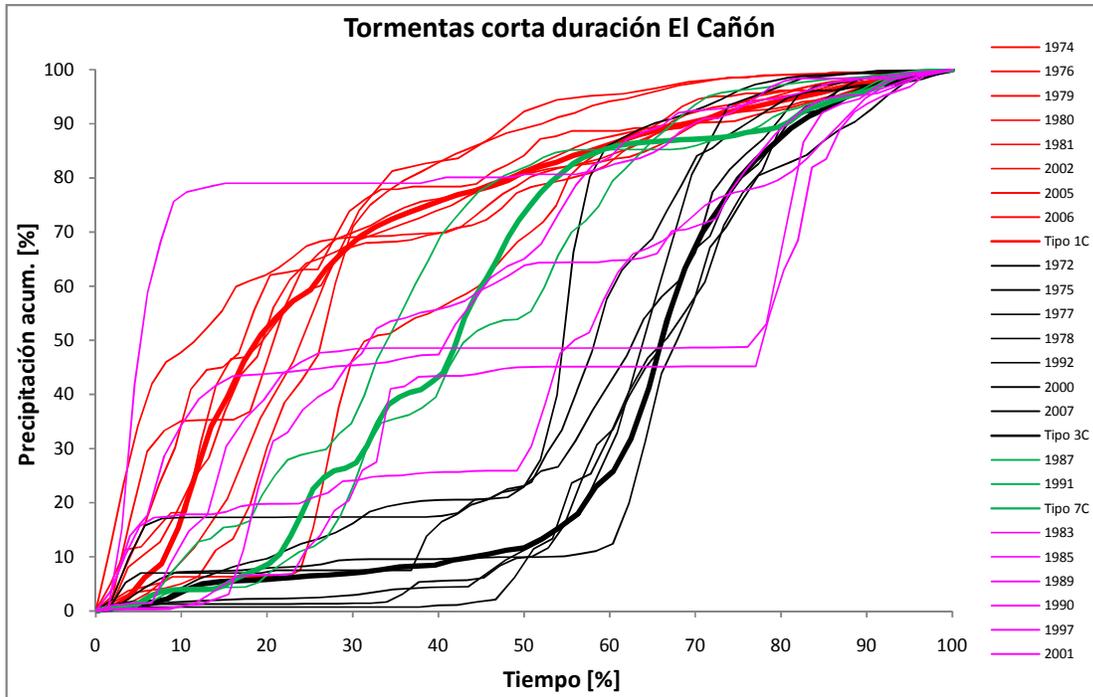


Figura D.3.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración El Cañón.

Fuente: El autor.

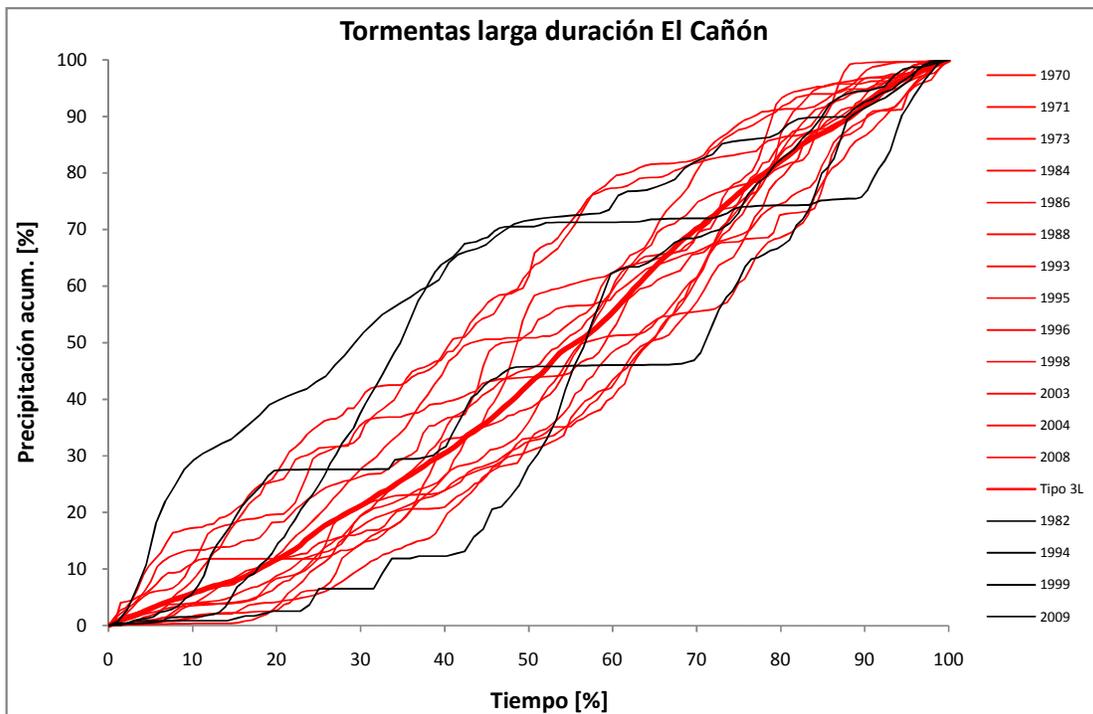


Figura D.3.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración El Cañón.

Fuente: El autor.

D.4 El Humo

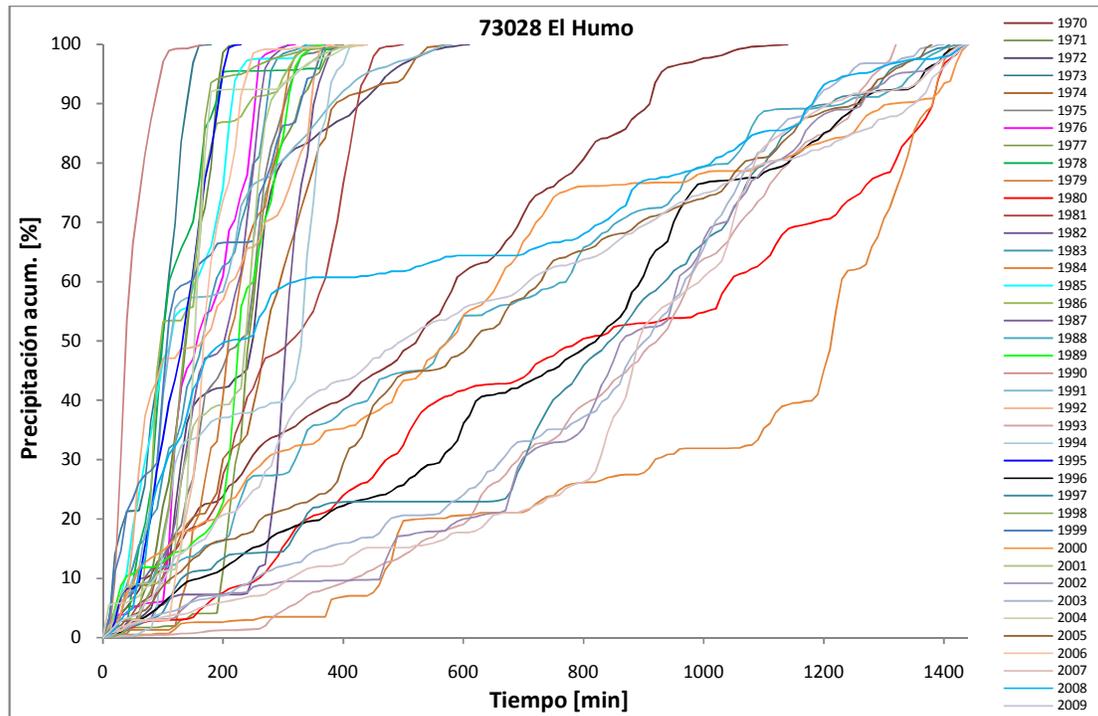


Figura D.4.1. Tormentas acumuladas de la estación El Humo.

Fuente: el autor.

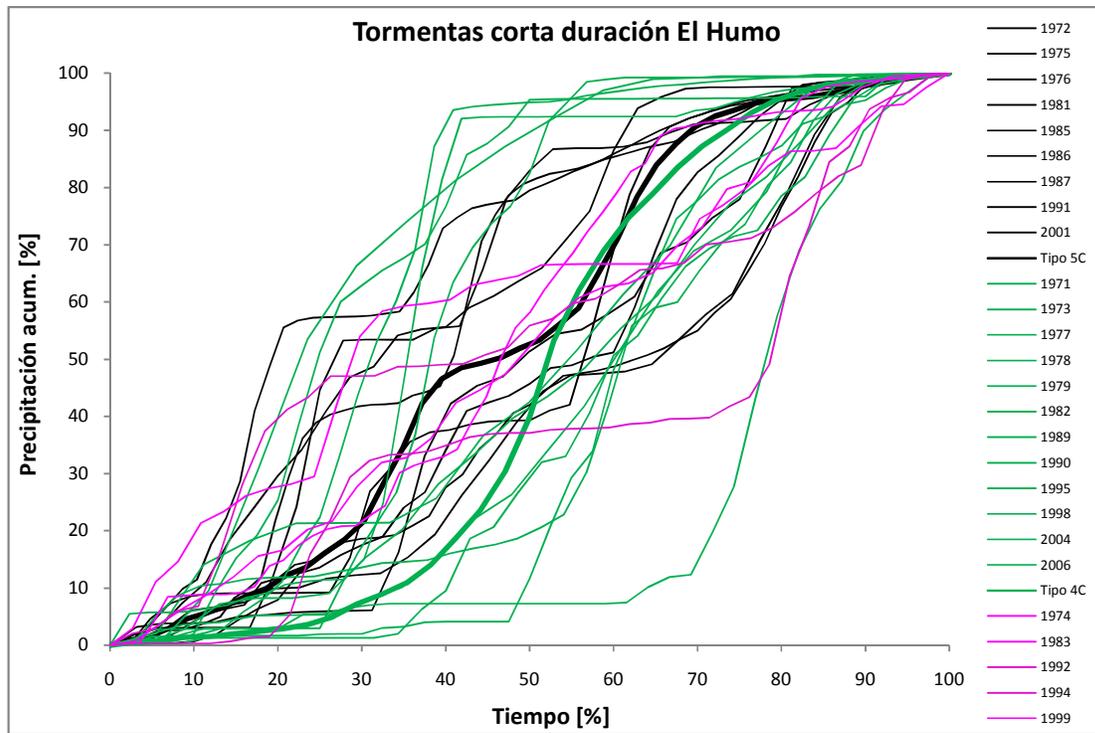


Figura D.4.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración El Humo.

Fuente: El autor.

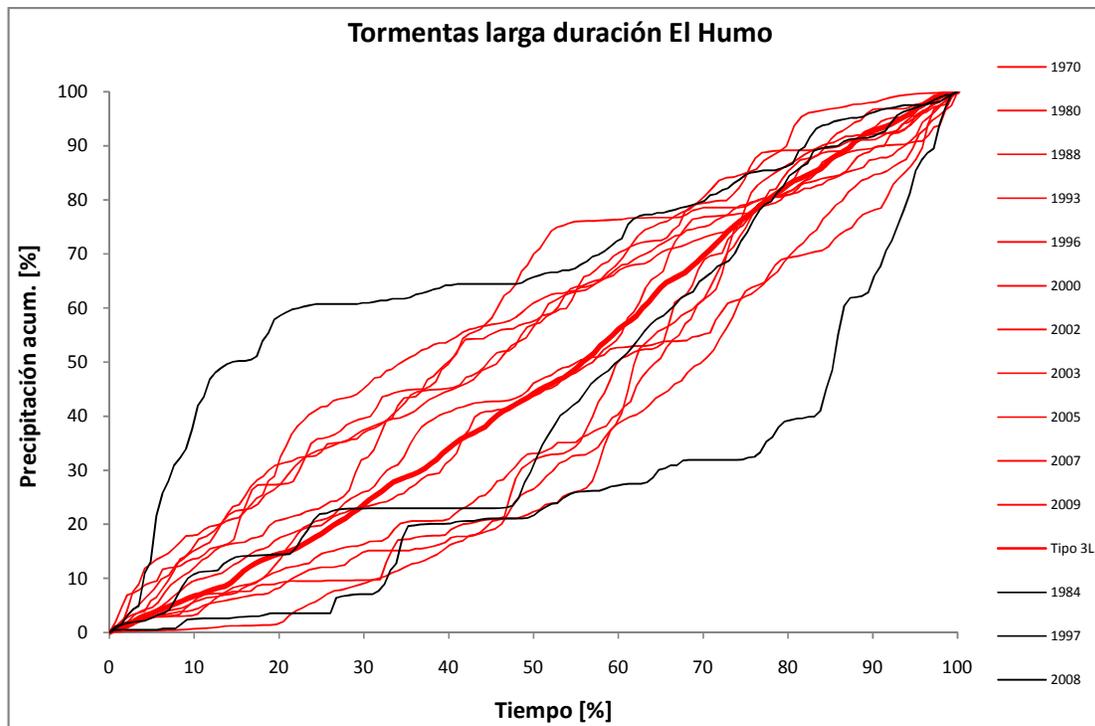


Figura D.4.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración El Humo.

Fuente: El autor.

D.5 Embalse – El Llano

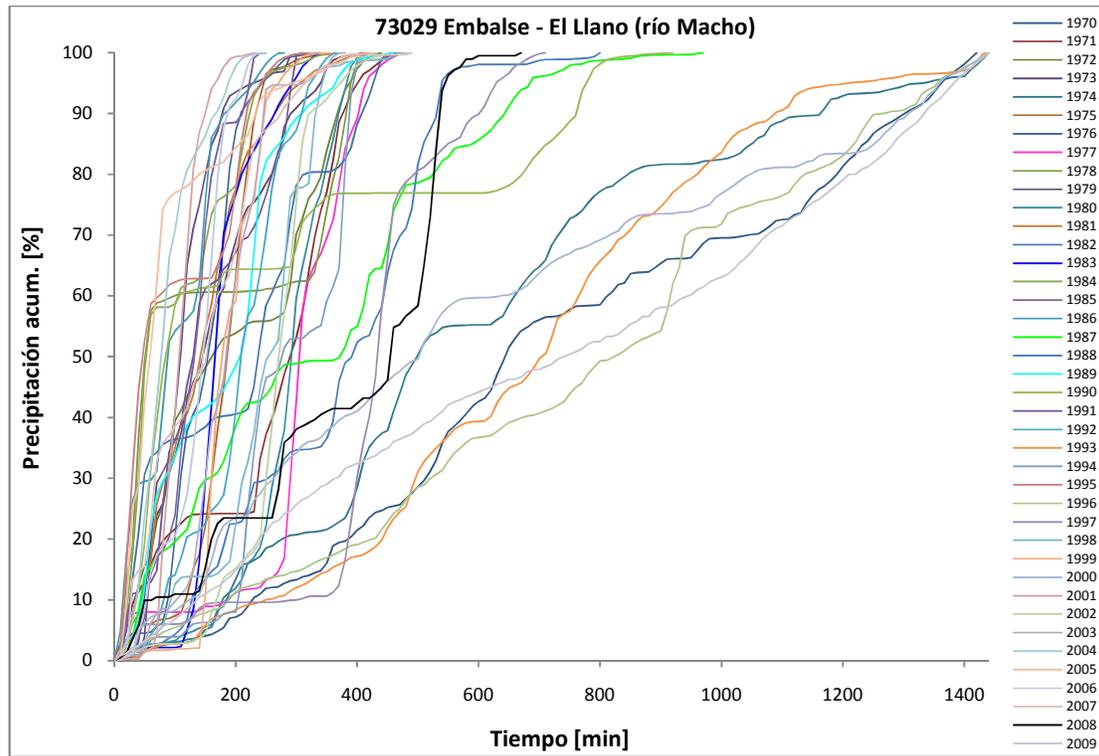


Figura D.5.1. Tormentas acumuladas de la estación Embalse - El Llano.

Fuente: el autor.

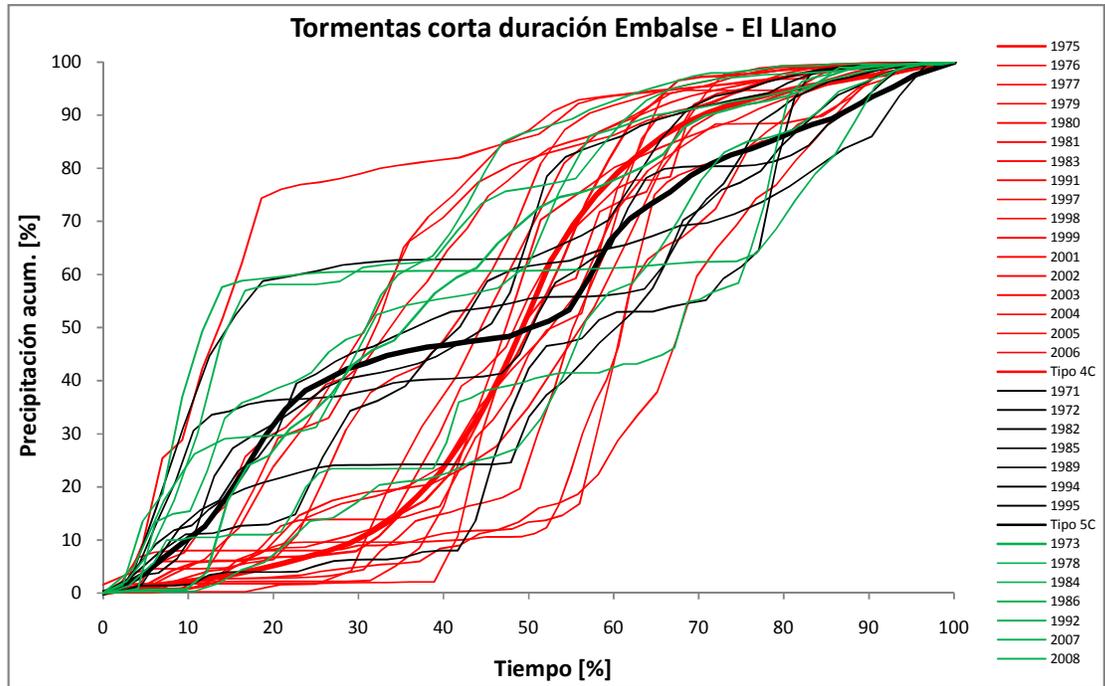


Figura D.5.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración Embalse – El Llano.

Fuente: El autor.

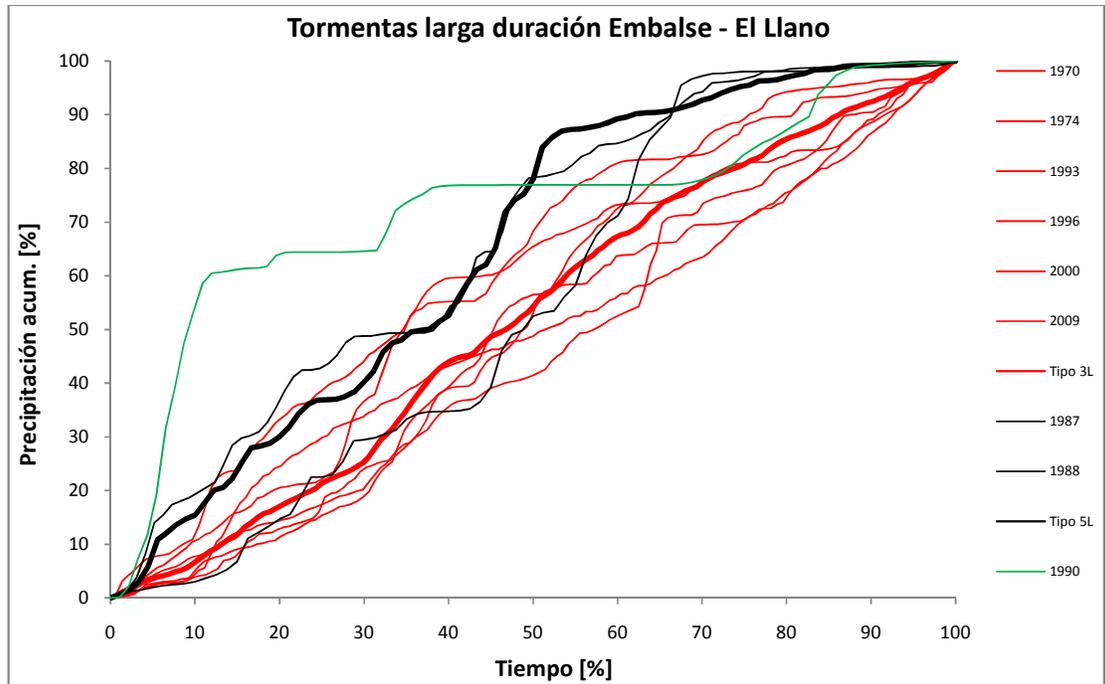


Figura D.5.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración Embalse – El Llano.

Fuente: El autor.

D.6 Villa Mills

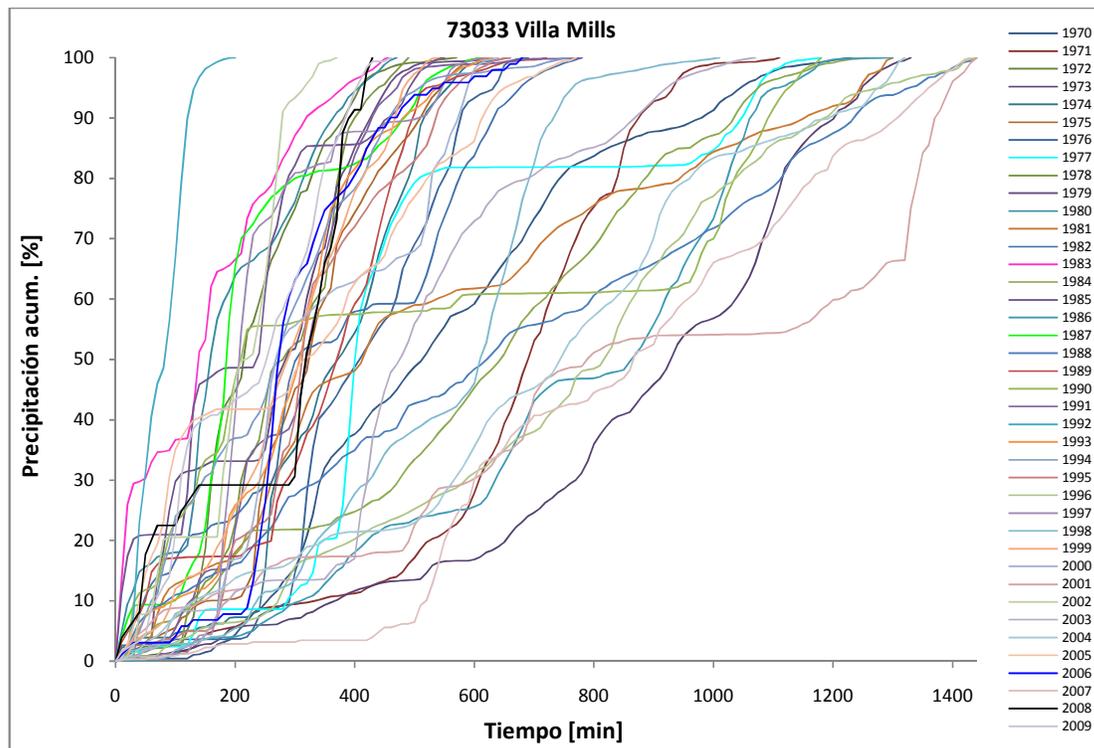


Figura D.6.1. Tormentas acumuladas de la estación Villa Mills.

Fuente: el autor.

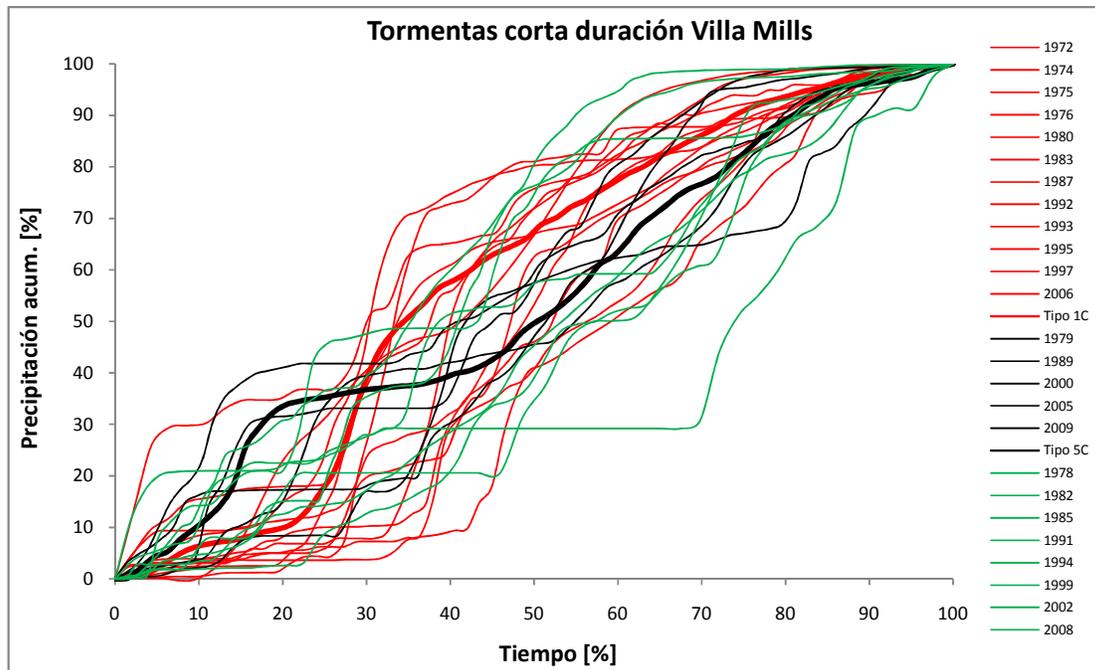


Figura D.6.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración Villa Mills.

Fuente: El autor.

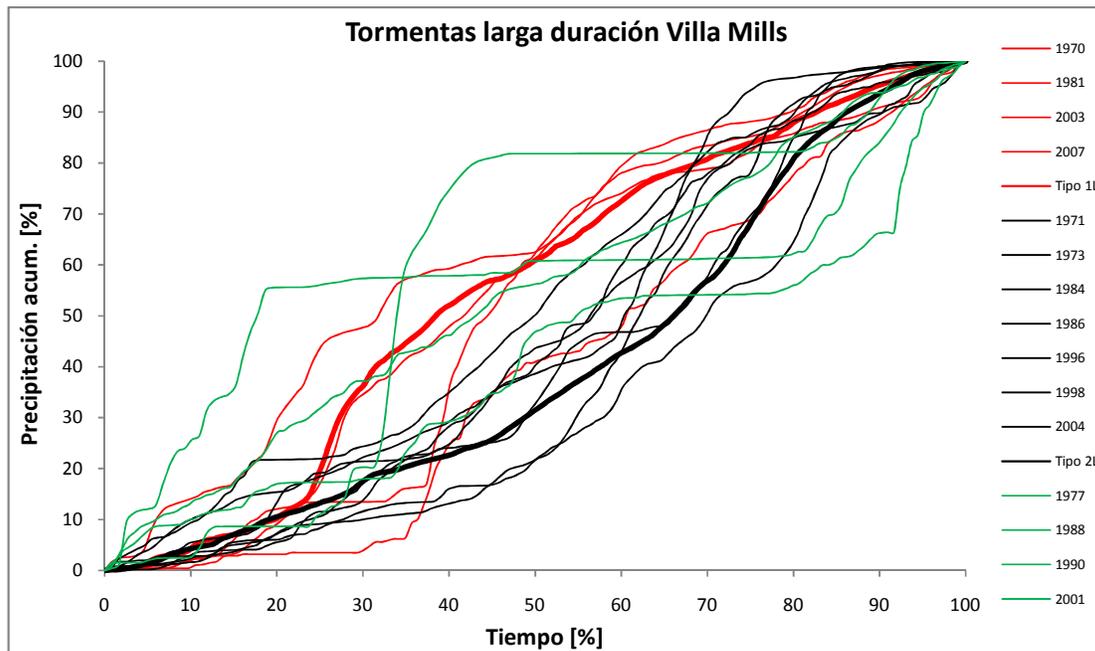


Figura D.6.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración Villa Mills.

Fuente: El autor.

D.7 Tres de Junio

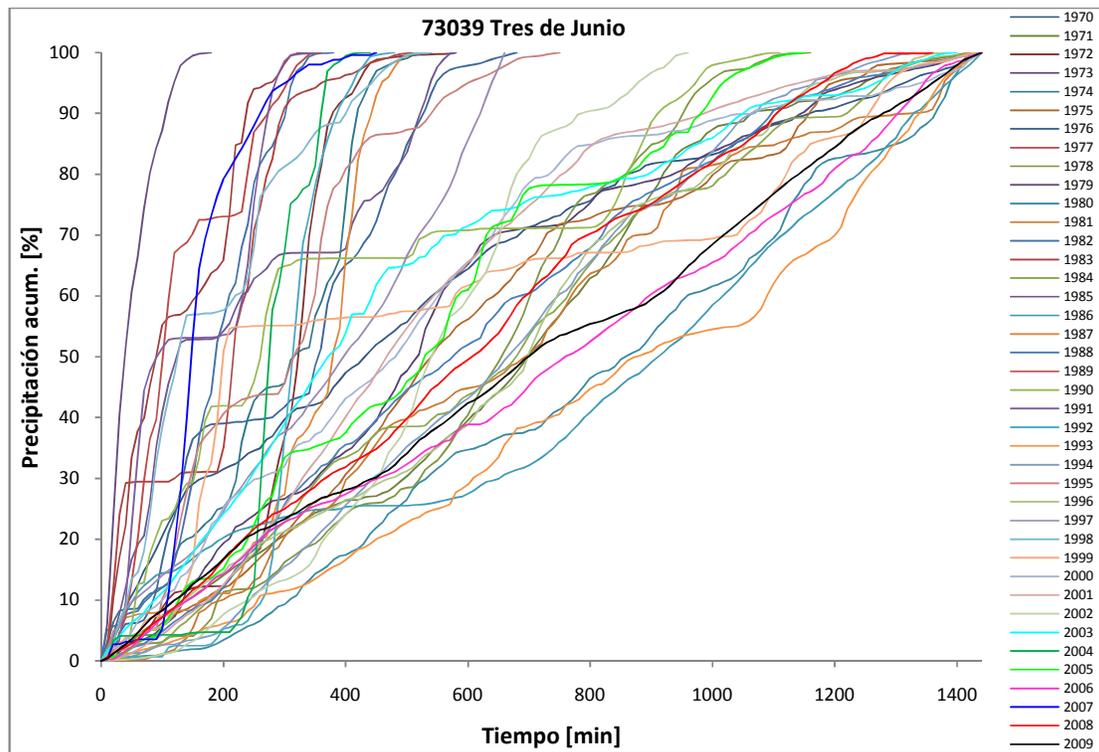


Figura D.7.1. Tormentas acumuladas de la estación Tres de Junio.

Fuente: el autor.

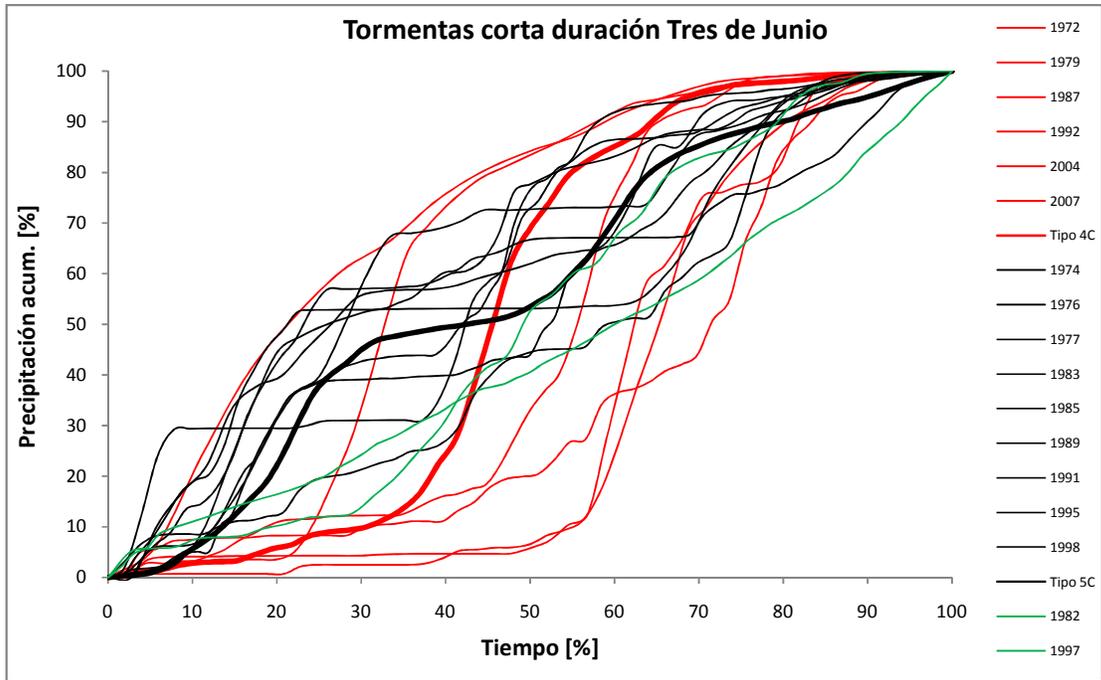


Figura D.7.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración Tres de Junio.

Fuente: El autor.

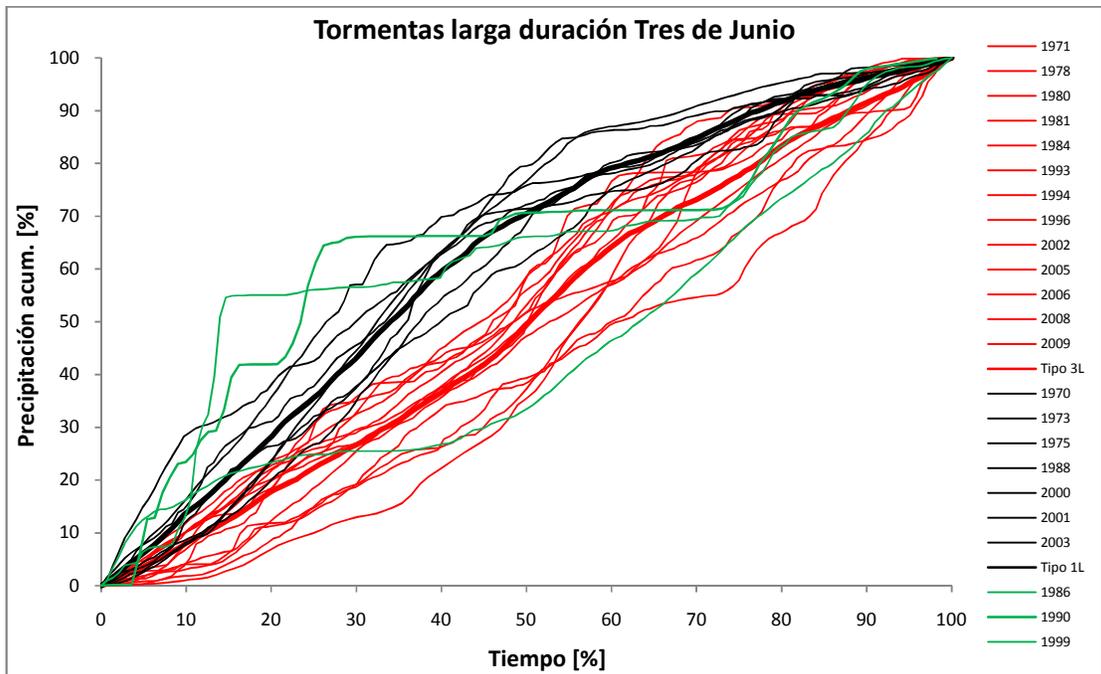


Figura D.7.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración Tres de Junio.

Fuente: El autor.

D.8 La Cangreja

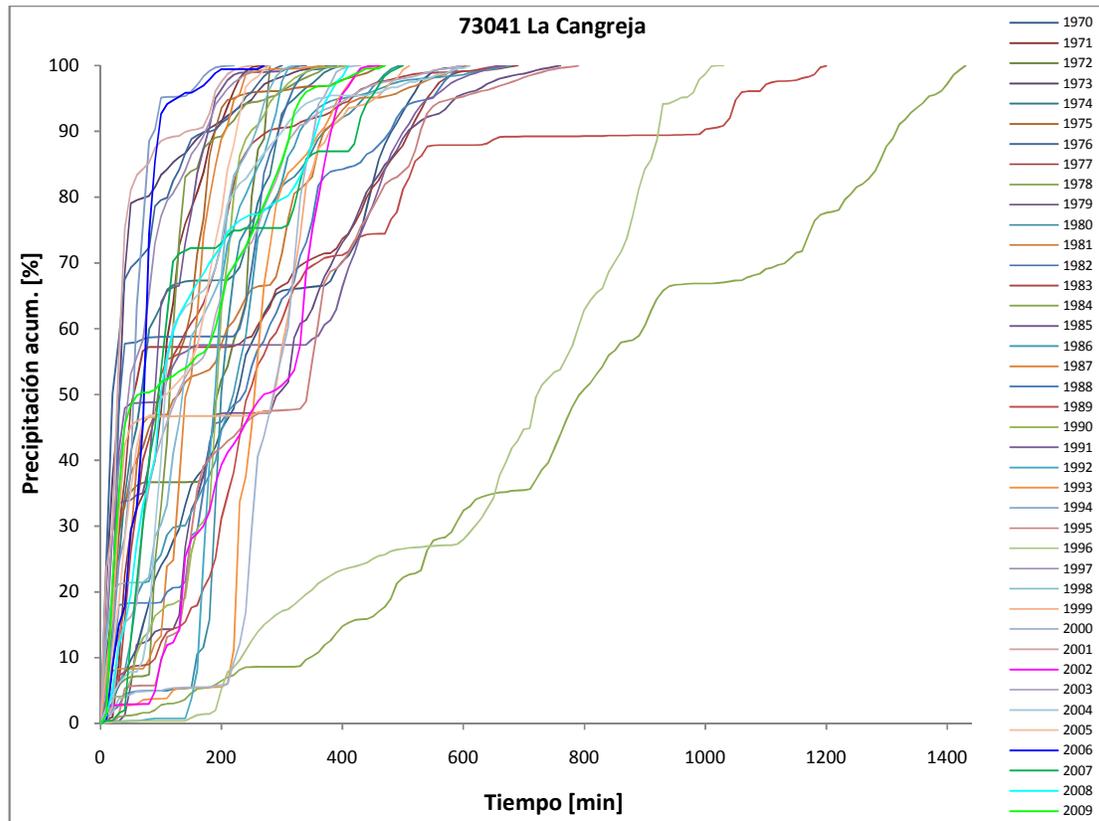


Figura D.8.1. Tormentas acumuladas de la estación La Cangreja.

Fuente: el autor.

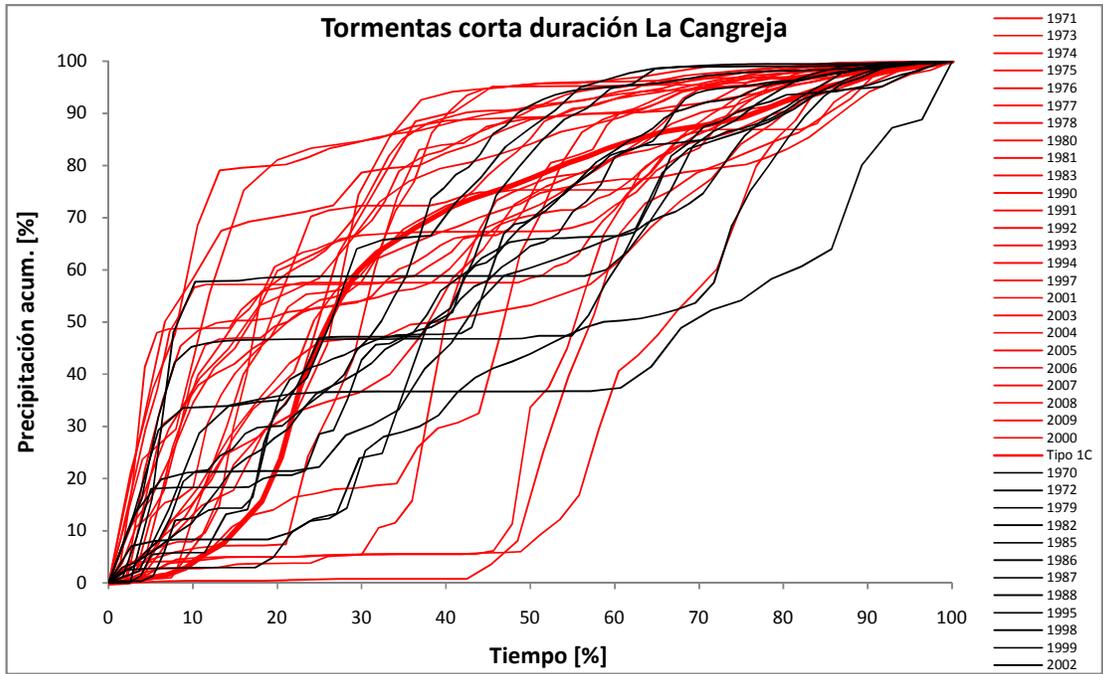


Figura D.8.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración La Cangreja.

Fuente: El autor.

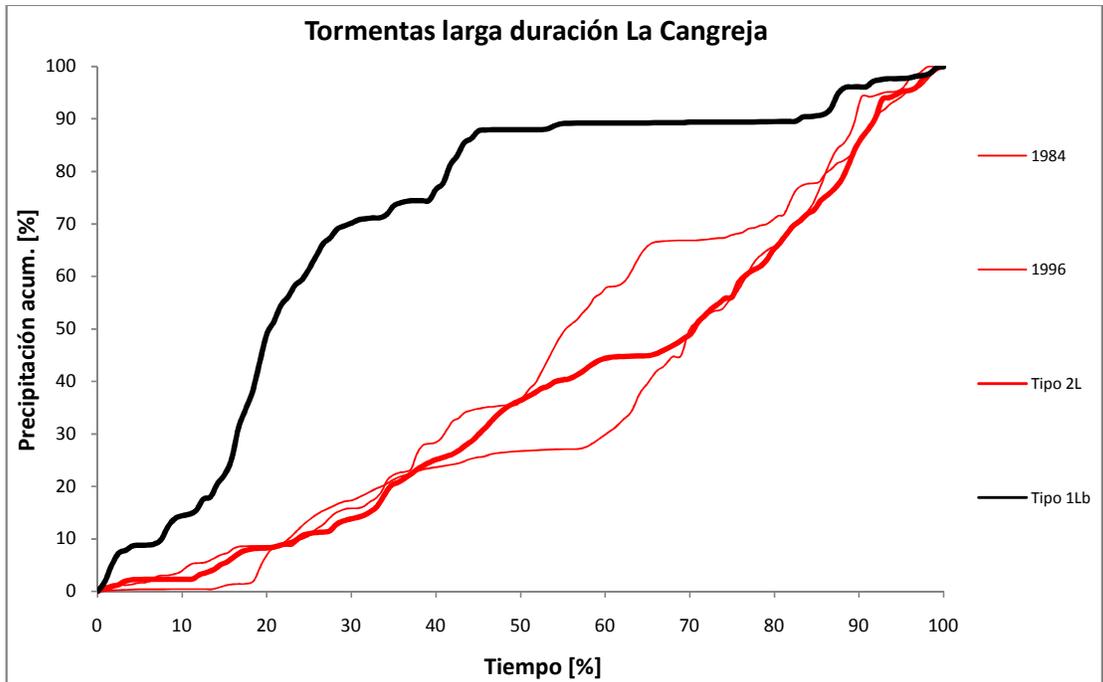


Figura D.8.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración La Cangreja.

Fuente: El autor.

D.9 La Suiza

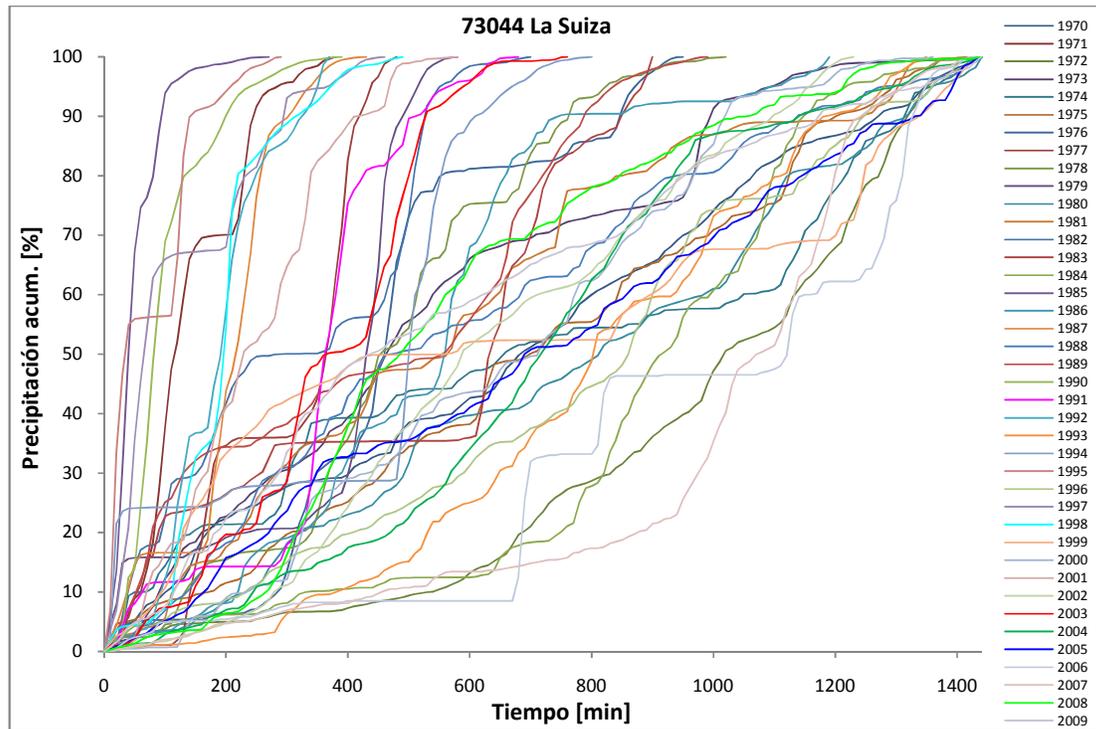


Figura D.9.1. Tormentas acumuladas de la estación La Suiza.

Fuente: el autor.

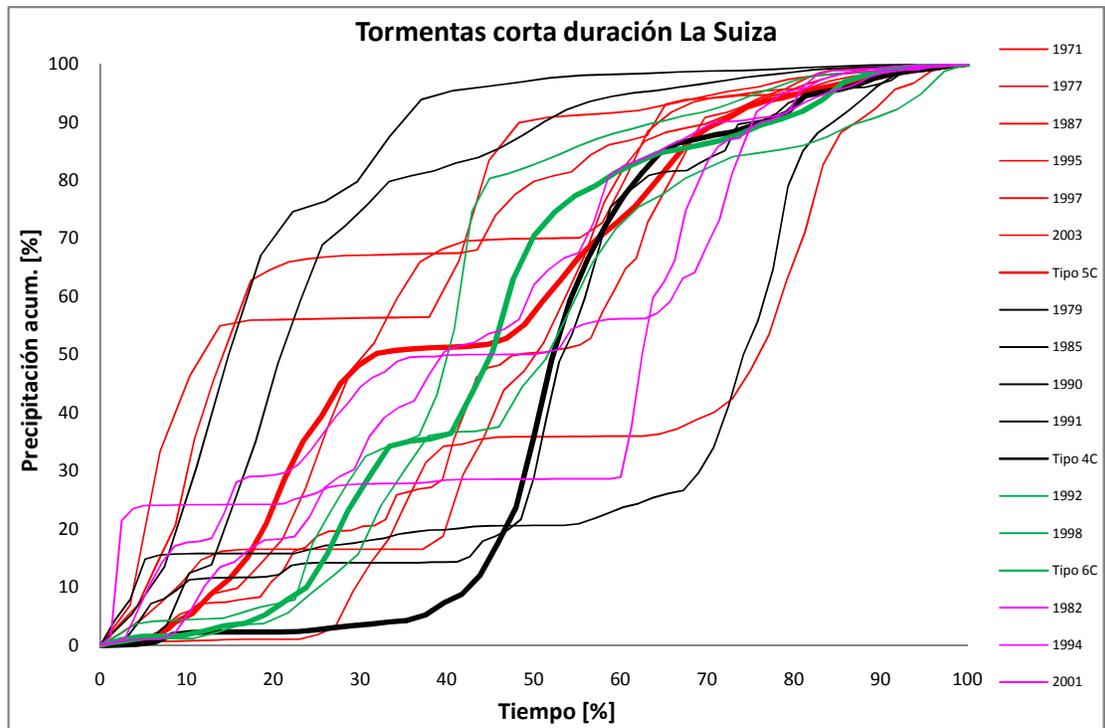


Figura D.9.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración La Suiza.

Fuente: El autor.

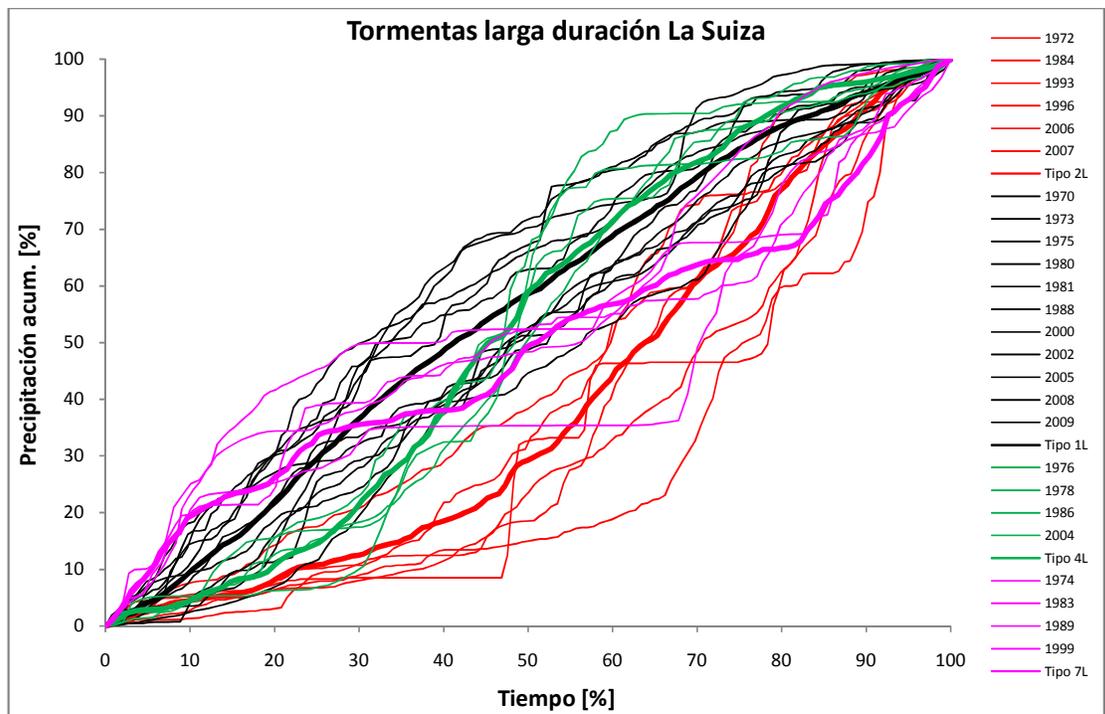


Figura D.9.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración La Suiza.

Fuente: El autor.

D.10 Cachí (Plantel)

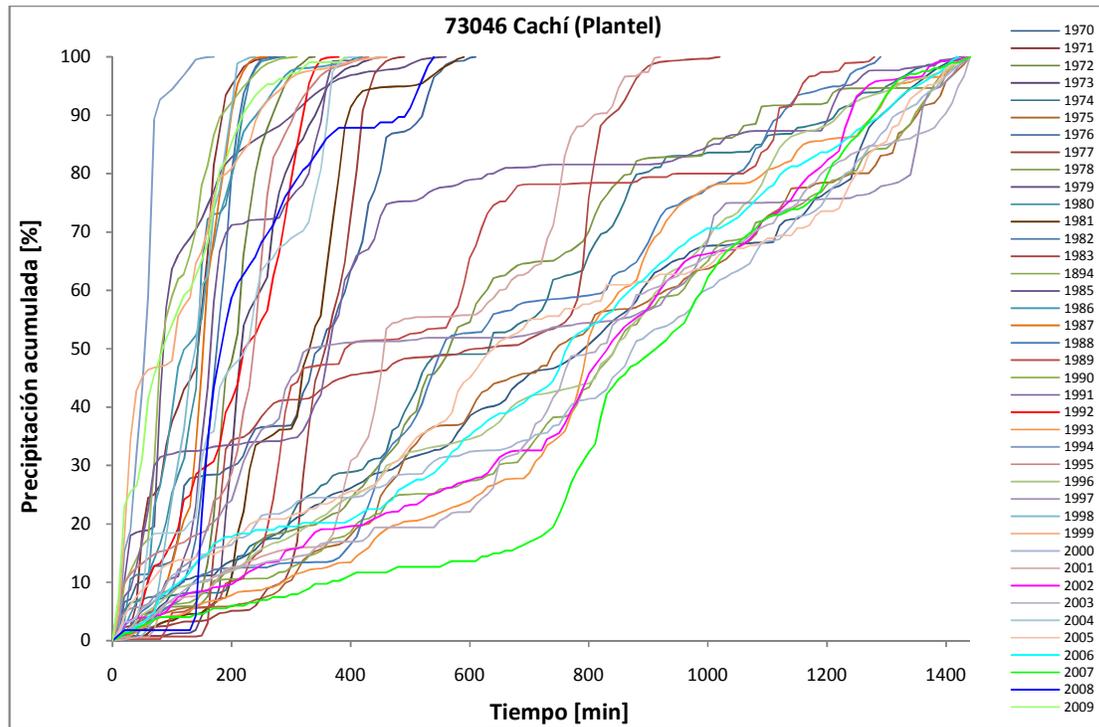


Figura D.10.1. Tormentas acumuladas de la estación Cachí (Plantel).

Fuente: el autor.

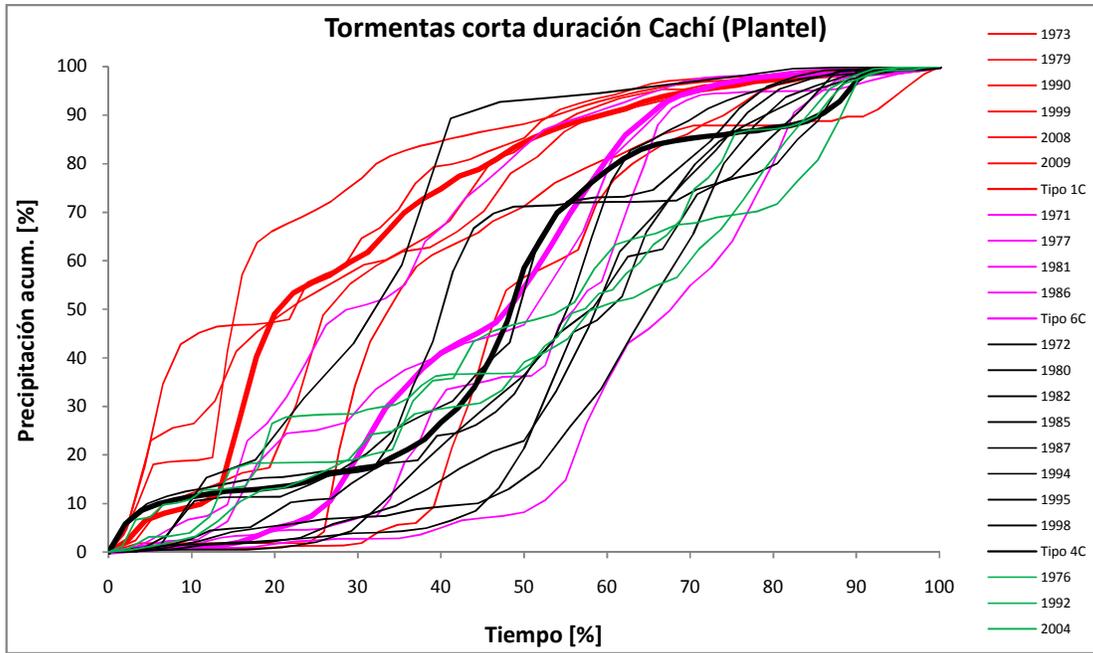


Figura D.10.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración Cachí (Plantel).

Fuente: El autor.

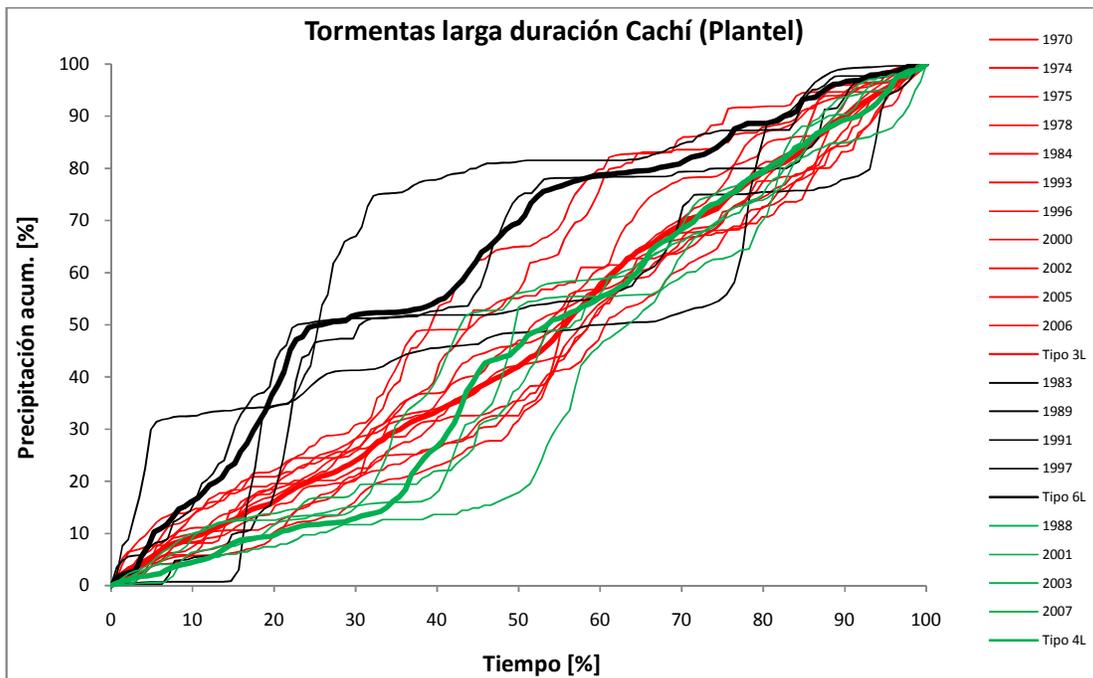


Figura D.10.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración Cachí (Plantel).

Fuente: El autor.

D.11 Tucurrique

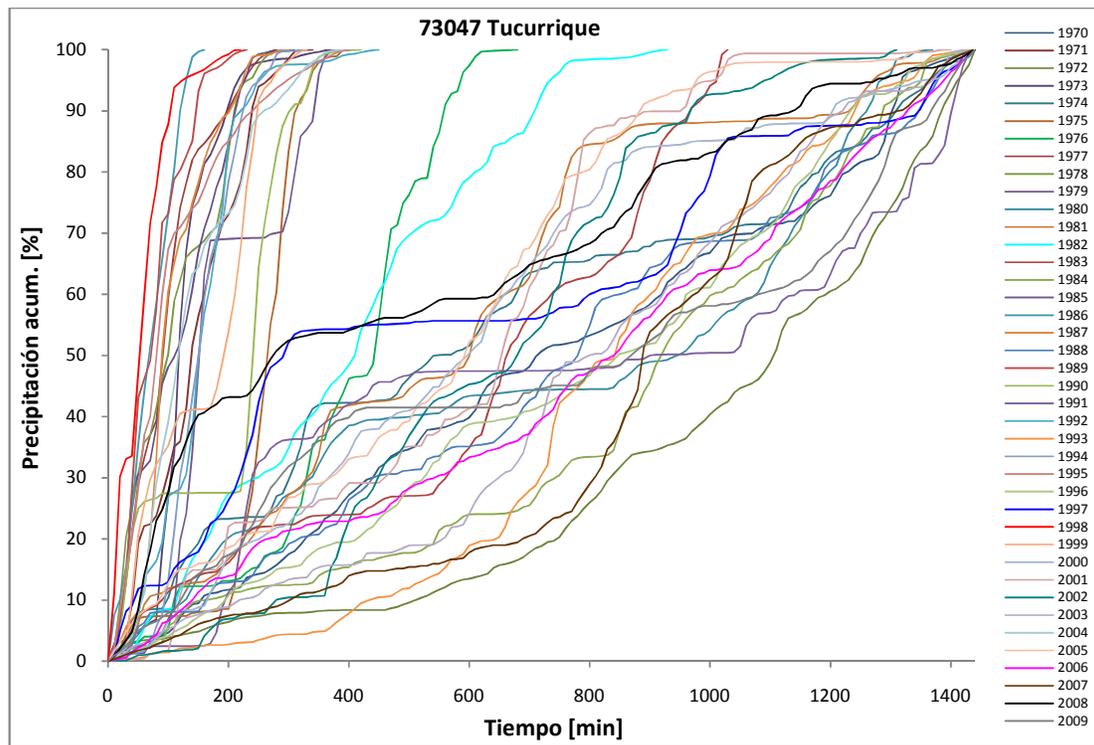


Figura D.11.1. Tormentas acumuladas de la estación Tucurrique.

Fuente: el autor.

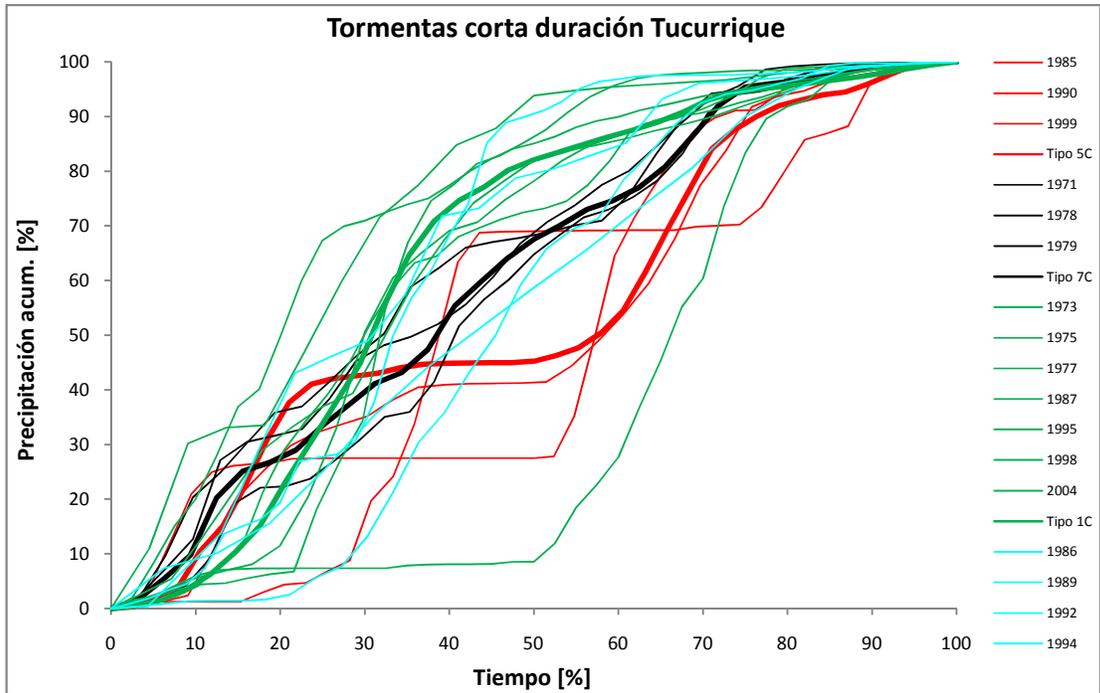


Figura D.11.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración Tucurrique.

Fuente: El autor.

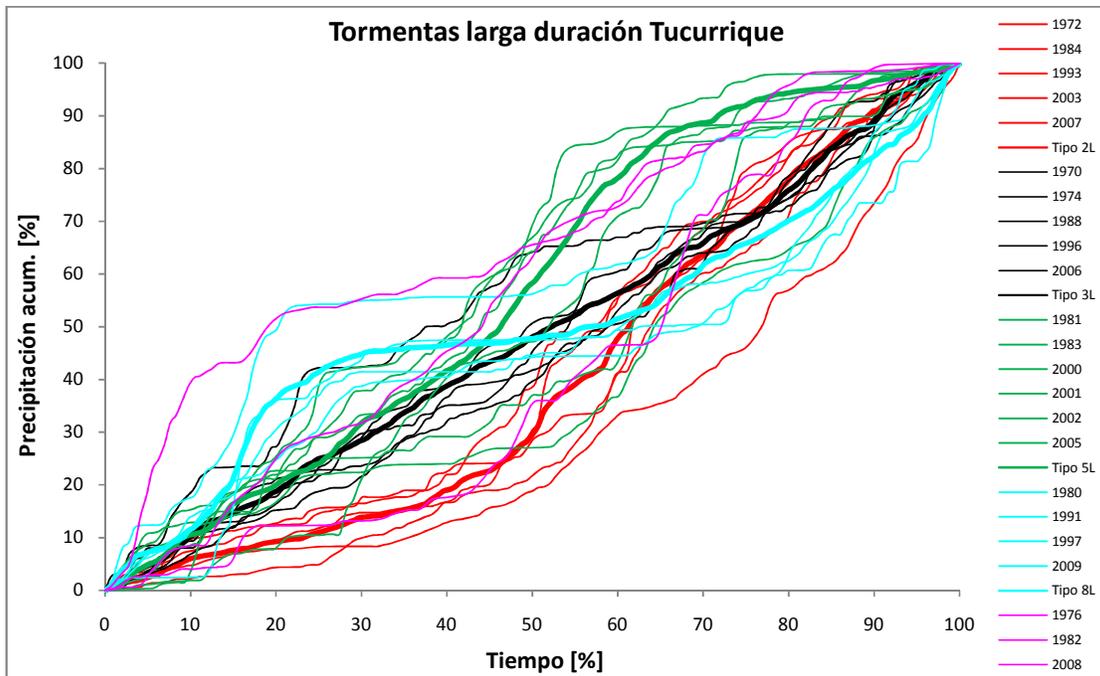


Figura D.11.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración Tucurrique.

Fuente: El autor.

D.12 San Antonio de Santa Cruz de Turrialba

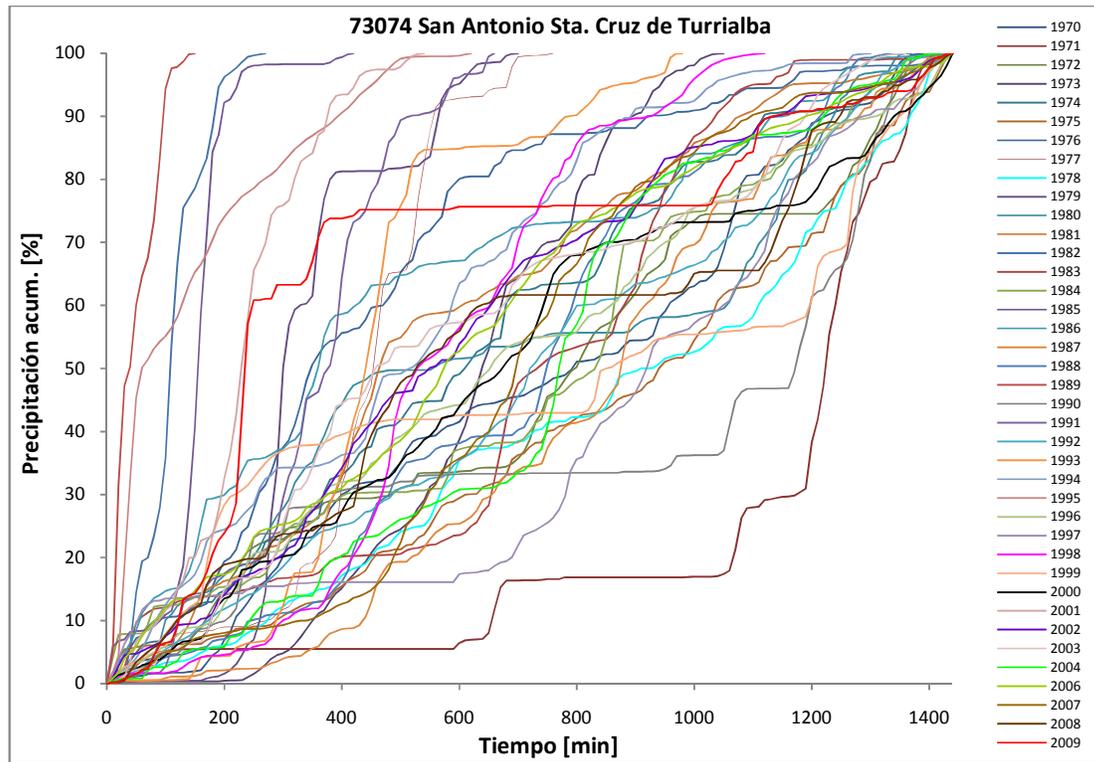


Figura D.12.1. Tormentas acumuladas de la estación San Antonio de Turrialba.

Fuente: el autor.

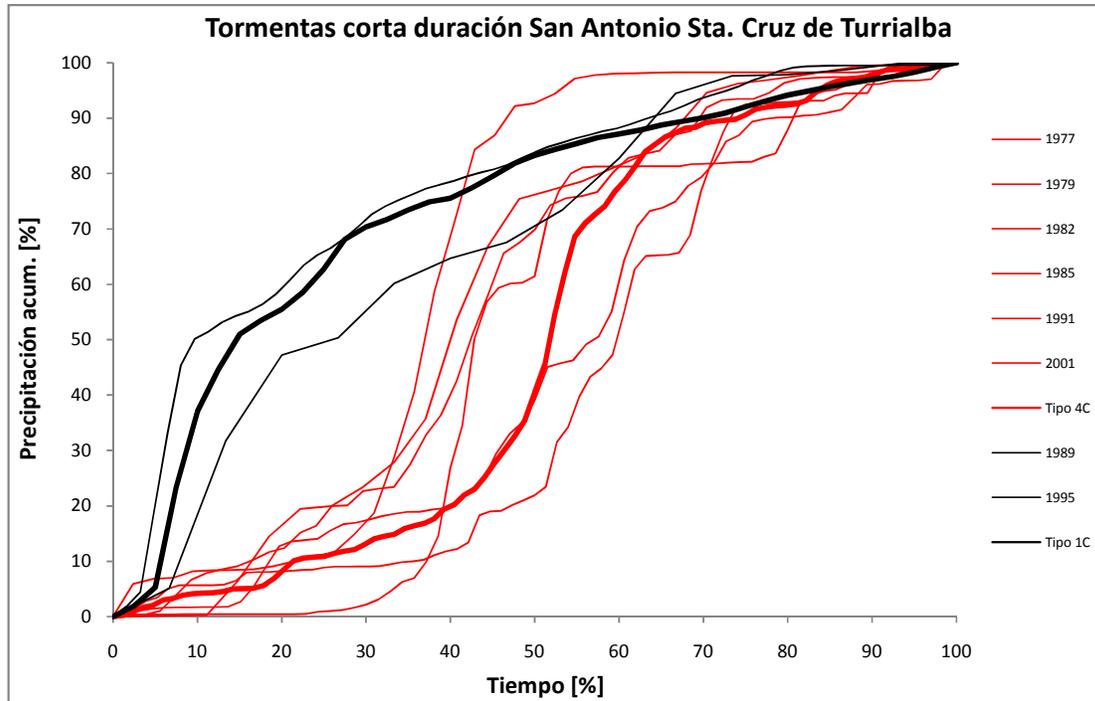


Figura D.12.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración San Antonio de Turrialba.

Fuente: El autor.

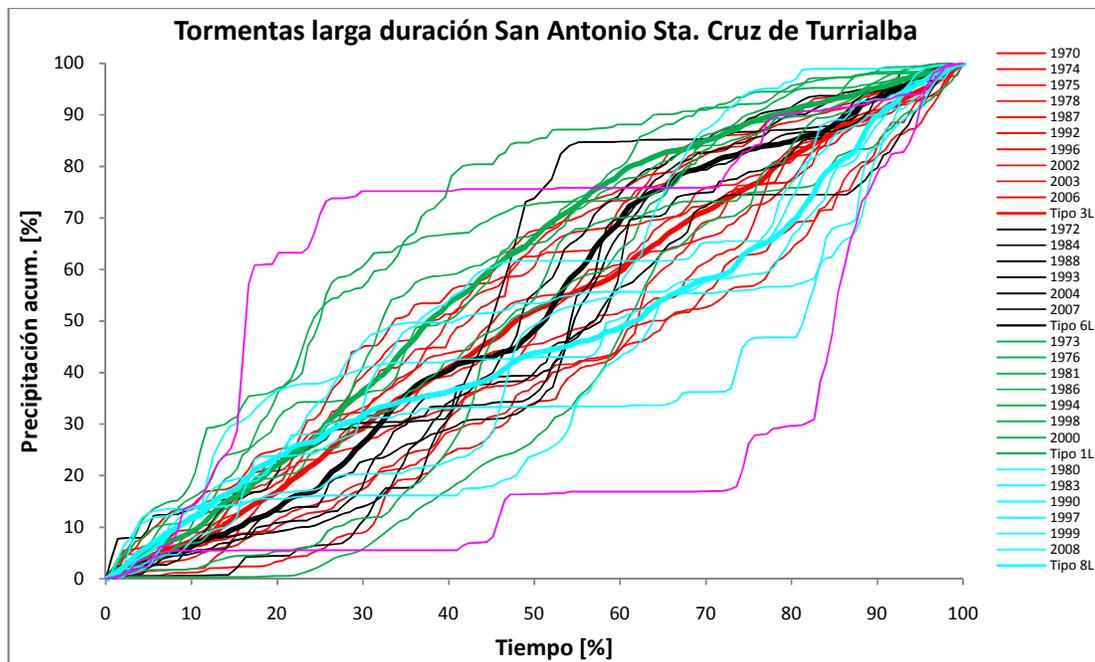


Figura D.12.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración San Antonio de Turrialba.

Fuente: El autor.

D.13 Oriente

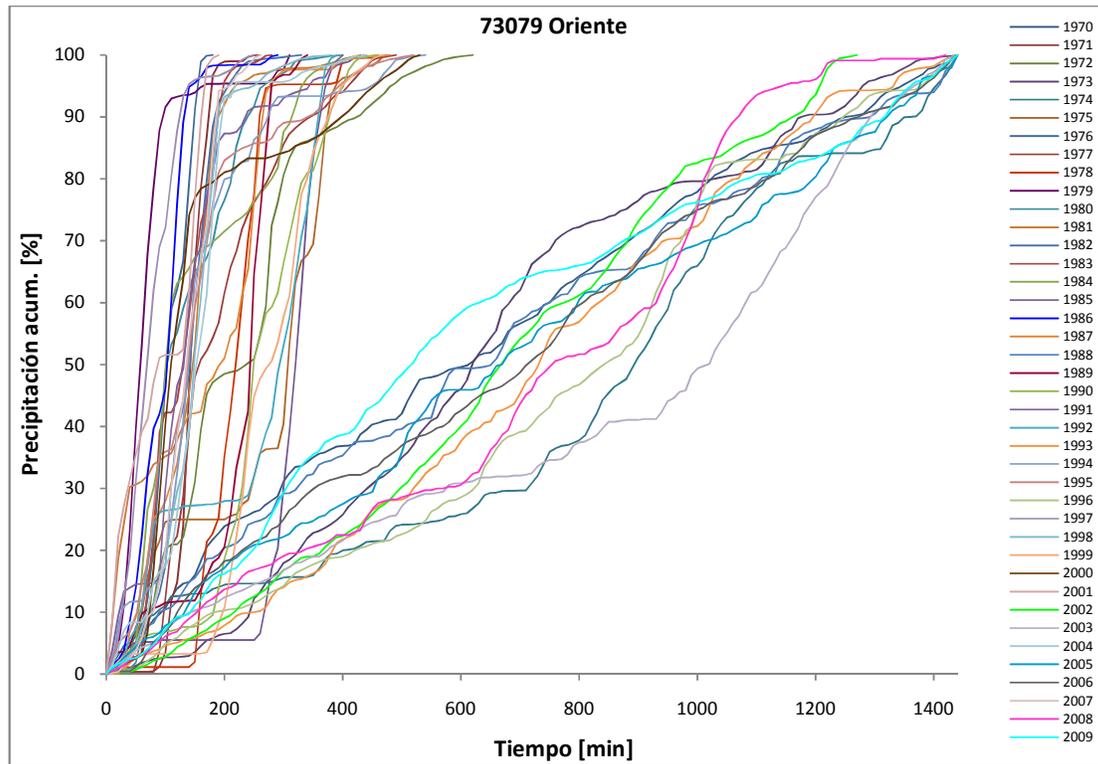


Figura D.13.1. Tormentas acumuladas de la estación Oriente.

Fuente: el autor.

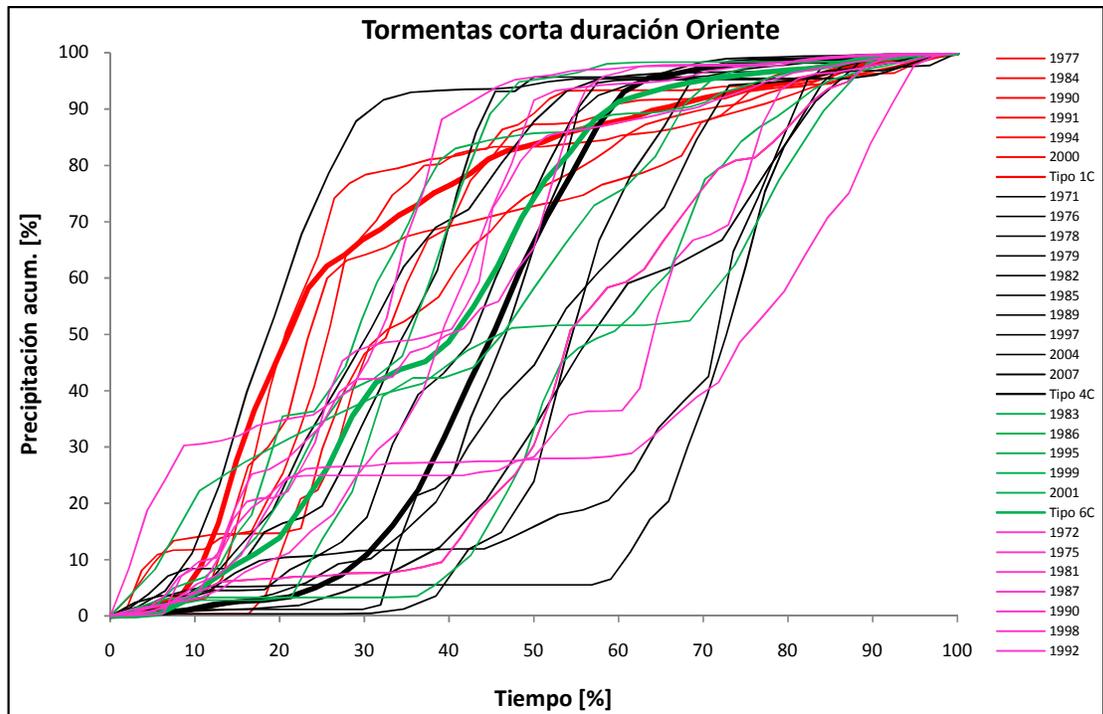


Figura D.13.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración Oriente.

Fuente: El autor.

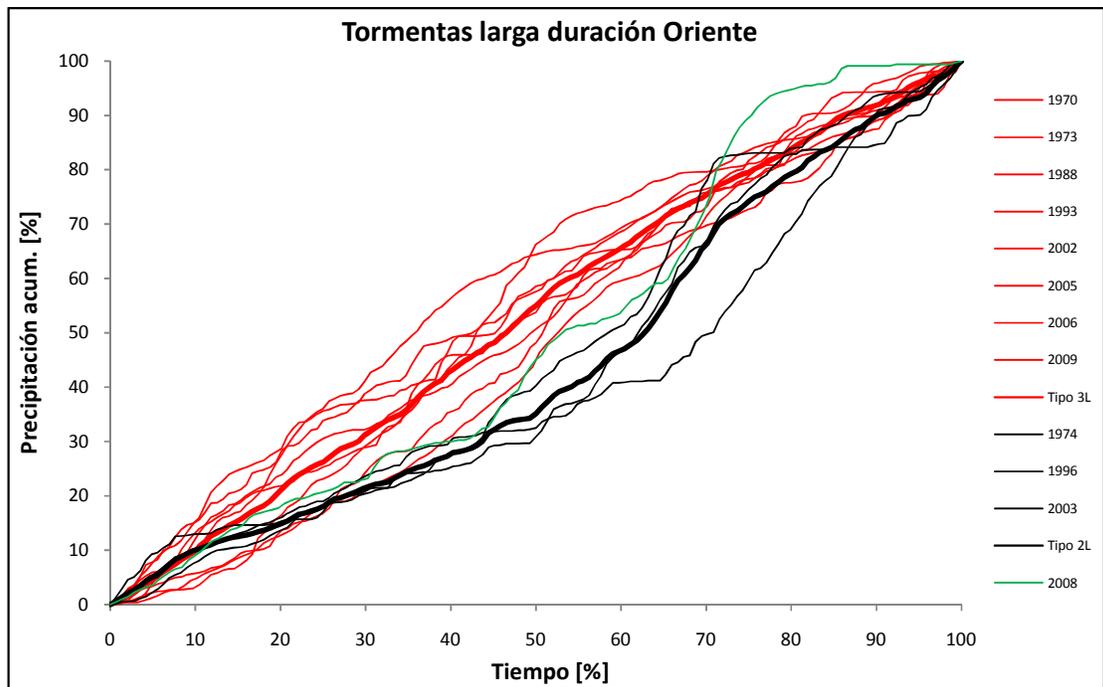


Figura D.13.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración Oriente.

Fuente: El autor.

D.14 Sitio de Presa Tapantí

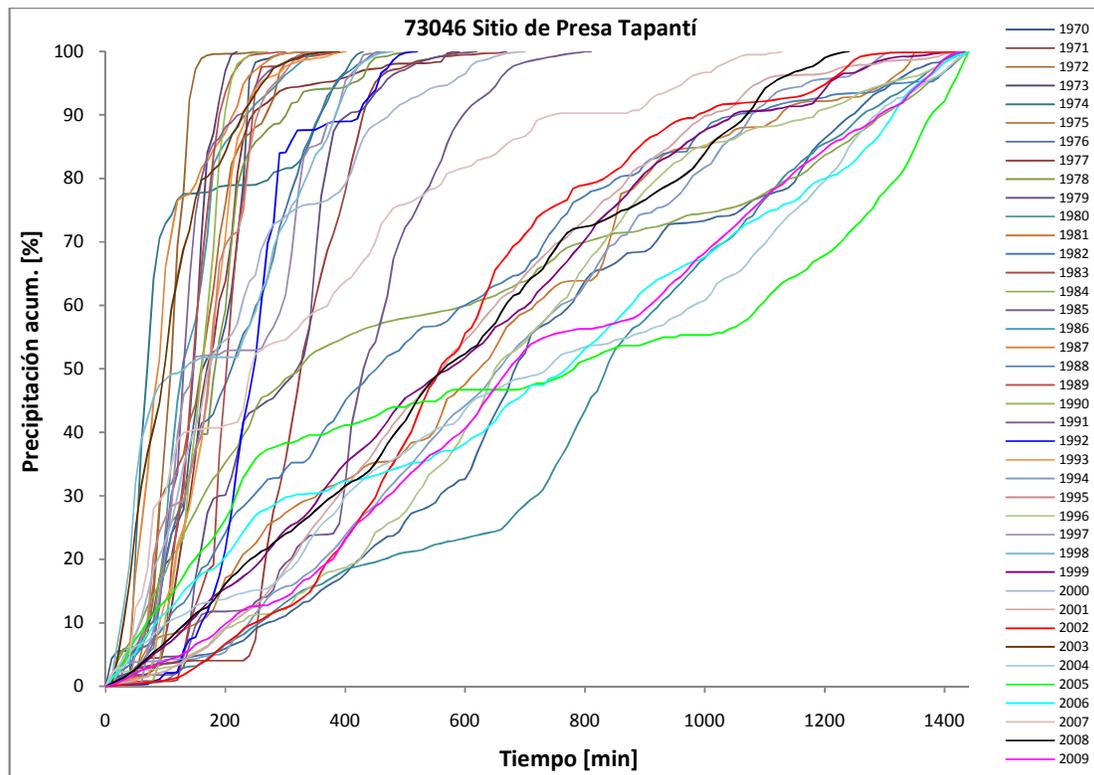


Figura D.14.1. Tormentas acumuladas de la estación Sitio de Presa Tapantí.

Fuente: el autor.

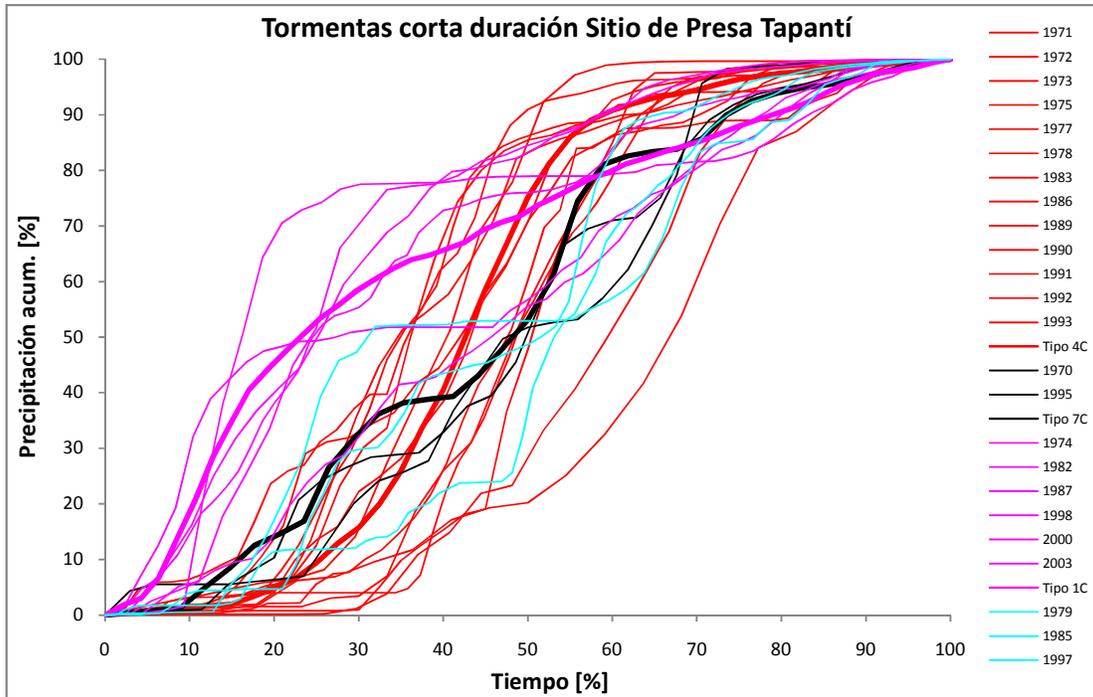


Figura D.14.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración Sitio de Presa Tapantí.

Fuente: El autor.

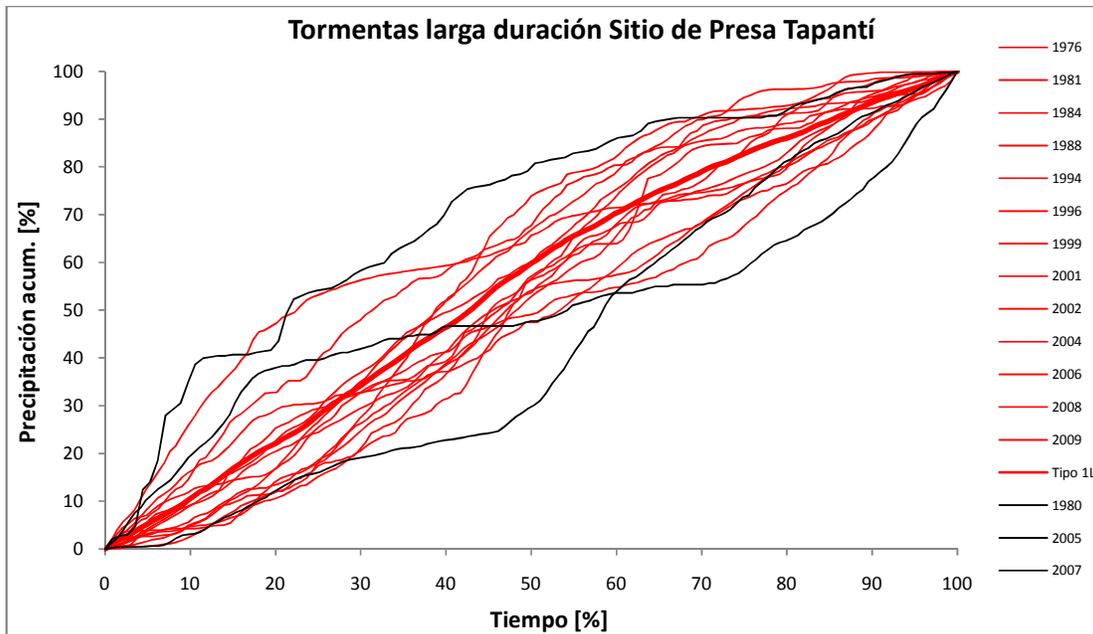


Figura D.14.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración Sitio de Presa Tapantí.

Fuente: El autor.

Anexo E

Cuadros con valores de hietogramas característicos

Se muestran los valores de precipitación en porcentaje.

Hietogramas corta duración

Cuadro E.1. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos hietogramas de corta duración.

Tiempo [min]	Sanatorio Durán		San Rafael de Tapantí			El Cañón			El Humo		Embalse – El Llano		Villa Mills	
	Tipo 1C	Tipo 2C	Tipo 4C	Tipo 1C	Tipo 5C	Tipo 1C	Tipo 3C	Tipo 7C	Tipo 5C	Tipo 4C	Tipo 4C	Tipo 5C	Tipo 1C	Tipo 5C
10	3,87	0,95	0,90	1,21	0,15	0,55	0,83	0,07	0,84	0,50	0,82	1,35	0,47	0,23
20	4,86	1,46	1,00	1,06	1,00	2,07	0,54	0,00	0,70	0,20	0,46	2,13	0,37	1,97
30	11,48	2,35	1,10	0,53	1,39	3,61	0,11	0,00	1,41	0,68	0,53	3,22	1,47	2,14
40	13,58	4,11	1,90	0,28	1,82	2,50	0,72	0,10	1,73	0,13	0,54	2,99	1,87	1,00
50	8,03	5,48	1,30	3,14	2,20	6,57	1,62	0,84	1,02	0,45	0,60	2,74	1,53	2,44
60	6,43	10,74	1,60	19,00	2,53	9,32	1,18	1,31	1,27	0,46	0,74	5,14	0,88	1,90
70	5,93	8,32	1,30	12,65	3,88	9,41	0,40	0,94	1,61	0,45	0,87	5,67	0,52	2,05
80	3,52	5,16	0,80	8,71	5,73	5,55	0,17	0,85	1,34	0,75	1,01	6,39	0,38	2,48
90	2,71	4,53	1,40	6,32	5,15	6,49	0,11	1,12	2,25	1,29	1,16	4,93	0,68	3,93
100	2,82	4,43	2,50	4,25	3,73	4,88	0,29	1,99	1,40	2,32	1,14	3,62	0,87	7,66
110	3,46	6,49	2,90	5,93	1,82	3,38	0,23	3,54	2,53	1,66	1,48	2,00	0,57	3,61
120	2,37	9,94	2,90	7,03	0,79	2,99	0,24	4,31	2,41	2,00	2,19	1,95	1,00	2,76
130	1,78	7,71	2,80	5,37	1,87	1,94	0,19	4,87	3,12	3,16	2,59	1,20	2,47	1,62
140	1,59	5,73	3,80	2,92	0,50	4,04	0,24	2,35	6,61	4,66	3,97	1,40	3,86	0,71
150	1,25	5,20	5,80	2,79	1,05	3,08	0,33	1,40	6,23	4,85	4,34	0,86	4,57	0,46
160	2,36	3,94	5,60	1,62	1,66	2,73	0,42	0,46	7,82	6,80	6,02	0,72	8,36	0,32
170	2,06	2,31	6,10	2,02	3,30	1,91	0,50	1,09	4,29	9,51	6,39	0,47	8,43	0,52
180	1,51	1,43	6,40	1,71	2,25	1,39	0,16	3,35	1,95	13,49	8,26	0,53	6,08	0,47
190	2,15	1,67	8,60	1,40	5,60	1,25	0,20	4,65	0,76	8,72	9,62	0,53	3,79	0,45
200	1,53	1,23	7,20	0,95	9,93	1,10	0,89	3,60	0,98	6,86	9,91	0,43	2,74	0,28
210	1,32	1,03	6,90	1,23	7,85	1,08	0,50	1,52	1,64	5,76	6,80	1,56	2,60	0,25
220	1,44	0,69	6,00	1,32	5,91	1,06	0,60	0,92	1,42	4,25	5,44	1,35	2,92	0,22
230	1,16	0,51	4,80	1,23	6,58	0,74	0,77	0,59	2,73	4,60	4,42	2,16	1,50	0,18
240	0,94	0,41	3,40	0,72	6,23	0,82	0,41	1,51	2,86	3,70	3,57	6,13	1,67	0,53
250	1,05	0,38	2,30	0,74	4,22	1,03	1,67	1,74	5,98	2,87	3,27	6,84	2,14	0,75
260	0,91	0,27	1,70	0,66	1,67	1,62	2,16	4,76	6,11	2,96	2,41	4,23	1,64	0,97
270	1,03	0,18	1,60	0,54	2,33	1,02	2,42	6,26	7,42	2,26	1,91	2,62	1,25	0,50
280	1,00	0,19	1,70	0,83	2,95	0,82	5,02	4,29	5,54	1,48	1,50	2,37	1,51	1,02
290	0,92	0,16	1,30	0,63	0,98	1,18	2,88	3,37	3,72	1,19	1,19	3,11	2,67	1,47
300	0,89	0,11	1,20	0,61	0,53	0,83	6,07	3,80	2,94	0,36	1,07	2,22	1,31	1,88
310	0,83	0,06	0,70	0,52	0,50	1,01	9,33	4,47	1,85	0,56	0,86	1,69	2,07	2,94
320	0,70	0,03	0,80	0,32	0,97	1,00	12,43	3,48	1,13	0,48	0,73	1,18	1,37	1,96
330	0,63	0,05	0,90	0,33	1,47	1,00	9,63	2,78	1,14	0,25	0,73	1,43	1,83	1,51
340	0,42	0,05	0,80	0,21	0,54	0,76	6,70	2,63	0,55	0,35	0,76	1,64	1,78	1,81
350	0,47	0,04	0,30	0,09	0,31	0,77	4,78	2,30	0,33		0,53	1,41	1,66	2,18
360	0,49	0,18		0,12	0,35	0,60	5,15	1,79	0,33		0,90	1,22	1,30	2,69

**Continuación Cuadro E.1. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos
hietogramas de corta duración.**

Tiempo [min]	Sanatorio Durán		San Rafael de Tapantí			El Cañón			El Humo		Embalse – El Llano		Villa Mills	
	Tipo 1C	Tipo 2C	Tipo 4C	Tipo 1C	Tipo 5C	Tipo 1C	Tipo 3C	Tipo 7C	Tipo 5C	Tipo 4C	Tipo 4C	Tipo 5C	Tipo 1C	Tipo 5C
370	0,65	0,16		0,14	0,26	0,73	3,53	1,79	0,63		0,73	1,98	1,81	3,20
380	0,54	0,26		0,11		0,94	2,85	1,27	0,56		0,54	2,11	1,46	1,54
390	0,48	0,28		0,26		0,78	3,02	0,85	0,91			1,79	1,52	2,61
400	0,44	0,28		0,23		0,64	2,17	0,85	0,48			2,15	1,38	3,15
410	0,44	0,32		0,06		0,68	1,47	0,57	0,61			1,32	1,45	2,04
420		0,43		0,22		0,65	1,91	0,38	0,45			1,23	2,05	1,94
430		0,32				0,56	1,57	0,20	0,41				1,41	2,12
440		0,27				0,66	0,95	0,19					1,04	1,47
450		0,19				0,79	0,75	0,18					0,92	0,99
460						0,64	0,68	0,14					0,80	1,34
470						0,46	0,53	0,15					0,81	2,30
480						0,46	0,68	0,08					0,69	2,07
490						0,42		0,09					0,91	2,31
500						0,52		0,12					0,91	2,29
510						0,47		0,22					0,55	1,65
520						0,51		0,40					0,51	1,50
530								0,50					0,46	1,91
540								0,36					0,31	1,34
550								0,29					0,30	1,63
560								0,46					0,22	0,44
570								1,12					0,37	0,36
580								1,63						0,22
590								1,06						0,42
600								0,64						0,32
610								0,79						0,43
620								0,64						1,14
630								0,63						0,75
640								0,52						0,65
650								0,81						

Fuente: el autor.

Cuadro E.2. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos hietogramas de corta duración.

Tiempo [min]	Tres de Junio		La Can-greja	La Suiza			Cachí (Plantel)			Tucurrique		
	Tipo 4C	Tipo 5C	Tipo 1C	Tipo 5C	Tipo 4C	Tipo 6C	Tipo 1C	Tipo 6C	Tipo 4C	Tipo 5C	Tipo 7C	Tipo 1C
10	0,38	0,36	0,20	0,52	0,10	0,96	2,31	0,31	0,47	0,31	1,58	0,50
20	0,68	0,35	0,72	0,05	0,12	0,62	4,22	0,31	0,57	1,38	3,89	1,04
30	0,57	0,73	0,60	0,68	0,37	0,08	1,39	0,44	1,10	2,06	4,26	1,86
40	0,86	1,44	1,29	2,68	1,30	0,08	1,02	0,07	1,96	6,71	10,55	2,81
50	0,46	2,21	2,62	1,60	0,33	0,74	0,89	0,04	0,68	4,53	4,88	4,07
60	0,14	1,96	2,12	3,33	0,09	0,89	2,42	0,16	0,48	7,22	1,56	4,93
70	0,21	2,43	4,01	2,64	0,01	0,46	13,80	0,68	0,90	8,55	2,31	7,80
80	1,24	2,97	4,04	3,68	0,01	1,48	14,18	1,29	2,55	6,92	4,39	7,26
90	1,19	3,22	8,29	5,83	0,00	2,42	8,90	1,59	2,40	3,33	3,91	7,15
100	0,74	3,44	13,63	7,70	0,00	2,30	4,20	1,01	2,73	1,03	3,84	7,31
110	1,77	5,36	8,94	6,37	0,09	5,72	2,14	1,59	4,71	0,51	2,02	10,98
120	0,75	6,55	7,48	4,40	0,31	7,44	1,59	3,00	4,04	0,49	4,24	8,99
130	0,35	5,78	5,82	5,53	0,33	5,67	2,50	6,12	5,63	0,98	7,93	6,22
140	0,58	3,27	3,61	3,18	0,36	5,40	2,13	6,66	8,34	0,69	4,43	3,77
150	1,48	2,35	2,28	2,07	0,26	0,89	3,99	6,41	10,30	0,14	4,28	2,41
160	2,04	2,81	2,44	0,51	0,36	0,41	4,21	3,99	14,80	0,08	3,50	3,16
170	3,26	1,75	2,08	0,26	0,27	0,94	2,84	4,12	7,94	0,03	2,59	1,84
180	5,74	0,65	2,05	0,18	0,92	6,86	2,05	3,21	7,54	0,01	2,82	1,39
190	5,39	0,63	1,47	0,12	2,07	7,14	2,66	2,20	3,81	0,28	1,64	1,39
200	10,82	0,55	1,23	0,15	1,49	12,49	1,32	1,93	4,38	1,00	2,47	1,42
210	12,00	0,54	1,13	0,30	3,18	7,49	2,11	2,24	3,67	1,45	3,89	1,24
220	11,97	0,38	1,48	1,06	5,57	4,06	2,55	4,47	3,22	2,66	5,32	1,45
230	6,33	0,55	1,45	2,32	6,14	2,83	1,94	5,48	2,42	4,05	5,73	1,83
240	4,89	0,48	1,58	4,15	12,22	1,75	1,51	6,11	1,51	6,96	3,40	2,21
250	5,23	0,69	1,21	3,70	13,31	2,28	1,43	6,37	0,87	7,97	0,59	1,27
260	2,92	1,17	1,45	3,99	10,21	1,66	0,97	5,75	0,75	7,28	0,60	0,76
270	2,11	1,80	1,21	3,08	7,20	1,59	1,06	5,47	0,60	7,43	1,00	0,41
280	1,78	1,92	1,07	2,65	5,85	0,71	0,96	4,95	0,41	3,45	0,81	0,60
290	2,03	3,21	0,99	2,84	4,93	0,68	1,48	3,19	0,83	2,45	0,81	0,64
300	3,31	3,15	0,59	3,79	3,95	0,80	1,05	3,25	0,39	1,99	0,57	0,51
310	2,76	4,31	0,60	3,83	3,49	1,19	0,74	1,79		1,06	0,14	0,70
320	1,42	4,59	0,73	3,79	1,60	1,52	0,64	1,03		0,98	0,06	0,82
330	0,85	4,79	0,73	2,20	0,67	1,03	0,51	1,15		0,46		0,74
340	0,97	3,49	1,32	1,45	0,70	1,30	0,48	0,67		1,49		0,54
350	0,35	2,22	1,48	1,90	0,50	2,04	0,71	0,66		1,71		
360	0,26	1,76	1,42	1,08	1,02	2,97	0,37	0,40		1,61		
370	0,22	1,27	1,22	0,63	0,98	1,13	0,38	0,17		0,50		
380	0,34	1,28	0,99	0,81	1,27	0,82	0,29	0,07		0,22		
390	0,40	1,02	0,76	0,72	2,98	0,61	0,25	0,06				
400	0,40	0,86	1,25	0,63	0,65	0,28	0,21	0,08				
410	0,01	0,87	0,77	0,59	0,48	0,18	0,26	0,09				
420	0,01	0,70	0,50	0,66	0,83	0,09	0,13	0,19				
430	0,24	0,71	0,53	0,68	1,18		0,31	0,32				
440	0,23	1,17	0,61	0,50	0,69		0,44	0,44				
450	0,03	0,92		0,40	0,50		0,46	0,50				
460	0,31	0,99		0,36	0,38							
470		0,69		0,38	0,48							

**Continuación Cuadro E.2. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos
hietogramas de corta duración.**

Tiempo [min]	Tres de Junio		La Can- greja	La Suiza			Cachí (Plantel)			Tucurrique		
	Tipo 4C	Tipo 5C	Tipo 1C	Tipo 5C	Tipo 4C	Tipo 6C	Tipo 1C	Tipo 6C	Tipo 4C	Tipo 5C	Tipo 7C	Tipo 1C
480		0,89			0,24							
490		1.01										
500		1,08										
510		1,00										
520		0,89										
530		0,81										

Fuente: el autor.

Cuadro E.3. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos hietogramas de corta duración.

Tiempo [min]	San Antonio de Turrialba		Oriente			Sitio de Presa Tapantí		
	Tipo 4C	Tipo 1C	Tipo 1C	Tipo 4C	Tipo 6C	Tipo 4C	Tipo 7C	Tipo 1C
10	0,57	1,87	0,47	0,16	0,07	0,30	0,51	1,79
20	0,15	3,40	0,46	0,36	0,28	0,16	0,31	1,21
30	0,12	18,06	1,30	0,55	2,14	0,70	0,35	3,77
40	0,62	13,72	1,72	0,93	3,23	0,42	3,73	6,95
50	0,51	7,54	4,65	0,57	2,95	0,10	3,49	6,94
60	0,31	6,39	7,84	0,25	2,36	0,33	4,13	7,78
70	1,08	2,50	11,05	0,59	2,87	1,33	2,05	6,21
80	1,16	2,03	9,11	1,63	6,19	1,46	2,33	5,87
90	0,56	3,00	7,04	2,21	6,50	1,82	9,66	3,52
100	0,36	4,22	7,17	3,66	8,94	2,82	5,22	3,29
110	1,18	5,43	7,45	5,13	5,99	3,45	4,44	3,08
120	0,63	2,21	3,80	6,34	2,31	2,88	1,95	3,03
130	0,54	1,35	2,10	9,28	1,29	4,29	0,68	2,36
140	0,94	1,71	2,66	9,96	3,65	5,88	0,47	2,56
150	2,00	1,44	1,84	9,24	6,10	7,73	3,72	2,04
160	0,91	0,69	2,44	10,81	7,23	6,85	4,94	1,92
170	2,01	1,79	1,80	9,10	8,65	9,15	5,18	1,57
180	1,23	2,13	2,27	7,99	6,81	8,94	7,70	0,85
190	2,44	2,29	1,56	8,31	4,75	8,21	13,61	1,11
200	2,88	1,49	1,85	5,95	5,73	8,31	6,48	1,22
210	2,73	1,15	2,57	2,54	3,25	6,07	1,60	2,14
220	2,84	1,02	1,41	0,69	1,40	4,76	0,83	1,41
230	3,19	1,05	0,77	0,97	1,13	3,13	0,45	1,02
240	5,90	0,69	0,84	0,50	0,98	1,74	1,87	2,01
250	5,82	0,69	1,35	0,47	0,75	1,24	4,29	1,53
260	10,39	0,89	0,84	0,33	0,48	0,97	2,51	1,64
270	8,77	0,66	0,81	0,16	0,54	0,65	1,36	1,75
280	7,35	0,64	0,62	0,14	0,37	0,77	0,95	1,10
290	2,74	0,82	0,71	0,16	0,29	1,02	0,56	1,57
300	1,84	1,18	1,20	0,26	0,64	0,90	0,81	0,97
310	1,82	1,06	0,68	0,23	1,01	0,62	1,15	1,05
320	2,98	1,03	0,88	0,23	0,62	0,48	1,20	0,93
330	2,38	0,79	0,79	0,26	0,20	0,23	1,01	0,96
340	2,75	0,75	0,61		0,05	0,39	0,47	1,17
350	3,11	0,64	0,75		0,25	0,29		1,35
360	1,58	0,66	0,44			0,44		1,15
370	1,49	0,54	0,64			0,36		1,08
380	0,84	0,74	0,60			0,26		1,04
390	0,91	0,89	0,65			0,35		1,20
400	0,19	0,83	1,00			0,20		1,65
410	0,94		0,85					1,59
420	0,35		0,68					1,09
430	0,19		0,33					0,97
440	0,23		0,37					0,50
450	0,94		0,30					0,56
460	1,16		0,30					0,87

**Continuación Cuadro E.3. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos
hietogramas de corta duración.**

Tiempo [min]	San Antonio de Turrialba		Oriente			Sitio de Presa Tapantí		
	Tipo 4C	Tipo 1C	Tipo 1C	Tipo 4C	Tipo 6C	Tipo 4C	Tipo 7C	Tipo 1C
470	0,35		0,42					0,62
480	0,33							
490	0,14							
500	0,21							
510	0,72							
520	1,71							
530	1,39							
540	0,83							
550	0,50							
560	0,23							

Fuente: el autor.

Hietogramas larga duración

Cuadro E.4. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos hietogramas de larga duración.

Tiempo [min]	Sanatorio Durán			San Rafael de Tapantí		El Cañón	El Humo	Embalse – El Llano		Villa Mills		Tres de Junio		La Cangreja	
	Tipo 1La	Tipo 4L	Tipo 2L	Tipo 3L	Tipo 6L	Tipo 3L	Tipo 3L	Tipo 3L	Tipo 5L	Tipo 1L	Tipo 2L	Tipo 3L	Tipo 1L	Tipo 2L	Tipo 1Lb
10	1,52	0,33	0,65	0,88	1,02	0,40	0,55	0,40	0,65	0,25	0,09	0,35	0,68	0,51	1,78
20	1,40	0,41	0,42	0,83	0,47	0,59	0,53	0,63	0,84	0,20	0,07	0,35	0,91	0,44	3,17
30	7,55	0,10	0,99	0,58	0,61	0,30	0,43	0,44	1,51	0,07	0,16	0,80	0,93	0,27	2,31
40	10,09	0,30	0,30	0,62	1,63	0,37	0,54	0,42	2,88	0,08	0,30	0,49	0,97	0,69	0,57
50	6,82	0,22	0,50	0,46	2,40	0,45	0,66	0,75	5,00	0,42	0,31	0,48	0,91	0,31	0,82
60	2,37	0,31	1,01	0,42	1,17	0,52	0,47	0,52	1,28	0,39	0,37	0,58	0,74	0,05	0,13
70	1,37	0,38	1,02	0,44	0,90	0,45	0,36	0,33	1,51	0,74	0,27	0,60	0,85	0,02	0,03
80	1,59	0,43	0,89	0,47	0,29	0,48	0,49	0,42	1,03	0,50	0,47	0,55	0,90	0,02	0,17
90	2,09	0,66	0,40	0,57	0,37	0,40	0,46	0,21	0,75	0,22	0,60	0,54	0,89	0,00	0,86
100	0,85	0,51	0,89	0,41	0,66	0,45	0,42	0,32	2,24	0,37	0,70	0,51	1,04	0,00	2,53
110	0,61	0,44	0,86	0,40	0,68	0,36	0,47	0,40	2,37	0,15	0,31	0,62	1,05	0,00	1,53
120	0,51	0,69	0,92	0,53	1,12	0,28	0,41	0,33	0,47	0,32	0,44	0,77	1,04	0,01	0,51
130	0,75	0,63	0,25	0,72	1,96	0,38	0,52	0,46	1,80	1,03	0,31	0,66	1,23	0,00	0,28
140	0,34	0,60	0,25	0,48	2,34	0,44	0,43	0,75	2,98	0,70	0,26	0,73	1,30	0,07	0,75
150	0,27	0,39	0,65	0,35	1,73	0,35	0,29	0,79	2,65	0,54	0,25	0,71	0,86	0,83	2,13
160	1,02	0,31	0,62	0,40	1,08	0,41	0,48	0,83	0,33	0,24	0,33	0,62	0,86	0,37	0,40
170	1,12	0,33	1,00	0,49	1,86	0,37	0,38	0,70	0,51	0,42	0,86	0,57	0,83	0,54	2,54
180	3,43	0,66	0,12	0,34	1,48	0,27	0,36	0,62	1,24	0,20	0,51	0,62	0,93	0,91	1,70
190	2,75	0,41	0,00	0,41	1,51	0,30	0,29	0,75	1,69	0,22	0,51	0,60	1,01	0,59	2,95
200	2,38	0,24	0,27	0,47	2,00	0,25	0,64	0,72	2,54	0,39	0,56	0,63	1,09	0,95	6,04
210	0,53	0,50	0,15	0,49	2,57	0,31	0,96	0,49	1,74	0,53	0,40	0,75	0,96	0,87	3,50
220	0,45	0,28	0,00	0,44	1,60	0,52	1,09	0,94	0,79	0,54	0,59	0,61	1,19	0,46	3,46
230	0,43	0,47	0,00	0,52	0,67	0,58	0,83	1,09	0,05	0,69	0,82	0,70	0,89	0,24	5,50
240	0,77	0,73	0,00	0,54	1,25	0,56	0,64	0,65	0,16	0,44	0,49	0,84	1,11	0,09	5,34
250	1,42	0,60	0,00	0,43	1,66	0,62	0,56	0,97	0,52	0,40	0,46	0,80	0,99	0,04	2,38
260	1,04	0,42	0,00	0,52	0,71	0,57	0,48	0,72	0,90	0,97	0,42	0,85	0,93	0,20	3,09
270	1,19	0,57	0,00	0,63	1,26	0,62	0,47	0,35	1,81	0,84	0,41	0,75	1,21	0,38	1,59
280	1,30	0,42	0,00	0,61	0,93	0,49	0,32	0,52	1,95	0,76	0,36	0,72	1,05	0,29	2,24
290	0,93	0,43	0,00	0,50	0,17	0,57	0,27	0,61	3,62	0,81	0,37	0,63	1,03	0,54	1,09
300	2,10	0,19	0,15	0,51	0,11	0,67	0,36	0,65	1,64	1,41	0,61	0,53	1,35	0,95	2,05
310	2,49	0,15	0,15	0,60	0,23	0,79	0,51	0,49	0,56	3,17	0,38	0,59	1,29	0,38	2,42
320	2,35	0,94	0,15	0,45	0,68	1,10	0,66	0,50	1,48	3,31	0,54	0,53	0,95	0,20	2,37
330	1,59	1,10	0,12	0,71	0,43	0,82	0,61	0,59	0,38	3,96	0,35	0,77	0,83	0,08	1,13
340	2,03	0,95	0,15	0,45	1,04	0,83	0,74	0,53	0,21	3,62	0,56	0,74	0,92	0,21	1,68
350	1,58	1,09	0,39	0,66	0,75	0,80	0,57	0,52	1,41	2,66	0,54	0,69	0,93	1,26	0,59
360	1,57	0,54	0,00	0,68	1,42	0,63	0,84	0,99	1,11	1,95	0,68	0,71	0,97	0,65	0,53
370	1,62	0,74	0,15	0,51	2,42	0,57	0,77	0,49	3,19	1,66	1,03	0,59	0,86	0,36	0,61
380	1,61	0,70	0,00	0,45	2,03	0,65	0,69	0,49	2,82	1,36	1,04	0,58	1,23	0,30	0,22
390	1,96	2,02	0,00	0,54	2,30	0,64	0,60	0,50	2,54	2,36	0,88	0,61	1,20	0,40	0,16
400	1,52	1,97	0,15	0,58	1,26	0,55	0,94	0,40	0,96	1,57	0,50	0,70	1,17	0,72	0,03
410	1,60	1,73	0,12	0,48	1,33	0,53	0,63	0,49	3,12	0,94	0,24	0,63	0,95	1,04	0,62
420	1,36	1,61	0,00	0,69	1,81	0,68	0,94	0,71	6,44	1,26	0,20	0,58	0,85	2,09	1,64
430	1,10	1,40	0,12	0,44	1,82	0,77	0,94	0,64	2,42	0,81	0,33	0,62	0,99	1,84	0,59

**Continuación Cuadro E.4. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos
hietogramas de larga duración.**

Tiempo [min]	Sanatorio Durán			San Rafael de Tapantí		El Ca- ñón	El Hu- mo	Embalse – El Llano		Villa Mills		Tres de Junio		La Cangreja	
	Tipo 1La	Tipo 4L	Tipo 2L	Tipo 3L	Tipo 6L	Tipo 3L	Tipo 3L	Tipo 3L	Tipo 5L	Tipo 1L	Tipo 2L	Tipo 3L	Tipo 1L	Tipo 2L	Tipo 1Lb
440	0,87	1,82	0,00	0,59	2,04	0,71	0,80	1,18	1,13	1,11	0,44	0,87	1,20	0,60	0,32
450	1,11	1,83	0,15	0,55	1,17	0,51	0,79	1,50	2,84	1,07	0,43	0,67	1,32	0,77	0,09
460	0,83	1,59	0,00	0,57	2,59	0,66	0,84	1,63	5,94	1,04	0,42	0,67	1,27	0,90	0,02
470	1,00	1,47	0,27	0,86	2,89	0,83	0,85	1,01	1,70	1,22	0,34	0,59	1,20	0,96	0,02
480	0,63	1,57	0,12	0,78	2,19	0,67	0,45	1,01	1,21	1,43	0,33	0,62	1,06	0,73	2,13
490	0,72	1,46	0,27	0,80	0,96	0,64	0,42	1,56	0,34	1,43	0,30	0,68	1,16	0,68	1,16
500	0,87	1,80	0,52	0,39	1,29	0,77	0,41	1,32	0,11	0,98	0,37	0,67	0,94	0,45	3,38
510	0,81	1,72	0,15	0,47	0,70	0,68	0,48	1,60	0,28	0,73	0,39	0,82	1,05	0,45	1,85
520	0,62	1,85	0,00	0,53	0,67	0,82	0,68	1,45	0,30	1,01	0,61	0,81	1,11	0,43	2,47
530	0,51	2,40	0,15	0,61	0,77	0,66	0,86	1,51	0,56	0,92	0,50	0,73	1,46	0,75	0,80
540	0,26	2,59	0,00	0,48	1,26	0,55	0,82	1,41	0,73	0,86	0,32	0,77	1,08	1,01	1,44
550	0,32	2,67	0,39	0,57	0,95	0,67	1,14	1,33	0,31	0,74	0,47	0,66	1,16	0,92	0,19
560	0,21	2,28	0,37	0,62	1,40	0,73	0,96	1,12	0,65	0,72	0,45	0,72	1,22	1,31	0,05
570	0,25	1,25	0,42	0,76	0,66	0,92	0,86	0,79	0,15	0,31	0,69	0,71	0,83	1,27	0,00
580	0,21	1,47	0,76	0,59	0,09	1,08	0,78	0,62	0,06	0,29	0,88	0,90	0,96	1,48	0,00
590	0,26	1,84	0,64	0,61	0,07	0,63	0,61	0,55	0,18	0,63	0,95	0,73	0,79	1,21	0,00
600	0,26	1,72	0,39	0,49	0,19	0,75	0,50	0,25	0,30	0,59	0,90	0,67	0,75	1,02	0,00
610	0,19	1,42	0,30	0,62	0,32	0,79	0,60	0,20	0,54	0,77	0,95	0,74	0,82	0,74	0,00
620	0,17	1,19	0,00	0,67	0,83	0,92	0,52	0,51	0,50	0,65	0,93	0,82	0,99	0,58	0,00
630	0,19	1,60	0,15	0,79	1,04	0,96	1,18	1,21	0,73	0,93	0,95	0,72	1,34	0,70	0,03
640	0,32	1,10	0,00	0,81	0,85	1,02	0,98	1,05	0,46	0,67	0,92	0,93	0,86	0,64	0,23
650	0,25	1,36	0,27	0,77	1,12	0,88	0,84	0,87	0,85	0,82	1,01	0,91	0,81	0,87	0,61
660	0,19	1,35	0,00	0,82	1,02	0,97	0,51	0,47	0,67	1,25	0,82	1,10	0,74	0,46	0,34
670	0,20	1,49	0,00	0,81	0,58	1,14	0,67	0,50	0,57	0,50	0,85	1,08	0,60	0,84	0,04
680	0,12	1,78	0,00	0,92	1,75	1,04	0,65	0,73	0,24	0,64	0,99	1,26	0,56	0,33	0,04
690	0,08	2,28	0,15	0,86	1,95	1,00	0,63	0,79	0,80	0,80	0,85	1,02	0,72	0,20	0,00
700	0,17	1,30	0,00	0,68	1,18	0,76	0,79	1,02	0,07	1,21	0,84	1,20	0,54	0,57	0,01
710	0,30	1,39	0,15	0,85	1,05	1,18	0,68	0,77	0,21	0,82	0,81	1,25	0,50	0,78	0,01
720	0,26	1,19	0,54	0,56	1,14	1,32	0,57	1,19	0,43	1,02	0,98	1,23	0,58	0,99	0,01
730	0,21	1,34	0,89	0,59	0,94	1,27	0,58	1,38	0,41	1,29	0,83	1,12	0,64	0,85	0,00
740	0,14	0,96	0,27	0,57	1,03	0,72	0,61	0,66	0,36	1,08	1,00	0,97	0,56	0,61	0,00
750	0,22	0,44	0,67	0,63	2,25	0,69	0,49	0,72	0,66	0,92	0,86	1,01	0,51	0,30	0,00
760	0,26	0,34	0,52	0,71	0,51	0,71	0,74	1,05	0,13	1,05	0,77	1,07	0,63	0,14	0,00
770	0,22	0,33	0,91	0,44	0,89	0,64	0,96	1,12	0,07	1,01	0,64	1,27	0,70	0,06	0,00
780	0,62	0,74	0,15	0,74	0,14	0,86	1,11	1,29	0,37	1,03	0,81	1,12	0,59	0,06	0,00
790	0,76	1,11	0,42	0,76	0,88	0,91	0,83	0,94	0,12	0,92	0,80	1,10	0,63	0,04	0,02
800	0,59	0,95	1,51	0,61	0,88	1,04	0,86	0,82	0,07	0,65	0,79	0,99	0,53	0,01	0,02
810	0,37	0,51	1,16	0,60	0,88	0,99	1,38	0,74	0,04	0,63	1,21	0,94	0,82	0,09	0,01
820	0,26	0,54	0,49	1,15	0,47	1,12	0,87	0,71	0,04	0,52	1,17	0,85	0,78	0,39	0,00
830	0,21	0,56	0,91	1,03	0,29	1,18	1,02	1,04	0,04	0,53	1,20	0,99	0,73	0,63	0,00
840	0,10	0,68	1,02	0,57	0,11	1,17	1,11	0,73	0,15	0,43	1,42	0,89	0,47	0,67	0,09
850	0,07	0,70	0,62	0,60	0,10	1,35	0,93	0,94	0,07	0,46	1,40	0,89	0,53	0,69	0,00
860	0,13	0,56	1,04	0,82	0,05	1,05	0,74	0,72	0,27	0,47	1,81	0,86	0,43	0,91	0,00
870	0,10	0,50	1,51	0,91	0,11	1,22	0,88	0,50	0,14	0,58	1,31	0,80	0,31	0,90	0,00
880	0,27	0,32	1,88	0,88	0,12	1,11	1,41	0,26	0,06	0,45	1,17	0,49	0,27	2,12	0,00
890	0,66	0,34	1,75	0,78	0,09	1,16	1,14	0,58	0,02	0,77	0,84	0,51	0,40	1,28	0,00

**Continuación Cuadro E.4. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos
hietogramas de larga duración.**

Tiempo [min]	Sanatorio Durán			San Rafael de Tapantí		El Ca- ñón	El Hu- mo	Embalse – El Llano		Villa Mills		Tres de Junio		La Cangreja	
	Tipo 1La	Tipo 4L	Tipo 2L	Tipo 3L	Tipo 6L	Tipo 3L	Tipo 3L	Tipo 3L	Tipo 5L	Tipo 1L	Tipo 2L	Tipo 3L	Tipo 1L	Tipo 2L	Tipo 1Lb
900	0,16	0,25	1,01	0,64	0,64	1,03	1,38	0,66	0,02	0,47	1,43	0,60	0,30	1,32	0,00
910	0,26	0,25	0,37	0,91	0,95	0,93	1,25	1,11		0,44	1,76	0,61	0,28	0,93	0,00
920	0,13	0,46	0,64	0,79	0,37	1,22	1,01	1,32		0,47	1,92	0,74	0,35	1,05	0,00
930	0,09	0,27	0,40	0,69	0,09	0,97	0,59	0,81		0,46	2,45	0,64	0,32	0,25	0,02
940	0,02	0,38	1,01	0,75	0,25	0,82	0,55	1,25		0,50	1,87	0,64	0,36	2,82	0,01
950	0,02	0,53	0,52	0,96	0,04	0,98	0,65	0,44		0,36	2,33	0,75	0,38	1,33	0,03
960	0,08	0,46	0,30	0,95	0,34	0,61	0,94	0,60		0,54	2,06	0,53	0,49	0,92	0,03
970	0,10	0,48	1,11	1,15	0,58	1,17	1,03	0,61		0,32	2,23	0,39	0,41	0,63	0,03
980	0,16	0,43	2,50	1,01	0,22	0,68	1,08	0,54		0,32	1,94	0,52	0,49	1,22	0,02
990	0,09	0,27	3,13	1,00	0,05	1,06	1,02	0,40		1,09	1,86	0,60	0,48	1,99	0,02
1000	0,17	0,21	4,62	0,83	0,13	0,96	1,09	0,42		0,69	1,69	0,61	0,42	1,37	0,80
1010		0,26	2,15	0,76	0,10	0,92	1,18	0,93		1,06	2,11	0,63	0,54	1,73	0,11
1020		0,54	1,85	0,68		0,97	1,20	0,60		0,69	1,40	0,65	0,60	1,56	0,14
1030		0,75	2,13	0,66		0,89	0,92	0,54		0,45	1,39	0,81	0,60	0,98	0,29
1040		0,56	2,91	0,67		1,08	0,94	0,35		0,62	1,12	0,64	0,55	1,26	1,11
1050		0,84	2,86	0,90		0,73	0,85	0,43		0,73	1,08	0,60	0,39	0,76	2,78
1060		0,50	2,41	1,30		0,69	0,83	0,41		0,61	0,86	0,87	0,46	1,80	1,21
1070		0,60	3,38	1,08		0,82	0,89	0,36		0,43	1,32	0,59	0,51	1,08	0,11
1080		0,40	3,15	1,73		0,84	0,95	0,51		0,62	1,16	0,75	0,50	1,18	0,02
1090		0,36	3,01	1,68		0,86	0,81	0,68		0,49	0,80	0,85	0,59	1,64	0,01
1100		0,29	7,12	0,84		0,71	0,76	0,36		0,56	0,78	0,98	0,54	2,72	1,03
1110		0,32	2,63	0,95		0,92	0,82	0,51		0,65	0,72	0,72	0,33	3,18	0,30
1120		0,11	2,28	0,76		1,00	0,89	1,01		0,62	0,70	0,88	0,35	2,16	0,21
1130		0,02	2,00	0,44		0,65	0,71	0,78		0,49	0,83	0,79	0,48	1,69	0,00
1140		0,14	2,36	0,61		0,66	0,47	0,75		0,47	0,75	0,63	0,54	2,07	0,03
1150		0,25	2,01	0,72		0,56	0,51	0,50		0,44	0,62	0,65	0,35	3,54	0,09
1160		0,15	0,52	0,79		0,47	0,54	0,49		0,37	0,78	0,57	0,41	0,31	0,31
1170		0,61	0,67	0,78		0,52	0,48	0,36		0,39	0,80	0,63	0,37	0,56	0,18
1180		0,44	0,39	0,66		0,71	0,85	0,35		0,47	0,88	0,43	0,58	0,69	0,37
1190		0,35	0,39	0,80		0,64	1,16	0,41		0,31	0,54	0,49	0,30	0,14	1,13
1200		0,38	0,52	0,89		0,68	0,73	0,48		0,46	0,44	0,54	0,25	0,62	0,21
1210		0,53	0,54	0,80		0,88	0,65	0,48		0,47	0,33	0,53	0,36	1,60	
1220			0,59	0,61		0,89	0,68	0,58		0,31	0,18	0,74	0,28	1,02	
1230			0,30	0,80		0,89	1,21	0,88		0,28	0,33	0,59	0,25	0,99	
1240			0,30	0,88		0,84	0,65	0,54		0,29	0,43	0,53	0,27	0,33	
1250			0,59	0,80		1,01	0,98	0,70		0,28	0,23	0,56	0,18		
1260			0,30	0,86		0,72	0,42	0,43		0,37	0,33	0,51	0,26		
1270			0,00	0,90		0,65	0,32	0,36				0,45	0,27		
1280			0,00	0,94		0,59	0,36	0,37				0,56	0,23		
1290			0,30	0,59		0,37	0,46	0,40				0,51	0,33		
1300			0,79	0,88		0,51	0,66	0,32				0,42	0,35		
1310			0,00	0,83		0,50	0,60	0,46				0,44	0,24		
1320			0,00	0,65		0,54	0,62	0,36				0,57	0,18		
1330			0,00	0,71		0,53	0,98	0,60				0,72	0,25		
1340			0,30	0,75		0,42	0,56	0,58				0,60	0,25		

**Continuación Cuadro E.4. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos
hietogramas de larga duración.**

Tiempo [min]	Sanatorio Durán			San Rafael de Tapantí		El Ca- ñón	El Hu- mo	Embalse – El Llano		Villa Mills		Tres de Junio		La Cangreja	
	Tipo 1La	Tipo 4L	Tipo 2L	Tipo 3L	Tipo 6L	Tipo 3L	Tipo 3L	Tipo 3L	Tipo 5L	Tipo 1L	Tipo 2L	Tipo 3L	Tipo 1L	Tipo 2L	Tipo 1Lb
1350				0,70		0,32	0,72	0,51				0,58	0,22		
1360				1,03		0,52	0,73	0,71				0,72	0,27		
1370				0,82			0,40	0,53				0,79	0,27		
1380				0,67			0,31	0,36				0,82	0,29		
1390				0,63			0,28	0,40				0,71	0,24		
1400				0,55			0,17	0,49				0,57	0,24		
1410				0,39				0,50					0,30		
1420				0,54				0,71					0,34		
1430				0,74				0,88					0,32		
1440				1,04				0,38					0,30		

Fuente: el autor.

Cuadro E.5. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos hietogramas de larga duración.

Tiempo [min]	La Suiza				Cachí (Plantel)			Tucurrique			
	Tipo 2L	Tipo 1L	Tipo 4L	Tipo 7L	Tipo 3L	Tipo 6L	Tipo 4L	Tipo 2L	Tipo 3L	Tipo 5L	Tipo 8L
10	0,24	0,58	0,90	0,97	0,89	1,57	0,50	0,55	0,91	0,48	0,90
20	0,57	0,52	0,45	1,44	1,04	0,59	0,33	0,37	0,39	0,50	1,73
30	0,33	0,59	0,98	1,30	0,77	0,35	0,34	0,47	0,25	0,70	1,41
40	0,44	0,51	0,32	2,35	0,63	0,54	0,39	0,25	1,21	1,00	0,84
50	0,41	0,49	0,18	1,27	0,83	2,68	0,20	0,17	0,87	1,04	1,37
60	0,35	0,70	0,06	0,84	0,57	1,78	0,11	0,24	0,40	0,65	0,58
70	0,16	0,60	0,05	1,33	0,62	2,76	0,27	0,33	0,56	0,64	0,32
80	0,29	0,49	0,13	1,45	0,70	0,64	0,17	0,35	0,45	0,48	0,33
90	0,52	0,57	0,36	2,17	0,73	0,79	0,68	0,28	0,52	0,75	0,19
100	0,23	0,71	0,52	1,37	0,79	1,40	0,49	0,86	0,57	1,08	0,33
110	0,36	0,83	0,23	1,18	0,54	1,58	0,35	0,44	1,13	1,19	0,87
120	0,16	0,80	0,66	1,34	0,31	0,57	0,29	0,65	0,98	1,27	0,77
130	0,24	0,83	0,70	2,00	0,29	0,84	0,24	0,50	0,89	0,59	0,71
140	0,14	0,96	0,51	0,62	0,39	0,66	0,35	0,44	0,83	0,28	0,96
150	0,17	0,93	0,37	0,73	0,41	1,19	0,27	0,28	0,65	0,33	0,63
160	0,17	0,79	0,44	0,66	0,33	1,40	0,37	0,28	1,16	0,50	1,03
170	0,13	0,79	0,89	0,55	0,73	0,61	0,56	0,16	0,69	0,85	1,31
180	0,17	0,92	0,51	0,39	0,37	0,81	0,73	0,20	0,51	0,85	1,01
190	0,17	0,82	0,18	0,81	0,35	1,91	0,77	0,16	0,42	1,32	1,97
200	0,17	0,85	0,24	0,35	0,47	0,75	0,80	0,19	0,48	1,70	1,42
210	0,10	0,54	0,25	0,34	0,66	2,30	0,52	0,33	0,42	0,62	1,10
220	0,12	0,60	0,54	0,19	0,35	1,51	0,13	0,19	0,44	0,75	2,63
230	0,18	0,67	1,28	0,26	0,61	2,50	0,16	0,19	0,82	0,56	3,24
240	0,26	0,96	1,01	0,34	0,72	1,81	0,20	0,11	0,44	0,39	2,70
250	0,22	1,00	0,79	0,39	0,57	2,01	0,11	0,26	0,45	0,34	2,74
260	0,38	0,96	0,50	0,40	0,38	2,95	0,08	0,42	0,39	0,42	1,84
270	0,50	0,96	0,48	1,16	0,25	1,98	0,43	0,27	0,64	0,72	1,77
280	0,40	1,03	0,51	0,79	0,30	2,52	0,64	0,20	0,89	0,94	0,83
290	0,70	0,95	0,59	0,70	0,65	4,08	0,20	0,14	0,51	0,59	0,96
300	0,56	1,00	1,02	1,80	0,74	2,12	0,35	0,20	0,81	0,65	1,16
310	0,60	1,12	1,14	1,32	0,73	0,51	0,36	0,14	0,66	0,41	0,67
320	0,51	1,38	1,27	0,87	0,59	1,79	0,23	0,12	1,01	0,37	0,44
330	0,44	1,17	0,98	0,51	0,71	0,33	0,05	0,07	1,57	0,79	0,43
340	0,22	0,85	1,49	1,53	0,44	0,14	0,05	0,44	0,79	0,45	0,41
350	0,13	1,03	1,73	0,43	0,44	0,33	0,19	0,45	0,52	1,08	1,16
360	0,05	0,90	1,27	0,28	0,48	0,28	0,06	0,28	0,70	0,96	0,62
370	0,11	1,22	1,28	0,11	0,55	0,12	0,10	0,34	0,28	1,52	0,81
380	0,35	0,71	1,88	0,34	0,33	0,09	0,09	0,33	0,34	0,78	0,52
390	0,30	0,81	0,60	0,32	0,34	0,86	0,48	0,36	0,56	1,34	0,54
400	0,22	1,22	1,15	0,24	0,45	0,29	0,34	0,39	0,54	1,29	0,40
410	0,29	1,02	0,95	0,18	0,65	0,22	0,46	0,50	0,47	1,07	0,44
420	0,28	1,16	2,11	0,15	0,49	0,09	0,22	0,43	0,60	0,64	0,31
430	0,14	0,84	0,92	0,11	0,64	0,07	0,30	0,49	0,58	0,26	0,31
440	0,27	0,90	1,43	0,05	0,65	0,02	0,28	0,10	0,48	0,66	0,44
450	0,49	1,12	2,90	0,18	0,84	0,05	0,78	0,17	0,90	0,79	0,17
460	0,55	0,89	0,93	0,30	1,13	0,04	1,16	0,08	0,56	0,99	0,03
470	0,36	0,78	2,51	0,57	0,94	0,11	0,87	0,17	0,72	0,64	0,03
480	0,24	0,92	2,56	0,47	0,57	0,11	1,31	0,33	0,59	0,49	0,16

**Continuación Cuadro E.5. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos
hietogramas de larga duración.**

Tiempo [min]	La Suiza				Cachí (Plantel)			Tucurrique			
	Tipo 2L	Tipo 1L	Tipo 4L	Tipo 7L	Tipo 3L	Tipo 6L	Tipo 4L	Tipo 2L	Tipo 3L	Tipo 5L	Tipo 8L
490	0,26	0,89	1,98	0,08	1,00	0,25	3,00	0,34	1,06	0,97	0,12
500	0,22	0,82	1,67	0,23	0,59	0,20	1,47	0,20	0,80	0,63	0,07
510	0,51	0,81	1,89	0,15	0,42	0,31	1,54	0,24	0,64	0,90	0,25
520	0,34	0,85	1,63	0,08	0,73	0,53	1,25	0,28	0,60	0,81	0,03
530	0,86	0,86	0,62	0,02	0,70	0,74	0,89	0,35	1,10	0,91	0,05
540	0,80	0,72	0,48	0,02	0,42	0,39	1,16	0,33	0,84	0,80	0,05
550	0,19	0,67	1,58	0,06	0,46	1,20	1,80	0,86	0,32	0,53	0,03
560	0,48	0,70	1,83	0,11	0,36	1,24	1,74	0,69	0,79	0,94	0,15
570	0,28	0,72	3,81	0,25	0,45	1,12	2,63	0,85	0,67	0,63	0,10
580	0,39	0,92	1,30	0,75	0,65	1,81	3,39	0,31	0,63	1,13	0,15
590	0,31	0,78	0,96	0,73	0,55	1,55	1,68	0,54	0,57	0,94	0,12
600	0,42	0,82	1,72	0,54	0,53	1,93	2,16	1,04	0,48	1,33	0,05
610	0,48	0,56	0,58	0,38	0,68	0,83	1,62	0,63	0,70	1,12	0,01
620	0,39	0,51	0,83	0,97	0,49	1,05	0,45	0,48	0,97	0,83	0,01
630	0,51	0,70	0,92	1,64	0,60	1,22	0,35	0,30	0,81	1,87	0,01
640	0,75	0,99	1,30	1,00	0,80	1,31	0,41	0,30	0,40	1,72	0,03
650	0,99	0,71	1,02	0,99	0,71	0,81	0,27	0,36	0,49	1,64	0,03
660	0,40	0,76	0,74	2,08	0,50	0,46	1,16	0,70	0,39	1,98	0,10
670	0,36	0,57	1,26	1,48	0,62	1,40	1,04	0,92	0,40	1,45	0,05
680	1,40	0,61	1,17	0,70	0,52	2,35	1,72	0,86	0,63	1,02	0,11
690	1,98	0,87	1,18	0,38	0,53	1,17	0,58	0,93	0,98	1,63	0,40
700	1,52	0,66	1,50	0,85	0,60	1,05	0,43	1,22	0,55	1,35	0,04
710	0,66	0,59	1,29	0,71	0,66	0,37	0,73	0,79	0,84	1,53	0,15
720	0,41	0,54	0,62	1,12	0,52	0,40	1,18	1,34	0,81	1,63	0,06
730	0,54	0,41	0,94	0,72	0,80	0,34	0,26	1,71	0,54	1,66	0,21
740	0,50	0,45	1,07	0,72	0,93	0,45	0,56	2,84	0,71	1,88	0,19
750	0,52	0,87	0,97	0,38	0,45	0,38	0,57	1,44	0,53	1,67	0,22
760	0,48	0,82	0,86	0,36	0,85	0,35	0,43	1,23	0,68	2,37	0,04
770	1,14	0,95	1,27	0,60	0,98	0,29	0,77	0,74	0,47	1,62	0,01
780	1,44	0,62	0,58	0,29	1,03	0,35	0,42	0,62	0,46	1,45	0,13
790	1,17	0,80	0,61	0,51	1,26	0,21	0,62	0,77	0,61	1,30	0,53
800	0,72	0,52	0,66	0,27	1,36	0,08	0,77	0,90	0,68	0,46	0,60
810	1,52	0,55	0,49	0,19	1,41	0,05	0,52	0,75	0,97	0,83	0,29
820	1,62	0,83	0,49	0,21	1,31	0,22	0,59	0,46	0,56	1,00	0,13
830	1,33	0,76	0,86	0,23	0,95	0,05	0,76	0,75	0,27	1,59	0,06
840	1,02	0,77	0,90	0,56	1,16	0,16	0,61	0,87	0,50	0,81	0,10
850	1,16	0,82	1,64	0,85	1,34	0,17	1,23	2,66	0,59	0,93	0,39
860	1,02	0,72	1,32	0,69	1,01	0,10	1,08	1,89	0,57	1,39	0,70
870	1,74	0,87	0,74	0,46	1,16	0,06	1,74	1,48	0,52	0,92	0,41
880	0,89	0,63	0,55	0,36	1,05	0,21	2,19	0,87	0,46	1,00	0,42
890	0,83	0,64	0,65	1,02	1,09	0,42	1,07	1,96	0,70	0,92	0,38
900	1,43	0,56	0,85	0,71	1,02	0,13	0,68	1,20	0,52	0,36	0,45
910	0,98	0,63	0,71	0,34	1,15	0,27	0,63	1,21	0,62	0,41	0,30
920	0,70	0,68	0,77	0,54	0,75	0,19	0,80	1,44	0,89	0,57	0,41
930	0,51	0,67	0,55	0,32	1,02	0,70	0,99	1,36	1,27	0,22	0,67
940	0,69	0,92	0,78	0,41	0,53	0,63	0,71	0,97	0,60	0,29	1,23
950	1,80	0,53	0,46	0,41	0,54	0,25	0,74	0,75	0,78	0,12	0,96
960	1,53	0,62	0,53	0,36	0,71	0,27	1,37	1,07	1,27	0,32	1,10

**Continuación Cuadro E.5. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos
hietogramas de larga duración.**

Tiempo [min]	La Suiza				Cachí (Plantel)			Tucurrique			
	Tipo 2L	Tipo 1L	Tipo 4L	Tipo 7L	Tipo 3L	Tipo 6L	Tipo 4L	Tipo 2L	Tipo 3L	Tipo 5L	Tipo 8L
970	1,10	0,94	1,05	0,22	0,82	0,60	1,27	1,13	0,58	1,13	0,69
980	1,35	1,00	0,17	0,11	0,80	0,68	0,71	1,17	0,50	0,80	0,82
990	1,47	0,64	0,25	0,04	0,65	0,98	0,32	0,63	0,19	0,44	0,44
1000	1,62	0,74	0,17	0,02	0,64	0,88	0,93	0,86	0,19	0,29	0,95
1010	0,89	0,84	0,09	0,05	0,79	1,81	0,83	0,59	0,84	0,15	1,36
1020	1,14	0,76	0,12	0,54	0,56	0,41	0,42	0,57	1,01	0,68	0,69
1030	0,82	0,79	0,06	0,25	0,41	0,53	1,37	0,74	0,50	0,54	0,58
1040	0,60	0,76	0,29	0,29	0,31	0,03	0,97	1,19	0,57	0,25	0,23
1050	1,02	0,57	0,25	0,63	0,38	0,00	0,74	1,54	0,47	0,34	0,47
1060	0,44	0,49	0,26	0,04	0,54	0,01	0,66	0,82	0,40	0,40	1,08
1070	0,56	0,69	0,18	0,04	0,44	0,28	0,55	1,03	0,36	0,07	0,46
1080	0,98	0,74	0,33	0,25	1,17	0,25	1,00	0,73	0,48	0,20	0,41
1090	1,04	0,49	0,38	0,07	1,13	0,92	0,52	1,04	0,62	0,24	0,40
1100	1,26	0,56	0,29	0,38	0,94	0,27	0,65	0,79	0,57	0,14	0,59
1110	0,65	0,68	0,26	0,65	0,50	0,66	0,94	1,06	0,79	0,14	0,48
1120	1,54	0,60	0,32	1,86	0,92	2,26	0,98	1,14	0,75	0,12	0,73
1130	2,26	0,56	0,51	1,25	0,77	0,19	0,52	0,96	1,01	0,13	0,55
1140	2,53	0,53	0,65	1,46	0,65	0,19	1,09	0,95	1,16	0,10	0,78
1150	1,04	0,50	0,44	2,14	0,80	0,86	1,04	1,08	0,99	0,09	0,62
1160	0,86	0,36		0,82	0,47	0,97	0,61	1,54	0,70	0,07	0,59
1170	1,49	0,45		0,59	0,56	0,63	0,64	1,10	1,00	0,06	0,63
1180	1,05	0,46		1,64	0,56	0,14	0,49	0,58	1,19	0,10	0,69
1190	1,24	0,28		1,19	0,45	0,44	0,73	0,90	1,23	0,05	0,50
1200	0,98	0,33		1,09	0,72	0,14	0,36	0,64	1,07	0,38	0,92
1210	0,95	0,34		1,75	0,70	0,04	0,22	0,88	1,05	0,56	0,98
1220	1,07	0,53		1,23	0,60	0,41	0,42	0,87	1,50	0,22	1,07
1230	0,84	0,29		1,80	1,18	0,61	0,82	1,06	0,81	0,13	0,94
1240	0,93	0,52		1,96	0,75	0,08	0,70	1,10	0,87	0,18	0,65
1250	0,79	0,48		3,53	1,23	0,29	0,99	1,28	0,93	0,28	1,09
1260	0,61	0,49		0,59	1,06	0,11	1,39	1,02	0,53	0,24	0,96
1270	0,81	0,61		1,21	0,98	0,16	1,07	0,49	0,59	0,35	1,21
1280	1,19	0,37		0,75	0,62	0,52	2,27	0,35	0,29	0,27	0,97
1290	1,43	0,24		0,58	0,69	0,50	0,62	1,12	0,79	0,14	0,68
1300	0,50	0,38		1,09	0,56	0,15	0,30	0,35	1,40	0,31	0,82
1310	0,91	0,26		0,76	0,90	0,13	0,46	0,53	1,43	0,28	1,05
1320	1,39	0,43		1,83	0,81	0,19	0,36	0,45	1,46	0,17	0,71
1330	0,78	0,57		1,86	0,74		0,93	0,61	1,20	0,39	0,27
1340	0,85	0,33		0,37	0,62			0,57	0,66	0,26	1,48
1350	0,63	0,48		0,78	0,74			0,94	0,53	0,24	0,60
1360	0,98	0,43			0,70			1,59	0,74		0,82
1370	0,56	0,27			0,67			0,84	0,69		1,09
1380	0,19	0,19			0,63			0,82	0,65		1,50
1390	0,36	0,40			0,72			0,64	0,68		1,10
1400	0,71	0,54			0,88			0,82	0,63		2,47
1410	0,42	0,51			0,59			0,32	0,35		2,05
1420	0,25	0,37			0,52			0,25	0,47		2,00
1430	0,27	0,43			0,63			0,40	0,40		1,31
1440	0,07	0,51			0,59			0,43	0,40		0,86

Fuente: el autor.

Cuadro E.6. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos hietogramas de larga duración.

Tiempo [min]	San Antonio de Turrialba				Oriente		Sitio de Presa Tapantí
	Tipo 3L	Tipo 6L	Tipo 1L	Tipo 8L	Tipo 3L	Tipo 2L	Tipo 1L
10	0,58	1,19	0,59	0,49	0,44	0,55	0,75
20	0,80	0,83	1,10	0,71	0,47	0,82	0,89
30	0,89	0,17	0,82	1,06	0,69	0,79	0,69
40	0,43	0,13	0,68	1,07	0,56	0,55	0,54
50	0,34	0,19	0,98	1,27	0,95	0,71	0,77
60	0,42	0,19	0,82	0,79	0,84	0,89	0,78
70	0,43	0,53	0,81	0,75	0,68	0,77	0,64
80	0,40	0,67	0,72	0,94	0,67	0,48	0,79
90	0,49	0,56	0,44	0,62	0,75	0,93	0,65
100	0,53	0,27	0,39	1,05	0,65	0,91	0,70
110	0,50	0,21	0,43	0,60	0,75	0,99	0,73
120	0,44	0,16	0,45	0,65	0,78	0,42	0,63
130	0,29	0,48	0,65	0,67	0,69	0,61	0,72
140	0,27	0,38	0,71	0,69	0,65	0,50	0,91
150	0,25	0,67	0,94	0,55	0,79	0,33	0,88
160	0,38	0,64	1,31	0,41	1,04	0,41	0,87
170	0,66	0,32	1,31	1,36	1,19	0,38	0,57
180	0,63	0,52	1,22	1,16	0,59	0,48	0,89
190	0,90	0,38	0,82	0,81	0,59	0,33	0,94
200	0,93	0,23	0,68	0,61	0,74	0,36	0,99
210	0,75	0,67	0,42	0,64	0,52	0,23	0,95
220	0,87	0,50	0,79	0,48	0,63	0,17	0,85
230	0,80	0,44	1,46	1,37	0,71	0,16	0,84
240	0,79	0,91	0,75	0,94	0,72	0,31	0,79
250	0,83	0,44	1,07	1,44	0,63	0,30	0,85
260	0,55	0,30	1,22	0,60	0,47	0,28	0,71
270	0,51	0,40	0,70	0,65	0,80	0,38	0,69
280	0,63	0,66	0,89	0,72	1,16	0,47	0,59
290	0,64	0,72	1,26	0,59	1,07	0,41	0,62
300	0,94	1,03	0,57	0,43	1,06	0,49	0,79
310	1,10	0,85	0,59	1,15	0,87	0,65	0,67
320	0,79	0,53	0,87	0,60	0,75	0,57	0,70
330	0,78	0,17	1,33	0,27	0,65	0,24	0,71
340	0,97	0,30	2,03	0,28	0,65	0,32	0,84
350	0,78	0,29	1,24	0,15	0,52	0,42	1,00
360	0,87	0,89	1,06	0,56	0,47	0,49	1,12
370	1,11	1,61	1,27	1,04	0,82	0,78	0,91
380	1,26	1,33	1,22	0,78	0,86	0,63	0,75
390	1,04	0,69	0,84	0,58	0,80	0,20	0,94
400	0,65	0,96	1,15	0,37	0,40	0,40	1,05
410	0,66	1,15	0,92	0,44	0,41	0,41	0,80
420	0,65	1,54	1,12	0,37	0,57	0,48	0,75
430	0,51	1,02	0,88	0,79	1,07	0,46	0,82
440	0,87	1,06	1,35	0,85	0,81	0,45	0,85
450	1,18	1,34	1,86	0,51	0,71	0,34	0,88
460	1,32	1,40	1,51	0,37	0,71	0,16	0,96
470	0,82	1,45	1,19	0,27	0,63	0,19	0,87

**Continuación Cuadro E.6. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos
hietogramas de larga duración.**

Tiempo [min]	San Antonio de Turrialba				Oriente		Sitio de Presa Tapantí
	Tipo 3L	Tipo 6L	Tipo 1L	Tipo 8L	Tipo 3L	Tipo 2L	Tipo 1L
480	0,68	1,58	1,28	0,24	0,47	0,69	0,75
490	0,98	1,17	1,72	0,48	0,47	0,54	0,79
500	0,44	1,02	1,40	0,31	0,85	0,63	0,95
510	0,61	1,08	1,06	0,23	1,03	0,41	0,92
520	0,64	1,12	0,82	0,12	1,25	0,36	0,97
530	0,86	0,83	1,47	0,46	1,12	0,38	0,86
540	0,80	0,55	0,93	0,18	0,79	0,40	0,78
550	0,82	0,53	0,72	0,16	0,73	0,63	0,70
560	0,65	0,41	0,77	0,22	0,53	0,30	0,90
570	0,88	0,53	0,99	0,21	1,30	0,42	0,75
580	0,70	0,50	1,42	0,40	0,74	0,67	0,67
590	0,50	0,94	1,09	0,29	0,81	0,15	0,80
600	0,74	0,28	1,19	0,29	0,80	0,28	0,94
610	0,63	0,26	0,81	0,32	0,64	0,30	0,88
620	0,98	0,36	1,05	0,42	0,73	0,54	0,94
630	0,92	0,31	0,74	0,29	0,62	0,81	1,10
640	0,70	0,13	0,69	0,44	0,88	1,55	1,17
650	0,56	0,16	0,65	0,41	0,43	0,61	1,18
660	0,72	0,50	1,32	0,90	0,99	0,68	1,04
670	0,93	0,46	1,18	0,88	0,84	0,58	0,91
680	1,18	0,20	1,27	0,92	1,13	0,30	0,87
690	0,99	0,59	0,97	0,70	0,97	0,18	0,70
700	0,77	1,25	0,89	0,69	1,07	0,18	0,73
710	0,55	0,95	0,81	0,45	1,01	0,12	1,01
720	0,66	1,10	0,68	0,28	0,78	0,83	0,85
730	0,50	1,16	0,82	0,21	1,02	1,22	0,78
740	0,39	1,23	1,09	0,21	1,25	1,05	0,93
750	0,74	2,23	1,29	0,27	0,99	1,02	0,86
760	0,53	1,72	1,01	0,24	0,85	0,84	0,83
770	0,45	2,05	0,50	0,23	0,61	0,41	0,64
780	0,41	1,71	0,93	0,31	0,54	0,44	0,94
790	0,52	0,94	0,60	0,55	0,41	0,74	0,65
800	0,52	1,12	1,21	0,27	0,75	0,42	0,58
810	0,46	1,48	0,90	0,11	0,81	0,60	0,60
820	0,37	2,11	0,53	0,37	0,67	1,11	0,57
830	0,34	1,45	0,33	0,46	0,58	0,93	0,63
840	0,59	1,31	0,68	0,91	0,59	1,33	0,74
850	0,64	1,05	0,51	0,14	0,65	0,89	0,76
860	0,74	0,99	0,51	0,30	0,60	0,53	0,80
870	0,73	1,96	0,45	0,71	0,76	0,42	0,58
880	1,35	1,61	0,17	0,44	0,59	0,78	0,68
890	1,06	0,66	0,09	0,52	0,98	0,73	0,69
900	0,82	0,76	0,32	0,58	0,77	1,00	0,70
910	0,55	0,79	0,47	1,22	0,77	1,22	0,63
920	0,88	0,59	0,64	0,95	0,74	1,49	0,62
930	0,66	0,38	0,49	1,04	0,69	1,68	0,61
940	1,19	0,49	0,34	0,56	0,94	1,55	0,57
950	0,81	0,83	0,38	0,70	0,72	2,25	0,50
960	0,67	1,34	0,63	0,42	0,60	1,87	0,46

**Continuación Cuadro E.6. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos
hietogramas de larga duración.**

Tiempo [min]	San Antonio de Turrialba				Oriente		Sitio de Presa Tapantí
	Tipo 3L	Tipo 6L	Tipo 1L	Tipo 8L	Tipo 3L	Tipo 2L	Tipo 1L
970	0,83	0,58	0,61	0,79	0,45	1,00	0,56
980	0,78	0,41	0,34	0,53	0,60	1,35	0,67
990	0,86	0,22	0,82	0,53	0,43	1,24	0,58
1000	0,46	0,37	0,48	0,64	0,41	2,10	0,50
1010	0,48	0,56	0,42	0,23	0,73	1,14	0,68
1020	0,53	0,54	0,39	0,23	0,86	2,01	0,65
1030	0,78	0,61	0,41	0,26	0,84	1,63	0,48
1040	0,74	0,39	0,30	0,41	0,48	0,98	0,38
1050	0,63	0,19	0,30	0,48	0,54	0,80	0,47
1060	0,58	0,23	0,41	1,36	0,55	0,57	0,53
1070	0,67	0,52	0,43	1,80	0,42	0,75	0,58
1080	0,70	0,50	0,37	0,84	0,31	0,99	0,55
1090	0,49	0,20	0,25	0,68	0,68	0,83	0,55
1100	0,50	0,38	0,23	0,44	0,50	0,48	0,49
1110	1,11	0,20	0,22	0,51	0,69	0,47	0,50
1120	1,31	0,11	0,39	0,57	0,61	0,96	0,44
1130	0,93	0,10	0,35	1,00	0,48	0,77	0,51
1140	0,47	0,35	0,24	1,00	0,41	0,89	0,41
1150	0,79	0,21	0,19	1,23	0,82	0,60	0,32
1160	0,76	0,44	0,39	0,95	0,72	0,53	0,40
1170	0,65	0,48	0,44	1,65	0,71	0,72	0,47
1180	0,63	0,30	0,66	1,68	0,51	1,28	0,50
1190	0,65	0,13	0,12	1,58	0,78	0,68	0,62
1200	0,84	0,19	0,22	2,51	0,43	0,83	0,53
1210	0,56	0,67	0,26	1,53	0,95	0,42	0,54
1220	0,48	0,70	0,37	0,90	0,83	0,46	0,44
1230	0,63	0,99	0,51	0,95	0,92	0,75	0,56
1240	0,59	0,78	0,44	0,68	0,52	0,95	0,53
1250	0,53	0,55	0,38	0,75	0,35	0,89	0,53
1260	0,59	0,65	0,43	0,86	0,27	0,74	0,53
1270	0,37	1,35	0,36	2,37	0,33	0,33	0,53
1280	0,41	0,53	0,09	2,22	0,37	0,89	0,51
1290	0,58	0,41	0,15	1,61	0,32	0,90	0,51
1300	0,58	0,48	0,51	0,67	0,29	0,64	0,54
1310	0,89	0,38	0,48	1,31	0,55	0,21	0,44
1320	0,66	0,65	0,25	0,53	0,52	0,60	0,45
1330	0,43	0,50	0,41	0,96	0,59	0,76	0,36
1340	0,54	0,41		1,52	0,59	0,44	0,42
1350	0,65	0,96		0,72	0,88	0,61	0,41
1360	0,53	0,89		0,80	0,61	0,25	0,37
1370	0,58	0,58		0,57	0,45	0,27	0,41
1380	0,56	0,26		0,63	0,58	0,71	0,39
1390	0,60	0,38		0,91	0,34	1,35	0,46
1400	0,98	0,46		0,62	0,20	1,08	0,61
1410	0,85	0,37		0,44	0,49	0,69	0,53
1420	0,73	0,12		0,40	0,63	0,84	0,56
1430	0,82	0,39		0,41	0,77	1,06	0,40
1440	0,63	0,17		0,24	0,79	0,94	0,47

Fuente: el autor.

Dedico este trabajo a mis padres
porque sin su apoyo no estaría donde estoy hoy.

Agradezco a Dios por todo.

Agradecimientos

Agradezco a mis padres por todo el apoyo que me han dado siempre, especialmente en los momentos más difíciles. Agradezco a mi director y a mis asesores por la paciencia y la ayuda que me brindaron en todo momento. Agradezco al Instituto Costarricense de Electricidad por el acceso a la información meteorológica. Sin este aporte este trabajo no hubiera sido posible. Gracias a todas las personas del I.C.E. que hicieron posible este trabajo, a Marco Rojas, a Frank Fernández, Berny Fallas, don Luis Acuña y a todas las personas de esa institución que colaboraron de una u otra manera. Agradezco a Tatiana, Alejandro, Priscilla, Diego Lobo y a Beatriz, a mis compañeros y amigos que me brindaron su ayuda cuando la necesité.

Índice general

Capítulo I	1
1. Generalidades	1
1.1 Justificación	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo general	2
1.2.2 Objetivos específicos	2
1.3 Antecedentes teóricos y prácticos del problema.....	3
1.4 Alcances y limitaciones del Proyecto	4
Capítulo II	5
2. Caracterización hidrológica	5
2.1 Descripción de la cuenca	5
2.2 Características morfométricas	7
2.3 Características climáticas.....	9
2.3.1 Temperatura	10
2.3.2 Precipitación.....	16
2.3.3 Brillo solar	19
2.3.4 Humedad relativa.....	20
2.3.5 Viento	21
Capítulo III	23
3. Relación lluvia – escurrimiento y tipos de tormentas.....	23
3.1 Relación lluvia – escurrimiento	23
3.2 Tipos de precipitación	25
Capítulo IV.....	26
4. Metodología	26
4.1 Región de estudio y procesamiento de datos.....	26
4.2 Características morfométricas	26
4.3 Mapas generales de la cuenca	26
4.3.1 Mapa de precipitación promedio anual	28
4.3.2 Mapas de temperatura media, máxima y mínima promedio anual.....	28
4.3.3 Mapa de brillo solar.....	28
4.3.4 Mapas de distribución de hietogramas característicos.....	28
4.4 Humedad relativa	29
4.5 Viento.....	29

4.6 Hietogramas característicos	29
Capítulo V.....	34
5. Resultados.....	34
Capítulo VI.....	107
6. Conclusiones y recomendaciones	107
Bibliografía	120
Anexos	122
Anexo A.....	122
A.1 Mapas generales de la cuenca.	122
Anexo B.....	127
B.1 Estaciones meteorológicas y máximos anuales utilizados.....	127
Anexo C.....	143
C.1 Ejemplos de cálculo	143
Anexo D	147
D.1 Curvas acumuladas de las tormentas por estación.....	147
Anexo E.....	175
E.1 Cuadros con valores de hietogramas característicos.....	175

Índice de figuras

Figura 2.1. Ubicación de la cuenca en estudio.....	6
Figura 2.2. Curva hipsométrica de la cuenca en estudio.....	8
Figura 2.3. Histograma de alturas de la cuenca en estudio.....	8
Figura 2.4. Mapa de temperatura mínima promedio anual.....	10
Figura 2.5. Mapa de temperatura media promedio anual.	12
Figura 2.6. Mapa de temperatura máxima promedio anual.....	14
Figura 2.7. Mapa de precipitación promedio anual.....	16
Figura 2.8. Mapa de brillo solar promedio anual.	19
Figura 2.9. Variación promedio mensual de la humedad relativa para cuatro estaciones de la cuenca en estudio.....	20
Figura 5.1. Hietograma característico familia 1 C.D. Sanatorio Durán.	40
Figura 5.2. Hietograma característico familia 2 C.D. Sanatorio Durán.	41
Figura 5.3. Hietograma característico familia 1 L.D. Sanatorio Durán.	42
Figura 5.4. Hietograma característico familia 2 L.D. Sanatorio Durán.	43
Figura 5.5. Hietograma característico familia 3 L.D. Sanatorio Durán.	43
Figura 5.6. Hietograma característico familia 1 C.D. San Rafael de Tapantí.....	44
Figura 5.7. Hietograma característico familia 2 C.D. San Rafael de Tapantí.....	45
Figura 5.8. Hietograma característico familia 3 C.D. San Rafael de Tapantí.....	45
Figura 5.9. Hietograma característico familia 1 L.D. San Rafael de Tapantí.	46
Figura 5.10. Hietograma característico familia 2 L.D. San Rafael de Tapantí.	47
Figura 5.11. Hietograma característico familia 1 C.D. El Cañón.	48
Figura 5.12. Hietograma característico familia 2 C.D. El Cañón.	48
Figura 5.13. Hietograma característico familia 3 C.D. El Cañón.	49
Figura 5.14. Hietograma característico familia 1 L.D. EL Cañón.....	50
Figura 5.15. Hietograma característico familia 1 C.D. El Humo.....	51
Figura 5.16. Hietograma característico familia 2 C.D. El Humo.....	52
Figura 5.17. Hietograma característico familia 1 L.D. El Humo.	53
Figura 5.18. Hietograma característico familia 1 C.D. Embalse - El Llano.	54
Figura 5.19. Hietograma característico familia 2 C.D. Embalse - El Llano.	55
Figura 5.20. Hietograma característico familia 1 L.D. Embalse - El Llano.....	56
Figura 5.21. Hietograma característico familia 2 L.D. Embalse - El Llano.....	57
Figura 5.22. Hietograma característico familia 1 C.D. Villa Mills.....	58
Figura 5.23. Hietograma característico familia 2 C.D. Villa Mills.....	59
Figura 5.24. Hietograma característico familia 1 L.D. Villa Mills.	60

Figura 5.25. Hietograma característico familia 2 L.D. Villa Mills.	61
Figura 5.26. Hietograma característico familia 1 C.D. Tres de Junio.	62
Figura 5.27. Hietograma característico familia 2 C.D. Tres de Junio.	63
Figura 5.28. Hietograma característico familia 1 L.D. Tres de Junio.....	64
Figura 5.29. Hietograma característico familia 2 L.D. Tres de Junio.....	65
Figura 5.30. Hietograma característico familia 1 C.D. La Cangreja.....	66
Figura 5.31. Hietograma característico Familia 1 L.D. La Cangreja.	67
Figura 5.32. Hietograma característico comportamiento 2 L.D. La Cangreja.....	68
Figura 5.33. Hietograma característico familia 1 C.D. La Suiza.....	69
Figura 5.34. Hietograma característico familia 2 C.D. La Suiza.....	70
Figura 5.35. Hietograma característico familia 3 C.D. La Suiza.....	70
Figura 5.36. Hietograma característico familia 1 L.D. La Suiza.	71
Figura 5.37. Hietograma característico familia 2 L.D. La Suiza.	72
Figura 5.38. Hietograma característico familia 3 L.D. La Suiza.	72
Figura 5.39. Hietograma característico familia 4 L.D. La Suiza.	73
Figura 5.40. Hietograma característico familia 1 C.D. Cachí.....	74
Figura 5.41. Hietograma característico familia 2 C.D. Cachí.....	75
Figura 5.42. Hietograma característico familia 3 C.D. Cachí.....	75
Figura 5.43. Hietograma característico familia 1 L.D. Cachí.	76
Figura 5.44. Hietograma característico familia 2 L.D. Cachí.	77
Figura 5.45. Hietograma característico familia 3 L.D. Cachí.	77
Figura 5.46. Hietograma característico familia 1 C.D. Tucurrique.	78
Figura 5.47. Hietograma característico familia 2 C.D. Tucurrique.	79
Figura 5.48. Hietograma característico familia 3 C.D. Tucurrique.	79
Figura 5.49. Hietograma característico familia 1 L.D. Tucurrique.....	80
Figura 5.50. Hietograma característico familia 2 L.D. Tucurrique.....	81
Figura 5.51. Hietograma característico familia 3 L.D. Tucurrique.....	81
Figura 5.52. Hietograma característico familia 4 L.D. Tucurrique.....	82
Figura 5.53. Hietograma característico familia 1 C.D. San Antonio de Turrialba	83
Figura 5.54. Hietograma característico familia 2 C.D. San Antonio de Turrialba.....	84
Figura 5.55. Hietograma característico familia 1 L.D. San Antonio de Turrialba.	85
Figura 5.56. Hietograma característico familia 2 L.D. San Antonio de Turrialba	86
Figura 5.57. Hietograma característico familia 3 L.D. San Antonio de Turrialba	86
Figura 5.58. Hietograma característico familia 4 L.D. San Antonio de Turrialba	87
Figura 5.59. Hietograma característico familia 1 C.D. Oriente.	88

Figura 5.60. Hietograma característico familia 2 C.D. Oriente.	89
Figura 5.61. Hietograma característico familia 3 C.D. Oriente.	90
Figura 5.62. Hietograma característico familia 1 L.D. Oriente.....	91
Figura 5.63. Hietograma característico familia 2 L.D. Oriente.....	92
Figura 5.64. Hietograma característico familia 1 C.D. Presa Tapantí.	93
Figura 5.65. Hietograma característico familia 2 C.D. Presa Tapantí.	94
Figura 5.66. Hietograma característico familia 3 C.D. Presa Tapantí.	94
Figura 5.67. Hietograma característico familia 1 L.D Presa Tapantí.	95
Figura 5.68. Zona de influencia hietogramas característicos Tipo 1C	96
Figura 5.69. Zona de influencia hietogramas característicos Tipo 4C	97
Figura 5.70. Zona de influencia hietogramas característicos Tipo 5C	98
Figura 5.71. Zona de influencia hietogramas característicos Tipo 6C y 7C.....	99
Figura 5.72. Zona de influencia hietogramas característicos Tipo 2C y 3C.....	100
Figura 5.73. Zona de influencia hietogramas característicos Tipo 3L.....	101
Figura 5.74. Zona de influencia hietogramas característicos Tipo 2L.....	102
Figura 5.75. Zona de influencia hietogramas característicos Tipo 1L y 5L.....	103
Figura 5.76. Zona de influencia hietogramas característicos Tipo 1La, 1Lb y 6L.....	104
Figura 5.77. Zona de influencia hietogramas característicos Tipo 4L.....	105
Figura 5.78. Zona de influencia hietogramas característicos Tipo 7L y 8L.....	106
Figura A.1. Mapa de la cuenca con la ubicación de las estaciones utilizadas.....	123
Figura A.2. Mapa de la cuenca con las curvas de nivel cada 20 m.	124
Figura A.3. Mapa de la red hidrográfica de la cuenca y el número de orden de los cauces.	125
Figura A.4. Mapa de la red hidrográfica de la cuenca con el cauce principal.....	126
Figura D.1.1. Tormentas acumuladas de la estación Sanatorio Durán.....	147
Figura D.1.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración Sanatorio Durán.	148
Figura D.1.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración Sanatorio Durán.	148
Figura D.2.1. Tormentas acumuladas de la estación San Rafael de Tapantí.	149
Figura D.2.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración San Rafael de Tapantí.....	150
Figura D.2.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración San Rafael de Tapantí.....	150
Figura D.3.1. Tormentas acumuladas de la estación El Cañón.	151
Figura D.3.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración El Cañón.....	152
Figura D.3.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración El Cañón.....	152

Figura D.4.1. Tormentas acumuladas de la estación El Humo.....	153
Figura D.4.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración El Humo.	154
Figura D.4.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración El Humo.	154
Figura D.5.1. Tormentas acumuladas de la estación Embalse - El Llano.....	155
Figura D.5.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración Embalse – El Llano.	156
Figura D.5.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración Embalse – El Llano.	156
Figura D.6.1. Tormentas acumuladas de la estación Villa Mills.	157
Figura D.6.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración Villa Mills.	158
Figura D.6.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración Villa Mills.	158
Figura D.7.1. Tormentas acumuladas de la estación Tres de Junio.....	159
Figura D.7.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración Tres de Junio.....	160
Figura D.7.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración Tres de Junio.....	160
Figura D.8.1. Tormentas acumuladas de la estación La Cangreja.....	161
Figura D.8.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración La Cangreja.	162
Figura D.8.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración La Cangreja.	162
Figura D.9.1. Tormentas acumuladas de la estación La Suiza.	163
Figura D.9.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración La Suiza.	164
Figura D.9.3. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración La Suiza.	164
Figura D.10.1. Tormentas acumuladas de la estación Cachí (Plantel).	165
Figura D.10.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración Cachí (Plantel)..	166
Figura D.10.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración Cachí (Plantel)..	166
Figura D.11.1. Tormentas acumuladas de la estación Tucurrique.....	167
Figura D.11.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración	168
Figura D.11.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración Tucurrique.	168
Figura D.12.1. Tormentas acumuladas de la estación San Antonio de Turrialba.	169
Figura D.12.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración San Antonio de Turrialba.....	170
Figura D.12.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración San Antonio de Turrialba.....	170
Figura D.13.1. Tormentas acumuladas de la estación Oriente.....	171
Figura D.13.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración Oriente.....	172
Figura D.13.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración Oriente.....	172
Figura D.14.1. Tormentas acumuladas de la estación Sitio de Presa Tapantí.....	173

Figura D.14.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración Sitio de Presa Tapantí.....	174
Figura D.14.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración Sitio de Presa Tapantí.....	174

Índice de cuadros

Cuadro 2.1. Características morfométricas de la cuenca.....	7
Cuadro 2.2. Direcciones predominantes del viento en cuatro estaciones de la cuenca.....	21
Cuadro 5.1. Clasificación de tormentas para establecer hietogramas característicos de corta duración.....	35
Cuadro 5.2. Clasificación de tormentas para establecer hietogramas característicos de larga duración.....	35
Cuadro 5.3. Resumen de clasificación de tormentas de todas las estaciones.	37
Cuadro 5.4. Cantidad de tormentas de corta y larga duración y tiempos promedio de los hietogramas de corta y larga duración	39
Cuadro 5.5. Distribución de hietogramas característicos por estación y cantidad de tormentas que presentan determinado comportamiento	39
Cuadro 6.1. Fechas en que coincidieron los máximos anuales en distintas estaciones...	107
Cuadro B.1. Estaciones meteorológicas con medición de humedad relativa.....	127
Cuadro B.2. Estaciones meteorológicas con medición de viento.....	127
Cuadro B.3. Estaciones meteorológicas utilizadas para la elaboración de los hietogramas característicos.....	128
Cuadro B.4. Máximos anuales estación 73011 Sanatorio Durán.	129
Cuadro B.5. Máximos anuales estación 73026 San Rafael de Tapantí.	130
Cuadro B.6. Máximos anuales estación 73027 El Cañón.	131
Cuadro B.7. Máximos anuales estación 73028 El Humo.....	132
Cuadro B.8. Máximos anuales estación 73029 Embalse – El Llano (río Macho).	133
Cuadro B.9. Máximos anuales estación 73033 Villa Mills.....	134
Cuadro B.10. Máximos anuales estación 73039 Tres de Junio.....	135
Cuadro B.11. Máximos anuales estación 73041 La Cangreja.....	136
Cuadro B.12. Máximos anuales estación 73044 La Suiza.	137
Cuadro B.13. Máximos anuales estación 73046 Cachí (Plantel).	138
Cuadro B.14. Máximos anuales estación 73047 Tucurrique.....	139
Cuadro B.15. Máximos anuales estación 73074 San Antonio de Santa Cruz de Turrialba.	140
Cuadro B.16. Máximos anuales estación 73079 Oriente.	141
Cuadro B.17. Máximos anuales estación 73089 Sitio de Presa Tapantí.....	142
Cuadro C.1. Índices de compacidad	143
Cuadro E.1. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos hietogramas de corta duración.....	175

Cuadro E.2. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos hietogramas de corta duración.....	177
Cuadro E.3. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos hietogramas de corta duración.....	179
Cuadro E.4. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos hietogramas de larga duración.....	181
Cuadro E.5. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos hietogramas de larga duración.....	185
Cuadro E.6. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos hietogramas de larga duración.....	188

Simbología

C.D.	Corta duración.
°C	Grados Celsius.
Comp.	Comportamiento.
E	Dirección este.
ENE	Dirección este – noreste.
ESE	Dirección este – sur este.
Fam.	Familia.
h	Horas.
I.C.E.	Instituto Costarricense de Electricidad.
i-d-f	Intensidad – duración – frecuencia.
I.G.N.	Instituto Geográfico Nacional
I.M.N.	Instituto Meteorológico Nacional.
km	Kilómetro.
km²	Kilómetros cuadrados.
L.D.	Larga duración.
m	Metro.
mm	Milímetros.
min	Minutos.
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar.
N	Dirección norte.
NE	Dirección noreste.
NO	Dirección noroeste.
N.P.	No pertenece.
O	Dirección oeste.
p-d-f	Precipitación – duración – frecuencia.
PRODUS	Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica.
S	Dirección sur.
S.I.G.	Sistemas de información geográfica.
U.N.A.	Universidad Nacional de Costa Rica.

Maroto Bianchini Esteban

Distribución Temporal de la Precipitación en el Valle del Guarco

Tesis Ingeniería Civil – San José, C.R.:

E. Maroto B., 2011

xvii, 121, [69]h; ils. Col. – 20 refs.

Resumen

El comportamiento de la lluvia a través del tiempo y, específicamente, la generación de hietogramas característicos, se ha tratado muy poco a nivel nacional. Debido a los problemas generados por inundaciones en algunas zonas del Valle del Guarco se propone en este trabajo generar hietogramas característicos con duraciones máximas de 24 horas.

Se utiliza la cuenca del río Reventazón como unidad de estudio. Para la generación de los hietogramas característicos se va a hacer un análisis de las series anuales máximas que comprenden un período homogéneo de 40 años, desde 1970 hasta 2009. Esta información fue proporcionada por el Instituto Costarricense de Electricidad (I.C.E.).

Al utilizar la cuenca como unidad de estudio, se obtienen características físicas y climáticas generales que permiten una mejor interpretación y utilización de los hietogramas característicos. Estos hietogramas representan condiciones promedio de las series máximas anuales analizadas. Esta información generada es una herramienta importante para motivar la utilización de los métodos de área – tiempo para la generación de caudales. Se proporciona también información de diseño útil para mitigar los efectos producidos por las inundaciones en algunos sectores de la cuenca y además, de manera preliminar, se complementa el estudio de intensidades que Murillo (1994) realizó en la cuenca del río Virilla. E.M.B.

CARACTERIZACIÓN TEMPORAL LLUVIA, HIETOGRAMAS CARACTERÍSTICOS, CUENCA RÍO REVENTAZÓN, INUNDACIONES 1996 Y 1970.

Ing. Rafael Murillo Muñoz, Ph. D.

Escuela de Ingeniería Civil.

Capítulo I

1. Generalidades

La falta de herramientas adecuadas para el diseño hidrológico y los problemas de inundación en algunas zonas del Valle del Guarco son dos de las motivaciones principales para la elaboración de este trabajo.

En este capítulo se definen los alcances y los objetivos que delimitan esta investigación. También se va a hacer referencia a algunos trabajos que constituyen un precedente en cuanto a elaboración de herramientas de diseño hidrológico.

1.1. Justificación

La cuenca del río Reventazón es una extensa área de drenaje que se caracteriza por tener una red fluvial bien definida. El Valle del Guarco se encuentra contenido en dicha cuenca y alberga centros urbanos importantes como las ciudades de Cartago y Paraíso de Cartago, y las comunidades de Tejar del Guarco, Orosi, Taras, Agua Caliente, Oreamuno, entre otras.

En diversos sectores de este valle se presentan problemas de inundación. Las consecuencias que se generan se han ido agravando en los últimos años, debido principalmente al desarrollo urbano desordenado y sin planificación, al mal estado de los diques presentes en algunas zonas, a la deforestación de las cuencas y al vertido de basura en los cauces de los ríos.

Con el propósito de mitigar los efectos de las inundaciones se han hecho distintos esfuerzos, sin embargo los resultados obtenidos no han sido satisfactorios. Para esto se han usado tradicionalmente métodos de diseño hidrológico que utilizan información puntual de lluvia. El diseño se realiza tomando en cuenta solamente valores pico de caudal y esto tiene como desventaja que no se puede conocer el comportamiento de la lluvia en el tiempo.

El hietograma de tormenta describe la distribución temporal de la lluvia durante un evento dado. Esta herramienta muestra en un gráfico la totalidad de agua que precipita en una tormenta distribuida en intervalos establecidos.

Conociéndose el comportamiento de la lluvia en el tiempo se pueden utilizar métodos de diseño de área – tiempo que permiten una modelación más adecuada de las áreas de escurrimiento y se ajustan mejor a la complejidad de los sistemas drenantes actuales.

Se espera que los hietogramas característicos sean una herramienta de diseño importante para la construcción de obras de ingeniería como presas, diques, puentes, canales de riego, sistemas de agua potable, entre otros. Además del aprovechamiento desde el punto de vista de diseño ingenieril, hay un beneficio que recae sobre la población del Valle del Guarco: los hietogramas característicos funcionan como un recurso para modelar mejor las zonas de escurrimiento, esto permite mayor efectividad en las obras civiles afectadas directa o indirectamente por las inundaciones.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Generar hietogramas característicos en el Valle del Guarco.

1.2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar la cuenca mediante la obtención de parámetros físicos y climáticos, incluyendo mapas de precipitación promedio de la cuenca.
- Generar hietogramas característicos para las estaciones con registro continuo de precipitaciones dentro de la cuenca.
- Establecer un tiempo de duración promedio para cada hietograma característico.
- Caracterizar zonas de similar distribución temporal de precipitaciones.

1.3. Antecedentes teóricos y prácticos del problema

Actualmente, no se cuenta con estudios que describan la distribución temporal de la lluvia a través de hietogramas característicos en el Valle del Guarco. Existen datos de precipitación e intensidad puntuales y curvas de intensidad – duración – frecuencia (i-d-f) para la estación 73003 Comandancia de Cartago. Dichas curvas fueron desarrolladas en el informe final de Günter Varson (1992) sobre intensidades de lluvia en centros urbanos. Adicionalmente, en este informe el autor elaboró curvas de intensidad-duración-frecuencia para seis estaciones en todo el país. En el Valle Central únicamente se tomaron en cuenta las estaciones de San José y Aeropuerto.

En el proyecto final de graduación *Estudio de Intensidades de Lluvia en la Cuenca del Río Virilla* (Murillo, 1994), el autor generó mapas de intensidad de lluvia para diferentes periodos de retorno y duraciones, mapas de intensidad de lluvia promedio y hietogramas característicos para la cuenca del río Virilla. Este trabajo es el único encontrado que trató el tema de la distribución temporal de la lluvia.

Además de los estudios anteriores se han realizado otros trabajos de caracterización de precipitaciones referidos a estaciones específicas o al clima del Valle Central en términos generales. El Ing. Ramiro Gamboa (1969) obtuvo nomogramas para el cálculo de intensidades a partir de una curva de duración de una hora y periodo de retorno de un año. Finalmente el Ing. Carlos Vargas (1953), en su trabajo de graduación generó curvas de intensidad-duración-frecuencia para la estación San José utilizando un registro de treinta y seis años.

Por otro lado, los métodos de diseño que tradicionalmente se han usado en Costa Rica utilizan la información puntual de precipitaciones. Como ejemplo de esto se tiene la metodología basada en el mapa de isoyetas del Servicio Meteorológico Nacional (1967). Este mapa se obtiene a partir del análisis de series anuales y valores puntuales de profundidades de lluvia. Los valores leídos en el mapa se procesan mediante la utilización de gráficos correspondientes a distintos periodos de retorno, para finalmente obtener valores de intensidad utilizables en la fórmula racional con el fin de obtener caudales. Esta fórmula ha sido extensamente utilizada en nuestro país en el diseño de sistemas de alcantarillado pluvial y para el diseño de sistemas de canalización pluvial en carreteras.

Existen también métodos indirectos de obtención de hietogramas característicos. Para su elaboración se hace utilización de información puntual de precipitación y de curvas i-d-f.

Sin embargo, actualmente, debido a la complejidad de los sistemas drenantes, se hace necesario el modelado de la lluvia distribuida en el tiempo. Debido a esto, son importantes los hietogramas característicos; aunado a lo anterior, es importante también mencionar que los hietogramas característicos son fundamentales para el modelado correcto de una cuenca que incluya los sistemas de alcantarillado pluvial de las zonas urbanas que contenga.

1.4. Alcances y limitaciones del Proyecto

El estudio se limita a la cuenca del río Reventazón definida hasta la comunidad de Turrialba, en la confluencia de los ríos Reventazón y Guayabo.

Se van a determinar hietogramas característicos para distintas estaciones pluviográficas o con registro continuo, además se establecerán duraciones promedio de tormentas típicas hasta 24 horas. Se analizará el periodo de registro comprendido entre los años de 1970 y 2009 inclusive.

Se utilizarán las tormentas correspondientes a eventos máximos de las series anuales de precipitación comprendidas en el registro antes mencionado, con duraciones de hasta 24 horas.

Las caracterizaciones física y climática de la cuenca comprenden aspectos generales y no se pretende profundizar en ellas.

Capítulo II

2. Caracterización hidrológica

En este capítulo se describe la cuenca de manera general, sus límites, sus características físicas y sus características climáticas.

2.1 Descripción de la cuenca

La cuenca en estudio se encuentra ubicada en la vertiente Atlántica. Tiene orientación suroeste – noreste. Limita al norte con la Cordillera Volcánica Central, con los volcanes Irazú y Turrialba hasta una altura de 3432 m.s.n.m. Por el sur se encuentra la Cordillera de Talamanca, desde Tobosi hasta 10 km al sur de Villa Mills; sus alturas varían entre los 1900 m.s.n.m. hasta los 3491 m.s.n.m. Hacia el oeste se encuentra el Alto de Ochomogo y la línea divisoria de aguas entre los valles Central Oriental y Occidental. Finalmente, hacia el este la cuenca limita con la localidad de Turrialba.

Esta cuenca está bastante urbanizada en la parte del Valle del Guarco especialmente. En ella se encuentra la ciudad de Cartago, uno de los centros de población más importante del país y del Valle Central.

Hacia Turrialba se encuentran las centrales hidroeléctricas de Cachí y Angostura, ambas pertenecientes al Instituto Costarricense de Electricidad. En la Figura 2.1 se muestra el área que comprende la cuenca y la ubicación de las estaciones utilizadas para generar los hietogramas característicos y los valores mensuales de humedad relativa y viento. La información de cada estación se puede ver en los Cuadros del B.1 al B.3 en los anexos.



Figura 2.1. Ubicación de la cuenca en estudio.

Fuente: el autor.

2.2 Características morfométricas

Las características morfométricas son parámetros físicos y de forma característicos de cada cuenca. Influyen fuertemente en la respuesta de la cuenca a eventos de precipitación y en las condiciones de los ríos en general.

Para la cuenca en estudio se calcularon las características morfométricas mostradas en el Cuadro 2.1.

Cuadro 2.1. Características morfométricas de la cuenca.

Índice	Valor
Área (km ²)	1525,7
Perímetro (km)	200,3
Elevación media de la cuenca (m.s.n.m.)	1515
Índice de compacidad	1,44 (Cuenca ovalada)
Lado mayor del rectángulo equivalente (km)	81,41
Lado menor del rectángulo equivalente (km)	18,74
Índice de pendiente (%)	18,1
Pendiente de la cuenca (%)	3,77
Pendiente media del cauce principal (%)	3,02
Longitud al centroide (km)	4
Densidad de drenaje (km/km ²)	1,2
Número de orden	6
Longitud de cauces tributarios (km)	1835,9
Longitud del cauce principal (km)	95,5

Fuente: el autor.

El área y el perímetro fueron obtenidos mediante el uso de sistemas de información geográfica (S.I.G). Se utilizaron las hojas cartográficas digitalizadas en escala 1:50 000 de Pejibaye, Tapantí, Vueltas, Cuericí, Tucurrique, Istarú, Caraigres, Carrillo, Bonilla y Abra, elaboradas por el Instituto Geográfico Nacional.

En las Figuras 2.2 y 2.3 se muestran la curva hipsométrica y el histograma de distribución de áreas según el rango de altura.

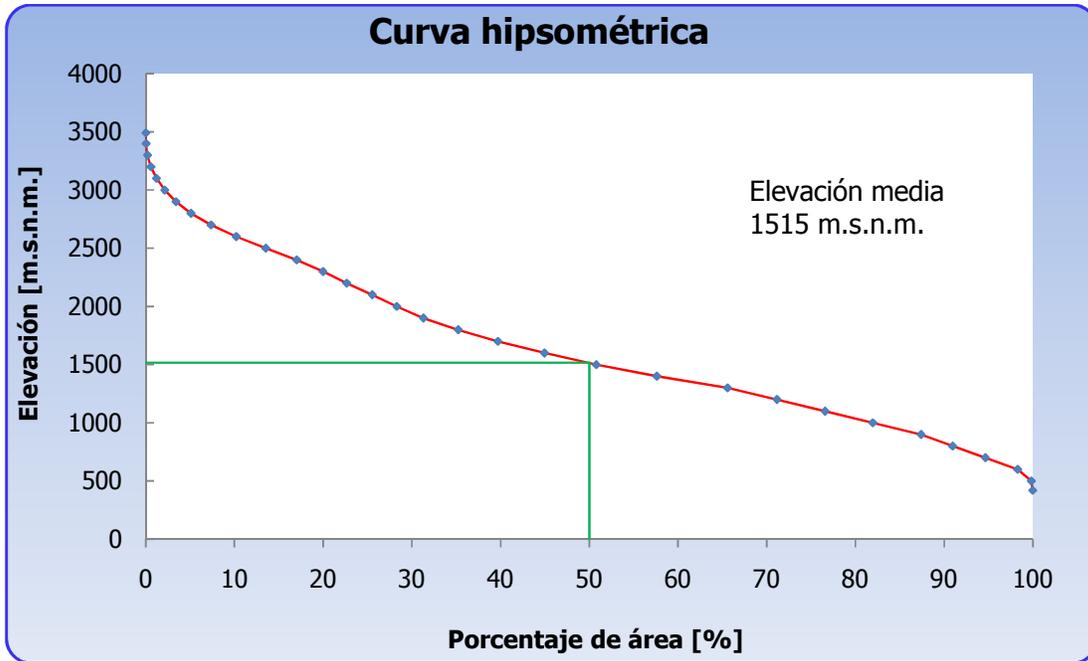


Figura 2.2. Curva hipsométrica de la cuenca en estudio.

Fuente: el autor.

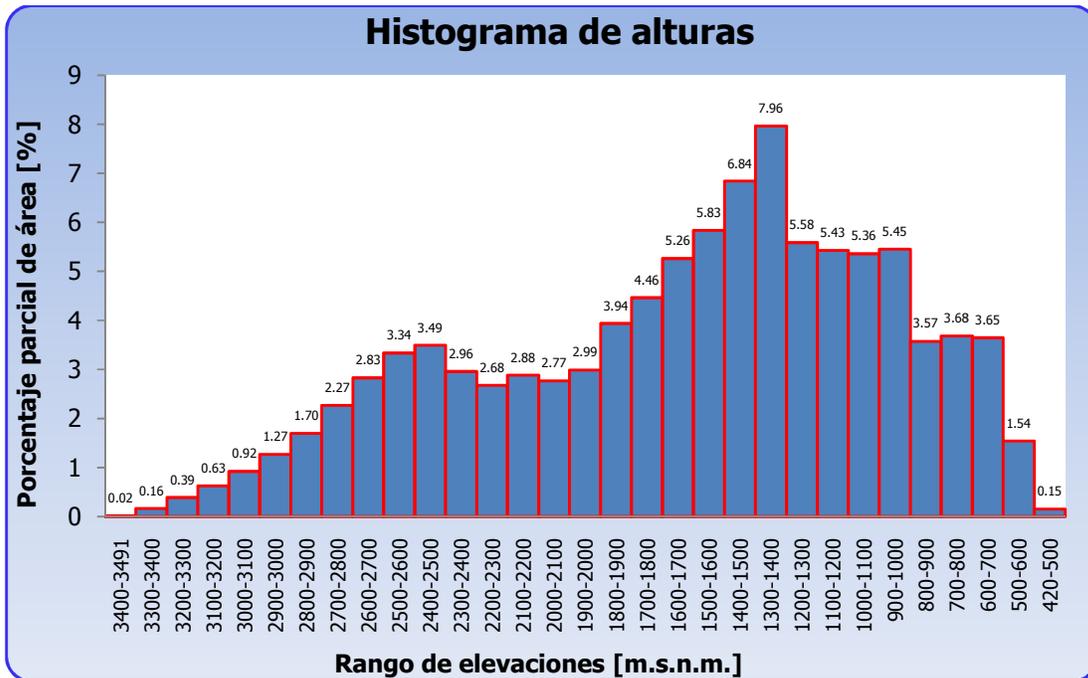


Figura 2.3. Histograma de alturas de la cuenca en estudio.

Fuente: el autor.

De los gráficos anteriores se puede observar que la mayor cantidad de área se encuentra entre las alturas medias y bajas de la cuenca. La elevación media de la cuenca es de 1515 m.s.n.m. Su altura mínima es de alrededor de 420 m.s.n.m, en la confluencia del río Reventazón con el río Guayabo. Su altura máxima es de 3491 m.s.n.m. que corresponde a la cumbre del Cerro Buena Vista (cerro de la Muerte), en la parte suroeste de la Cordillera de Talamanca.

Su forma es ovalada, debido a esto y a su extensión no es común que un mismo evento de precipitación la cubra totalmente.

Su índice de pendiente y su pendiente media del cauce principal indican que tiene una respuesta promedio de media a alta a un evento de precipitación. Esto es el tiempo que se tarda el agua en verse reflejada como escorrentía en los cauces.

Tiene una alta densidad de drenaje lo que hace que sus suelos se erosionen más fácilmente. El número de orden alto indica que es una cuenca cuya red fluvial está bien distribuida y esto aumenta el potencial erosivo de la cuenca también.

El río Reventazón se puede clasificar como un río de montaña predominantemente en su parte alta y media.

En las Figuras A.2 y A.3 del Anexo A se presentan los mapas con las curvas de nivel de la cuenca cada 20 m de elevación y la red hidrográfica con el número de orden.

2.3 Características climáticas

El clima se puede definir como un conjunto de condiciones atmosféricas que caracterizan a una región, y que se han definido a través de la observación cualitativa y cuantitativa a lo largo de un periodo de tiempo determinado.

Este apartado pretende hacer una caracterización general del clima de la cuenca sin profundizar en los diversos elementos climáticos incluidos. Es importante mencionar que esta cuenca contiene una gran cantidad de microclimas en espacios relativamente pequeños.

Se describen aquí los parámetros de temperatura, precipitación media, brillo solar, humedad relativa y viento.

En los mapas mostrados en las Figuras 2.4 a 2.8 se muestra solamente la ubicación de las estaciones que se utilizaron para la elaboración de los hietogramas característicos.

2.3.1 Temperatura

Temperatura mínima promedio anual

En la Figura 2.4 se muestra el mapa con la distribución de temperaturas promedio mínimas de la cuenca.

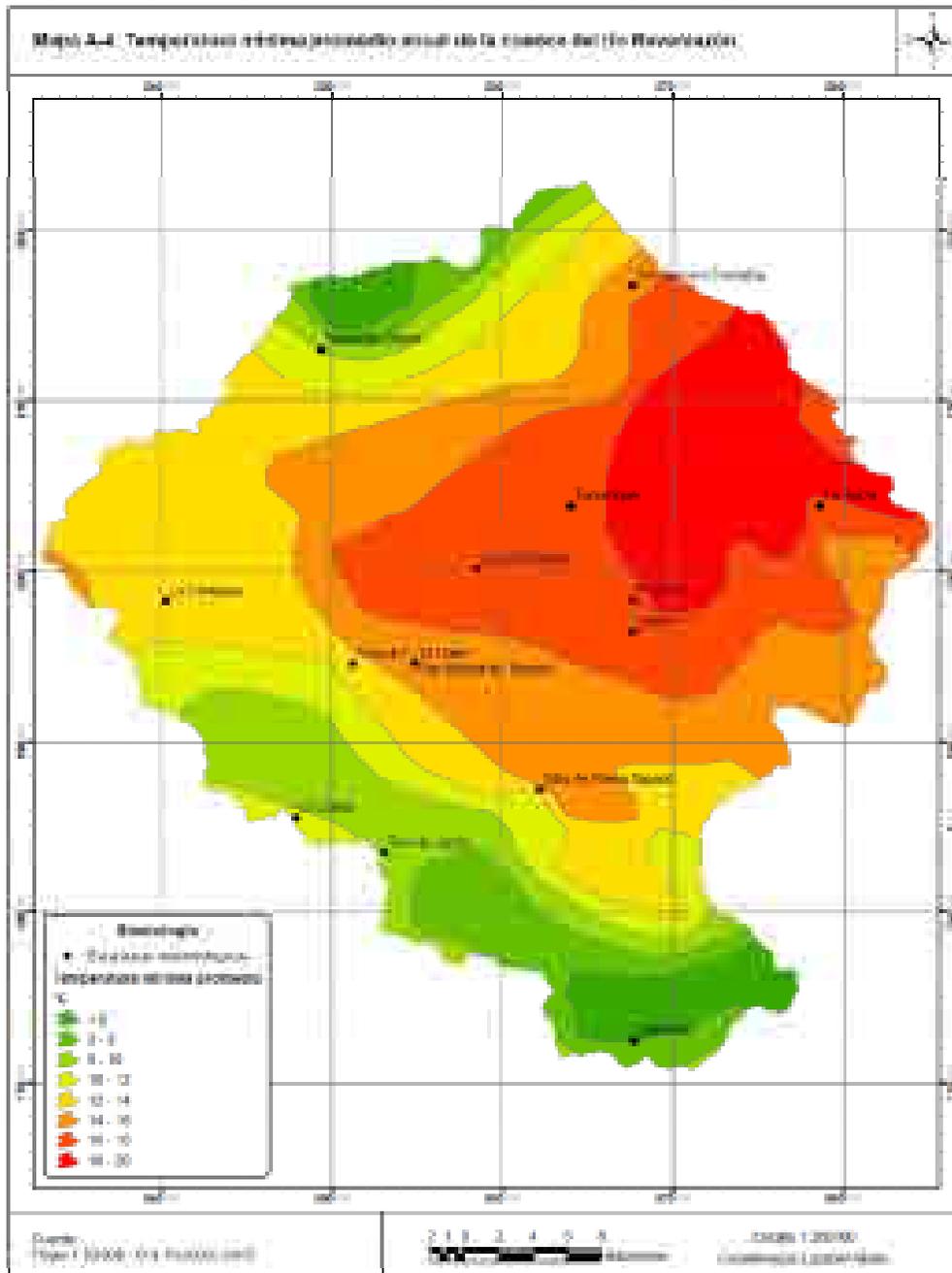


Figura 2.4. Mapa de temperatura mínima promedio anual.

Fuente: Atlas Climatológico I.M.N. (1998).

La temperatura mínima promedio anual oscila entre menos de 6 °C en las partes más altas de la cuenca, hasta 20 °C alrededor de Turrialba. Se puede apreciar en la Figura 2.4 que las temperaturas mínimas de hasta menos de 6 °C se dan en la parte norte y sur – sureste. Estas regiones corresponden a los Volcanes Turrialba e Irazú y a la Cordillera de Talamanca respectivamente. Luego la temperatura mínima promedio de la cuenca varía desde 12°C en la parte correspondiente al Alto de Ochomogo y la ciudad de Cartago (parte oeste), incrementándose conforme se avanza hacia la parte este y noreste hasta 20 °C cerca de Turrialba.

Temperatura media promedio anual

La temperatura media promedio anual oscila entre menos de 8 °C y 24 °C. En la Figura 2.5 se puede apreciar la distribución de temperatura media a través de la cuenca.

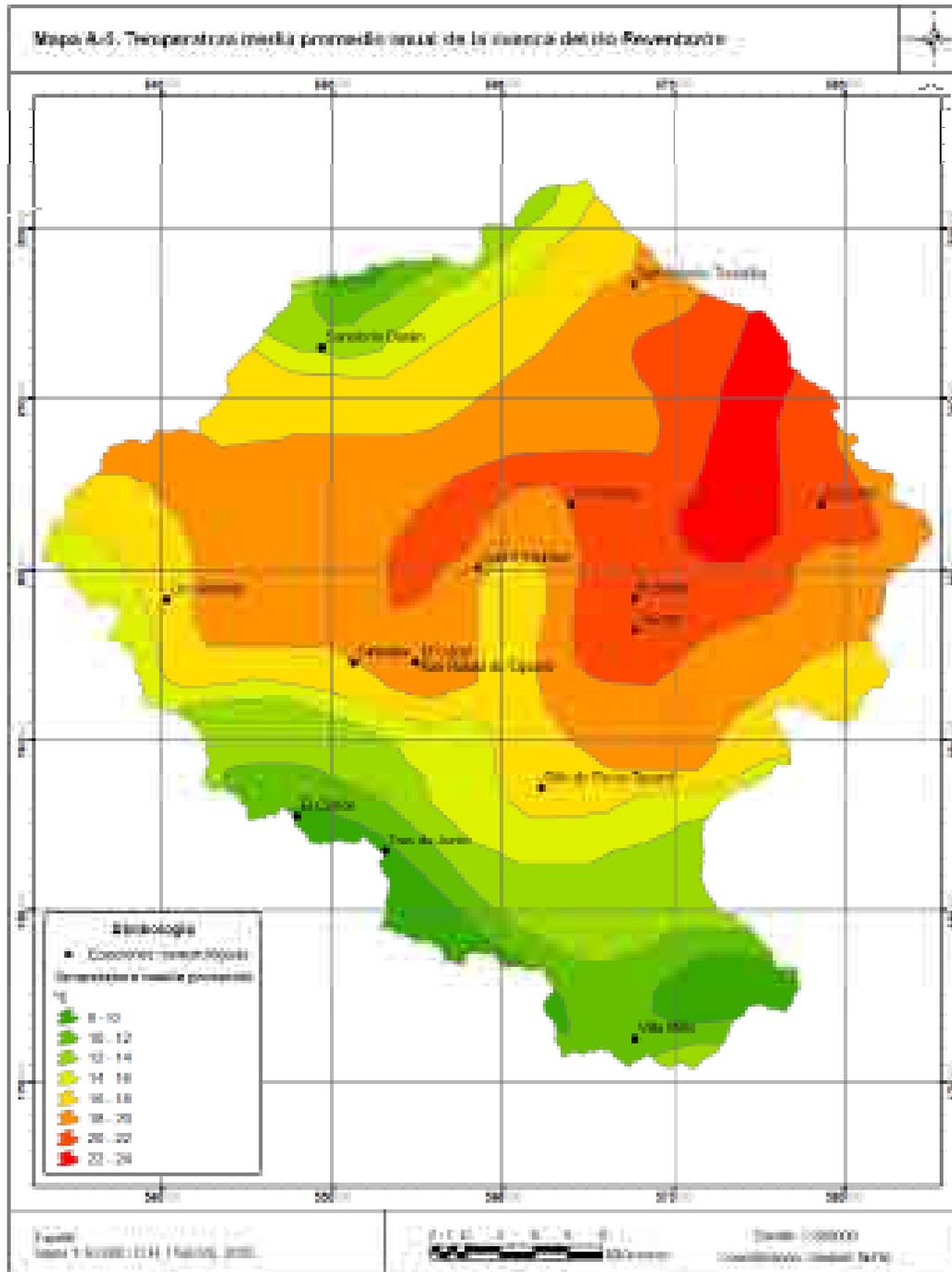


Figura 2.5. Mapa de temperatura media promedio anual.

Fuente: Atlas Climatológico I.M.N. (1998).

Se puede observar de la Figura 2.5 que las temperaturas medias menores de la cuenca se dan en la parte norte y sur – suroeste. Las laderas de los Volcanes Irazú y Turrialba y de la Cordillera de Talamanca presentan un comportamiento similar entre sí, aumentando desde las cimas hacia abajo hasta los 16 °C. Finalmente, la temperatura media se incrementa desde los 20 °C en el Alto de Ochomogo, siguiendo una franja hacia el noreste y el este, hasta los 24 °C cerca de Turrialba.

Temperatura máxima promedio anual

En la Figura 2.6 se puede apreciar la distribución de temperaturas máximas sobre la cuenca.

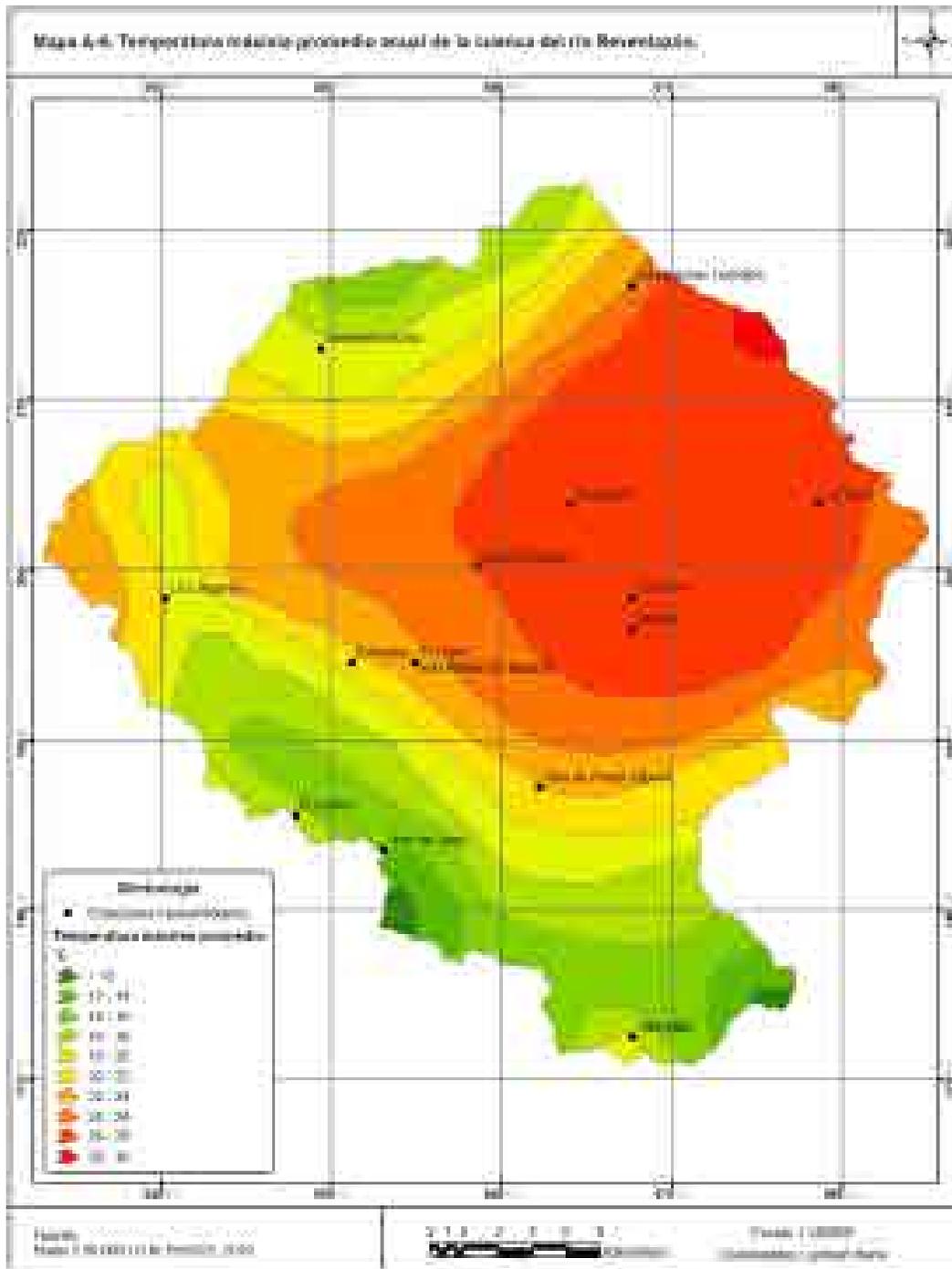


Figura 2.6. Mapa de temperatura máxima promedio anual.

Fuente: Atlas Climatológico I.M.N. (1998).

La temperatura máxima promedio anual oscila entre menos de 12 °C y 30 °C en las partes más bajas de la cuenca. Se puede observar de la Figura 2.6 que las temperaturas máximas promedio más bajas se dan en las cumbres de los Volcanes Irazú y Turrialba y la Cordillera de Talamanca, en los Cerros Sakira, Zacatales, Asunción, La Muerte o Buena Vista y Cuericí. Aquí se presentan valores de 14 °C o menos.

Hay un comportamiento muy marcado en la franja central de la cuenca y hacia el este y noreste. La temperatura se incrementa desde 22 °C en la parte oeste de la cuenca, cerca del Alto de Ochomogo, hasta 30 °C cerca de Turrialba. Hay una transición creciente muy marcada en cuatro rangos de temperatura desde los 22°C hasta los 30°C.

2.3.2 Precipitación

Se presenta a continuación en la Figura 2.7 el mapa de precipitación promedio anual de la cuenca en estudio.

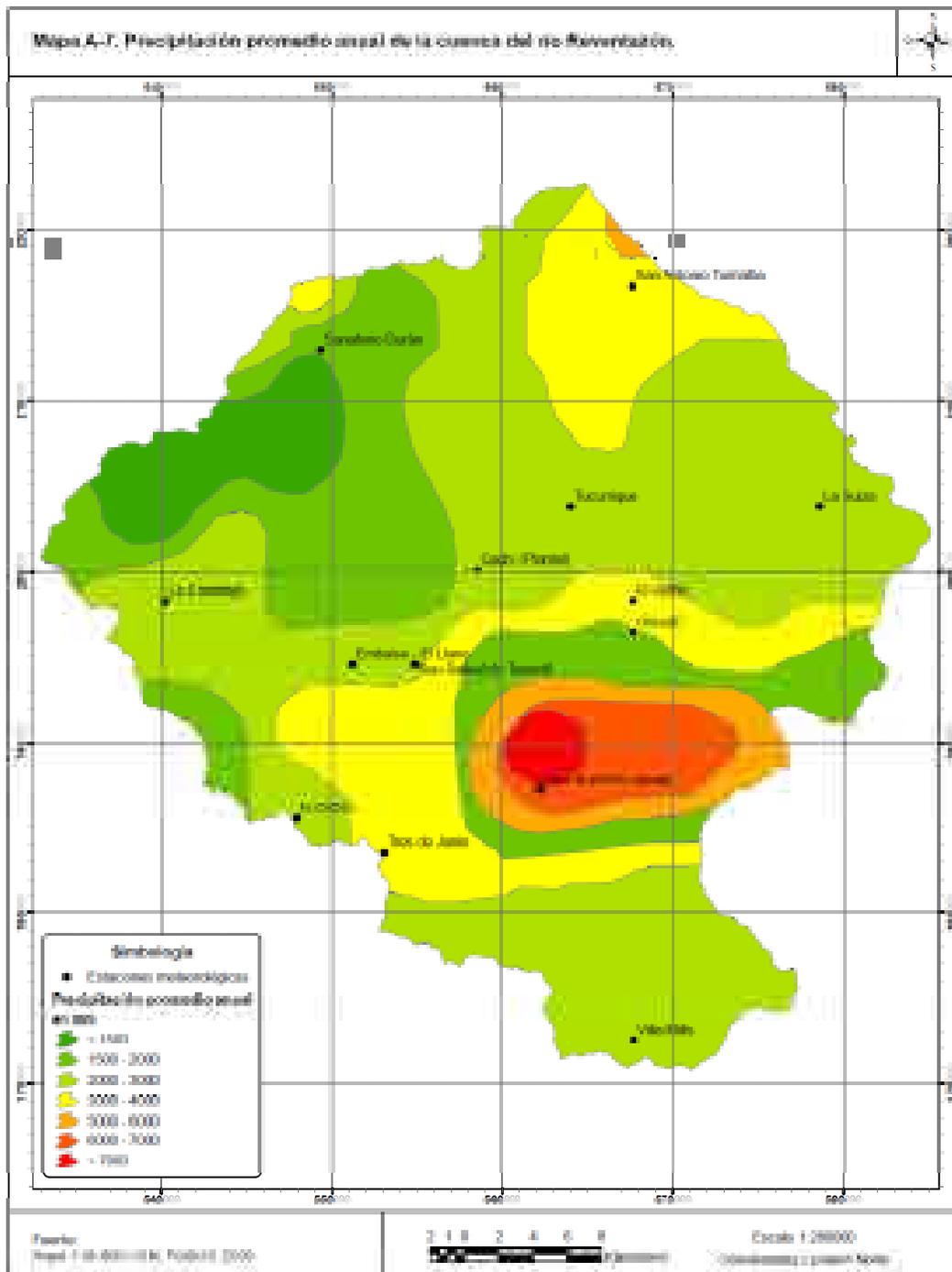


Figura 2.7. Mapa de precipitación promedio anual.

Fuente: PRODUS (2010).

Esta cuenca se encuentra influenciada por los regímenes climáticos de las Vertientes Pacífica y Atlántica. En el periodo de diciembre a abril se da un incremento del flujo Alisio y predominan las tormentas de tipo orográfico. En el periodo de mayo a noviembre predominan las tormentas de tipo convectivo, con duraciones de hasta 6 horas e intensidades fuertes (Chacón, 1983). En los meses de julio y agosto se da un aumento de nuevo en el flujo Alisio y se da un aumento de las tormentas orográficas.

En la mayor parte de la cuenca la precipitación promedio anual varía entre 2000 mm y 3000 mm. Esta banda de precipitación afecta al valle de Turrialba, La Suiza, Tucurrique y hasta Cachí. Afecta también el Valle de Orosi y la parte sur de la cuenca, alrededor de Villa Mills y el Cerro de la Muerte.

A partir de Turrialba, el nivel de lluvia promedio empieza a aumentar conforme se avanza hacia el noroeste por las faldas del Volcán Turrialba, con valores que alcanzan los 4000 mm anuales. De Turrialba hacia el sur de la cuenca se incrementa la precipitación hasta los 4000 mm y luego sigue una franja que oscila entre los 1500 mm y 2000 mm, para luego incrementarse de nuevo hasta un máximo de más de 7000 mm anuales. Esto sucede cerca de la estación 73026 Sitio de Presa Tapantí, entre los 1900 m.s.n.m. y 2000 m.s.n.m. Cerca de esta altura es donde las masas de aire provenientes del Caribe descargan la mayor cantidad de humedad debido al efecto orográfico de las montañas. Conforme las masas de aire siguen subiendo hacia el Cerro de la Muerte en dirección sur la precipitación promedio disminuye hasta los 2000 mm. Esto se debe probablemente a que la mayor parte de humedad ya se ha descargado en las montañas de Tapantí y en zonas aledañas.

En la parte oeste y noroeste de la cuenca es donde se dan los menores valores de precipitación promedio anual. Hay un núcleo alrededor del Alto de Ochomogo que comprende las zonas de Tobosi, Coris y la parte oeste de las laderas del Volcán Irazú, hasta Tierra Blanca. El valor promedio anual de lluvia en esta zona es de 1500 mm o menos. En el caso de la parte noroeste de la cuenca los valores bajos de precipitación se pueden deber al efecto de sombra de lluvia que produce el macizo del Volcán Irazú al interferir en el curso de los vientos Alisios del noreste principalmente. Se nota como la precipitación disminuye desde las faldas orientales del Volcán Turrialba hasta las faldas occidentales del Volcán Irazú y hacia el centro del Valle Central Oriental, donde se encuentra la ciudad de Cartago. Para el caso de la parte oeste de la cuenca, alrededor de las localidades de Tobosi, Coris y Bermejo, los valores de precipitación promedio anual

bajos se pueden deber a la débil influencia del viento Alisio, que llega con poca humedad a esa zona, y al efecto de sombra de lluvia que producen los cerros de la Fila Ventolera que dividen al Valle Central en Occidental y Oriental. Los vientos provenientes del Valle Central Occidental llegan más secos debido a la barrera orográfica que producen estos cerros.

La parte del Valle del Guarco donde están las ciudades de Cartago y Paraíso se ve afectada tanto por la influencia de los vientos provenientes del Valle Central Occidental, que entran por el cañón del río Grande de Tárcoles, como por los vientos Alisios. En esta zona urbana central los valores de precipitación promedio anual oscilan entre 1500 mm y 2000 mm. Los vientos Oestes también afectan la cuenca en forma de vaguadas de altura que generan temporales que se pueden extender por días y pueden afectar extensas zonas de la cuenca produciendo inundaciones. Las corrientes de viento que se infiltran por el cañón del río Grande de Tárcoles y entran por el Alto de Ochomogo llegan al Valle del Guarco con poca humedad y a esto se puede deber el bajo promedio anual de lluvia. Caso similar ocurre con los vientos Alisios, que han descargado la mayor parte de su humedad en la parte noreste y sureste de la cuenca.

En la parte noroeste de las faldas del Volcán Irazú se observa un aumento muy localizado de la precipitación hasta los 4000 mm. Esto se debe probablemente a la descarga por orografía de las masas de aire provenientes del Valle Central Occidental.

Murillo (1994) estableció en su trabajo de graduación núcleos de alta precipitación en la parte noreste de la cuenca del río Virilla, cerca de la localidad de Tres Ríos, debido al frente de brisa que se forma por el choque de los vientos Alisios y los vientos provenientes del Océano Pacífico y que entran por el cañón del río Grande de Tárcoles. Esto sucede entre los meses de mayo a noviembre y es probable que afecte la parte noroeste de la cuenca en estudio, donde se encuentra el núcleo de precipitación más intenso (4000 mm), y podría afectar la parte oeste del Valle del Guarco. Sin embargo al no contar con información de la variación mensual de la lluvia promedio no se puede establecer con certeza el desplazamiento del frente de brisa hacia el Valle del Guarco. Tampoco se hizo un estudio de distribución espacial de la lluvia y esto dificulta la identificación del desplazamiento del frente de brisa.

Los valores que se presentan en la Figura 2.8 son promedios diarios al año. En esta cuenca hay tres zonas bien definidas de horas sol al año. Se puede observar que en la parte este, noreste, central y suroeste se presentan en promedio entre 4 h y 5 h de sol directo al día. Hacia el sureste de la cuenca las horas sol disminuyen hasta 3 h ó 4 h diarias. Se presenta una zona de 5 h a 6 h diarias de sol directo en la parte oeste de la cuenca, esto es cerca de Ochomogo, Cartago, Tobosi y parte de las faldas occidentales del Volcán Irazú.

2.3.4 Humedad relativa

Se analizaron 4 estaciones de la cuenca que cuentan con un registro continuo de 2004 a 2009 inclusive. En el Cuadro B.1 del Anexo B se muestran las estaciones utilizadas.

En la Figura 2.9 se observa el comportamiento promedio mensual de las diferentes estaciones.

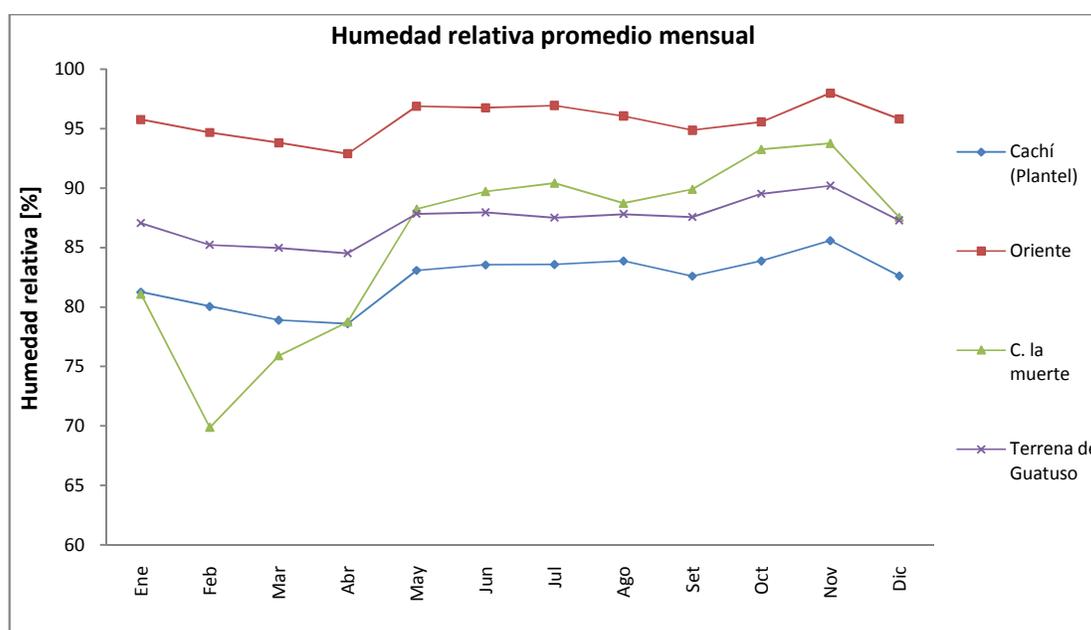


Figura 2.9. Variación promedio mensual de la humedad relativa para cuatro estaciones de la cuenca en estudio.

Fuente: el autor.

Las estaciones de Oriente, Terrena de Guatuso y Cachí (Plantel) presentan comportamientos muy similares. El valor mínimo se da en el mes de abril y el máximo en noviembre. Según Chacón (1983) los valores promedio de lluvia del periodo de mayo a noviembre son mayores a los valores para el periodo de diciembre – abril. Esto explica

porque la humedad relativa es mayor entre los meses de mayo a noviembre. Los valores de humedad relativa son mayores para la estación de Oriente porque ésta se encuentra ubicada en una zona de mayor precipitación promedio anual que las otras estaciones. La estación de Cerro de la Muerte tiene un comportamiento similar, sin embargo los valores de humedad son marcadamente menores al resto de estaciones en los meses de febrero y marzo. Esta estación es la única de las cuatro estudiadas que se encuentra en la parte alta de la cuenca. Entre los meses de febrero y marzo se da una ausencia marcada de precipitaciones en esa zona. Esto podría ser una de las causas de la humedad relativa tan baja que se presenta en ese periodo.

2.3.5 Viento

Se cuenta con datos de cuatro estaciones con registros desde 2006 a 2009 inclusive. Si bien es cierto este periodo es muy corto para definir un comportamiento característico del viento, por lo menos da una aproximación del comportamiento en esas estaciones. En la Figura 2.1 se puede observar la ubicación de las estaciones utilizadas. En el Cuadro B.2 del Anexo B se presenta la lista de estaciones utilizadas. En el Cuadro 2.2 se presentan las direcciones predominantes por mes para cada estación.

Cuadro 2.2. Direcciones predominantes del viento por mes en cuatro estaciones de la cuenca.

	Campamento	Pacayas	San Pablo de Cot	Tierra Blanca
Enero	N – S	ENE	NE	E
Febrero	S	ENE	NE – ENE	E – ENE
Marzo	N – NE	-----	NE – ENE	E
Abril	N	E	NE – ENE	E
Mayo	N – S	-----	NE	E
Junio	S	ENE	NE	ENE
Julio	N	-----	NE	ENE
Agosto	S	N – ENE	NE	E – ENE
Septiembre	S	E	NE	-----
Octubre	S	ESE	N	NO
Noviembre	N – S	ENE	NE – ENE	E
Diciembre	S	ENE	NE – ENE	ENE

Fuente: el autor.

En la Figura 2.1 se observa que las estaciones utilizadas se encuentran ubicadas en la parte norte de la cuenca (Tierra Blanca, San Pablo de Cot y Pacayas) y en la parte este

(campamento). Hay una clara predominancia de vientos con componente este y noreste en las tres estaciones de la parte norte de la cuenca durante todo el año. Es clara la influencia del flujo Alisio. En el caso de la estación de Campamento las direcciones predominantes tienen componentes norte y sur. Es probable que esto sea un fenómeno local que se deba a la topografía de la región. La depresión formada por el cañón del río Reventazón en las cercanías de la estación podría desviar los vientos con componente noreste generando vientos con componente norte. Es probable también que las montañas hacia el sur de la estación provoquen un reflujó del viento dándole a este un componente sur. Fenómenos de mesoescala como la brisa valle – montaña y viceversa también podrían afectar.

La influencia del flujo Alisio afecta la cuenca especialmente entre los meses de diciembre a abril y entre julio y agosto. A pesar de que no se cuenta con más información de dirección del viento se sabe que la mayoría de precipitaciones por orografía y una gran parte de la humedad se dan por la influencia del flujo Alisio.

También se sabe que los Vientos Oestes afectan a la cuenca en forma de vaguadas de altura. Debido a esto se producen temporales que pueden durar varios días y que pueden también producir inundaciones. Prueba de esto son los eventos ocurridos en febrero de 1996 y abril de 1970. En el capítulo VI se habla en detalle sobre lo ocurrido en esas fechas.

Hay una influencia de vientos provenientes del Pacífico que entran al Valle Central Occidental por el cañón del río Grande de Tárcoles y que producen precipitaciones en la época lluviosa, entre mayo y noviembre. Murillo (1994) estableció la presencia de frentes de brisa debido a la convergencia de los vientos Alisios con estos vientos provenientes del Pacífico. Determinó zonas de alta precipitación asociadas a estos frentes en el cantón de Tres Ríos. No se descarta que esta zona de convergencia se pueda desplazar afectando principalmente la parte oeste de la cuenca del Reventazón, sin embargo no se cuenta con promedios mensuales de lluvia ni estudios de distribución espacial de la lluvia para asegurar esto.

Capítulo III

3. Relación lluvia – escurrimiento y tipos de tormentas

En este capítulo se va a explicar brevemente la relación que hay entre la lluvia y el escurrimiento de esta en la cuenca. Hay una importante relación aquí entre el hietograma de tormenta y el hidrograma de caudal.

Se va a explicar también de manera general los distintos tipos de precipitación que hay.

3.1 Relación lluvia – escurrimiento

Cuando el agua de lluvia cae sobre la superficie de una cuenca sigue una serie de trayectorias hasta que llega a los cauces de los ríos y posteriormente sale de la cuenca.

Una vez que la lluvia hace contacto con la superficie se infiltra. Cuando las capas superiores del suelo se saturan el agua empieza a escurrir sobre la superficie. En este proceso se llenan las depresiones del terreno y el agua escurre por las laderas hacia los cauces. A lo largo del trayecto del agua hacia los cauces más cercanos continúa el proceso de infiltración y se da la evaporación en pequeñas cantidades. Cuando finalmente el agua llega a un cauce se produce el *escurrimiento en corrientes*. Al flujo sobre el terreno, junto con el escurrimiento en corrientes se le llama *escurrimiento superficial*.

La parte del agua llovida que se infiltró previamente escurre dentro de la tierra en dos formas: *flujo subsuperficial* y *flujo subterráneo*. El flujo subsuperficial es el que escurre en capas cercanas y subyacentes a la superficie, más o menos en forma paralela a esta. El flujo subterráneo corresponde al agua que se ha infiltrado por debajo del nivel freático y puede tardar hasta años en salir de la cuenca (Aparicio, 1989).

El flujo superficial es el que más rápido de los tres llega a las corrientes de agua y hasta la salida de la cuenca. De esta manera está relacionado con un evento de precipitación en particular y se dice que proviene de la precipitación en exceso o *efectiva*, o sea el agua de lluvia que no se infiltra sino que escurre (Aparicio, 1989). Los escurrimientos subterráneo y subsuperficial son los responsables de mantener el *flujo base*, que es el agua que fluye por el cauce de los ríos durante todo el año, incluso en la época seca.

Lo más importante en la relación lluvia – escurrimiento es la rapidez con que una cuenca responde a una tormenta, pues esto es lo que determina la magnitud de las crecientes en los cauces (Aparicio, 1989). Esta rapidez depende de la geomorfología de la cuenca y de los tipos de suelos y estratos subyacentes principalmente.

Hietograma de tormenta e hidrograma de caudal

Ahora corresponde hablar sobre las partes inicial y final de este proceso de escurrimiento de la lluvia: el hietograma de tormenta y el hidrograma de caudal. El hietograma es un gráfico de lluvia contra el tiempo que muestra la distribución temporal de una determinada tormenta. De esta manera explica la parte inicial del proceso de escurrimiento del agua sobre una cuenca, la caída de la precipitación sobre la cuenca.

Existen métodos directos e indirectos para obtener hietogramas de tormentas. Entre los métodos indirectos están el Método del Hietograma Triangular y métodos derivados de curvas de intensidad – duración – frecuencia. Como método directo se cita el análisis de series parciales o anuales de precipitación. El método del hietograma triangular aproxima un hietograma suponiendo una distribución triangular de la lluvia, dados una precipitación total de tormenta, una duración de tormenta y un coeficiente de retardo. Este coeficiente de retardo se estima a partir de mediciones de distintas tormentas e indica el momento en que una tormenta alcanza el pico de intensidad a lo largo de su duración. A partir de curvas de intensidad – duración – frecuencia se pueden utilizar métodos como el del bloque alterno. Este método consiste en obtener incrementos diferenciales de precipitación a partir de una curva i-d-f para una duración dada y luego reordenarlos alrededor del pico de la tormenta, distribuyendo los incrementos menores a ambos lados del pico de la tormenta. El método directo citado anteriormente consiste en la identificación de patrones temporales de comportamiento con base en series anuales o parciales de lluvia. En este trabajo se pretende hacer uso de este último método para la obtención de los hietogramas característicos.

Finalmente el agua de lluvia que llega a los cauces de los ríos puede ser explicada mediante el hidrograma de caudal. El hidrograma de caudal es un gráfico que relaciona el volumen de agua que pasa por determinada sección de un cauce en el tiempo.

3.2 Tipos de precipitación

Se pueden distinguir tres tipos básicos de precipitación: convectiva, ciclónica y orográfica.

Precipitación convectiva

Este tipo de precipitación está asociada a nubes de gran desarrollo vertical. Ejemplo de esto son los *cumulonimbus*, que son nubes que internamente están formadas por aire cálido y húmedo, con carácter ascendente formando grandes desarrollos verticales.

Se forman celdas convectivas cuando se calienta la superficie del terreno intensamente, este calor superficial hace ascender las masas de aire cargadas de humedad. En este proceso las masas de aire se van enfriando hasta alcanzar el punto de rocío, posteriormente se produce la lluvia. Las precipitaciones que se generan pueden ser en forma de granizo y usualmente están acompañadas de tormentas eléctricas, aunque no necesariamente (Barry y Chorley, 1987). Entre las principales características de estas tormentas están su corta duración y el área relativamente pequeña que cubren. Una tormenta de este tipo usualmente dura entre media y una hora (Barry y Chorley, 1987), y puede cubrir un área de 20 km² a 50 km². Sin embargo se sabe que hay tormentas de origen convectivo que pueden durar hasta 6 horas (Chacón, 1980).

Precipitación ciclónica

Esta precipitación está asociada a sistemas de baja presión. Las características de la precipitación van a depender del tipo de sistema de baja presión y de su estado de desarrollo (Barry y Chorley, 1987). El mecanismo esencial es el ascenso de masas de aire debido a convergencia horizontal de corrientes en un centro de baja presión.

Precipitación orográfica

Este tipo de precipitación se da por el efecto de barrera producido generalmente por sistemas montañosos. En Costa Rica el sistema montañoso con dirección noroeste – sureste divide al país en dos y funciona como barrera orográfica. Los vientos Alisios arrastran las masas de aire cargadas de humedad provenientes del Caribe y las hacen ascender por las laderas de las montañas. En este proceso de ascenso se da la condensación y a determinadas alturas se empiezan a dar precipitaciones.

Capítulo IV

4 Metodología

Se describe el procedimiento empleado para la elaboración de este trabajo.

4.1 Región de estudio y procesamiento de datos

El área de estudio comprende la cuenca del río Reventazón hasta la confluencia de este con el río Guayabo. El Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible (PRODUS) facilitó las hojas cartográficas digitalizadas en escala 1:50 000 de Pejibaye, Tapantí, Vueltas, Cuericí, Tucurrique, Istarú, Carraigres, Carrillo, Bonilla y Abra. La cuenca queda contenida entonces entre las coordenadas 9° 30` y 10° 30` latitud norte y 83° 30` y 84° 15` longitud oeste.

El procesamiento de datos para el ajuste de los hietogramas característicos y para la obtención de los índices morfométricos se realizó con hoja electrónica de cálculo.

La generación y el análisis de los mapas se realizaron mediante sistemas de información geográfica (S.I.G.). Se utilizó el paquete informático ArcGIS de ESRI®.

4.2 Características morfométricas

Se obtuvieron del S.I.G. los siguientes valores: área y perímetro de la cuenca, áreas parciales entre curvas de nivel, longitud al centroide, longitud de cauces tributarios y longitud del cauce principal. La elevación media de la cuenca se obtuvo directamente de la curva hipsométrica.

El resto de características que se presentan en el Cuadro 2.1 se obtuvieron de forma analítica o se extrajeron de los mapas generados. En el Anexo C se muestran los ejemplos de cálculo y las ecuaciones utilizadas.

4.3 Mapas generales de la cuenca

Se utilizó el paquete informático ArcGIS de ESRI®, que es un sistema de información geográfica (S.I.G.). El mapa básico a partir del cual se obtuvieron los demás es el de contorno de la cuenca. Este mapa se generó a partir de las curvas de nivel proporcionadas por PRODUS.

Generación del mapa base de contorno de la cuenca

Lo primero que se hace es cargar en el G.I.S. la información de cada hoja cartográfica que se va a utilizar.

Con la instrucción "Merge" se une la información de las distintas hojas cartográficas y se genera una capa que contiene la información de todas las hojas cartográficas a utilizar.

A partir de la información de curvas de nivel se genera un modelo de elevación digital de la cuenca. El S.I.G, a través de interpolaciones entre curvas de nivel genera un modelo en tres dimensiones del área en estudio.

Se genera ahora un archivo tipo "Raster" a partir del archivo obtenido en el paso anterior. En este paso es cuando se afina el modelo y se procede a corregir defectos ocasionados por errores en las curvas de nivel. Para esto se usa la extensión "Hydrology Modeling" del S.I.G.

Una vez hecho esto se generan los archivos de dirección de escurrimiento y acumulación de aguas empleando la herramienta "Hydrology Modeling".

Con estos modelos y con la extensión "Hydrology Modeling" se genera el archivo de contorno de la cuenca. Se utiliza la instrucción "Watershed". El resultado de este paso es un archivo tipo "Raster".

Finalmente el archivo obtenido en el paso anterior se convierte en un polígono con la herramienta "3D Analyst". El archivo resultante es un archivo tipo "Shape" y es más conveniente para extracción de información y para la visualización en los mapas.

Mapas de red hidrográfica y curvas de nivel

Para generar el mapa con la red hidrográfica de la cuenca se digitalizaron los ríos con el S.I.G. Se generó una capa con esta información y se superpuso sobre el mapa de contorno de la cuenca. Este mapa se presenta en el Anexo A.

El mapa de curvas de nivel se generó de manera similar al de la red hidrográfica. Con el contorno de la cuenca se recortó una capa con la información de las curvas de nivel. Luego se sobre puso esta capa a la cuenca. En el Anexo A se muestra el mapa que contiene las curvas de nivel de la cuenca.

Mapas con ubicación de las estaciones

Los mapas con la ubicación de las estaciones se generaron ubicando las estaciones de acuerdo a sus coordenadas utilizando el S.I.G. Estos mapas se pueden ver en el Anexo A.

4.3.1 Mapa de precipitación promedio anual

Este mapa fue obtenido de PRODUS. Para su confección se utilizaron estaciones del I.C.E. y se utilizó un periodo de registro de 10 años, de 1976 a 1985 inclusive.

4.3.2 Mapas de temperatura media, máxima y mínima promedio anual

Para su generación se utilizaron las fotos de los mapas de temperatura media, máxima y mínima promedio anual contenidos en el Atlas Climatológico Interactivo del I.M.N. (I.M.N, 1998).

El primer paso fue referenciar las figuras del I.M.N. con el S.I.G. para hacerlas coincidir con un sistema de coordenadas. Luego, haciendo uso de la herramienta "Editor" se generaron archivos tipo "shape" con la información de los mapas del I.M.N. Para esto se utilizó el archivo de contorno de la cuenca previamente generado. De esta forma se puede observar la variación en los valores de temperatura dentro de la cuenca.

4.3.3 Mapa de brillo solar

Para la obtención de este mapa se siguió una metodología igual a la usada para los mapas de temperaturas. Se utilizó la información del Atlas Climatológico Interactivo del I.M.N. (I.M.N, 1998).

4.3.4 Mapas de distribución de hietogramas característicos

Para la elaboración de estos mapas se partió del contorno de la cuenca. Se generaron Polígonos de Thiessen para determinar el área de influencia de cada estación.

Lo primero que hay que hacer es cargar el archivo tipo "Shape" que contiene la información de las estaciones. Luego se utiliza la extensión "Thiessen" del S.I.G. La salida de este proceso es un archivo tipo "Shape" que contiene las áreas de influencia de todas las estaciones. Se seleccionan las áreas afectadas por determinado tipo de hietograma característico según sea el caso y se generan nuevos polígonos. Para esto se utiliza la instrucción "Export Data". Cuando se tienen los diferentes polígonos según el tipo de

hietograma y el área de influencia se puede seleccionar cuáles mostrar en los distintos mapas.

4.4 Humedad relativa

Los datos de humedad relativa se obtuvieron del I.C.E. Se utilizó un periodo de 6 años de registro desde 2004 hasta 2009 inclusive. Para completar la información faltante se utilizaron los valores promedio del registro. En el Cuadro B.1 del Anexo B se encuentran las estaciones utilizadas. El procesamiento de los datos se realizó con hoja electrónica de cálculo.

4.5 Viento

Los datos de viento se obtuvieron del I.C.E. Se cuenta con el registro de cuatro estaciones que comprende el periodo de 2006 a 2009 inclusive. En el Cuadro B.2 del Anexo B se encuentra la lista de estaciones utilizada.

4.6 Hietogramas característicos

Se usaron 14 estaciones con registro de precipitación continuo del I.C.E. En el Cuadro B.3 del Anexo B se muestran las estaciones utilizadas.

Primero se determinó el periodo en que la mayor cantidad de estaciones tenía un registro continuo de precipitación. Se determinó que lo mejor era usar un periodo de 40 años desde 1970 hasta 2009 inclusive.

Una vez hecho esto se hizo un listado con los días en que se presentaron los máximos de precipitación de cada año para todas las estaciones. Con esta información se empezó a buscar y organizar las bandas de cada una de las estaciones. Se agruparon por estaciones y se verificó que todos los máximos anuales se encontraran. Para sustituir los máximos faltantes o los de las bandas que estaban dañadas se utilizaron bandas con el máximo inferior siguiente del mismo año, o en su defecto con un máximo de una banda de otro año pero de la misma estación.

Lectura de bandas pluviográficas

Con la información organizada se digitalizó cada banda correspondiente al máximo anual de cada estación. Para digitalizar las bandas se utilizó un escáner. Se colocó la banda sobre la pantalla del escáner y se tomaron una o dos imágenes dependiendo de la duración de la tormenta. Las tormentas de menor duración se podían digitalizar en una

sola imagen pero las de mayor duración no porque el largo de la banda excede el largo de la pantalla del escáner. Una vez que las bandas fueron digitalizadas se cargaron en el programa informático AutoCAD para hacer la lectura. Se les dio escala y se procedió a trazar una polilínea con la instrucción "Polyline" para extraer los incrementos de precipitación cada 10 minutos. Esta información se digitó en una hoja electrónica de cálculo y se obtuvieron los hietogramas para cada tormenta máxima anual de cada estación graficando los datos de lluvia cada 10 minutos. De esta forma se obtuvieron cuarenta hietogramas para cada estación.

Los totales de precipitación obtenidos de la lectura de las bandas se compararon con los totales registrados por el I.C.E. y se hicieron los ajustes necesarios. Es importante destacar que hay un margen de error en la lectura de las bandas y que se debe principalmente al factor de escala, a la distorsión de la imagen y a fallas en el funcionamiento de los pluviógrafos. Luego de la lectura de todas las bandas se encontró que este error puede llegar a ser hasta 4% del total llovido. Inicialmente se tomaron como patrón los valores registrados por el I.C.E, sin embargo como esas lecturas fueron hechas de forma visual directamente de las bandas también están sujetas a errores. Por este motivo para cada caso en particular se hizo el análisis correspondiente para determinar el total de cada tormenta. Una vez leída la banda se hizo una revisión visual y si la diferencia entre el total leído y el total registrado por el I.C.E. era de 2% del total o menor se ajustaba el valor leído con el total del I.C.E. Si la diferencia era mayor se tomó el valor leído como válido.

En el caso de las estaciones que se encuentran automatizadas no fue necesaria la lectura de las bandas. Se obtuvo del I.C.E. la información tabulada cada 10 ó 5 minutos, se digitó en la hoja electrónica de cálculo y se elaboraron los hietogramas.

Ajuste de los hietogramas característicos

Una vez que se procesó y ajustó la información de las tormentas se procedió a generar los hietogramas característicos para cada estación. En cada estación se generaron dos o más hietogramas característicos según la duración y el comportamiento de las tormentas en el tiempo.

Clasificación de las tormentas

Se clasificaron las tormentas de cada estación en dos grupos generales: tormentas de larga duración y tormentas de corta duración. Los criterios que se utilizaron para la

división en estas dos categorías fueron la duración y el comportamiento en el tiempo. Se elaboraron gráficos de lluvia acumulada contra tiempo en minutos para hacer la separación de las tormentas en cada estación. Cada estación tiene distribuciones temporales diferentes en sus tormentas debido a factores geográficos y climáticos como el viento y los distintos microclimas que se presentan en la cuenca.

No hay un tiempo único y definido válido para todas las estaciones a la hora de separar las tormentas en corta y larga duración. La mayoría de las tormentas de larga duración en todas las estaciones van desde 15 horas hasta 24 horas. Las tormentas de corta duración se extienden desde 3 horas hasta 13 horas aproximadamente. Para cada estación se hizo el análisis en particular y se clasificaron las tormentas.

Una vez que se hizo esta clasificación general se analizaron los grupos de tormentas de corta y larga duración separadamente. Se identificaron patrones temporales de comportamiento de las tormentas. Se agruparon las tormentas que presentaron patrones de comportamiento similares y se elaboraron los hietogramas característicos para cada grupo presente en cada estación. Estos hietogramas se analizaron para encontrar comportamientos similares entre distintas estaciones de la cuenca. Más adelante en esta sección se explica en detalle este proceso.

Recortes en la duración de las tormentas

En algunas tormentas fue necesario hacer recortes en la duración. Esto se hizo para ajustar las tormentas a comportamientos específicos y para eliminar partes de la tormenta en las cuales la intensidad de la lluvia es tan baja que no tiene fines prácticos incluirla para el diseño. Se hicieron recortes siguiendo los siguientes criterios:

Criterio 1

Algunas tormentas presentan al inicio o al final tramos en que cae muy poca precipitación en mucho tiempo, o sea su intensidad es muy baja. Esto afecta la duración y no aporta precipitación significativa al cuerpo de la tormenta. En algunos de estos casos se hicieron recortes de hasta 2% de la precipitación total.

Criterio 2

Hay otras tormentas de corta duración en las cuales después de caer la mayor cantidad de agua (95% o más), transcurridas tres horas o más sin lluvia, presentan un pequeño remanente. En este caso se puede recortar ese remanente que representa hasta un 5%

del total de lluvia. Se puede aplicar este criterio cuando esta pequeña cantidad de lluvia cae antes del cuerpo de la tormenta, siempre espaciados por tres horas o más sin lluvia. Es muy importante tomar en cuenta el periodo que transcurre entre el cuerpo de la tormenta y el remanente para poder realizar el recorte. Para este trabajo se ha fijado en tres horas. Este criterio es arbitrario pero se ha consultado con meteorólogos del I.C.E. para fijar el tiempo.

Elaboración de los hietogramas característicos

La determinación de los distintos comportamientos característicos se hizo de manera visual. Se analizaron por separado las tormentas de corta y larga duración. Se utilizaron los gráficos de lluvia acumulada en porcentaje contra tiempo en minutos elaborados previamente y se confeccionaron nuevos gráficos para cada estación en los cuales se mostraron los valores de precipitación acumulada contra tiempo acumulado, ambos valores en porcentaje. De esta manera se pudo observar los distintos comportamientos en el tiempo de las tormentas. Para complementar esto se sobrepusieron en un histograma de lluvia cada 10 minutos las distintas tormentas. Mediante inspección visual de los gráficos anteriores y desplazando las tormentas sobre el eje de la duración de los histogramas se identificaron los distintos comportamientos característicos. Esto último se hizo para hacer coincidir patrones temporales que puedan estar desplazados en el tiempo. Se tomaron en cuenta tres cosas importantes: la duración de cada tormenta, su intensidad y su distribución temporal, esto último quiere decir la forma que presenta el histograma de precipitación cada 10 minutos. Estos tres elementos deben ser lo más homogéneos que se pueda en cada grupo de tormentas.

Cuando se determinaron los distintos comportamientos característicos se sacaron los promedios de precipitación de todas las tormentas que se clasificaron dentro de un mismo grupo. Al estar las tormentas superpuestas se promediaron los intervalos en los cuales hay lluvia, cada 10 minutos. De esta manera se obtuvo un hietograma resultante pero con una duración que no es representativa. Esto porque al desplazar las tormentas sobre el eje horizontal de los histogramas para hacer coincidir patrones de comportamiento similares, la duración del hietograma promediado resultante es mayor que la de las tormentas individuales que lo conforman. Lo que se hizo entonces fue promediar las duraciones de todas las tormentas que se agruparon como un mismo tipo para obtener un único tiempo. Con base en este tiempo promedio se seleccionó la parte del hietograma en la cual la mayor cantidad de tormentas que lo forman coincidieron. Esta parte del

hietograma debe reflejar lo mejor posible el comportamiento de las tormentas individuales que pertenecen a ese grupo. De esta forma se ajustó un solo hietograma característico para el grupo de tormentas, de acuerdo a un tiempo promedio y con intensidades promedio. El hietograma se muestra en porcentaje de lluvia cada 10 minutos.

Cuando se obtuvieron todos los hietogramas característicos de todas las estaciones se buscaron comportamientos que se repitieran en distintas estaciones y se procedió a hacer una clasificación para determinar luego las zonas de la cuenca que se vieron afectadas por distintos hietogramas característicos.

Capítulo V

5 Resultados

En esta sección se presentan los hietogramas característicos obtenidos para cada estación. En el Cuadro B.3 del Anexo B se encuentra la lista de estaciones utilizadas para la elaboración de los hietogramas. En los Cuadros del B.4 al B.17 se muestran los máximos anuales de precipitación utilizados. Se indica entre paréntesis el máximo anual que se utilizó para sustituir datos faltantes en caso de que fuera necesario. En el Anexo D se muestran los gráficos con las curvas acumuladas de todas las tormentas por estación y de los hietogramas característicos obtenidos para cada estación. En el Anexo E se muestran los valores tabulados de los hietogramas característicos obtenidos para todas las estaciones.

Se muestra además de forma preliminar las zonas de influencia de los distintos tipos de hietogramas característicos sobre la cuenca.

Se hizo un análisis para cada estación por separado. Se dividieron las tormentas en dos categorías principales: corta duración y larga duración. Luego estas categorías se subclasificaron en diferentes tipos de acuerdo a la distribución temporal de las tormentas. En los Cuadros 5.1 y 5.2 se muestran los criterios utilizados para la clasificación de los diferentes tipos de hietogramas característicos obtenidos.

**Cuadro 5.1. Criterios utilizados para la clasificación de hietogramas
característicos de corta duración.**

Tipos de tormentas corta duración	
Tipo 1C	El 70% o más de la lluvia precipita antes del 50% del tiempo de duración de la tormenta. Presenta forma de campana sesgada hacia la izquierda y decrece hacia la derecha.
Tipo 2C	El 70% o más de la lluvia precipita antes del 50% del tiempo de duración de la tormenta. Presenta forma de campana sesgada hacia la izquierda y decrece hacia la derecha pero tiene dos máximos en vez de uno en la parte superior de la campana.
Tipo 3C	Más del 85% de la lluvia precipita después del 50% del tiempo de duración de la tormenta. Presenta forma de campana sin sesgo pero desplazada hacia la derecha.
Tipo 4C	El 70% o más de la lluvia está concentrada hacia el centro de la duración de la tormenta. Presenta forma de campana sin sesgo.
Tipo 5C	Presenta una forma de dos campanas consecutivas, donde la lluvia de la tormenta se divide aproximadamente igual entre las dos campanas. La separación entre las dos campanas es de entre 12% y 30% del tiempo de la tormenta.
Tipo 6C	Presenta una forma de dos campanas consecutivas, donde la lluvia de la tormenta se divide aproximadamente igual entre las dos campanas. La separación entre las dos campanas es menor que la Tipo 5C, apenas alcanza a 8% de la duración de la tormenta.
Tipo 7C	La forma del hietograma presenta tres máximos entre los que se intercalan zonas de poca lluvia. Cada máximo tiene forma aproximada de campana.

Fuente: el autor

**Cuadro 5.2. Criterios utilizados para la clasificación de hietogramas
característicos de larga duración.**

Tipos de tormentas larga duración	
Tipo 1L	Presenta forma de campana sesgada hacia la izquierda y decrece hacia la derecha. Aproximadamente el 60% de la lluvia precipita antes o al cumplirse el 50% del tiempo de la tormenta
Tipo 1La	Tiene forma de campana sesgada a la izquierda pero inicia con una intensidad muy alta. Aproximadamente 30% de la lluvia precipita antes o al cumplirse el 5% de la duración de la tormenta. Decrece hacia la derecha.
Tipo 1Lb	Más del 85% de la lluvia de la tormenta precipita al cumplirse el 50% del tiempo de la tormenta. El 10% restante de lluvia precipita hacia el final de la tormenta. Ambos porcentajes de lluvia están distribuidos hacia los extremos y su forma es poco regular.
Tipo 2L	El 70% o más de la lluvia precipita después del 50% del tiempo de duración de la tormenta. Presenta forma de campana sesgada hacia la derecha y decrece hacia la izquierda.

Continuación Cuadro 5.2. Criterios utilizados para la clasificación de hietogramas característicos de larga duración.

Tipo 3L	En algunos casos la lluvia se concentra hacia el centro pero en general su intensidad es bastante uniforme a lo largo de toda la tormenta. Las curvas acumuladas de los hietogramas de este tipo son bastante rectas y forman un ángulo aproximado de 45° con el eje horizontal.
Tipo 4L	Tiene forma de campana sin sesgo y la mayor parte de la lluvia se concentra hacia el centro de la tormenta.
Tipo 5L	Aproximadamente el 90% de la lluvia precipita al cumplirse el 70% del tiempo. Hasta este punto el hietograma presenta intensidades uniformes aumentando hacia el centro del hietograma. El 10% se distribuye al final con una intensidad baja y uniforme.
Tipo 6L	La forma del hietograma presenta tres máximos entre los que se intercalan zonas de poca lluvia. Cada máximo tiene forma aproximada de campana.
Tipo 7L	La forma del hietograma presenta cuatro máximos entre los que se intercalan zonas de poca lluvia. Cada máximo tiene forma aproximada de campana.
Tipo 8L	La lluvia de la tormenta se distribuye aproximadamente igual acumulándose hacia los extremos del hietograma.

Fuente: el autor

En cada estación se analizaron 40 tormentas máximas anuales. Algunas de ellas conformaron comportamientos de corta o larga duración o no encajaron en ningún comportamiento. En el Cuadro 5.3 se muestra el resumen de los distintos tipos de hietogramas característicos de corta y larga duración obtenidos por estación, sus duraciones promedio, su clasificación según los Cuadros 5.1 y 5.2, la cantidad de tormentas que presentaron el comportamiento de dicho hietograma característico y los porcentajes que representan esas tormentas del total de 40 tormentas por estación. Las tormentas que no pertenecen a ningún tipo de hietograma característico se clasifican como N.P.

Cuadro 5.3. Resumen de clasificación de tormentas de todas las estaciones.

Estación	Categoría según duración	Duración [min]	Tipo de hietograma	Número de tormentas	Total de tormentas	Porcentaje del total de tormentas
Sanatorio Durán	C.D.	410	1C	15	26	57,7
		450	2C	3		11,5
	N.P.	-----	8	30,8		
	L.D.	1000	1La	6	14	42,9
		1210	4L	6		42,9
1340		2L	2	14,2		
San Rafael de Tapantí	C.D.	350	4C	16	29	55,2
		420	1C	3		10,3
		370	5C	6		20,7
	N.P.	-----	4	13,8		
	L.D.	1440	3L	8	11	72,7
1010		6L	3	27,3		
El Cañón	C.D.	520	1C	8	23	34,8
		480	3C	7		30,4
		650	7C	2		8,7
	N.P.	-----	6	26,1		
	L.D.	1360	3L	13	17	76,5
N.P.		-----	4	23,5		
El Humo	C.D.	430	5C	9	26	34,6
		340	4C	12		46,2
	N.P.	-----	5	19,2		
	L.D.	1400	3L	11	14	78,6
N.P.		-----	3	21,4		
Embalse - El Llano	C.D.	380	4C	17	31	54,8
		420	5C	7		22,6
	N.P.	-----	7	22,6		
	L.D.	1440	3L	6	9	66,7
		900	5L	2		22,2
N.P.	-----	1	11,1			
Villa Mills	C.D.	570	1C	12	25	48,0
		640	5C	5		20,0
	N.P.	-----	8	32,0		
	L.D.	1260	1L	4	15	26,7
		1260	2L	7		46,6
N.P.	-----	4	26,7			
Tres de Junio	C.D.	460	4C	6	17	35,3
		530	5C	9		52,9
	N.P.	-----	2	11,8		
	L.D.	1400	3L	13	23	56,6
		1440	1L	7		30,4
N.P.	-----	3	13,0			
La Cangreja	C.D.	440	1C	25	37	67,6
	N.P.	-----	12	32,4		
	L.D.	1240	2L	2	3	66,7
1200		1Lb	1	33,3		

Continuación cuadro 5.3. Resumen de clasificación de tormentas de todas las estaciones.

Estación	Categoría según duración	Duración [min]	Tipo de hietograma	Número de tormentas	Total de tormentas	Porcentaje del total de tormentas
La Suiza	C.D.	470	5C	6	15	40,0
		480	4C	4		26,7
		420	6C	2		13,3
	N.P.		-----	3		20,0
	L.D.	1440	2L	6	25	24,0
		1440	1L	11		44,0
		1150	4L	4		16,0
1350		7L	4	16,0		
Cachí (Plantel)	C.D.	450	1C	6	21	28,6
		450	6C	4		19,0
		300	4C	8		38,1
	N.P.		-----	3		14,3
	L.D.	1440	3L	11	19	57,8
		1320	6L	4		21,1
		1330	4L	4		21,1
Tucurrique	C.D.	380	5C	3	17	17,6
		320	7C	3		17,6
		340	1C	7		41,3
	N.P.		-----	4		23,5
	L.D.	1440	2L	5	23	21,7
		1440	3L	5		21,7
		1350	5L	6		26,2
		1440	8L	4		17,4
N.P.		-----	3		13,0	
San Antonio de Turrialba	C.D.	560	4C	6	8	75,0
		400	1C	2		25,0
	L.D.	1440	3L	10	32	31,2
		1440	6L	6		18,8
		1330	1L	7		21,9
		1440	8L	6		18,8
N.P.		-----	3		9,3	
Oriente	C.D.	470	1C	6	28	21,4
		330	4C	10		35,7
		350	6C	5		17,9
	N.P.		-----	7		25,0
	L.D.	1440	3L	8	12	66,7
		1440	2L	3		25,0
N.P.		-----	1		8,3	
Sitio de Presa Tapantí	C.D.	400	4C	13	24	54,2
		340	7C	2		8,3
		470	1C	6		25,0
	N.P.		-----	3		12,5
	L.D.	1440	1L	13	16	81,3
	N.P.		-----	3		18,7

Fuente: el autor.

En el Cuadro 5.4 se presentan la cantidad total de tormentas de corta y larga duración tomando en cuenta todas las estaciones. El número que no está entre paréntesis representa el total de tormentas que presentaron alguno de los tipos de comportamientos descritos en los Cuadros 5.1 y 5.2. Los datos entre paréntesis representan el total de tormentas de corta o larga duración analizadas; estos suman 560 que es el número total de tormentas analizadas. Finalmente se presenta el tiempo promedio tomando en cuenta todos los hietogramas característicos de corta y larga duración por separado.

Cuadro 5.4. Cantidad de tormentas de corta y larga duración y tiempos promedio de los hietogramas de corta y larga duración.

	Cantidad total de tormentas C.D.	Cantidad total de tormentas L.D.
Total tormentas	255 (327)	208 (233)
Tiempo promedio [min]	435	1334

Fuente: el autor

En el Cuadro 5.5 se presenta la cantidad de estaciones que tienen determinado tipo de hietograma característico y el total de tormentas de todas las estaciones que se ajustan a determinado tipo de hietograma.

Cuadro 5.5. Distribución de hietogramas característicos por estación y cantidad de tormentas que presentan determinado comportamiento.

	Comportamientos corta duración									
	Tipo 1C	Tipo 2C	Tipo 3C	Tipo 4C	Tipo 5C	Tipo 6C	Tipo 7C			
Cantidad de estaciones	10	1	1	9	7	3	3			
Cantidad de tormentas	90	3	7	92	45	11	7			
	Comportamientos larga duración									
	Tipo 1L	Tipo 1La	Tipo 1Lb	Tipo 2L	Tipo 3L	Tipo 4L	Tipo 5L	Tipo 6L	Tipo 7L	Tipo 8L
Cantidad de estaciones	5	1	1	6	8	3	2	3	1	2
Cantidad de tormentas	42	6	1	25	85	14	8	13	4	10

Fuente: el autor

Se muestran a continuación los hietogramas característicos de todas las estaciones. En el Cuadro 5.3 se pueden observar la cantidad de tormentas que conforman cada hietograma característico.

5.1 73011 Sanatorio Durán

Hietogramas corta duración

Hay 26 tormentas de corta duración. Se encontraron dos comportamientos característicos. Hay 8 tormentas que no se ajustan a ninguno de los comportamientos y representan 30,8% del total de tormentas.

Tipo 1C

Tiene 15 tormentas que representan 57,7% del total.

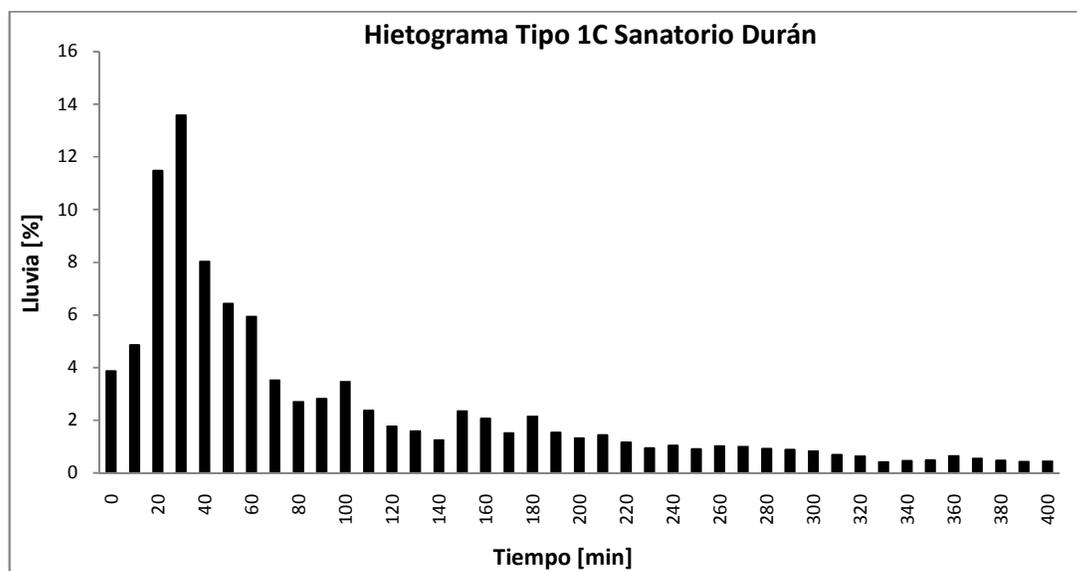


Figura 5.1. Hietograma característico Tipo 1C Sanatorio Durán.

Fuente: el autor.

Tipo 2C

Tiene 3 tormentas que representan 11,5% del total.

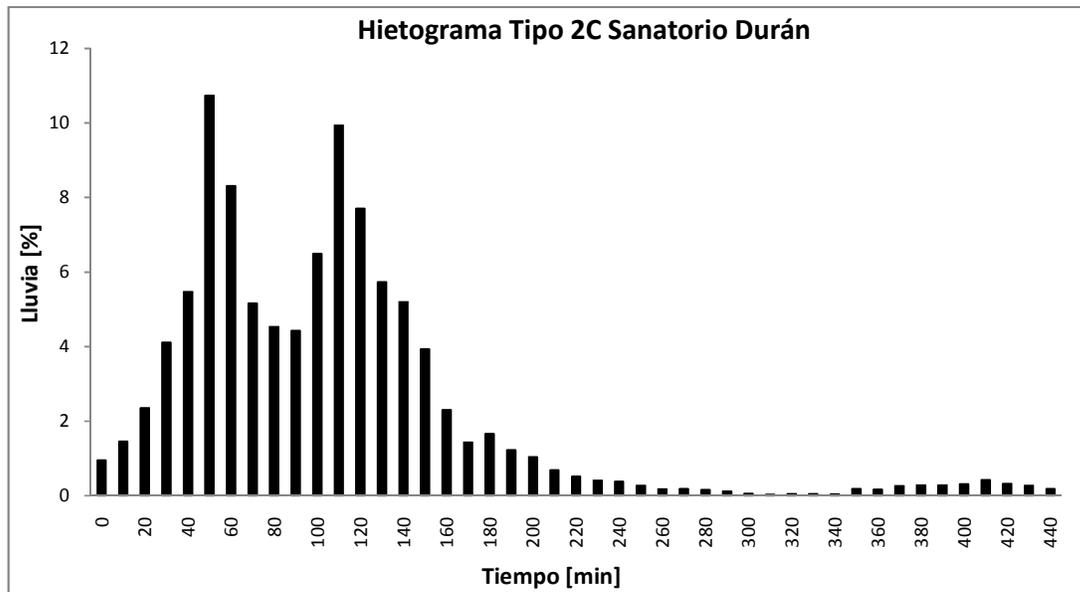


Figura 5.2. Hietograma característico Tipo 2C Sanatorio Durán.

Fuente: el autor.

Hietogramas larga duración

Hay 14 tormentas. Se encontraron tres comportamientos característicos.

Tipo 1La

Tiene 6 tormentas que representan 42,9% del total.

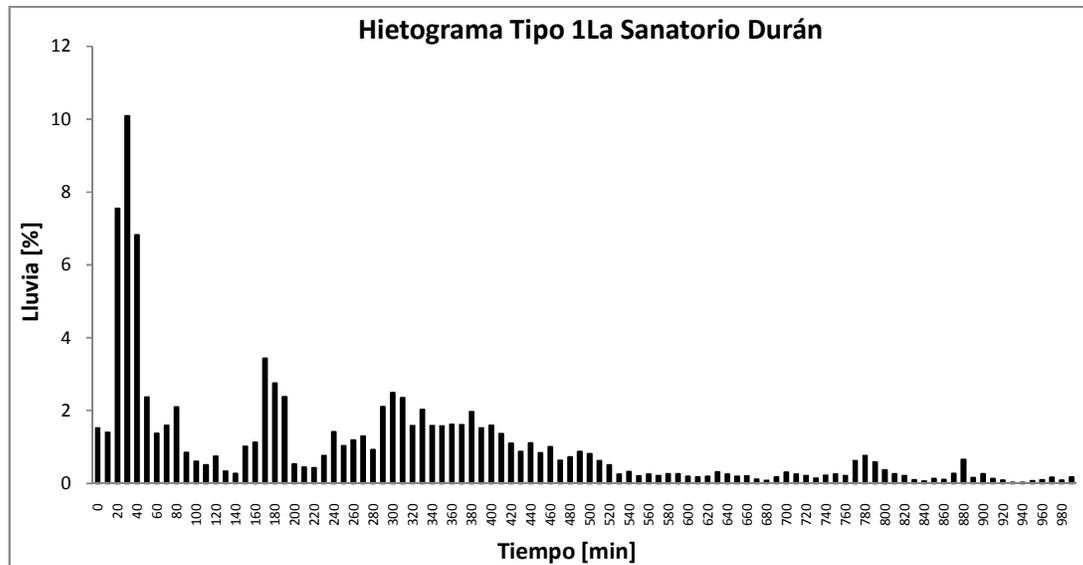


Figura 5.3. Hietograma característico Tipo 1La Sanatorio Durán.

Fuente: el autor.

Tipo 4L

Tiene 6 tormentas que representan 42,9% del total.

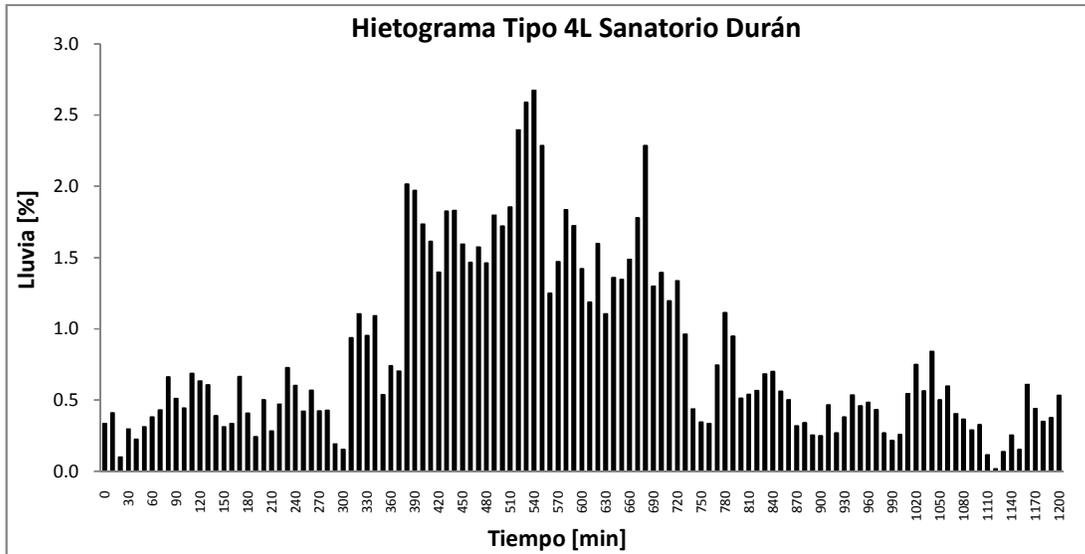


Figura 5.4. Hietograma característico Tipo 4L Sanatorio Durán.

Fuente: el autor.

Tipo 2L

Tiene 2 tormentas que representan 14,2% del total.

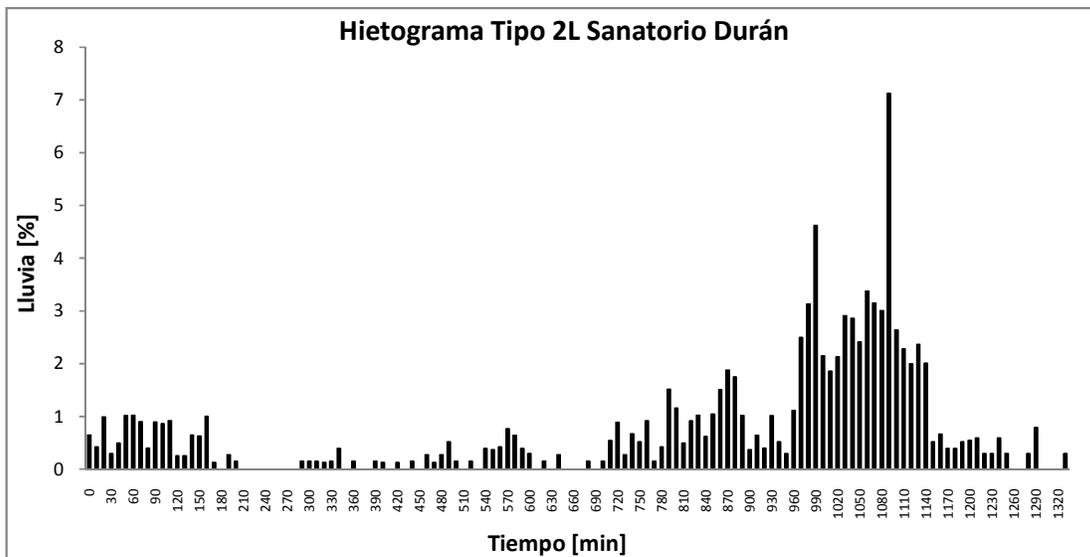


Figura 5.5. Hietograma característico Tipo 2L Sanatorio Durán.

Fuente: el autor.

5.2 73026 San Rafael de Tapantí

Hietogramas corta duración

Hay 29 tormentas de corta duración. Se encontraron tres comportamientos característicos. Hay 4 tormentas que no se ajustan a ningún comportamiento y representan 13,8% del total de tormentas.

Tipo 4C

Tiene 16 tormentas que representan 55,2% del total.

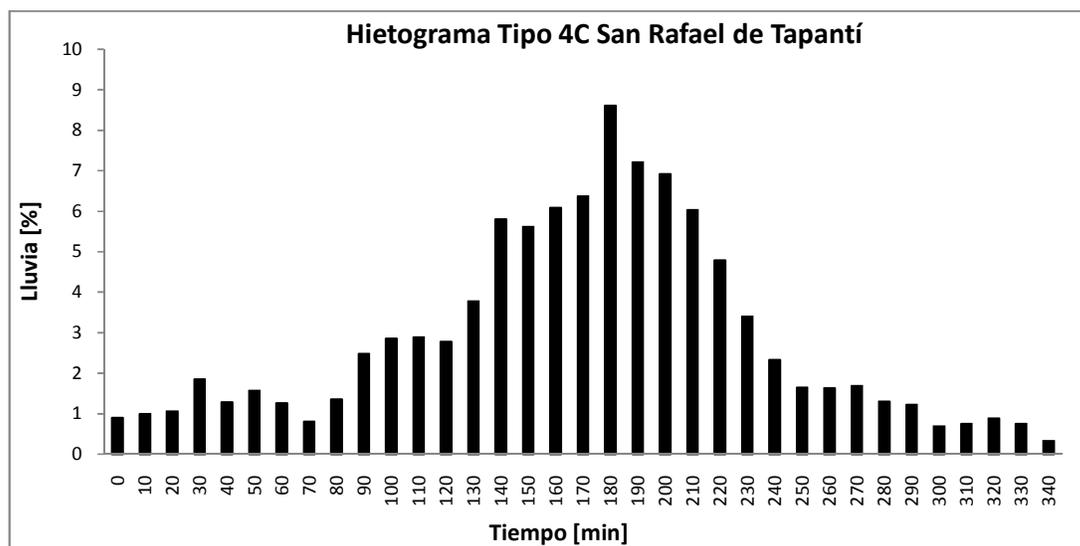


Figura 5.6. Hietograma característico Tipo 4C San Rafael de Tapantí.

Fuente: el autor.

Tipo 1C

Tiene 3 tormentas que representan 10,3% del total.

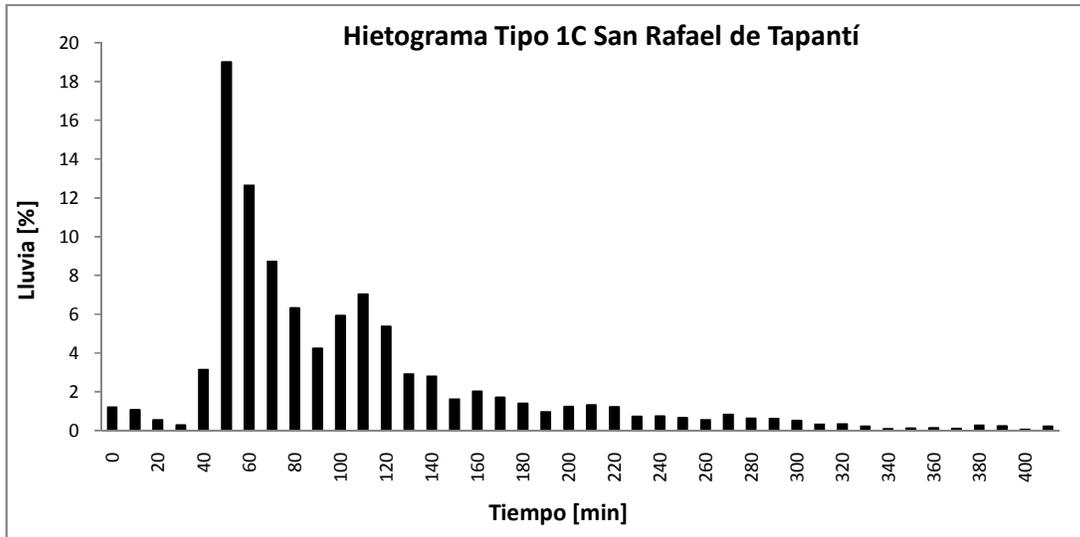


Figura 5.7. Hietograma característico Tipo 1C San Rafael de Tapantí.

Fuente: el autor.

Tipo 5C

Tiene 6 tormentas que representan 20,7% del total.

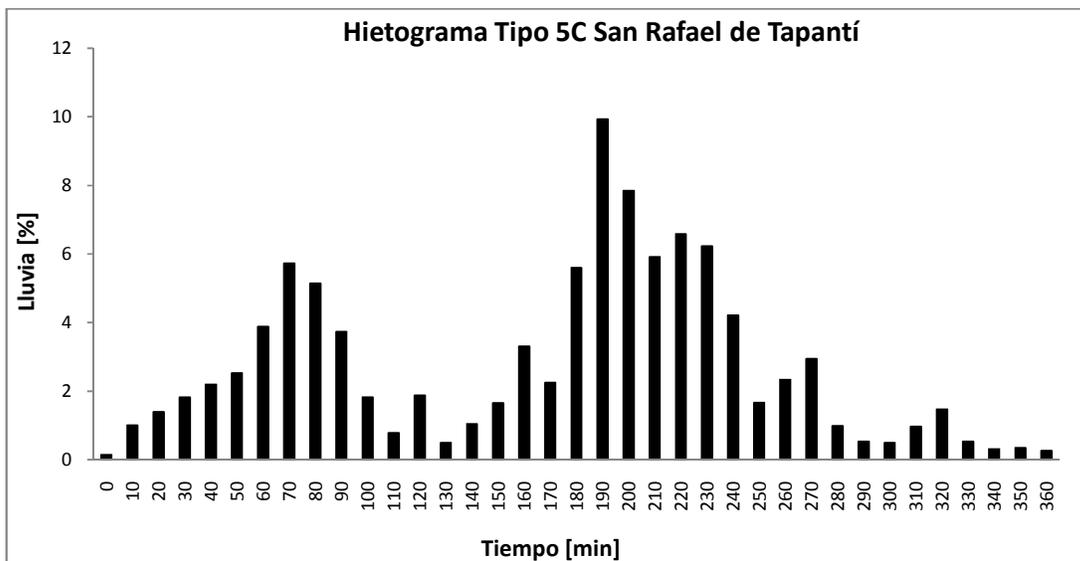


Figura 5.8. Hietograma característico Tipo 5C San Rafael de Tapantí.

Fuente: el autor.

Hietogramas larga duración

Hay 11 tormentas de larga duración. Se encontraron dos comportamientos característicos.

Tipo 3L

Tiene 8 tormentas que representan 72,7% del total.

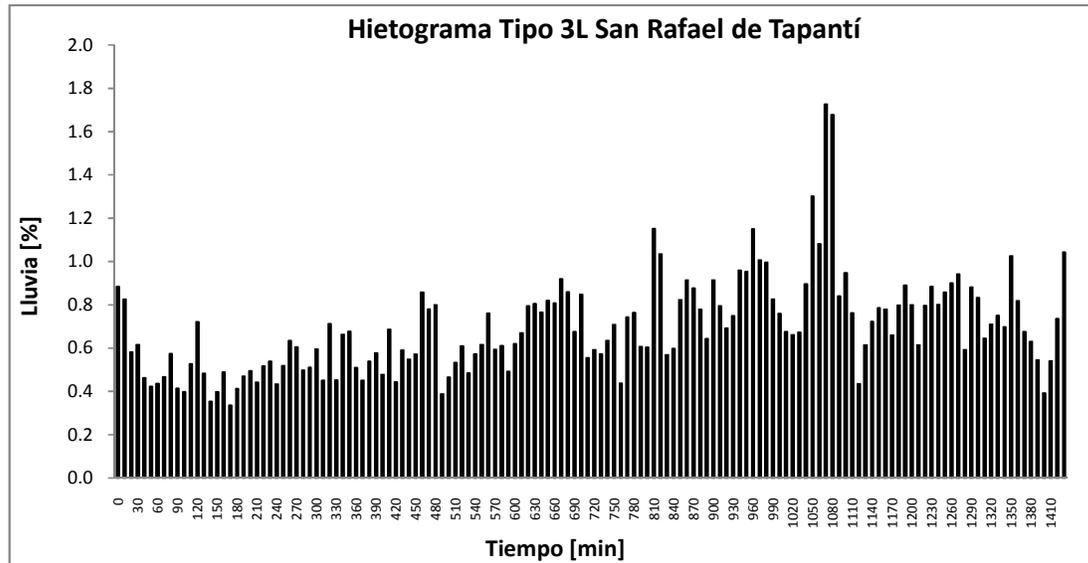


Figura 5.9. Hietograma característico Tipo 3L San Rafael de Tapantí.

Fuente: el autor.

Tipo 6L

Tiene 3 tormentas que representan 27,3% del total.

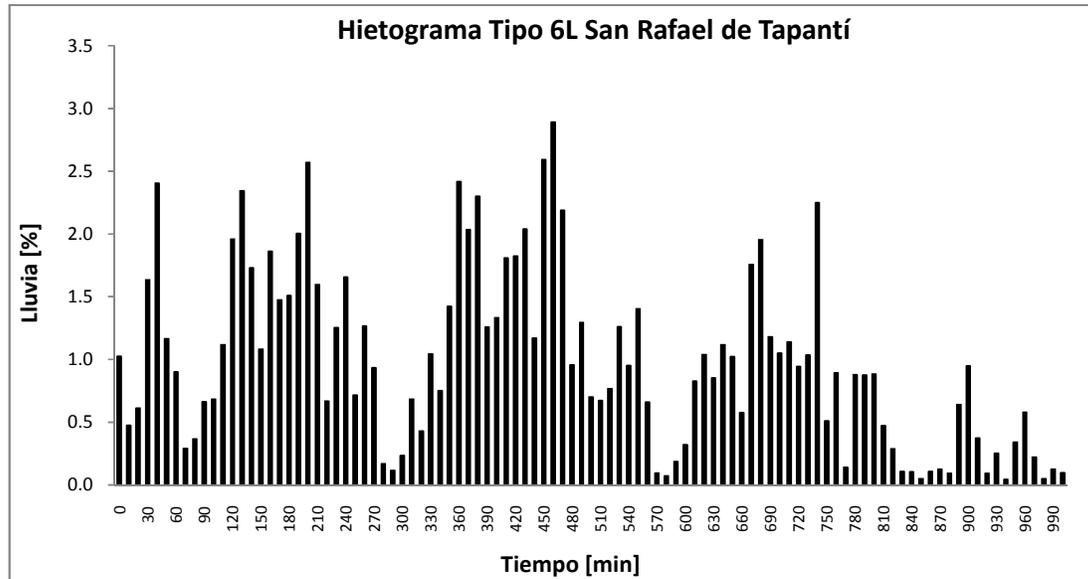


Figura 5.10. Hietograma característico Tipo 6L San Rafael de Tapantí.

Fuente: el autor.

5.3 73027 El Cañón

Hietogramas corta duración

Hay 23 tormentas de corta duración. Se encontraron dos comportamientos característicos. Se menciona un tercer comportamiento que representa un porcentaje muy bajo del total de tormentas (8,7%). Seis tormentas no pertenecen a ninguna familia y representan el 26,1% del total de tormentas.

Tipo 1C

Tiene 8 tormentas que representan 34,8% del total.

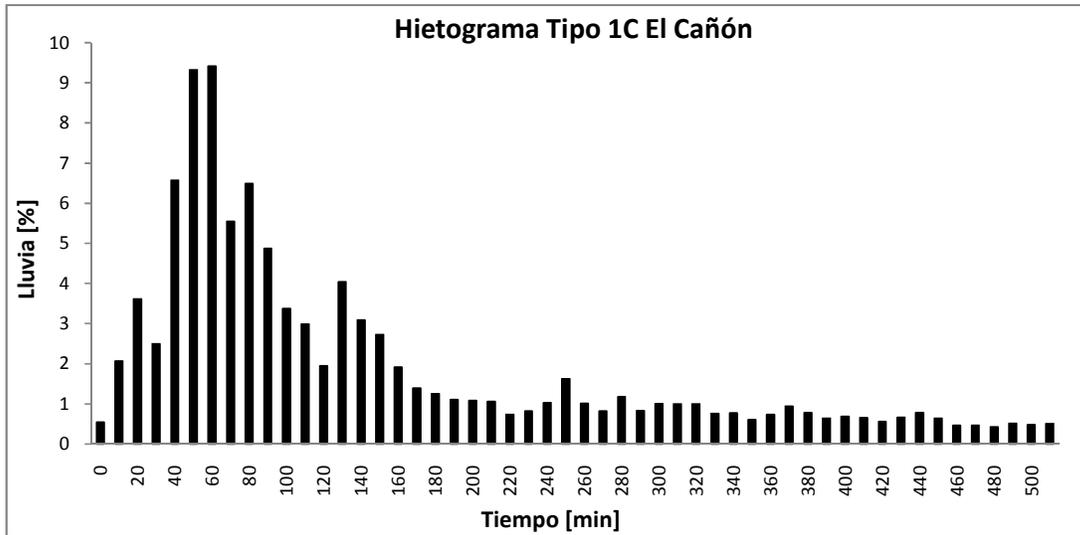


Figura 5.11. Hietograma característico Tipo 1C El Cañón.

Fuente: el autor.

Tipo 3C

Tiene 7 tormentas que representan 30,4% del total.

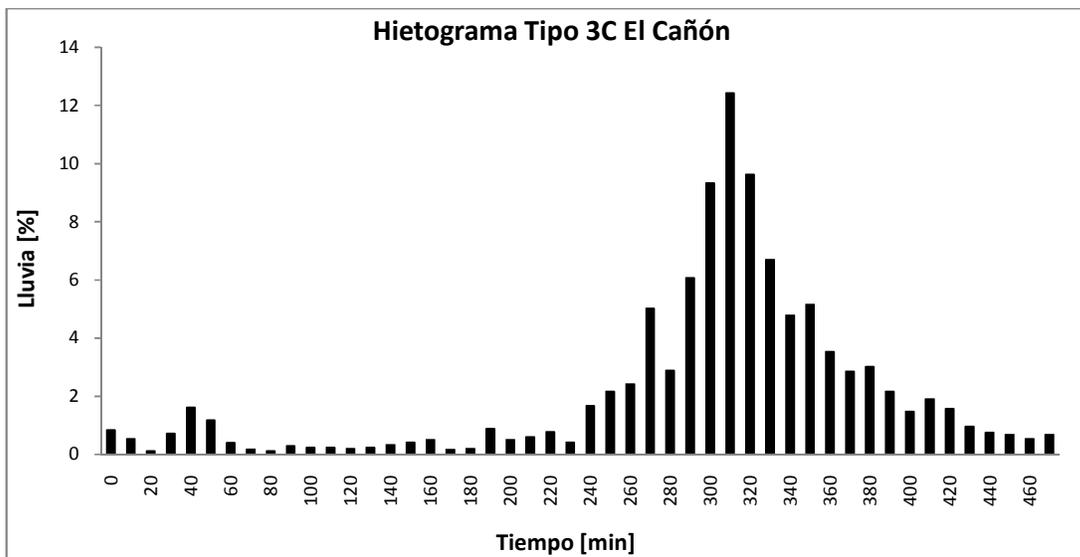


Figura 5.12. Hietograma característico Tipo 3C El Cañón.

Fuente: el autor.

Tipo 7C

Tiene 2 tormentas que representan 8,7% del total. Se debe tomar en cuenta que este hietograma representa un porcentaje bajo del total de tormentas que se dieron en la estación.

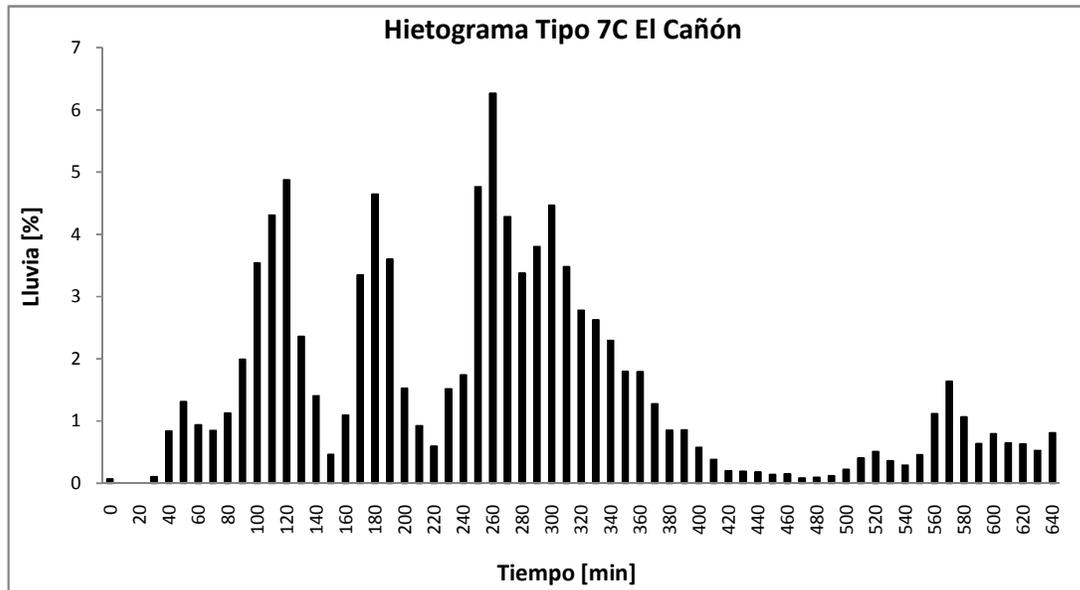


Figura 5.13. Hietograma característico Tipo 7C El Cañón.

Fuente: el autor.

Hietogramas larga duración

Hay 17 tormentas. Se encontró un comportamiento característico con 13 tormentas que representan 76,5% del total. Cuatro tormentas no se ajustan a dicho comportamiento característico y representan 23,5% del total de tormentas.

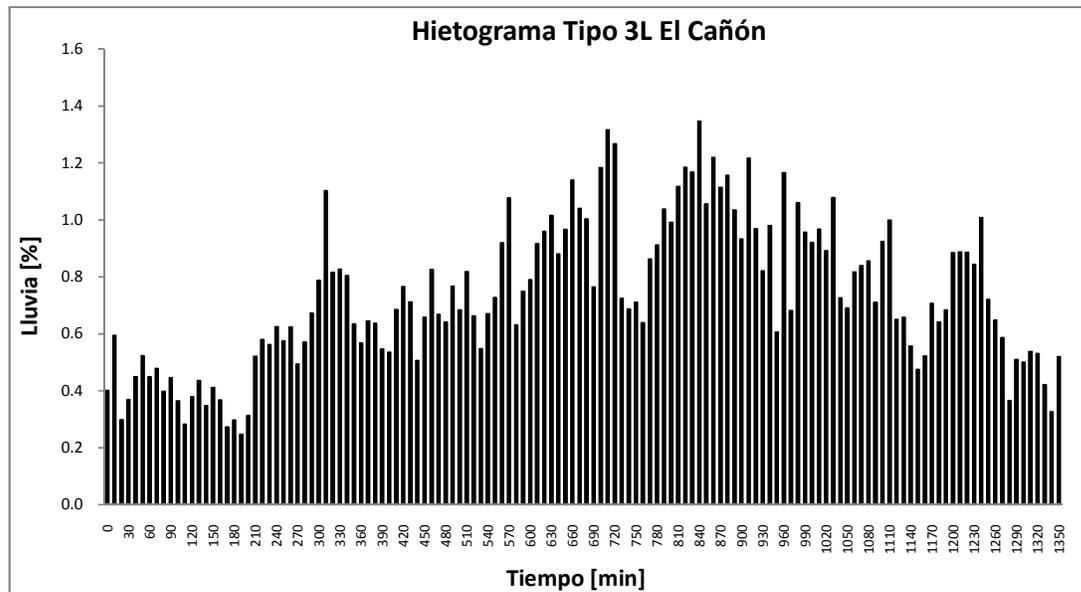


Figura 5.14. Hietograma característico Tipo 3L EL Cañón.

Fuente: el autor.

5.4 73028 El Humo

Hietogramas corta duración

Hay 26 tormentas cortas. Se encontraron dos comportamientos característicos. Cinco tormentas no pertenecen a ninguna familia y representan el 19,2% del total de tormentas.

Tipo 5C

Tiene 9 tormentas que representan 34,6% del total.

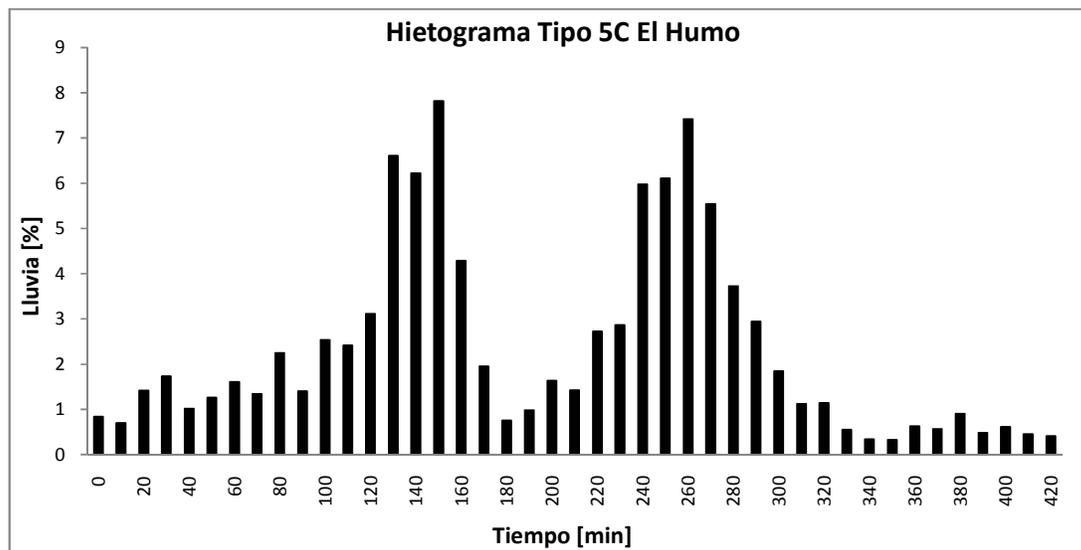


Figura 5.15. Hietograma característico Tipo 5C El Humo.

Fuente: el autor.

Tipo 4C

Tiene 12 tormentas que representan 46,2% del total.

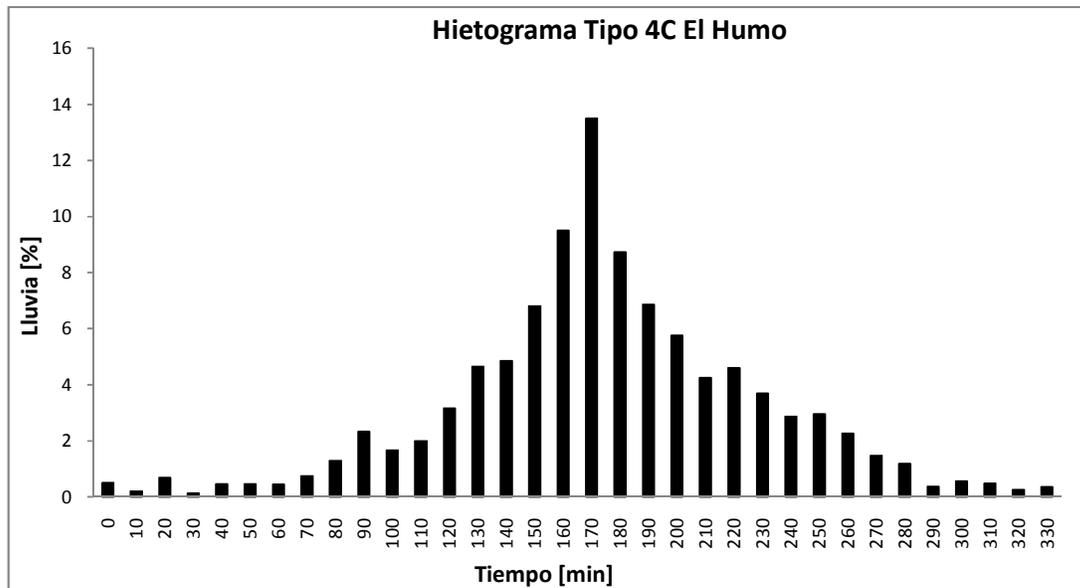


Figura 5.16. Hietograma característico Tipo 4C El Humo.

Fuente: el autor.

Hietogramas larga duración

Hay 14 tormentas de larga duración. Se encontró un comportamiento característico con 11 tormentas que representan un 79% del total. Tres tormentas no concuerdan con este comportamiento y representan 21% del total de tormentas.

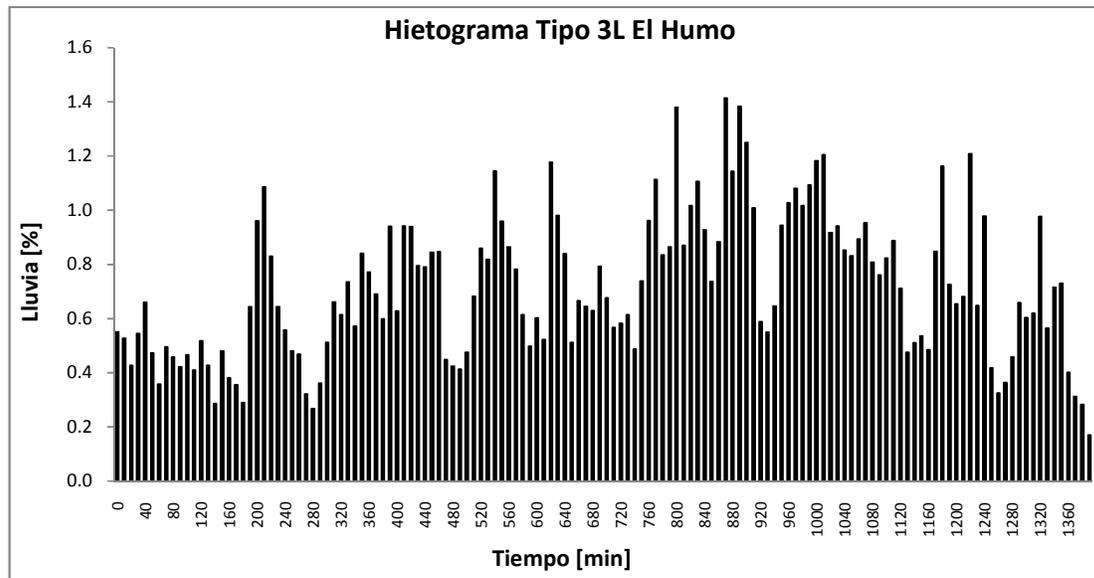


Figura 5.17. Hietograma característico Tipo 3L El Humo.

Fuente: el autor.

5.5 73029 Embalse – El Llano (río Macho)

Hietogramas corta duración

Hay 31 tormentas. Se encontraron dos comportamientos característicos definidos. Hay 7 tormentas que no se ajustan a dichos comportamientos y representan 22,6% del total de tormentas.

Tipo 4C

Tiene 17 tormentas que representan 54,8% del total.

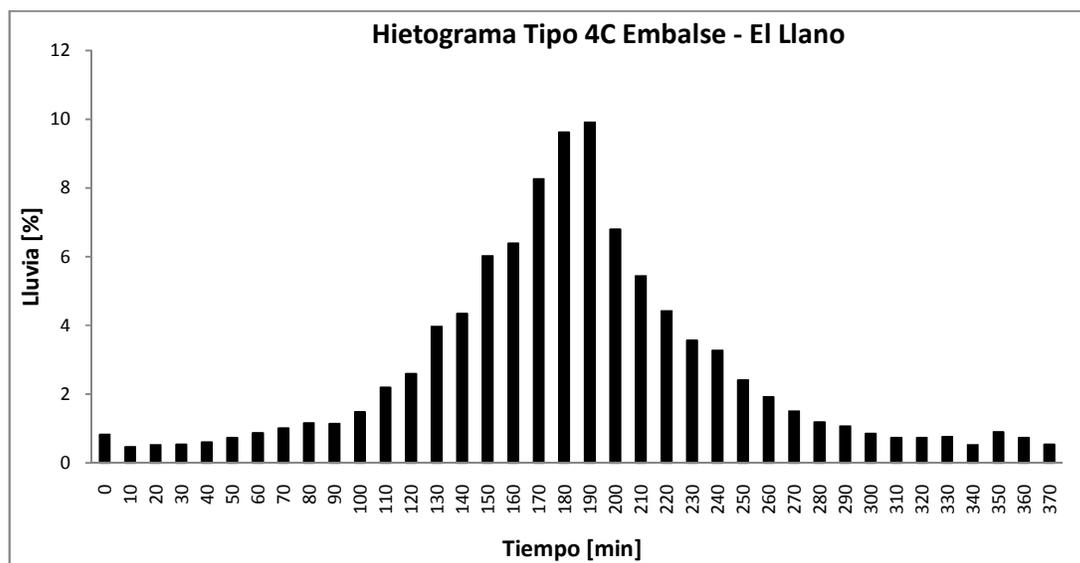


Figura 5.18. Hietograma característico Tipo 4C Embalse - El Llano.

Fuente: el autor.

Tipo 5C

Tiene 7 tormentas que representan 22,6% del total.

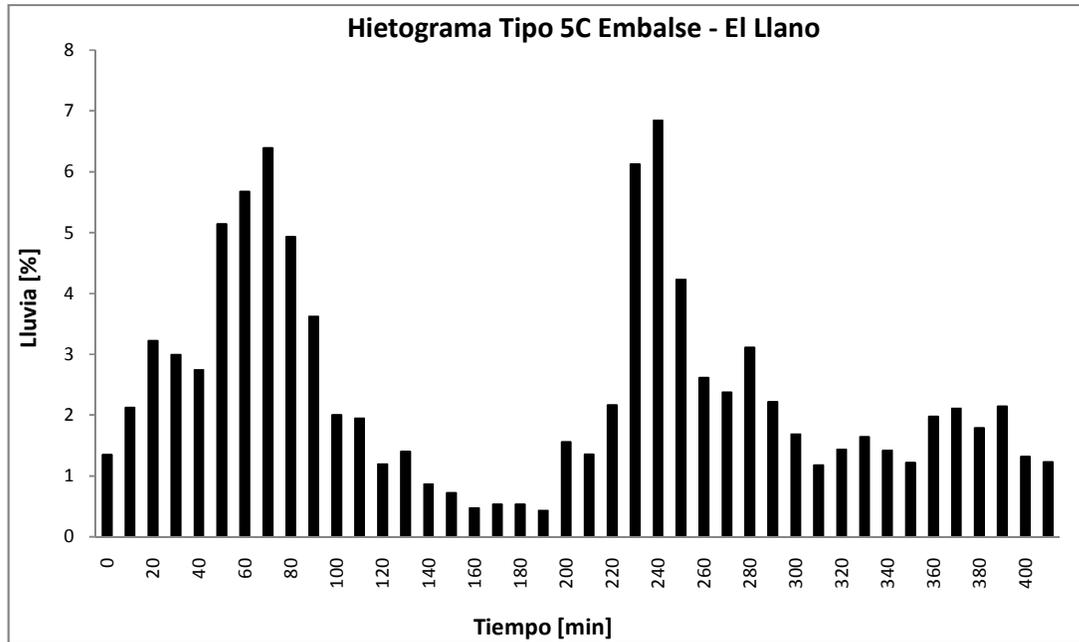


Figura 5.19. Hietograma característico Tipo 5C Embalse - El Llano.

Fuente: el autor.

Hietogramas larga duración

Hay nueve tormentas de larga duración. Se encontraron dos comportamientos característicos. Una tormenta no se ajusta a ningún comportamiento y representa 11,1% del total de tormentas.

Tipo 3L

Tiene 6 tormentas que representan 66,7% del total.

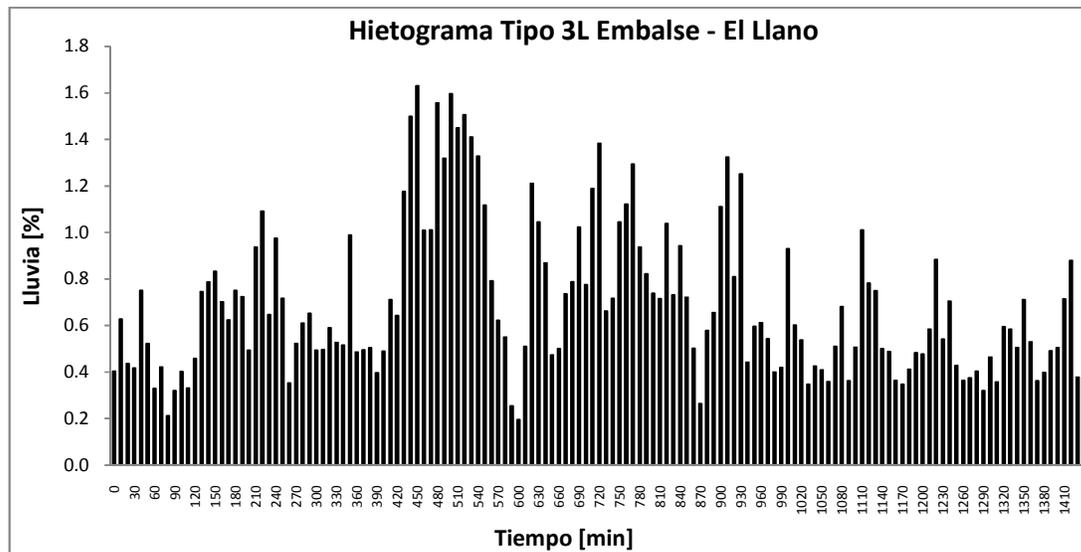


Figura 5.20. Hietograma característico Tipo 3L Embalse - El Llano.

Fuente: el autor.

Tipo 5L

Tiene 2 tormentas que representan 22,2% del total.

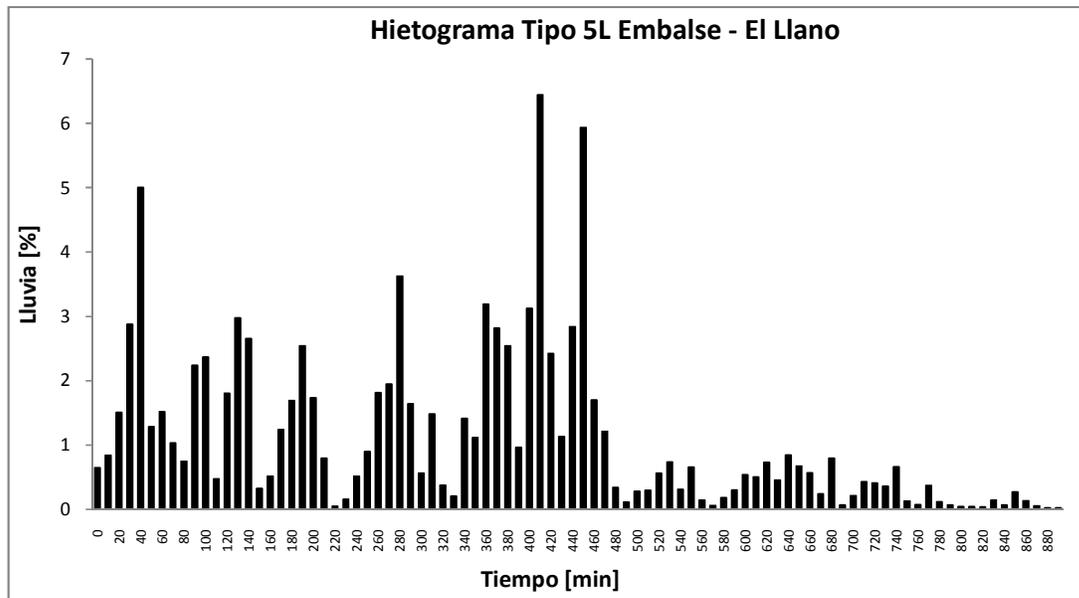


Figura 5.21. Hietograma característico Tipo 5L Embalse - El Llano.

Fuente: el autor.

5.6 73033 Villa Mills

Hietogramas corta duración

Hay 25 tormentas de corta duración. Se encontraron dos comportamientos característicos. Ocho tormentas no se ajustan a ningún comportamiento y representan 32% del total de tormentas.

Tipo 1C

Tiene 12 tormentas que representan 48% del total.

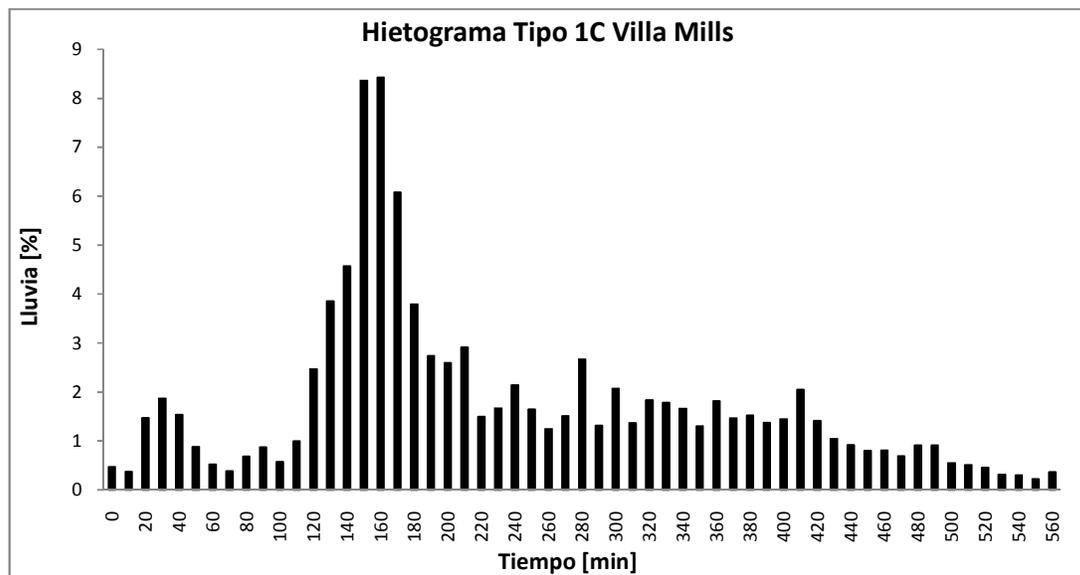


Figura 5.22. Hietograma característico Tipo 1C Villa Mills.

Fuente: el autor.

Tipo 5C

Tiene 5 tormentas que representan 20% del total.

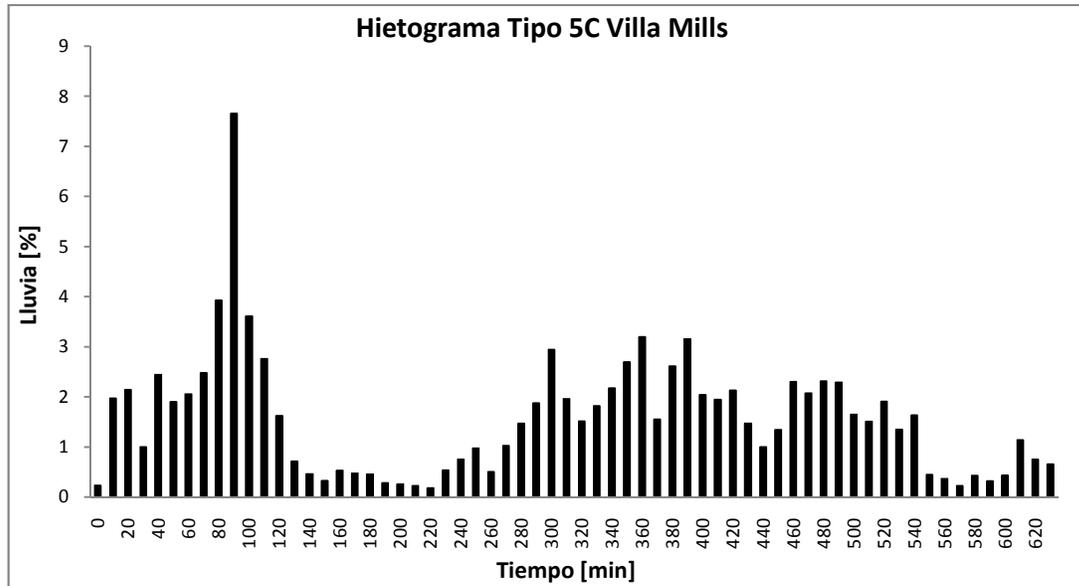


Figura 5.23. Hietograma característico Tipo 5C Villa Mills.

Fuente: el autor.

Hietogramas larga duración

Hay 15 tormentas de larga duración. Se encontraron dos comportamientos característicos. Cuatro tormentas no se identificaron con los comportamientos característicos y representan 26,7% del total de tormentas.

Tipo 1L

Tiene 4 tormentas que representan 26,7% del total.

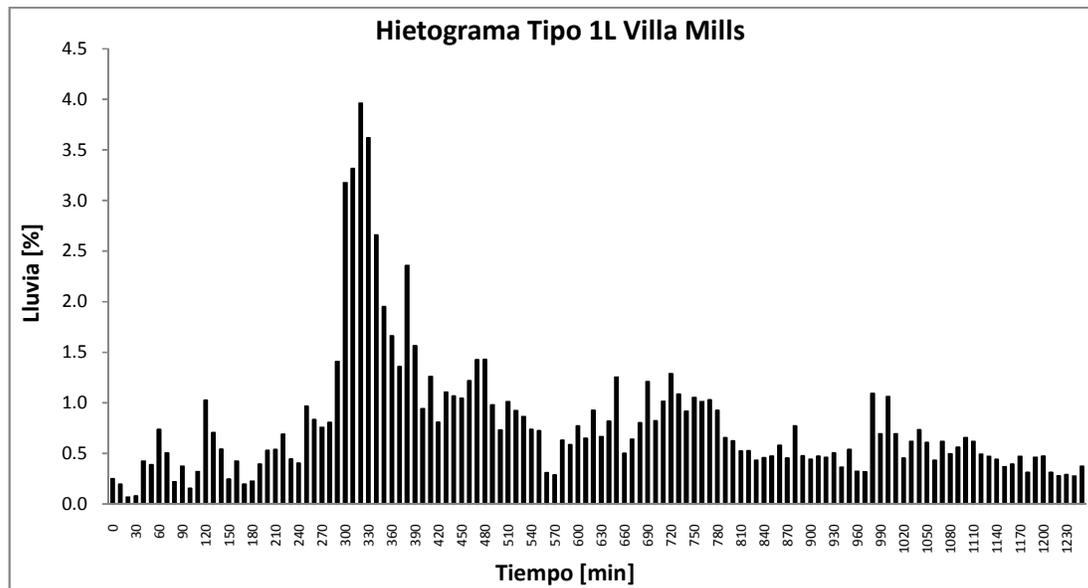


Figura 5.24. Hietograma característico Tipo 1L Villa Mills.

Fuente: el autor.

Tipo 2L

Tiene 7 tormentas que representan 46,6% del total.

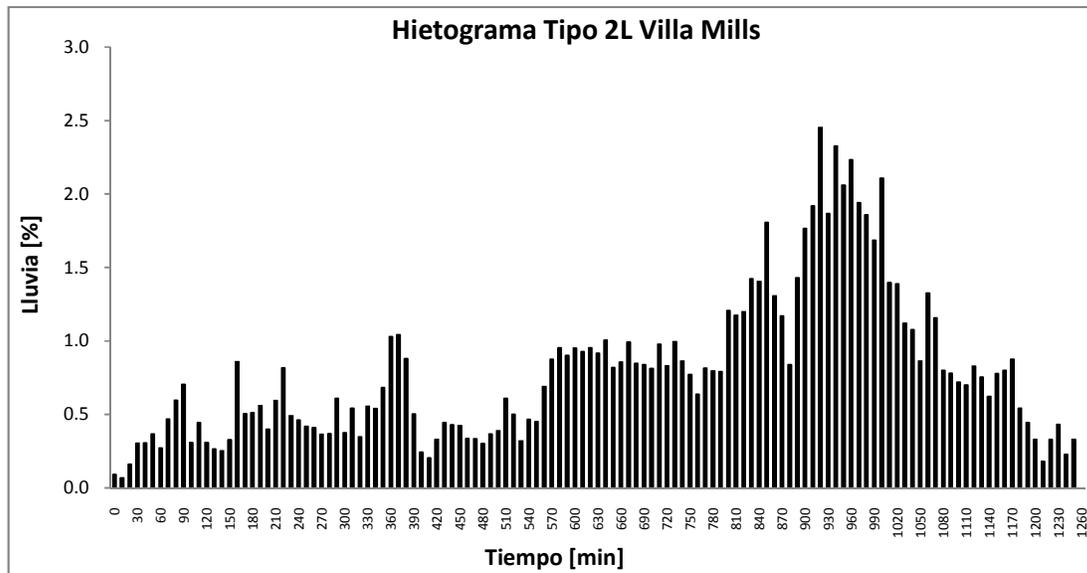


Figura 5.25. Hietograma característico Tipo 2L Villa Mills.

Fuente: el autor.

5.7 73039 Tres de Junio

Hietogramas corta duración

Hay 17 tormentas de corta duración. Se encontraron dos comportamientos característicos. Hay dos tormentas que no se ajustan a ningún comportamiento, una de ellas se descartó por un error en el comportamiento de la aguja del pluviógrafo. Estas dos tormentas representan el 11,8% del total de tormentas.

Tipo 4C

Tiene 6 tormentas que representan 35,3% del total.

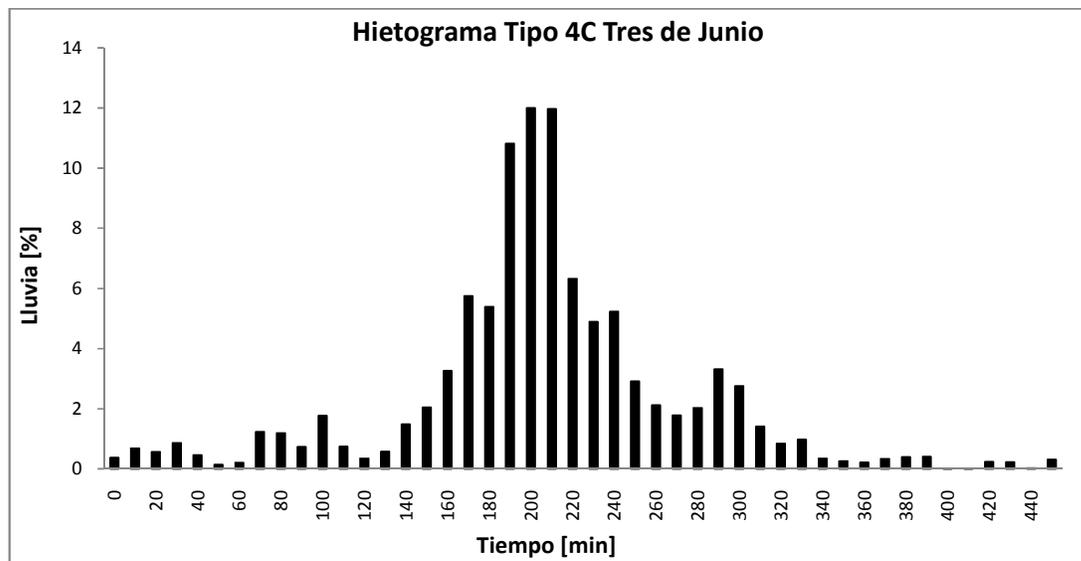


Figura 5.26. Hietograma característico Tipo 4C Tres de Junio.

Fuente: el autor.

Tipo 5C

Tiene 9 tormentas que representan 52,9% del total.

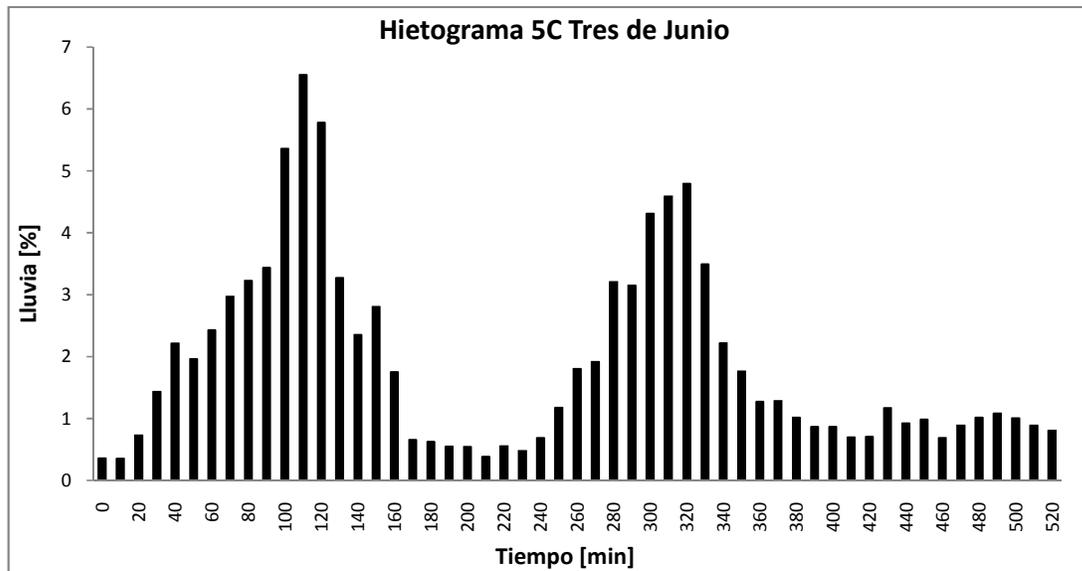


Figura 5.27. Hietograma característico Tipo 5C Tres de Junio.

Fuente: el autor.

Hietogramas larga duración

Hay 23 tormentas de larga duración. Se encontraron 2 comportamientos característicos. Tres tormentas tienen un patrón atípico y representan 13% del total de tormentas.

Tipo 3L

Tiene 13 tormentas que representan 56,6% del total.

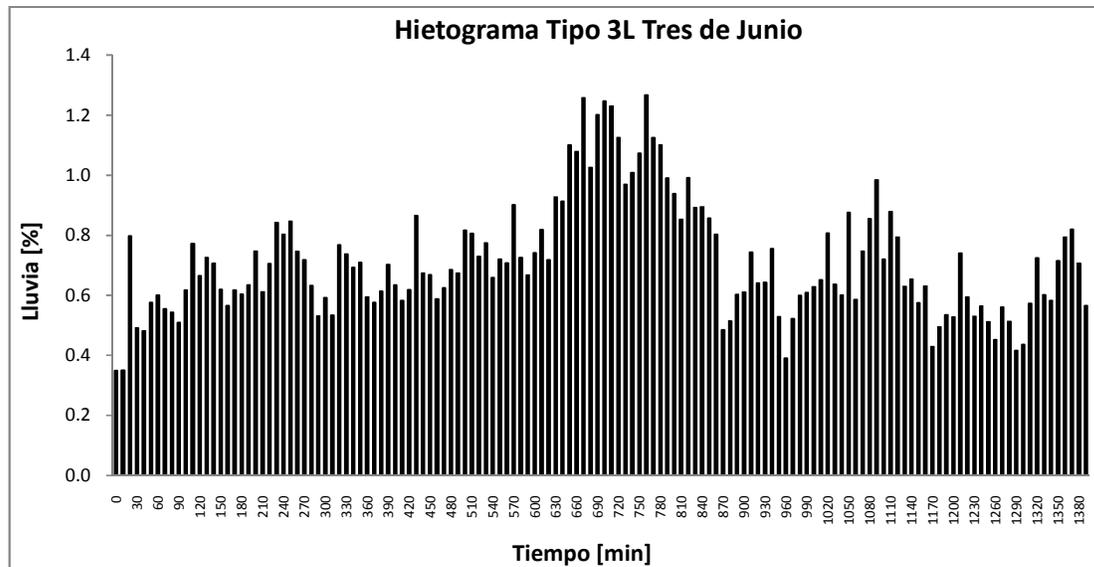


Figura 5.28. Hietograma característico Tipo 3L Tres de Junio.

Fuente: el autor.

Tipo 1L

Tiene 7 tormentas que representan 30,4% del total.

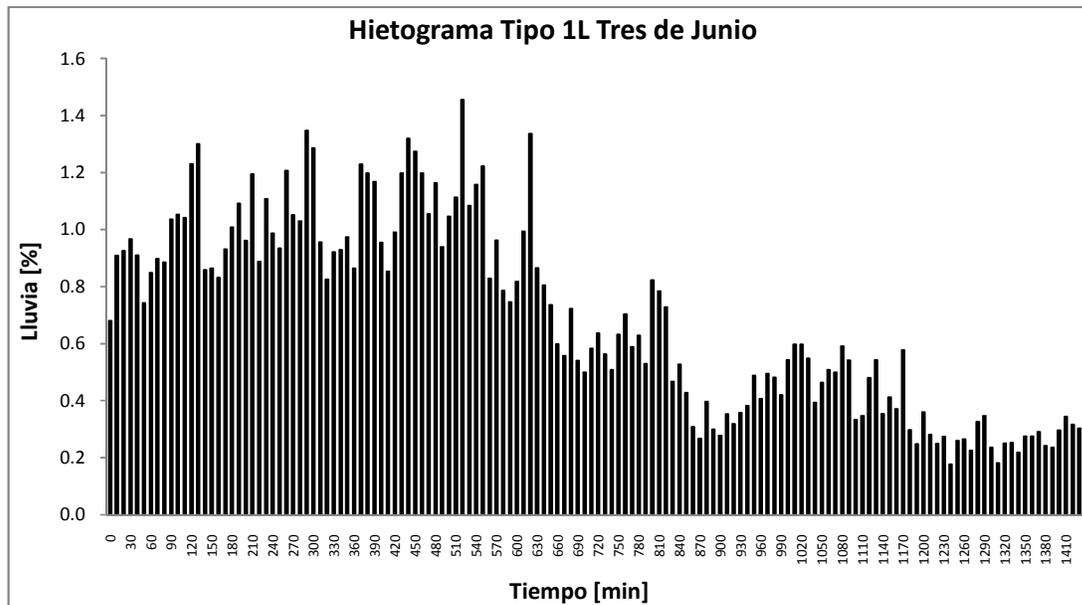


Figura 5.29. Hietograma característico Tipo 1L Tres de Junio.

Fuente: el autor.

5.8 73041 La Cangreja

Hietograma corta duración

Hay 37 tormentas. Se encontró un comportamiento característico con 25 tormentas que representan un 67,6% del total. Doce tormentas no se ajustan a este comportamiento y representan 32,4% del total de tormentas.

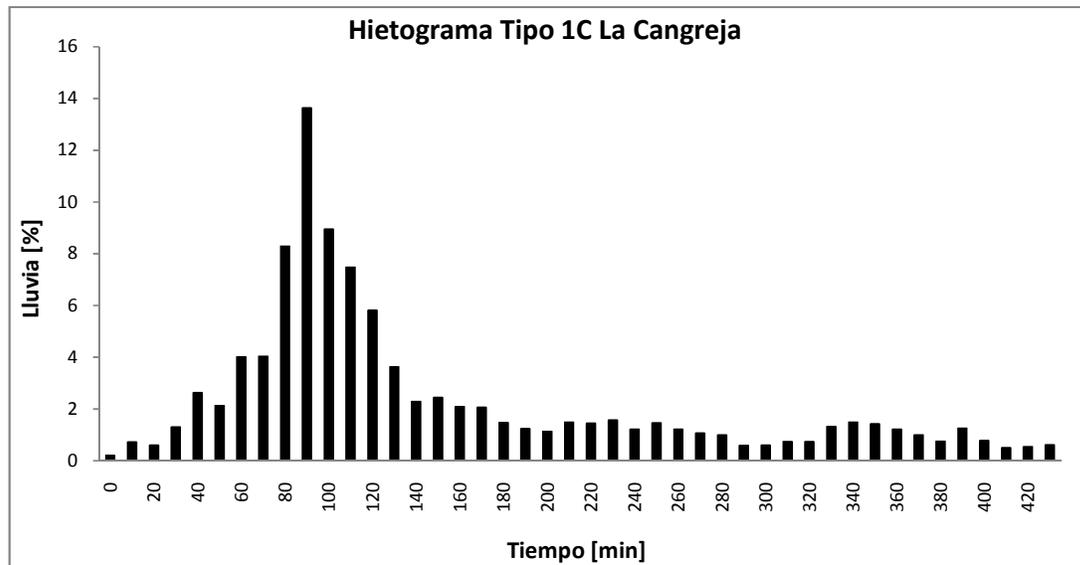


Figura 5.30. Hietograma característico Tipo 1C La Cangreja.

Fuente: el autor.

Hietograma larga duración

Hay 3 tormentas de larga duración. Se encontraron dos comportamientos característicos.

Tipo 2L

Tiene dos tormentas que representan el 66,7% del total.

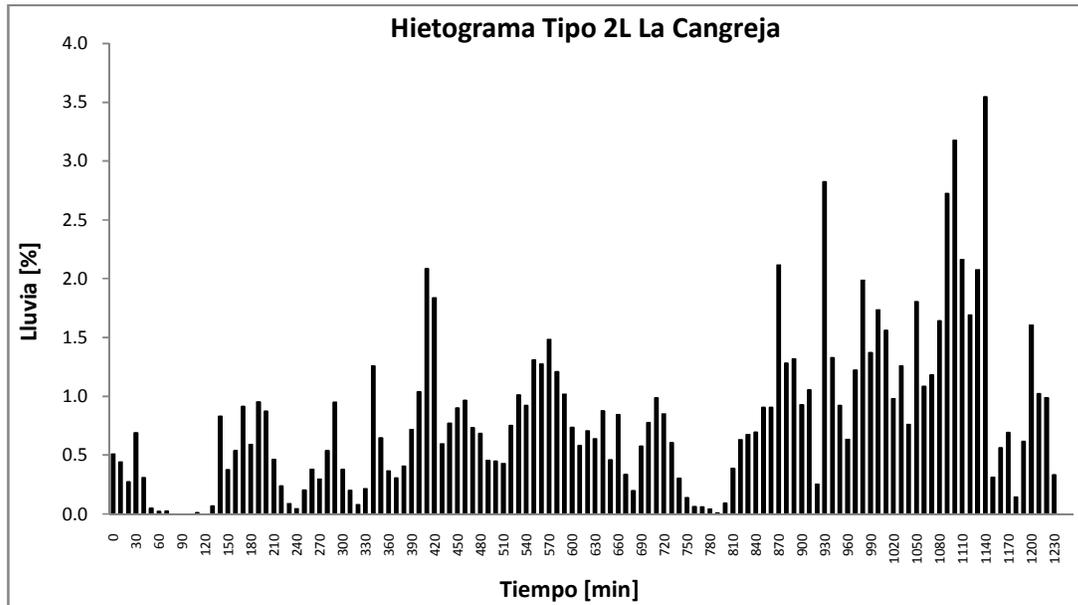


Figura 5.31. Hietograma característico Tipo 2L La Cangreja.

Fuente: el autor.

Tipo 1Lb

Tiene 1 tormenta que corresponde al 15 de julio de 1989. Representa 33,3% del total.

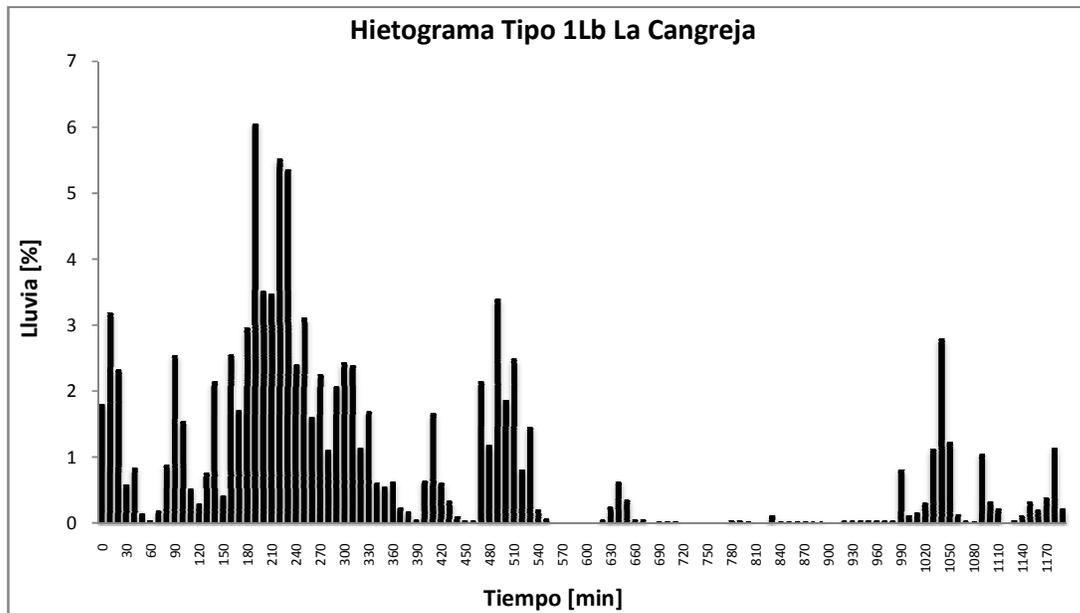


Figura 5.32. Hietograma característico Tipo 1Lb La Cangreja.

Fuente: el autor.

5.9 73044 La Suiza

Hietogramas corta duración

Hay 15 tormentas de corta duración. Se encontraron 3 comportamientos característicos. Tres tormentas no se ajustan a estos comportamientos y representan el 20% del total de tormentas.

Tipo 5C

Tiene 6 tormentas que representan 40% del total.

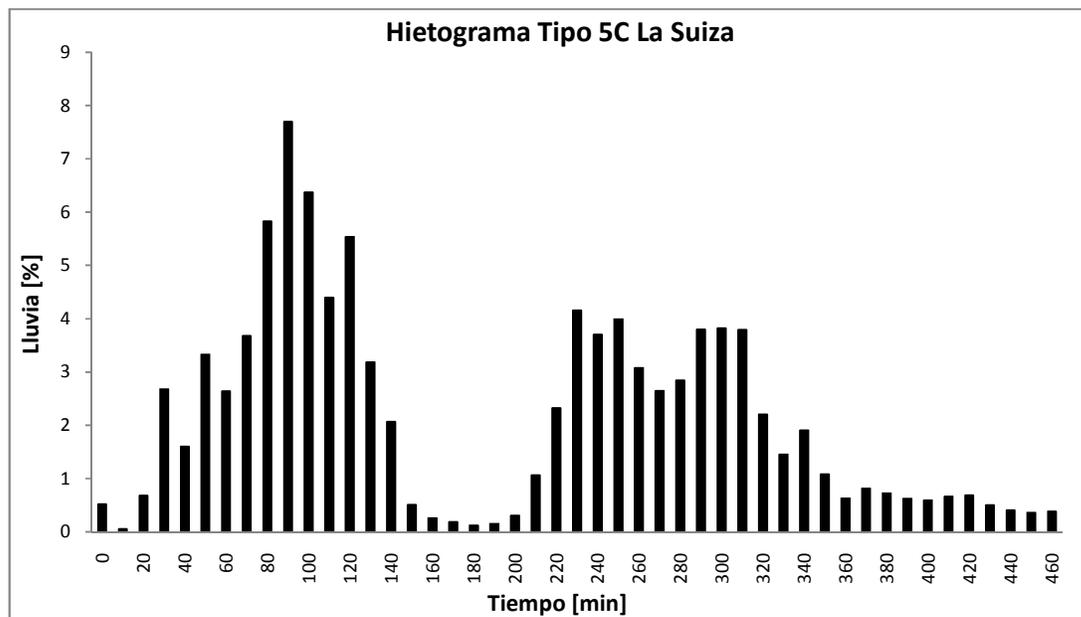


Figura 5.33. Hietograma característico Tipo 5C La Suiza.

Fuente: el autor.

Tipo 4C

Tiene 4 tormentas que representan 26,7% del total.

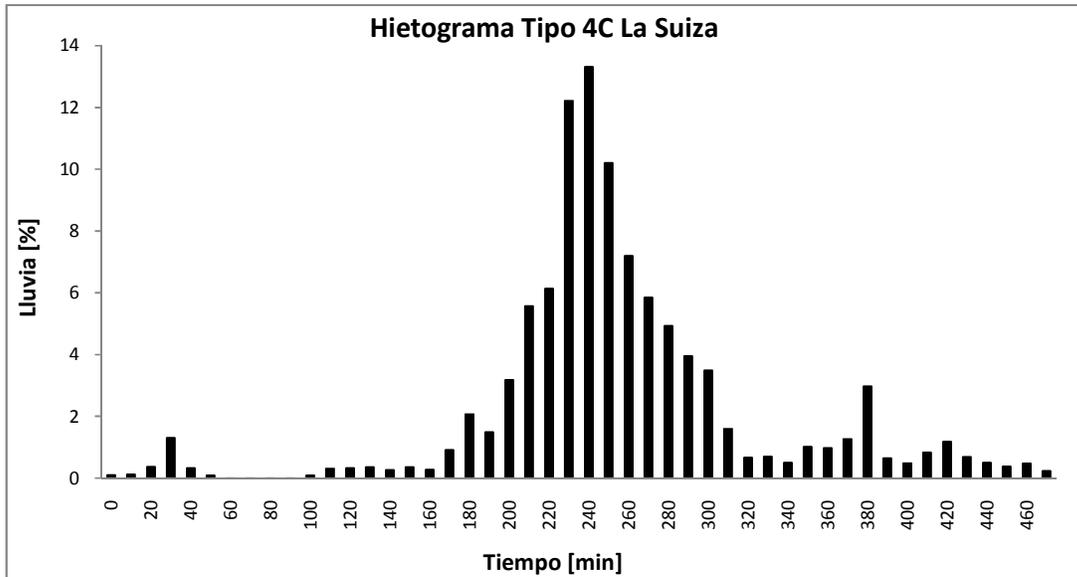


Figura 5.34. Hietograma característico Tipo 4C La Suiza.

Fuente: el autor.

Tipo 6C

Tiene 2 tormentas que representan 13,3% del total.

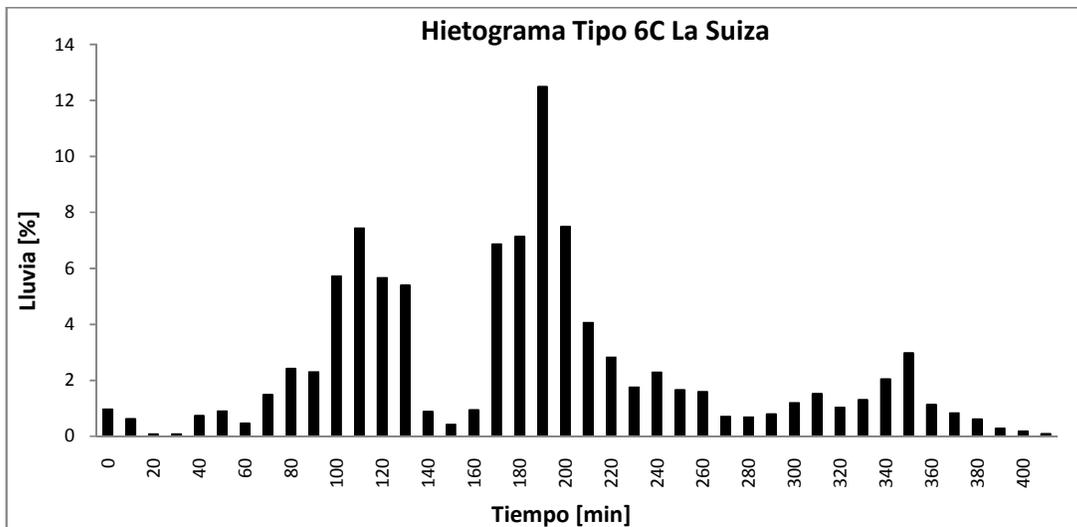


Figura 5.35. Hietograma característico Tipo 6C La Suiza.

Fuente: el autor.

Hietogramas larga duración

Hay 25 tormentas. Se encontraron cuatro comportamientos característicos.

Tipo 2L

Tiene 6 tormentas que representan un 24% del total.

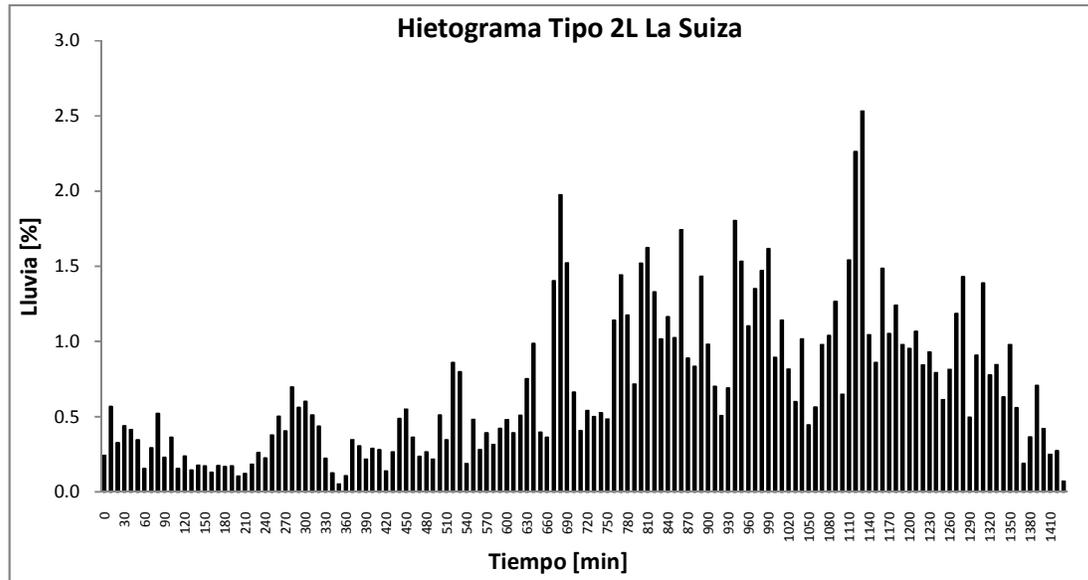


Figura 5.36. Hietograma característico Tipo 2L La Suiza.

Fuente: el autor.

Tipo 1L

Tiene 11 tormentas que representan un 44% del total.

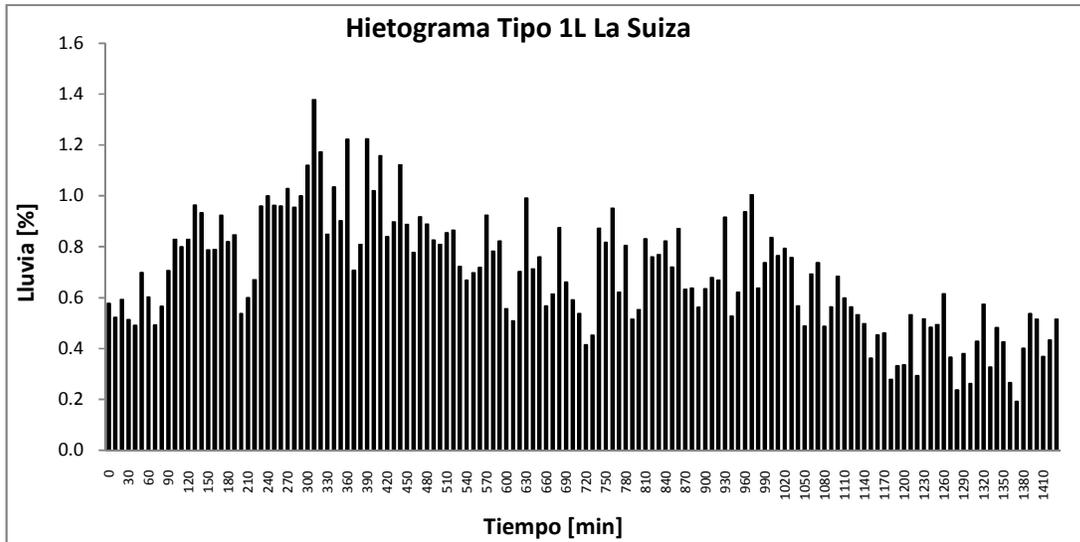


Figura 5.37. Hietograma característico Tipo 1L La Suiza.

Fuente: el autor.

Tipo 4L

Tiene 4 tormentas que representan un 16% del total.

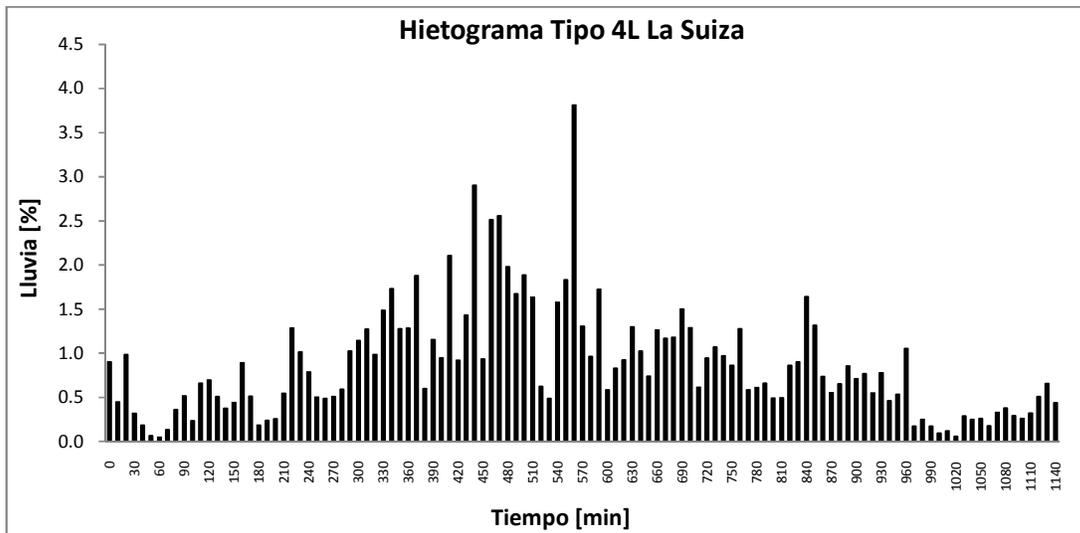


Figura 5.38. Hietograma característico Tipo 4L La Suiza.

Fuente: el autor.

Tipo 7L

Tiene 4 tormentas que representan un 16% del total.

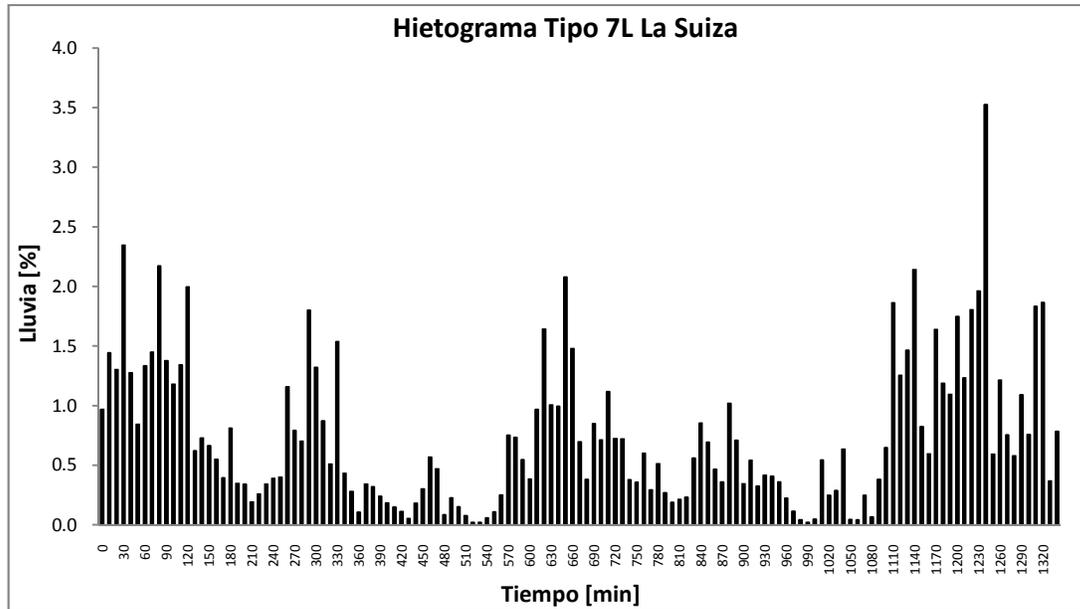


Figura 5.39. Hietograma característico Tipo 7L La Suiza.

Fuente: el autor.

5.10 73046 Cachí (Plantel)

Hietogramas corta duración

Hay 21 tormentas de corta duración. Se encontraron tres comportamientos característicos. Tres tormentas no se ajustan a estos comportamientos y representan 14,3% del total de tormentas.

Tipo 1C

Tiene 6 tormentas que representan el 28,6% del total.

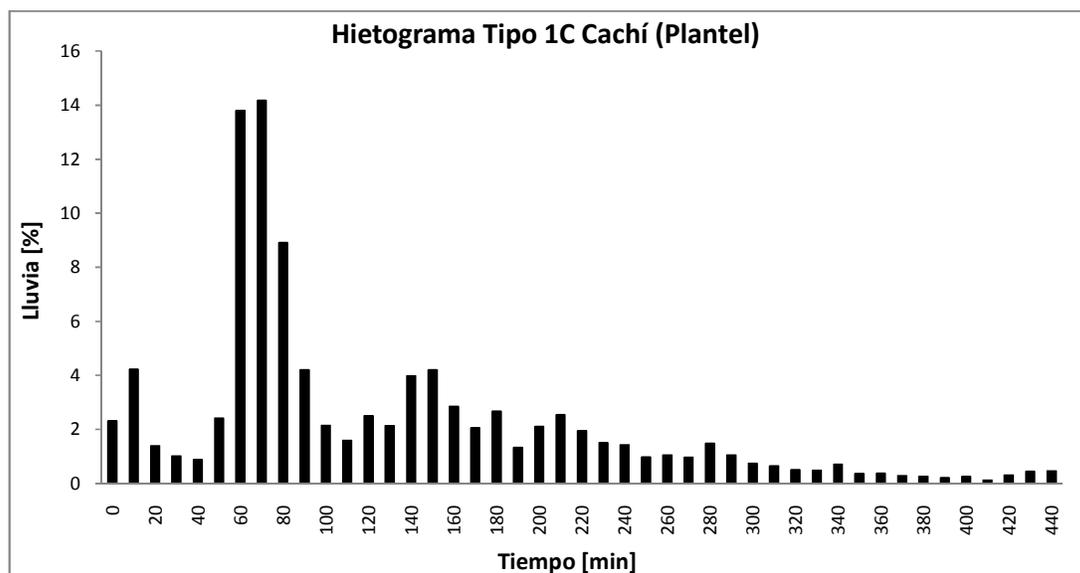


Figura 5.40. Hietograma característico Tipo 1C Cachí (Plantel).

Fuente: el autor.

Tipo 6C

Tiene 4 tormentas que representan el 19% del total.

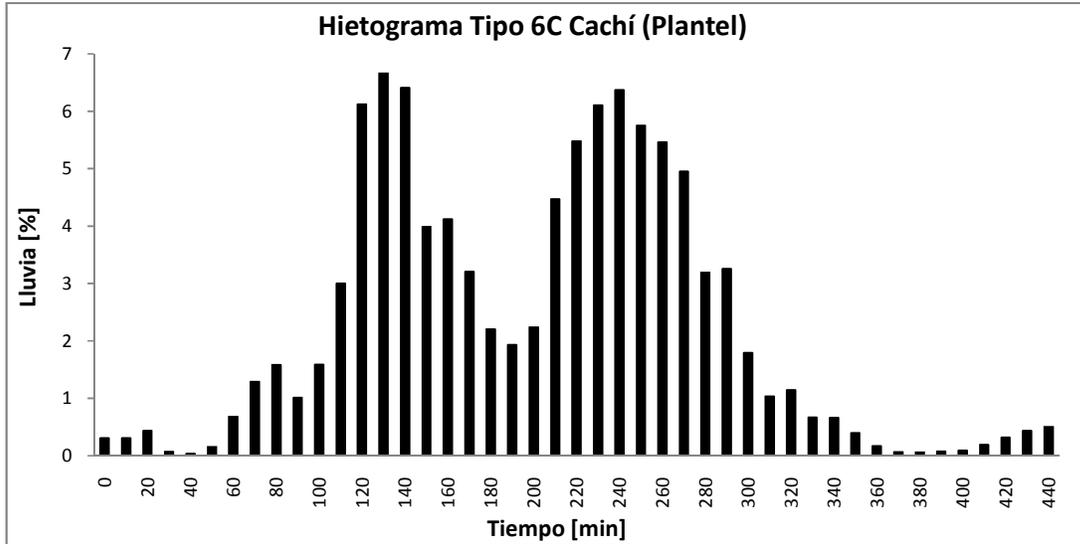


Figura 5.41. Hietograma característico Tipo 6C Cachí (Plantel).

Fuente: el autor.

Tipo 4C

Tiene 8 tormentas que representan el 38,1% del total.

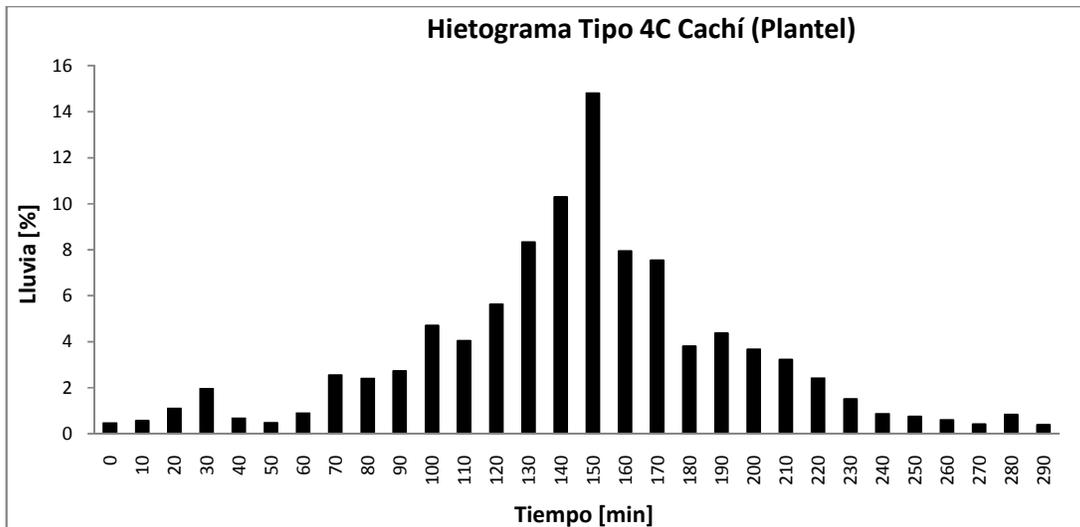


Figura 5.42. Hietograma característico Tipo 4C Cachí.

Fuente: el autor.

Hietogramas larga duración

Hay 19 tormentas de larga duración. Se encontraron tres comportamientos característicos.

Tipo 3L

Tiene 11 tormentas que representan el 57,8% del total.

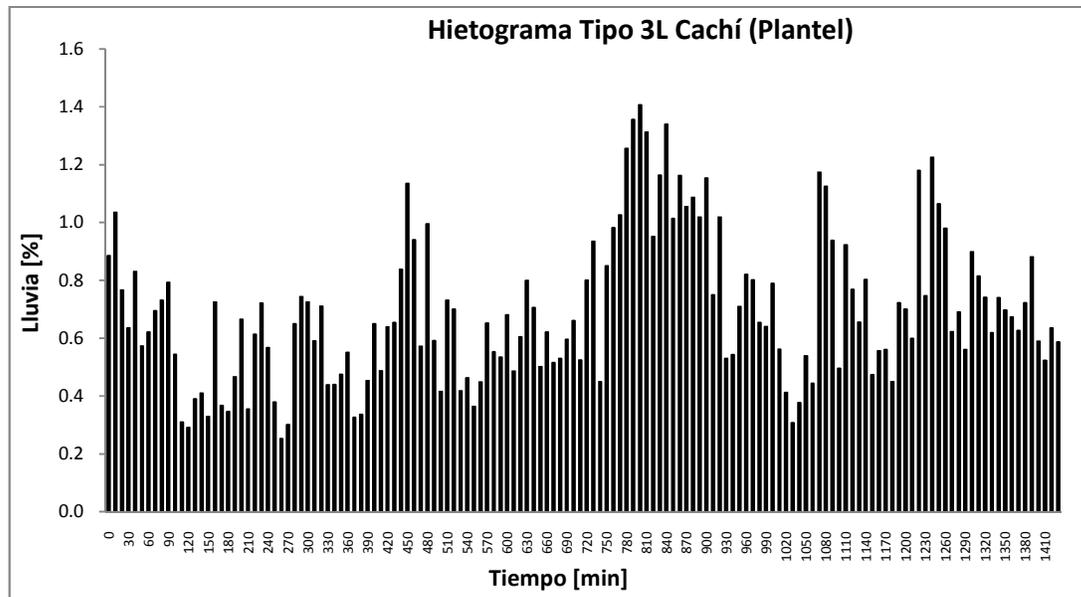


Figura 5.43. Hietograma característico Tipo 3L Cachí (Plantel).

Fuente: el autor.

Tipo 6L

Tiene 4 tormentas que representan el 21,1% del total.

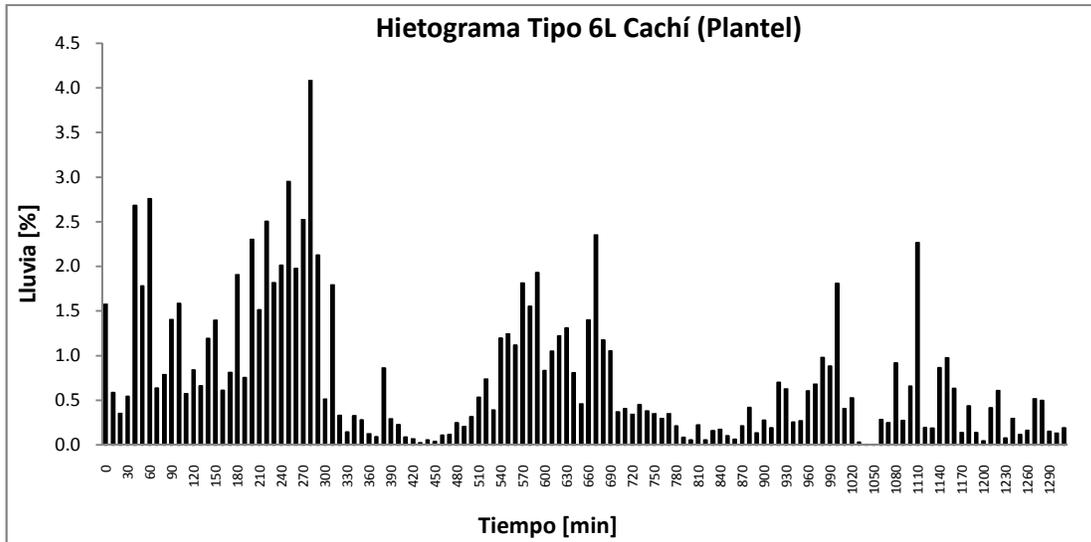


Figura 5.44. Hietograma característico Tipo 6L Cachí.

Fuente: el autor.

Tipo 4L

Tiene 4 tormentas que representan el 21,1% del total.

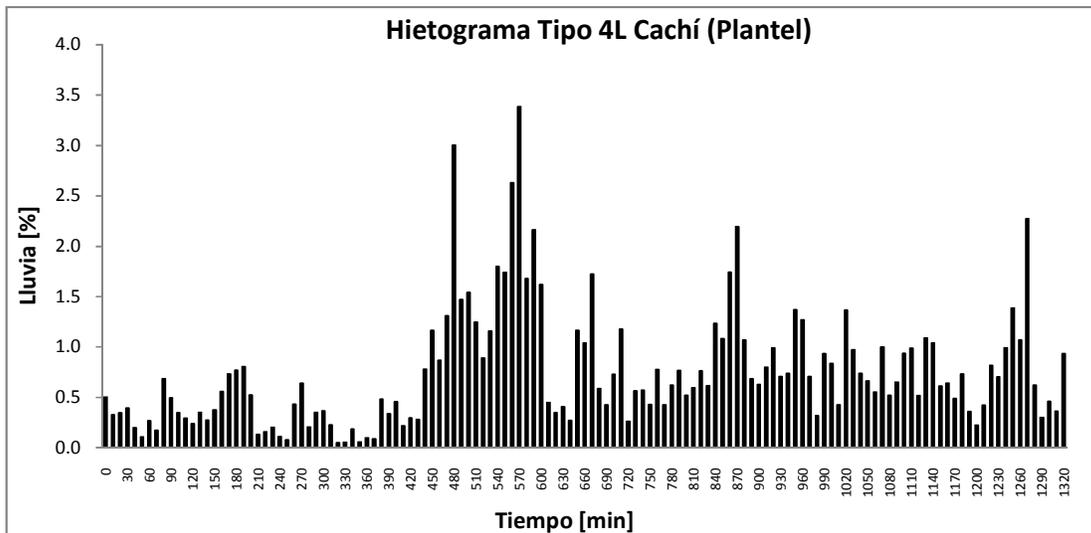


Figura 5.45. Hietograma característico Tipo 4L Cachí.

Fuente: el autor.

5.11 73047 Tucurrique

Hietogramas corta duración

Hay 17 tormentas de corta duración. Se encontraron tres comportamientos característicos. Cuatro tormentas no se ajustan a ningún comportamiento y representan 23,5% del total de tormentas.

Tipo 5C

Tiene 3 tormentas que representan 17,6% del total.

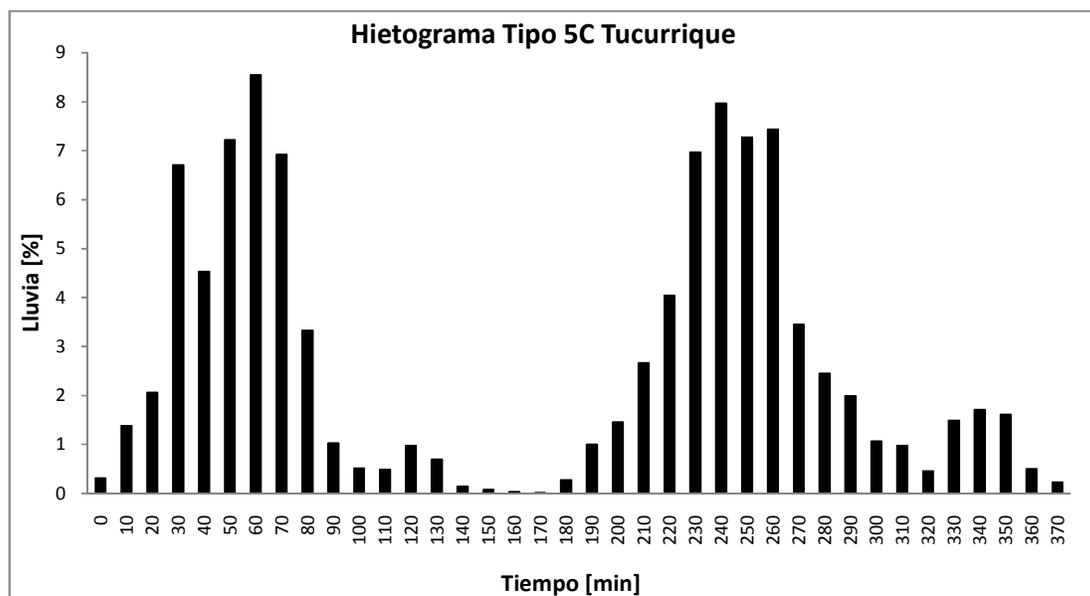


Figura 5.46. Hietograma característico Tipo 5C Tucurrique.

Fuente: el autor.

Tipo 7C

Tiene 3 tormentas que representan 17,6% del total.

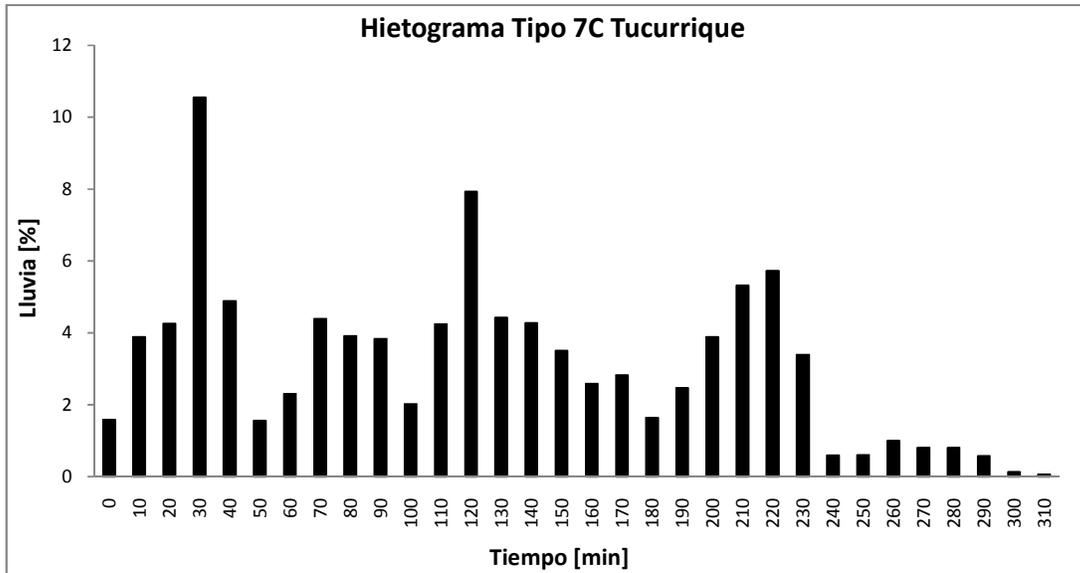


Figura 5.47. Hietograma característico Tipo 7C Tucurrique.

Fuente: el autor.

Tipo 1C

Tiene 7 tormentas que representan 41,3% del total.

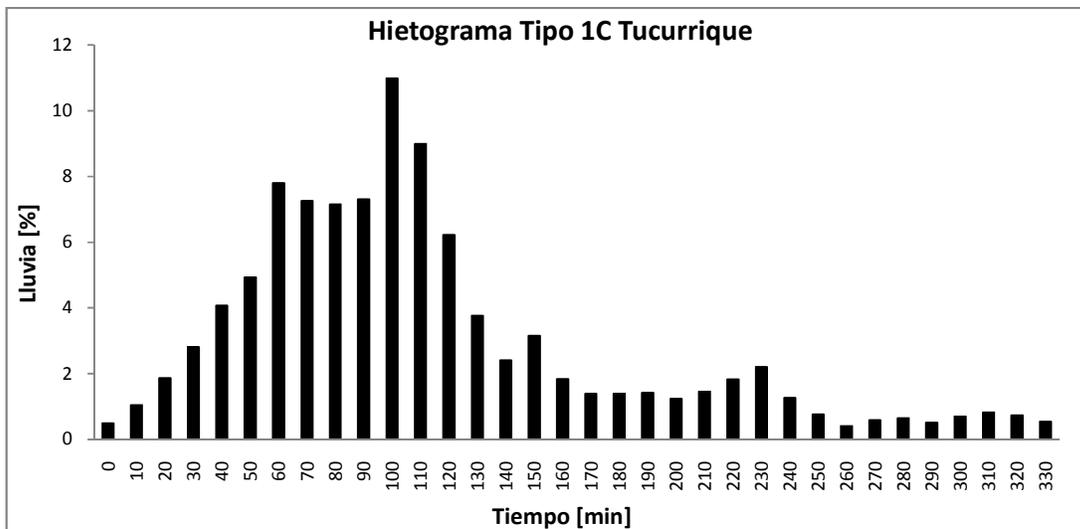


Figura 5.48. Hietograma característico Tipo 1C Tucurrique.

Fuente: el autor.

Hietogramas larga duración

Hay 23 tormentas de larga duración. Se encontraron 4 comportamientos característicos bien definidos. Tres tormentas presentan comportamientos distintos y representan 13% del total de tormentas.

Tipo 2L

Tiene 5 tormentas que representan el 21,7% del total.

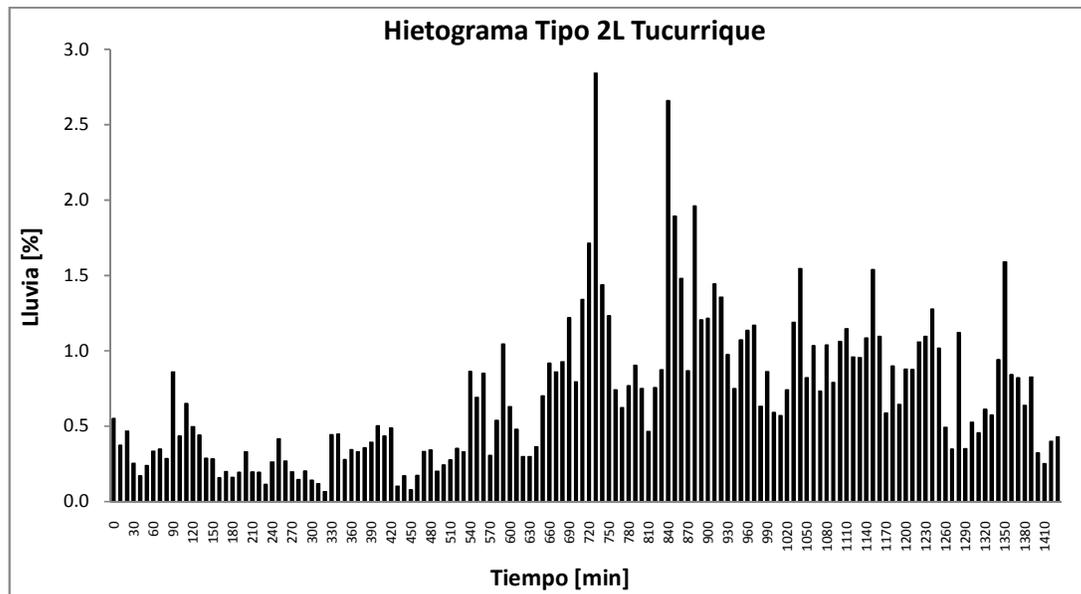


Figura 5.49. Hietograma característico Tipo 2L Tucurrique.

Fuente: el autor.

Tipo 3L

Tiene 5 tormentas que representan el 21,7% del total.

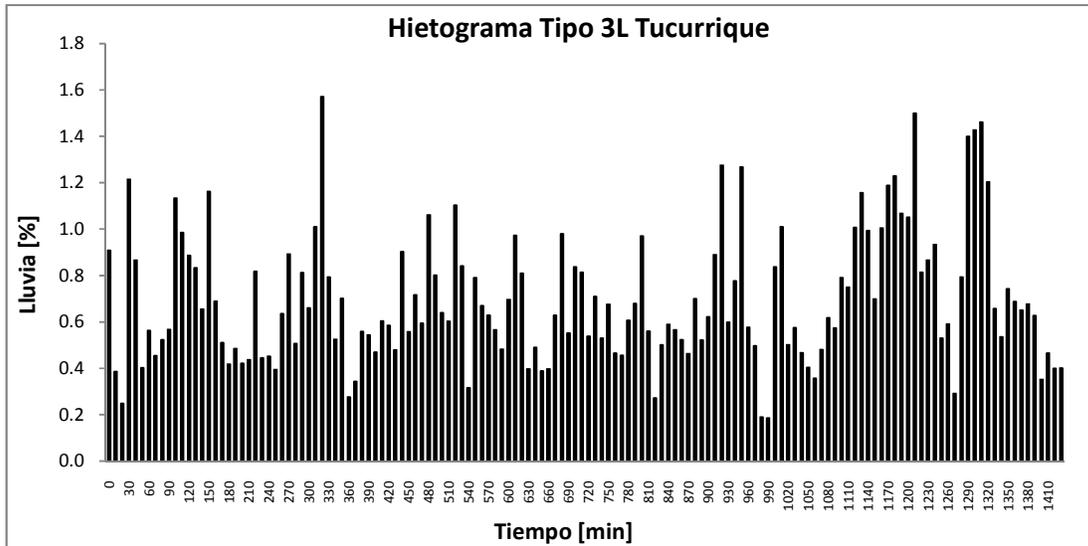


Figura 5.50. Hietograma característico Tipo 3L Tucurrique.

Fuente: el autor.

Tipo 5L

Tiene 6 tormentas que representan el 26,2% del total.

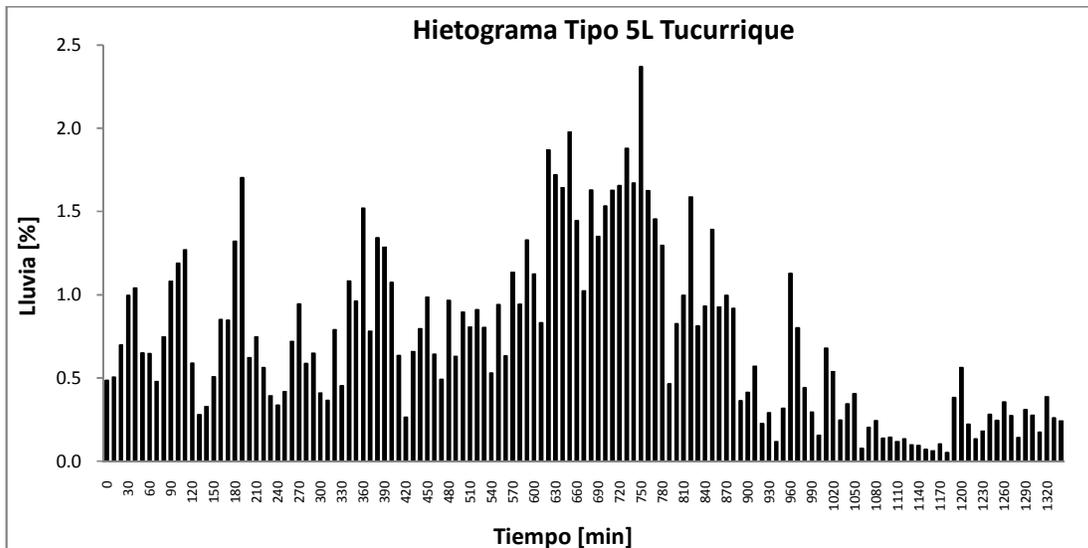


Figura 5.51. Hietograma característico Tipo 5L Tucurrique.

Fuente: el autor.

Tipo 8L

Tiene 4 tormentas que representan el 17,4% del total.

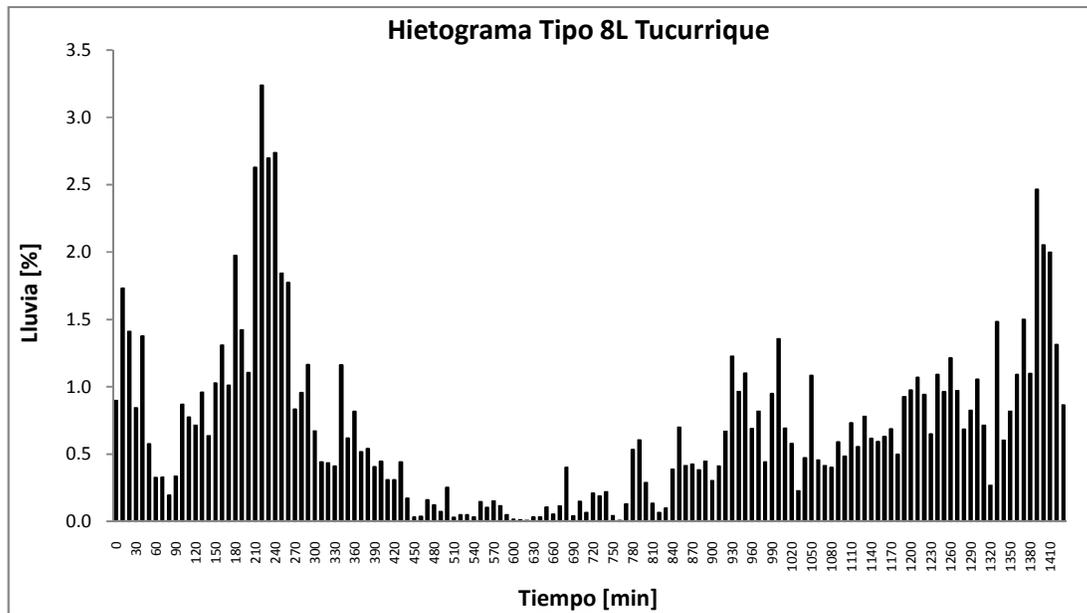


Figura 5.52. Hietograma característico Tipo 8L Tucurrique.

Fuente: el autor.

5.12 73074 San Antonio de Santa Cruz de Turrialba

Hietogramas corta duración

Hay 8 tormentas cortas. Se encontraron dos comportamientos característicos.

Tipo 4C

Tiene 6 tormentas que representan el 75% del total.

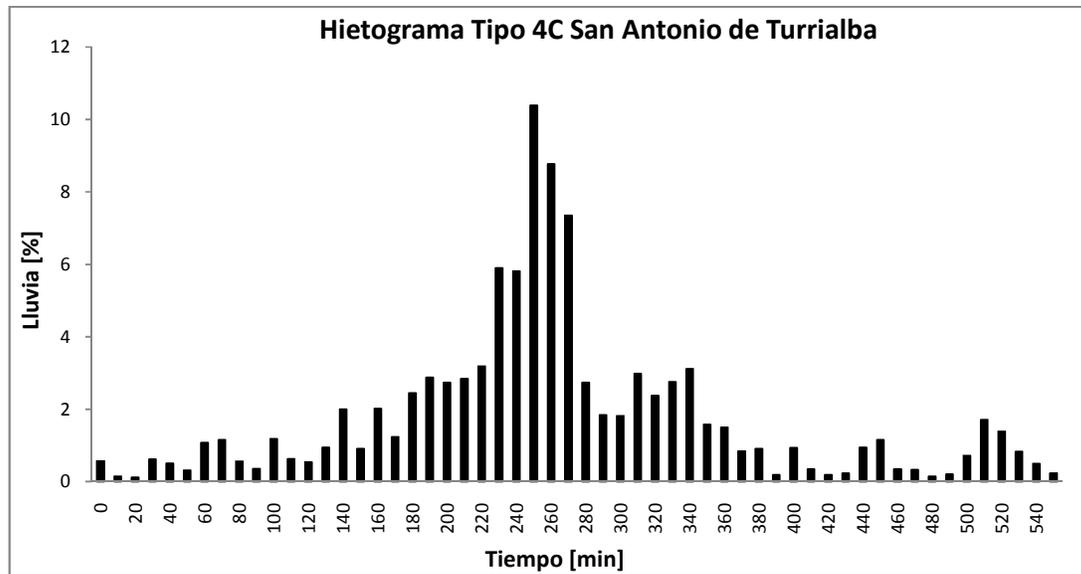


Figura 5.53. Hietograma característico Tipo 4C San Antonio de Turrialba.

Fuente: el autor.

Tipo 1C

Tiene 2 tormentas que representan el 25% del total.

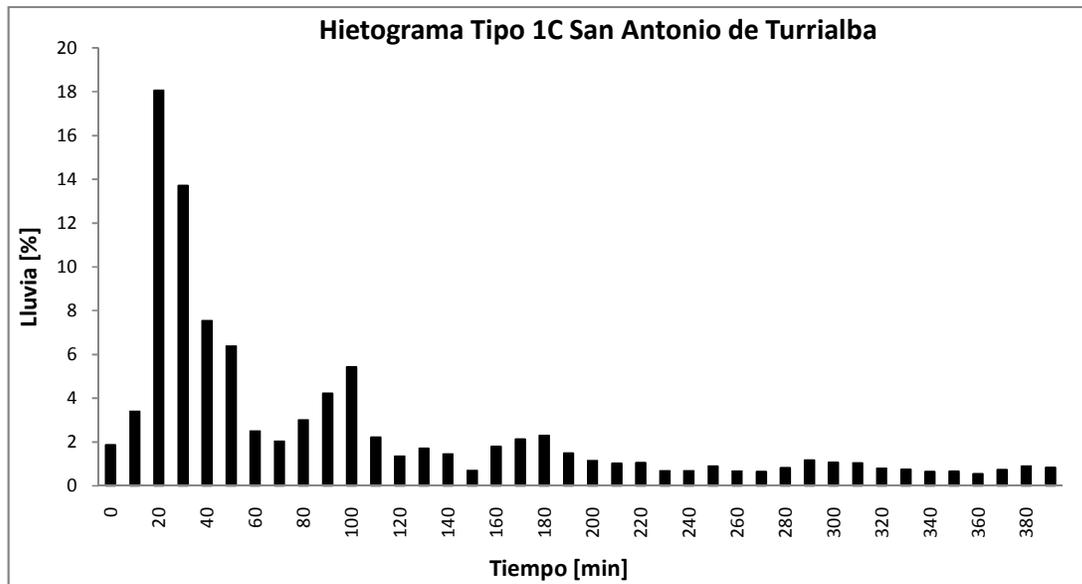


Figura 5.54. Hietograma característico Tipo 1C San Antonio de Turrialba.

Fuente: el autor.

Hietogramas larga duración

Hay 32 tormentas de larga duración. Se encontraron 4 comportamientos característicos. Tres tormentas no se ajustan a ningún comportamiento característico y representan 9,3% del total de tormentas.

Tipo 3L

Tiene 10 tormentas que representan el 31,2% del total.

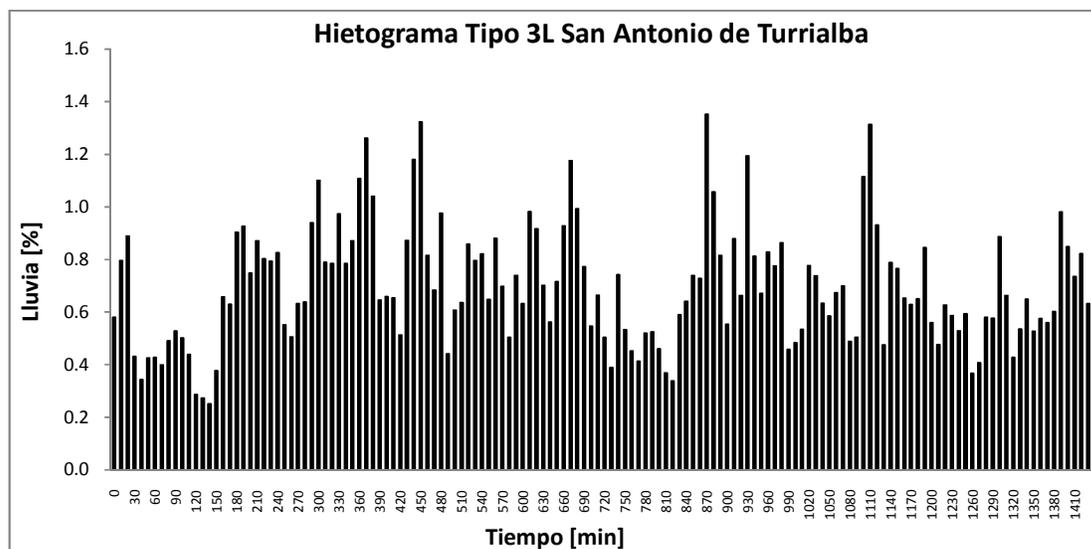


Figura 5.55. Hietograma característico Tipo 3L San Antonio de Turrialba.

Fuente: el autor.

Tipo 6L

Tiene 6 tormentas que representan el 18,8% del total.

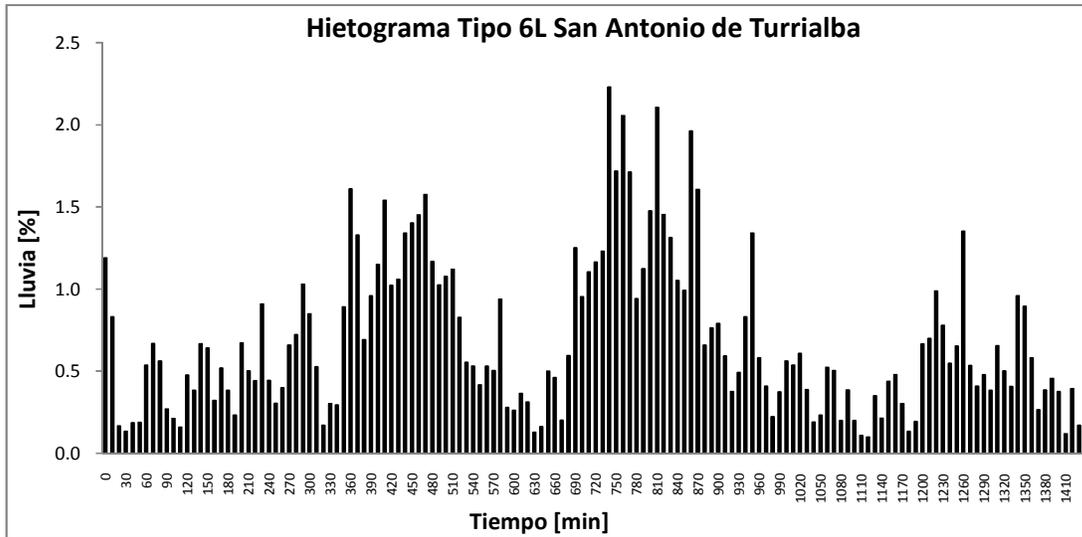


Figura 5.56. Hietograma característico Tipo 6L San Antonio de Turrialba.

Fuente: el autor.

Tipo 1L

Tiene 7 tormentas que representan el 21,9% del total.

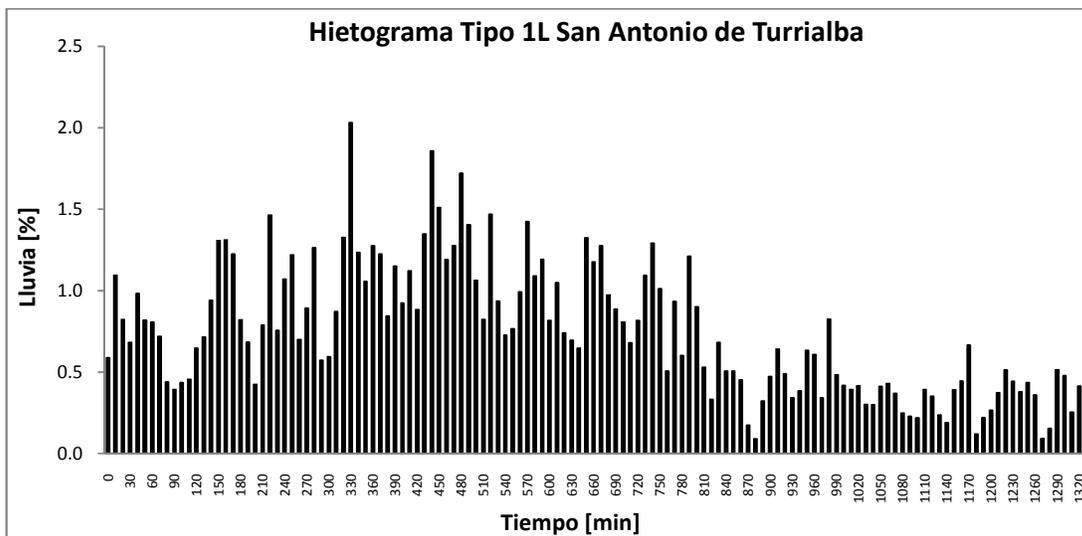


Figura 5.57. Hietograma característico Tipo 1L San Antonio de Turrialba.

Fuente: el autor.

Tipo 8L

Tiene 6 tormentas que representan el 18,8% del total.

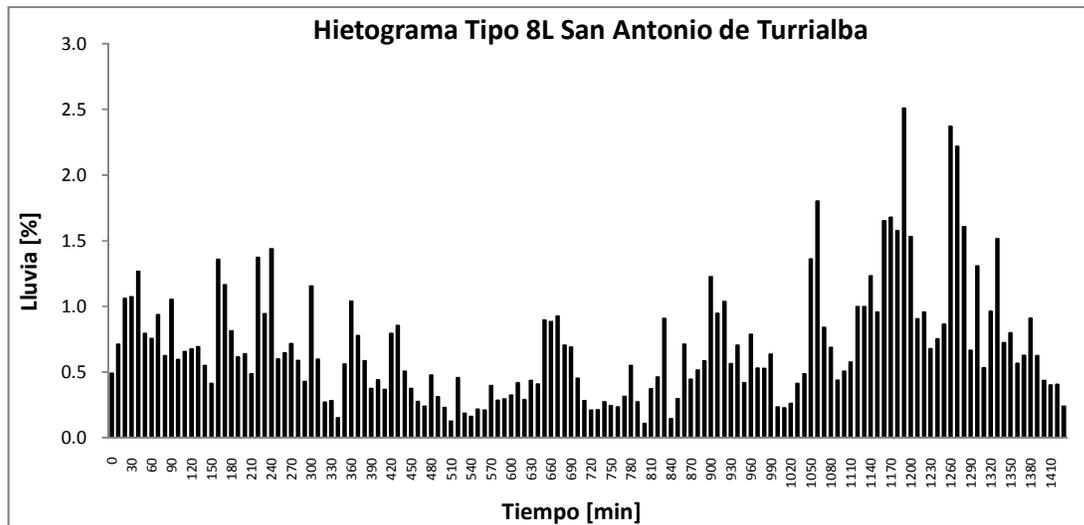


Figura 5.58. Hietograma característico Tipo 8L San Antonio de Turrialba.

Fuente: el autor.

5.13 73079 Oriente

Hietogramas corta duración

Hay 28 tormentas de corta duración. Se encontraron 3 comportamientos característicos. Siete tormentas no se ajustan a ningún comportamiento característico y representan 25% del total de tormentas.

Tipo 1C

Tiene 6 tormentas que representan un 21,4% del total.

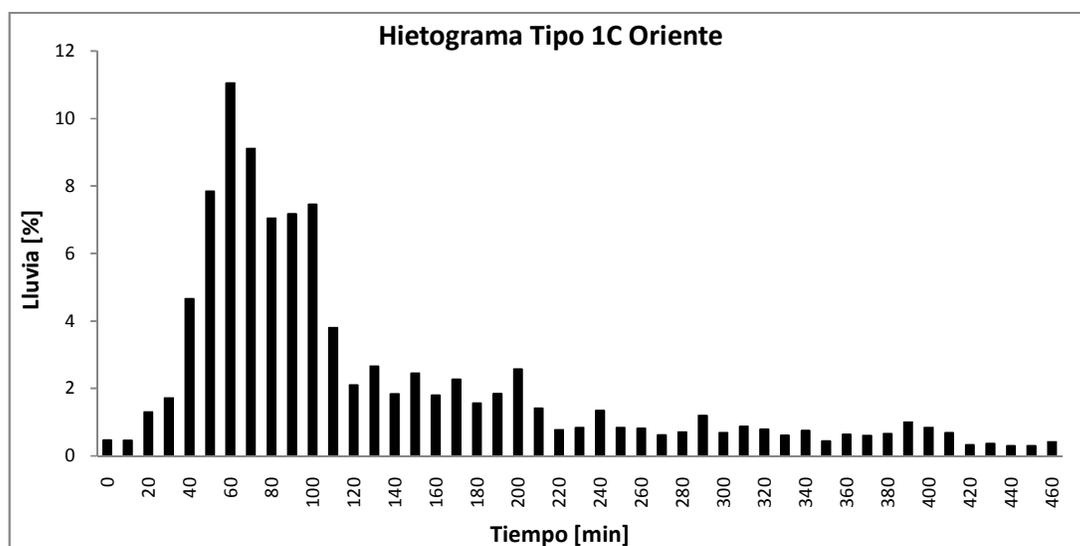


Figura 5.59. Hietograma característico Tipo 1C Oriente.

Fuente: el autor.

Tipo 4C

Tiene 10 tormentas que representan el 35,7% del total.

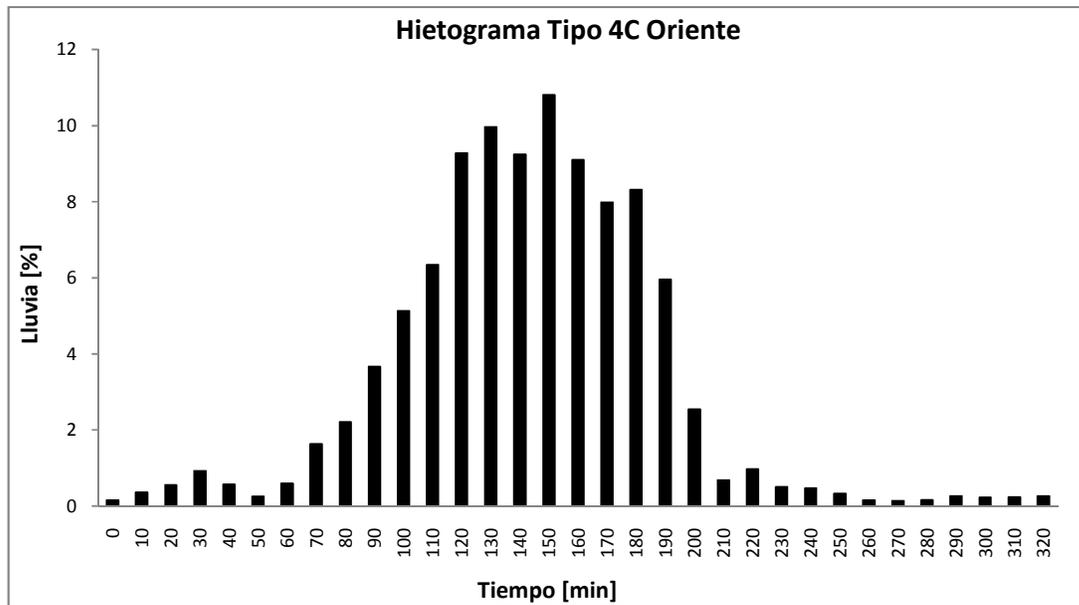


Figura 5.60. Hietograma característico Tipo 4C Oriente.

Fuente: el autor.

Tipo 6C

Tiene 5 tormentas que representan el 17,9% del total.

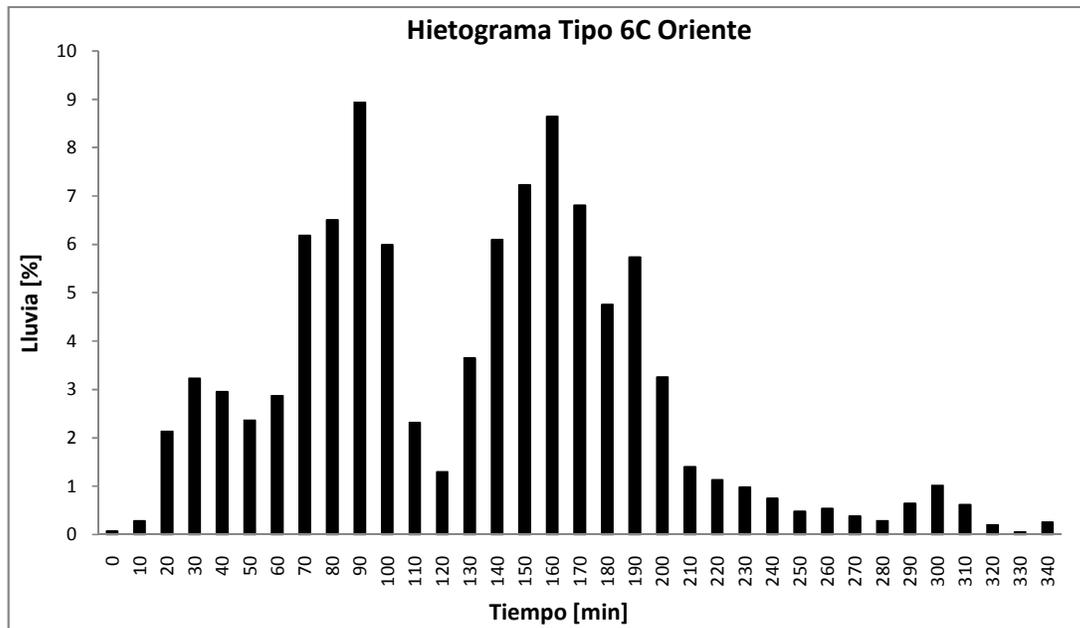


Figura 5.61. Hietograma característico Tipo 6C Oriente.

Fuente: el autor.

Hietogramas larga duración

Hay 12 tormentas de larga duración. Se encontraron dos comportamientos característicos. Una tormenta no se ajusta bien a estos comportamientos y representan 8,3% del total de tormentas.

Tipo 3L

Tiene 8 tormentas que representan 66,7% del total.

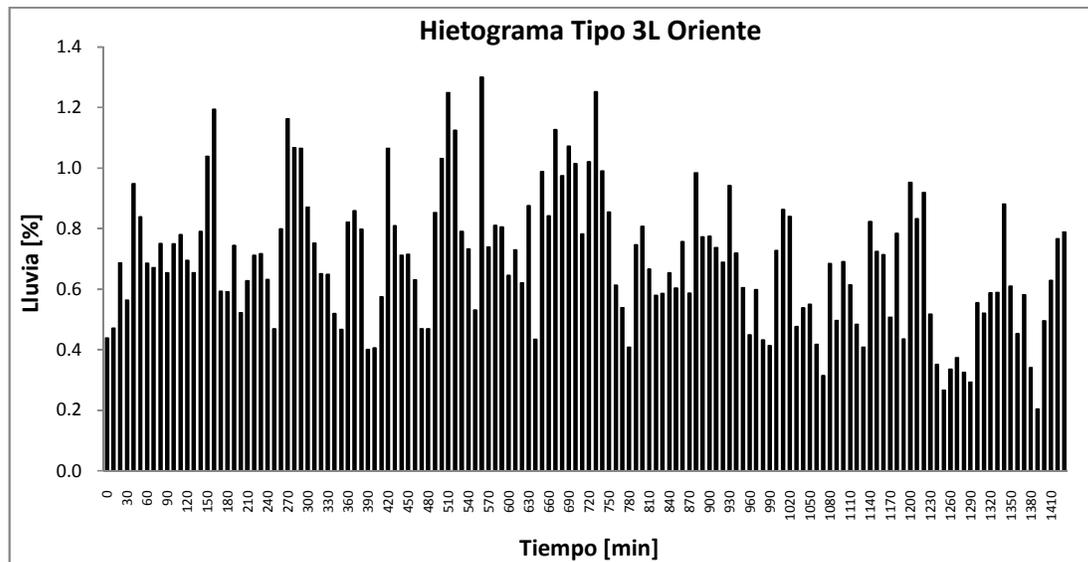


Figura 5.62. Hietograma característico Tipo 3L Oriente.

Fuente: el autor.

Tipo 2L

Tiene 3 tormentas que representan 25% del total.

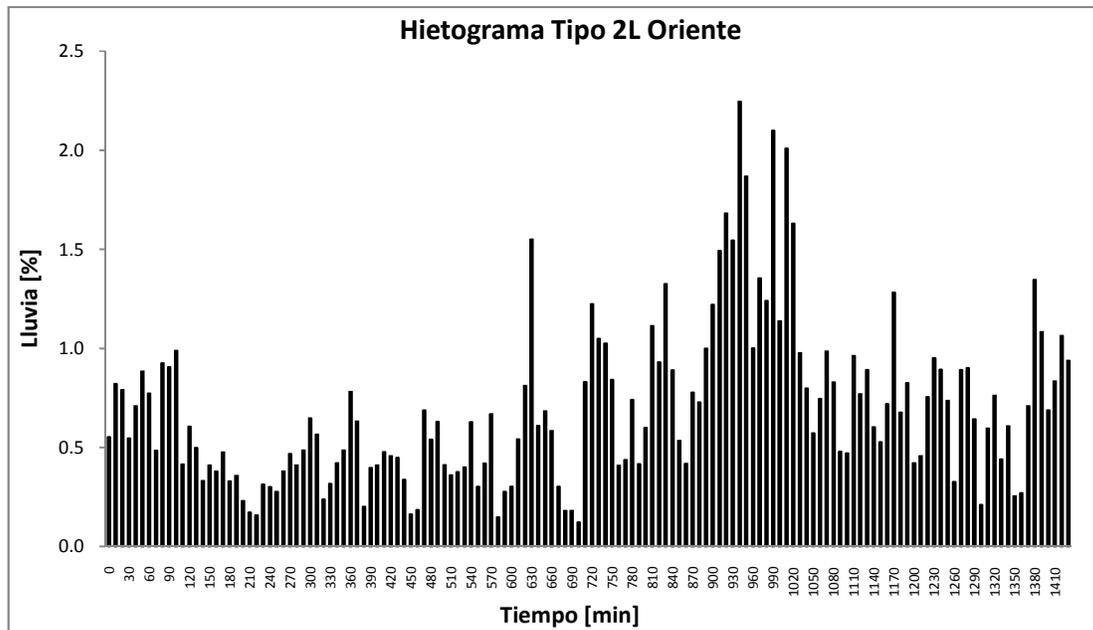


Figura 5.63. Hietograma característico Tipo 2L Oriente.

Fuente: el autor.

5.14 73089 Sitio de Presa Tapantí

Hietogramas corta duración

Hay 24 tormentas de corta duración. Se encontraron tres familias con comportamientos característicos. Tres tormentas no se ajustaron a ningún comportamiento y representan 12,5% del total de tormentas.

Tipo 4C

Tiene 13 tormentas que representan el 54,2% del total.

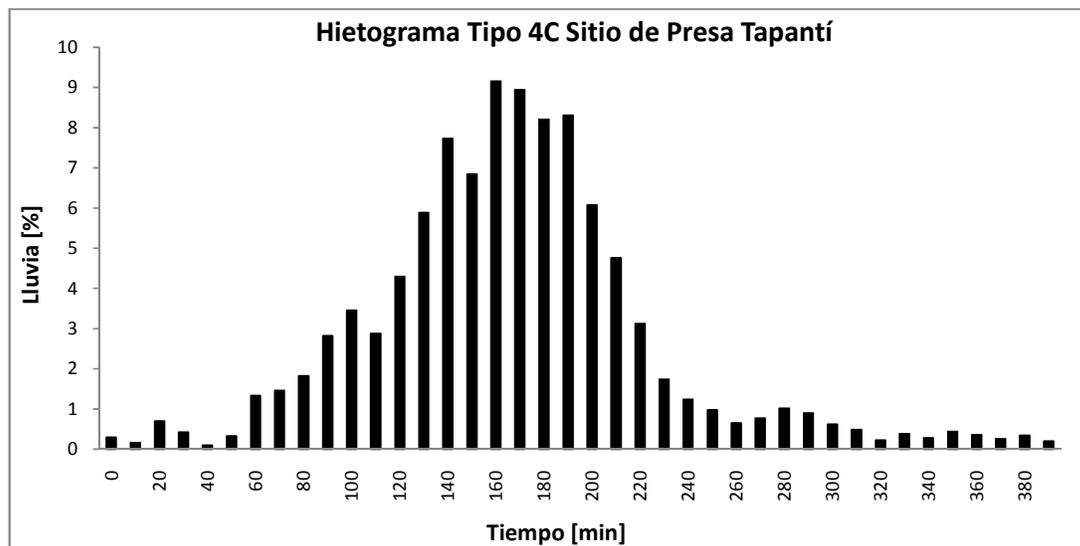


Figura 5.64. Hietograma característico Tipo 4C Sitio de Presa Tapantí.

Fuente: el autor.

Tipo 7C

Tiene 2 tormentas que representan el 8,3% del total.

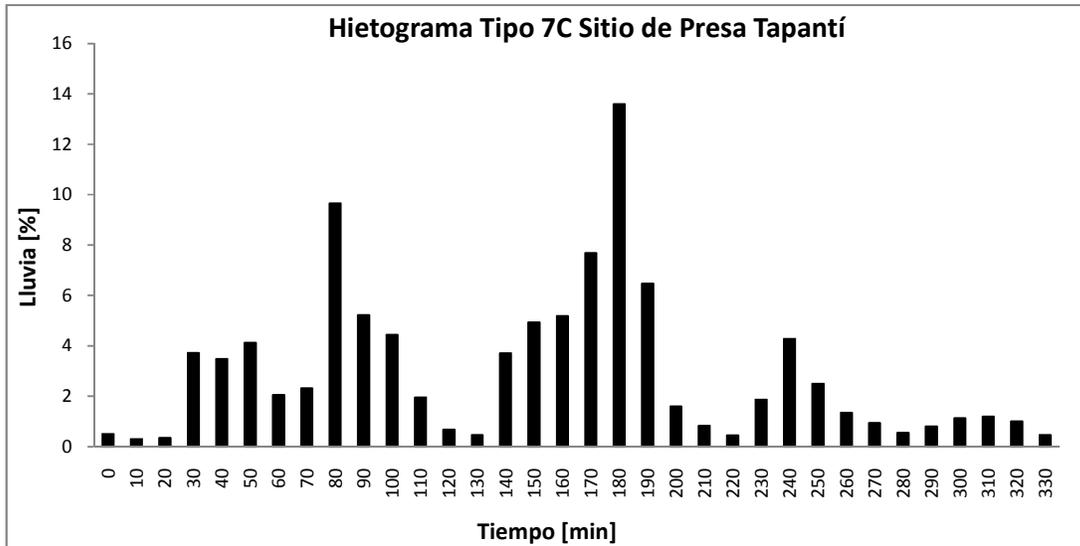


Figura 5.65. Hietograma característico Tipo 7C Sitio de Presa Tapantí.

Fuente: el autor.

Tipo 1C

Tiene 6 tormentas que representan el 25,0% del total.

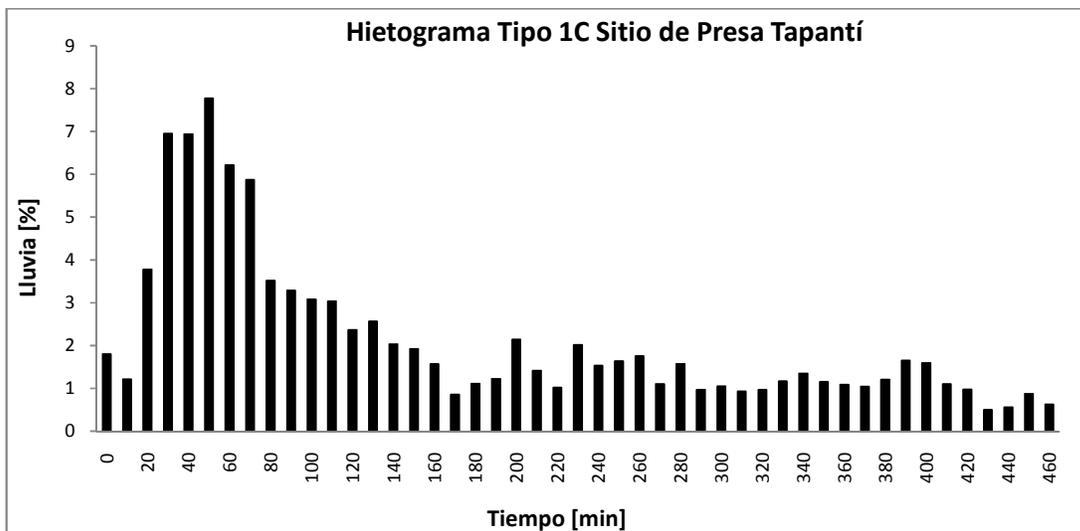


Figura 5.66. Hietograma característico Tipo 1C Sitio de Presa Tapantí.

Fuente: el autor.

Hietogramas larga duración

Hay 16 tormentas de larga duración. Se encontró una familia característica. Tres tormentas no se ajustan al comportamiento (18,7% del total de tormentas).

Tipo 1L

Tiene 13 tormentas que representan un 81,3% del total.

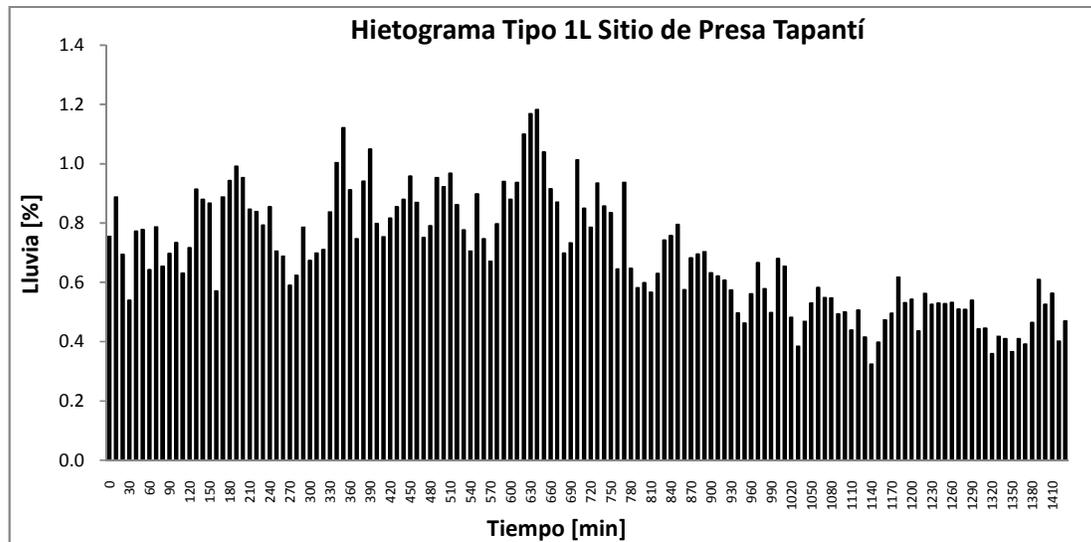


Figura 5.67. Hietograma característico Tipo 1L Sitio de Presa Tapantí.

Fuente: el autor.

A continuación se muestran los mapas con las zonas de influencia de los distintos tipos de hietogramas sobre la cuenca. Se muestran primero los hietogramas de corta duración y luego los de larga duración.

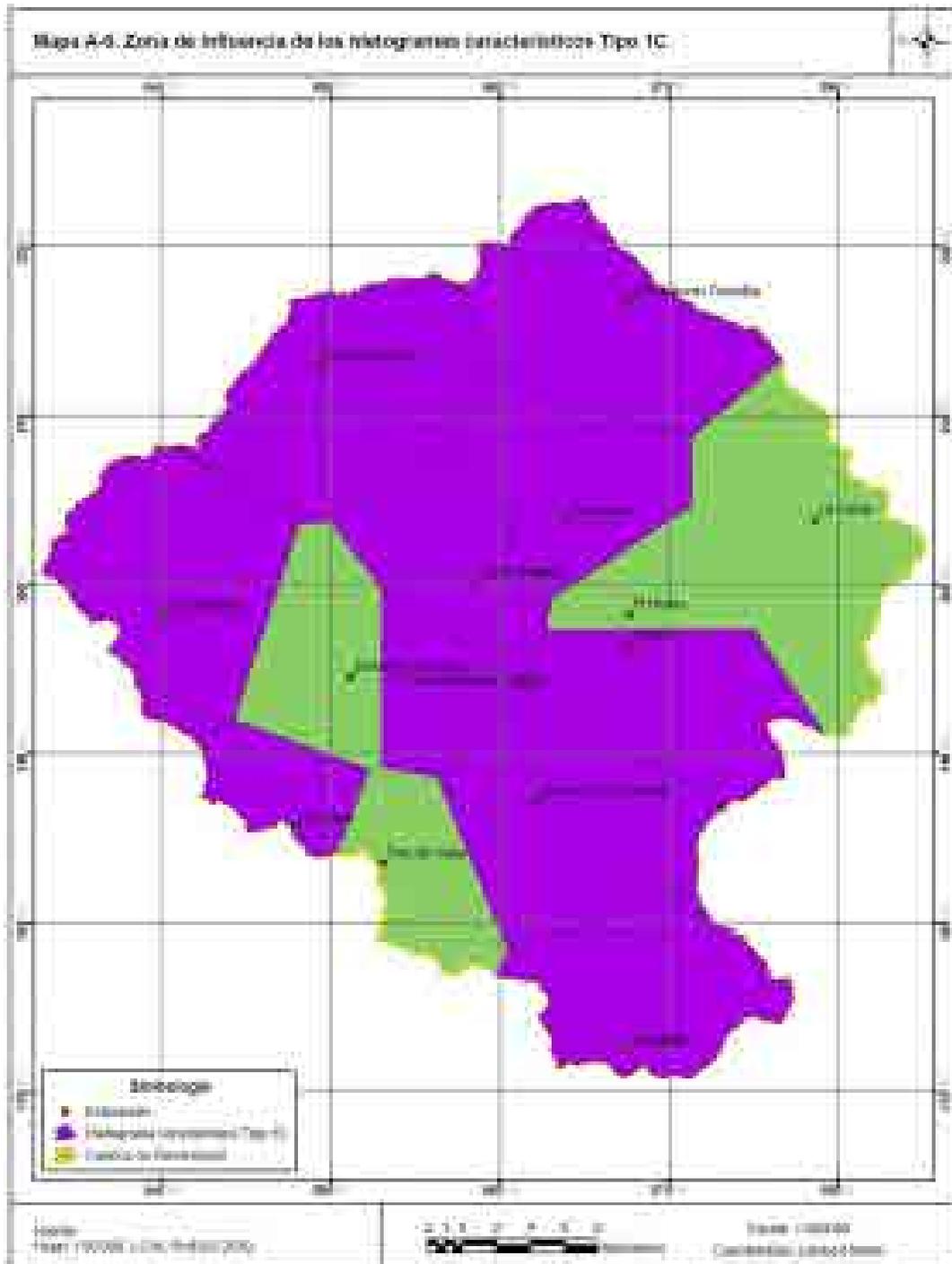


Figura 5.68. Zona de influencia hietogramas característicos Tipo 1C.

Fuente: el autor.

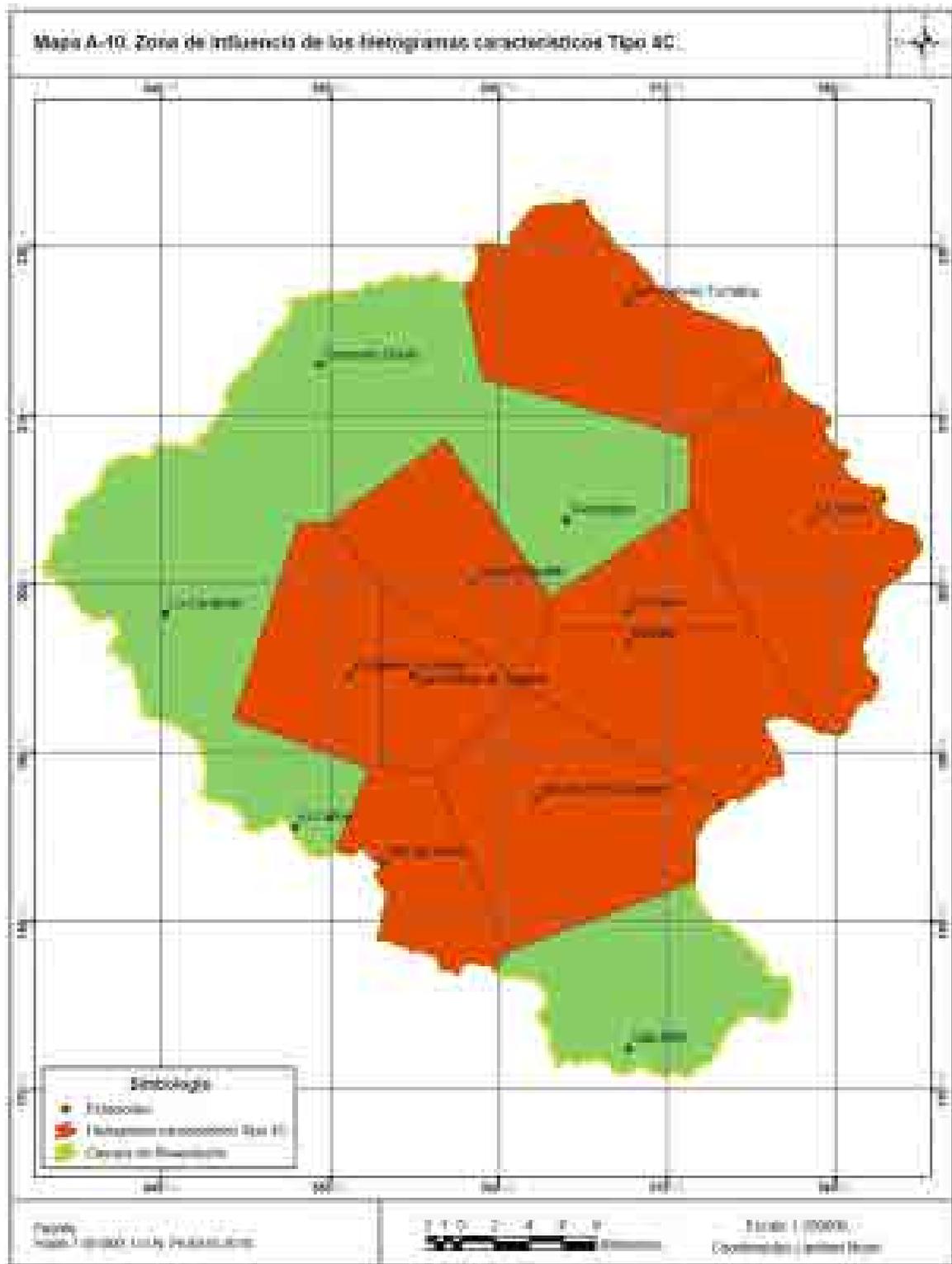


Figura 5.69. Zona de influencia hietogramas característicos Tipo 4C.

Fuente: el autor.

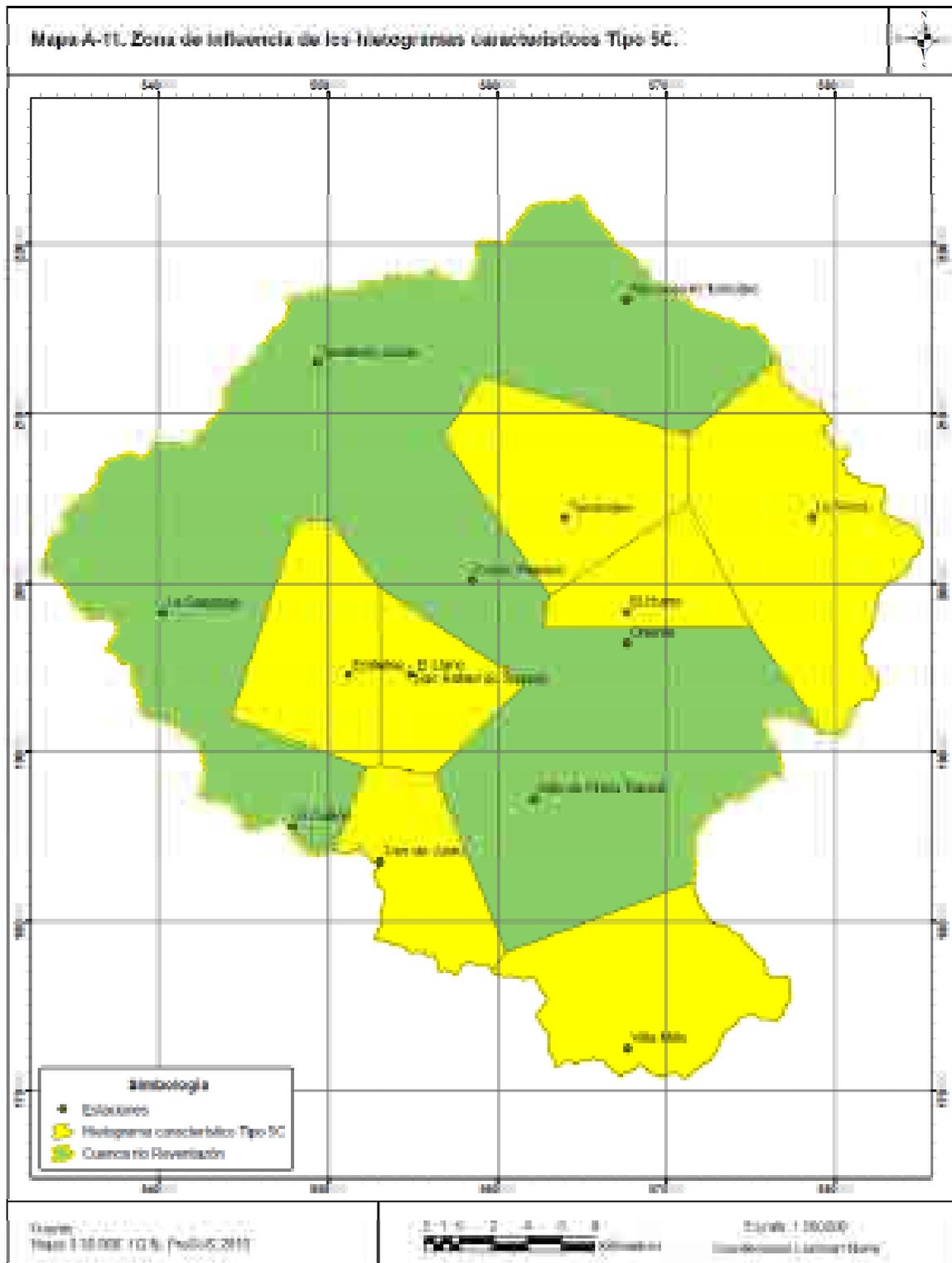


Figura 5.70. Zona de influencia hietogramas característicos Tipo 5C.

Fuente: el autor.



Figura 5.72. Zona de influencia hietogramas característicos Tipo 2C y 3C.

Fuente: el autor.

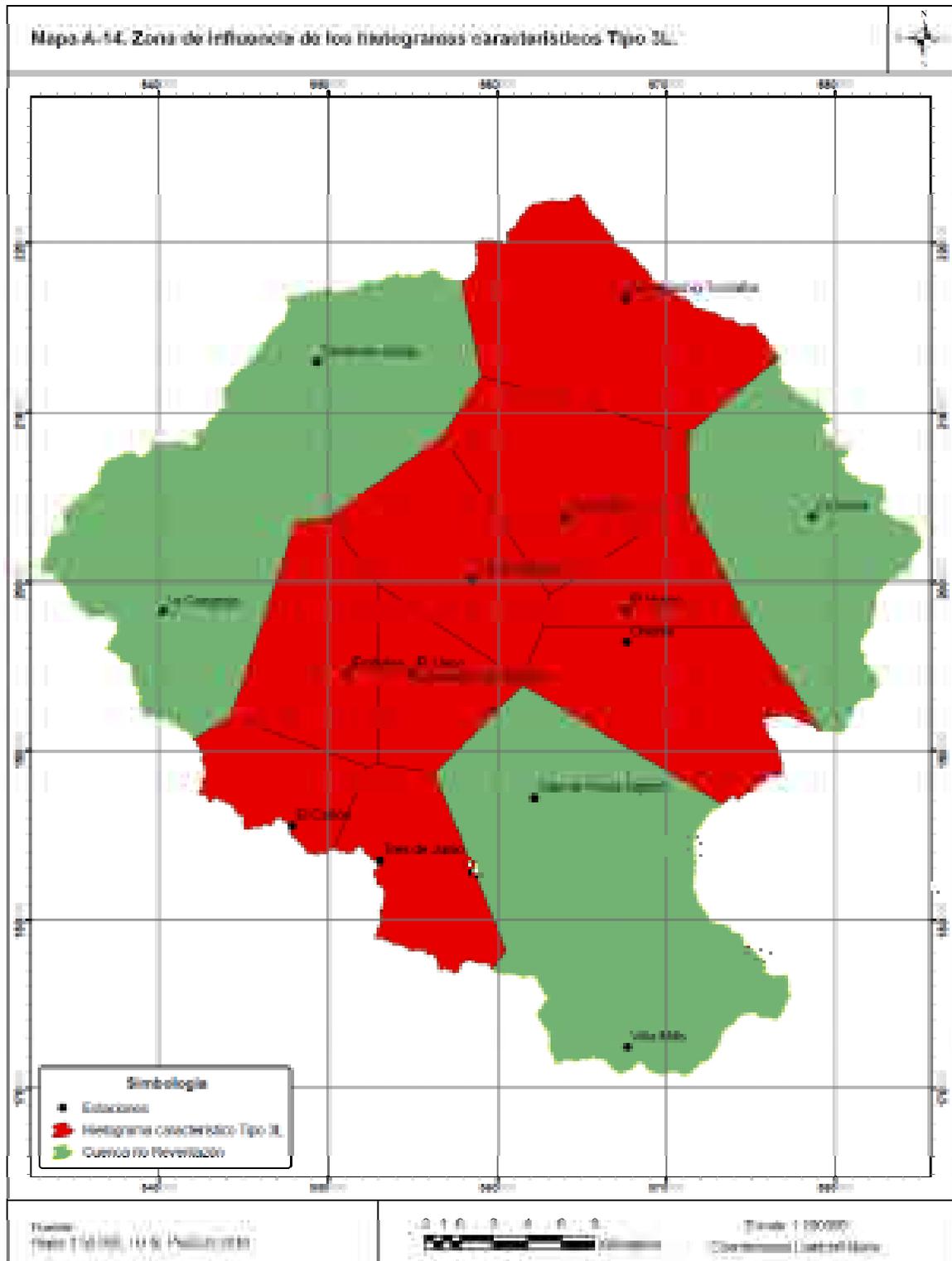


Figura 5.73. Zona de influencia hietogramas característicos Tipo 3L.

Fuente: el autor.



Figura 5.74. Zona de influencia hietogramas característicos Tipo 2L.

Fuente: el autor.



Figura 5.75. Zona de influencia hietogramas característicos Tipo 1L y 5L.

Fuente: el autor.



Figura 5.76. Zona de influencia hietogramas característicos Tipo 1La, 1Lb y 6L.

Fuente: el autor.



Figura 5.77. Zona de influencia histogramas característicos Tipo 4L.

Fuente: el autor.



Figura 5.78. Zona de influencia hietogramas característicos Tipo 7L y 8L.

Fuente: el autor.

Capítulo VI

6 Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Debido a la gran área sobre la cual la cuenca del río Reventazón se extiende, no es común que un mismo evento de precipitación la cubra en su totalidad. Sin embargo en 1970 y 1996 los máximos anuales de precipitación se dieron en la misma fecha en algunas estaciones. En el Cuadro 6.1 se muestran las estaciones con sus respectivos valores de lluvia máxima en 24 horas en mm.

Cuadro 6.1. Fechas en que coincidieron los máximos anuales en distintas estaciones.

1970			1996		
Estación	Fecha	Lluvia en 24 h [mm]	Estación	Fecha	Lluvia en 24 h [mm]
San Rafael de Tapantí	9-abr	216,8	Sanatorio Durán	12-feb	51,1
El Cañón	9-abr	160,1	San Rafael de Tapantí	12-feb	213,2
El Humo	9-abr	353,5 ¹	El Humo	12-feb	267,3
Embalse – El Llano	9-abr	131,1	Embalse – El Llano	12-feb	141,2
Tres de Junio	4-dic	144,9 ¹	La Suiza	12-feb	279,7
La Suiza*	9-abr / 3-dic	231,6	Cachí (Plantel)	13-feb	238,1
Cachí (Plantel)	9-abr	148,4	Tucurrique	12-feb	331,7
Tucurrique	9-abr	272,8	San Antonio de Turrialba	12-feb	367,3
Oriente	3-dic	273,8	Oriente	12-feb	273,6

¹Este total corresponde al valor leído de la banda. No corresponde al total dado por el I.C.E. No se pudo determinar la causa de la diferencia.

*Esta banda se perdió y se sustituyó por la del 3 de diciembre. Sin embargo el máximo quedó registrado en el I.C.E. el 9 de abril de 1970.

Fuente: el autor.

Estos eventos afectaron estas estaciones pero es probable que hayan sido registrados en otras estaciones que no se utilizaron en este trabajo. Además, es posible que alguno de los eventos se registró en determinada estación pero no representó el máximo anual.

No se cuenta con información suficiente para decir que se cubrió la totalidad de la cuenca, sin embargo si es evidente que los eventos del 9 de abril de 1970, 3 y 4 de diciembre de 1970 y 12, 13 y 14 de febrero de 1996 afectaron gran parte de la cuenca.

Nueve de abril de 1970

El máximo anual se dio en esa fecha para 7 de 14 estaciones (50%) utilizadas en este trabajo. Este evento de precipitación se dio debido a un centro de baja presión en el mar Caribe (Hidalgo, 1980).

Tres y Cuatro de diciembre de 1970

En el estudio realizado por Grandoso (1980) se analizó la situación meteorológica que afectó la Vertiente del Caribe el 3 y 4 de diciembre de 1970. Se determinó que las lluvias se originaron por la profundización de los vientos Oestes de altura de latitudes medias y su penetración en los trópicos. Las precipitaciones que se generaron fueron de tipo moderado continuo y se dieron por ascenso orográfico. Alcanzaron grandes cantidades debido a la persistencia del evento.

Es probable que el evento del 3 y 4 de diciembre haya afectado otras estaciones no utilizadas en este trabajo o que las lluvias registradas en las estaciones utilizadas no alcanzaran el valor máximo anual.

Doce de febrero de 1996

El evento que se presentó del 12 al 14 de febrero de 1996 generó máximos anuales en 9 de 14 (64%) estaciones utilizadas en este trabajo. En la bandas pluviográficas de la mayoría de estaciones afectadas se observó la persistencia de las lluvias a lo largo de estos tres días.

Los sistemas a gran escala que afectan a nuestro país en el mes de febrero provienen en su mayoría del hemisferio norte. El evento producido el 12, 13 y 14 de enero de 1996 se puede interpretar como una reacción de la atmósfera tropical al recrudescimiento del invierno en el hemisferio norte. Estos cambios se tradujeron en perturbaciones en la troposfera alta y baja (I.M.N, 1996). Este temporal ha sido catalogado como el más severo registrado en cuanto a lluvias y daños civiles.

Si se observa la Figura 2.1 y se ubican las estaciones afectadas por estas lluvias se puede decir que este evento afectó toda la parte baja de la cuenca ubicada hacia el este; penetró hasta Cachí y afectó las montañas de Tapantí en el valle de Orosi. No se puede asegurar que el máximo de Sanatorio Durán haya sido producido por este evento.

Entre los lugares afectados por inundaciones estuvieron los cantones de Turrialba y Paraíso y se reportaron grandes crecidas en los ríos Reventazón, Turrialba, Tuis y Pejibaye entre otros (La Gaceta, 1996).

Es probable que este evento se haya registrado en otras estaciones no utilizadas en este trabajo o que las lluvias medidas en las estaciones utilizadas no alcanzaran el valor máximo anual.

La caracterización climática de esta cuenca es complicada debido a la variabilidad climática tan grande que presenta. Esto se debe en parte a que se ve afectada por los regímenes climáticos de la Vertiente Pacífica y Atlántica y ambos afectan simultáneamente zonas de la cuenca. No se cuenta además con la adecuada distribución y cantidad de estaciones medidoras de algunas variables climáticas como brillo solar, humedad relativa y viento. A pesar de eso y complementando los resultados obtenidos de este trabajo con resultados de otras investigaciones, se pueden diferenciar dos periodos con respecto a la precipitación. Los vientos Alisios del este y del noreste inciden sobre la cuenca con mayor intensidad entre los meses de diciembre y abril, y entre julio y agosto. Esto hace que predominen las tormentas de tipo orográfico y los temporales que se pueden extender por varios días. Entre los meses de mayo a noviembre disminuye la influencia de los Alisios y hay mayor ocurrencia de fenómenos convectivos, predominan entonces tormentas con duraciones menores que las de tipo orográfico. En esta época hay incidencia de vientos provenientes del Pacífico y que entran por el Alto de Ochomogo. Estos vientos afectan principalmente la parte oeste de la cuenca. Es posible también, que el frente de brisa que produce núcleos de precipitación intensa alrededor del cantón de Tres Ríos, se desplace afectando zonas de la cuenca en la parte oeste principalmente. La localización de los frentes de brisa fue establecida por Murillo (1994) en su trabajo de graduación para la cuenca del río Virilla, sin embargo en esta caracterización climática general de la cuenca del río Reventazón no se obtuvo la información necesaria para documentar el desplazamiento de dichos frentes dentro de la cuenca. Finalmente hay que tomar en cuenta la influencia de vaguadas de altura provenientes del oeste que pueden afectar la cuenca produciendo fuertes temporales e inundaciones con consecuencias desastrosas para algunas zonas de la cuenca.

Hay una diferencia muy grande entre las precipitaciones mínimas y máximas promedio anuales. Varían en un rango de entre menos de 1500 mm hasta más de 7000 mm anuales, de modo que esta cuenca contiene una de las regiones más lluviosas del país

(Chacón, 1983). Esto se debe a la influencia de los regímenes climáticos Vertiente Pacífico y Caribe, a la canalización del flujo Alisio durante todo el año sobre la zona montañosa de la parte sureste de la cuenca y a la orografía de la región.

El mapa de lluvia promedio anual mostrado en la Figura 2.7 fue elaborado con un periodo de registro de 10 años. Para obtener condiciones promedio de lluvia se recomienda usar periodos de registro de por lo menos 20 años. Esto podría afectar la distribución espacial de las precipitaciones. Se debe tomar en cuenta este factor a la hora de su utilización.

A pesar de que hay pocas estaciones medidoras de viento distribuidas en la cuenca se pudo establecer la predominancia del viento Alisio con componentes del este y del noreste en las estaciones de San Pablo de Cot, Pacayas y Tierra Blanca. En la estación de Campamento predominan los vientos con componente norte y sur casi durante todo el año. Esto se debe a la topografía de la zona donde se encuentra ubicada la estación. El cañón del río Reventazón canaliza el viento y le da un componente norte. El componente sur se puede deber a un reflujó del viento con componente norte ocasionado por colinas cercanas. Este fenómeno es muy localizado y específico. Sistemas de viento de mesoescala como la brisa valle – montaña y viceversa también podrían influir, sin embargo no hay suficiente información para asegurar esto.

Si se comparan los resultados de viento obtenidos para las estaciones analizadas en la cuenca del río Reventazón, con los resultados obtenidos por Murillo (1994) para la cuenca del río Virilla, se puede ver la predominancia del viento Alisio del E y el NE a lo largo de casi todo el año en ambas cuencas. Sin embargo en la cuenca del río Virilla hay una influencia mayor del viento con componente oeste y suroeste especialmente en la temporada lluviosa comprendida entre los meses de mayo a noviembre. Estos vientos con componente oeste no se presentan con predominancia por lo menos en las estaciones analizadas para la cuenca del río Reventazón. Esto se puede deber a que la única entrada de vientos con componente oeste a la cuenca del río Reventazón es por el Alto de Ochomogo, mientras que la cuenca del río Virilla se encuentra expuesta al viento con componente oeste a través del cañón del río Grande de Tárcoles. Por su parte la influencia de los Alisios en la cuenca del río Virilla se manifiesta a través de los pasos de La Palma y El Desengaño.

De un total de 560 tormentas analizadas 327 (58,4%) son de corta duración y 233 (41,6%) son de larga duración. Chacón (1983) estableció que los promedios de precipitación mensuales para tres estaciones representativas de la parte alta, Valle Central

Oriental y este de la cuenca del Reventazón, en el periodo de mayo a noviembre son mayores que en el periodo de diciembre a abril. También estableció que de mayo a noviembre aumenta la cantidad de tormentas convectivas y disminuye la cantidad de tormentas orográficas; a su vez aumenta la cantidad de días al mes con lluvia. Esto puede ser una de las razones por las cuales hay más cantidad de tormentas de corta duración.

El tiempo promedio de los hietogramas característicos de corta duración es de 435 minutos (7 h 15 min); para los hietogramas característicos de larga duración se tiene un tiempo promedio de 1334 minutos (22 h 14 min). Estos valores no toman en cuenta las tormentas que no se ajustaron a ningún tipo de comportamiento.

El tiempo promedio de los hietogramas característicos de corta duración es mayor al tiempo de una tormenta de tipo convectivo que puede ser de hasta 6 horas (Chacón 1983). Debido a esta razón no se caracterizaron las tormentas como convectivas o como orográficas. A pesar de esto se puede ver claramente la influencia de fenómenos convectivos en los hietogramas característicos de las tormentas de corta duración. Las intensidades de los hietogramas característicos de corta duración son mayores que las de los hietogramas de larga duración. Las intensidades máximas que se presentaron en 10 min para los hietogramas característicos de corta duración varían entre 6% y 19% aproximadamente, mientras que para la mayoría de hietogramas característicos de larga duración las intensidades máximas en 10 min varían entre 1,5% y 3,5% aproximadamente.

En el Cuadro 5.3 se muestra la cantidad total de tormentas por estación. En cuatro estaciones la cantidad de tormentas de corta duración es del 70% o más del total. Estas estaciones son San Rafael de Tapantí, Embalse – El Llano, La Cangreja y Oriente. Chacón (1983) concluyó que los máximos valores de precipitación en esta cuenca se dan a una elevación cercana a la altura media entre el nivel del mar y la altura máxima de la cuenca (1746 m.s.n.m). Al estar tres de estas estaciones ubicadas por debajo o cerca de la altura media (1515 m.s.n.m.) es probable que las precipitaciones por orografía se den más arriba y debido a esto estas áreas sean más influenciadas por fenómenos de tipo convectivo. En el caso de La Cangreja, su ubicación al oeste de la cuenca hace que la influencia de los vientos Alisios del este y del noreste llegue muy debilitada y haya una predominancia de fenómenos convectivos. Los cerros de la Fila Ventolera, que dividen al Valle Central en Occidental y Oriental, afectan los vientos con humedad provenientes del Valle Central Occidental produciendo un efecto de sombra de lluvia y provocando mayor

sequedad en el lado de sotavento, siendo las tormentas de más corta duración. Los tiempos promedio de los hietogramas característicos de corta duración de estas estaciones son 380 min (6 h 20 min), 400 min (6 h 40 min), 440 min (7 h 20 min) y 383 min (6 h 23 min), respectivamente. Los promedios se extrajeron de la información del Cuadro 5.3.

El 80% de las tormentas que se analizaron en la estación de San Antonio de Turrialba son de larga duración. Esta estación está ubicada a una altura de 1190 m.s.n.m. en las faldas orientales del Volcán Turrialba, por debajo de la altura media (1515 m.s.n.m). Sin embargo, se encuentra directamente expuesta al flujo Alisio con componente este y recibe la influencia con componente noreste. Debido a esto hay una marcada predominancia de tormentas de larga duración que descargan por orografía en esa zona.

Entre las tormentas de corta duración de todas las estaciones se encontraron 7 tipos de hietogramas característicos distintos. En el Cuadro 5.5 se puede observar que predominan los Tipos 1C, 4C y 5C. Se presentan respectivamente en 10 estaciones con 90 tormentas, en 9 estaciones con 92 tormentas y en 7 estaciones con 45 tormentas. El Tipo 1C cubre las zonas noreste, norte y noroeste, centro, oeste, parte del suroeste y el sur de la cuenca. El Tipo 4C cubre la parte central y este sin incluir la estación de Tucurrique, la parte noreste donde está la estación de San Antonio de Turrialba y un área al suroeste donde está la estación Tres de Junio. El Tipo 5C se presenta en la parte este de la cuenca donde están las estaciones de La Suiza, El Humo y Tucurrique; en la parte sur y suroeste donde están Villa Mills y Tres de Junio y en una pequeña porción de la parte centro-oeste donde están las estaciones de Embalse – El Llano y San Rafael de Tapantí. El resto de tipos de tormentas se presentan de manera aislada en unas pocas estaciones de la cuenca. En las Figuras 5.69 a 5.73 se puede observar las zonas de influencia de los tipos de hietogramas característicos de corta duración. En el Cuadro 5.3 se puede observar los tipos de hietogramas y la cantidad de tormentas que los constituyen.

Para las tormentas de larga duración se encontró que los comportamientos predominantes son el 3L, 2L y 1L, con 8 estaciones y 85 tormentas, 6 estaciones y 25 tormentas y 5 estaciones y 42 tormentas, respectivamente. El Tipo 3L afecta la parte noreste donde está la estación de San Antonio de Turrialba; la parte central donde están las estaciones de Tucurrique, El Humo, Oriente, Cachí (Plantel) y la parte suroeste donde están las estaciones de Embalse – El Llano, San Rafael de Tapantí, Tres de Junio y El Cañón. El Tipo 1L cubre la parte noreste de la cuenca donde está ubicada la estación de

San Antonio de Turrialba y la parte sur donde están Villa Mills, Sitio de Presa Tapantí y Tres de Junio. El Tipo 2L Afecta la parte noroeste donde está Sanatorio Durán y la parte oeste donde está La Cangreja; la parte sur donde está Villa Mills y finalmente la parte este donde están las estaciones de Tucurrique, La Suiza y Oriente. Encerrada por las zonas de influencia de estas tres estaciones está la zona de influencia de El Humo que no presenta este tipo de comportamiento. El resto de tipos de hietogramas afectan zonas aisladas de la cuenca. En las Figuras 5.74 a 5.79 se puede observar las zonas de afectación de los tipos de hietogramas de larga duración. En el Cuadro 5.3 se puede observar los tipos de hietogramas y la cantidad de tormentas que los constituyen.

Los hietogramas característicos obtenidos son aplicables solo a la cuenca en estudio y se deben limitar a las zonas de influencia alrededor de cada estación. Se debe tomar en cuenta que los mapas de cobertura de cada tipo de hietograma son preliminares y fueron elaborados a partir de una distribución de estaciones meteorológicas que no es la más adecuada para reflejar las variaciones climáticas dentro de la cuenca. Esto porque las estaciones utilizables debían tener un registro continuo de por lo menos 40 años y almacenar información de forma diaria y continua. No todas las estaciones disponibles contaban con estos requisitos. De esta manera los mapas de zonas de influencia de los distintos tipos de hietogramas son útiles al no haber otra información disponible, pero se debe tratar de limitar la zona de influencia de cada hietograma lo más cerca de la estación meteorológica como sea posible.

Los métodos de área – tiempo tienen como ventaja que se puede obtener un hidrograma de caudal en vez de un dato aislado de caudal máximo. Esto permite una mejor modelación de las cuencas y es útil para diseñar sistemas de retención que permitan que las zonas urbanas descarguen las aguas pluviales en un tiempo que no coincida con el tiempo en el que se presenta el pico de caudal en el cauce receptor. De manera que los hietogramas característicos obtenidos aquí son una herramienta de diseño importante que permite una mejor modelación de áreas de escurrimiento dentro de la cuenca del río Reventazón.

Cada estación tiene distintos tipos de hietogramas característicos de corta o larga duración. Todos los tipos de hietogramas son representativos y confiables. La probabilidad de ocurrencia de distintos tipos de hietograma en cada estación está relacionada con la cantidad de tormentas de la serie que conformaron un hietograma en particular. En el capítulo V se muestra cuántas tormentas conforman cada uno de los

hietogramas característicos de cada estación. Los hietogramas que están conformados por más tormentas tienen una probabilidad más alta de ocurrir que los que están conformados por menor cantidad de tormentas. No se hizo un estudio para determinar la probabilidad de ocurrencia de los distintos tipos de hietogramas característicos, esto queda fuera del alcance de este trabajo.

A pesar de que los hietogramas característicos fueron diseñados a partir de eventos de precipitación extremos, sus intensidades son valores promedio de esas condiciones extremas. Aunque se tuvo el cuidado de que las intensidades de las tormentas que conformaron cada hietograma característico fueran lo más homogéneas posible, se podrían presentar intensidades un poco menores o mayores en algunos intervalos de determinada tormenta pero se espera que la distribución temporal siga los patrones descritos por alguno de los hietogramas característicos que se determinaron para cada estación.

Este trabajo es un preámbulo en la elaboración de herramientas de diseño hidrológico en esta cuenca y no abarca en su totalidad la caracterización temporal de la lluvia en la cuenca ni desarrolla elementos de diseño como curvas i-d-f, relaciones p-d-f, mapas de distribución espacial mensual de la lluvia o mapas de intensidades de lluvia para distintos periodos de retorno y duraciones. Sus resultados abren el camino para el desarrollo de otras investigaciones que lo complementen, lo mejoren, y que permitan al profesional encargado en la prevención de desastres naturales contar con una amplia gama de herramientas de diseño que se ajusten a las diversas circunstancias que se puedan presentar.

Los hietogramas característicos obtenidos en este trabajo evidencian diferencias climáticas entre las cuencas de los ríos Virilla y Reventazón. Los hietogramas característicos generados para la cuenca del río Reventazón se clasificaron en dos grandes grupos de corta y larga duración. Inclusive cada estación presentó hietogramas característicos de un mismo grupo (corta o larga duración) con distribuciones temporales diferentes. Esto refleja la gran variabilidad climática de la cuenca y la influencia marcada de los regímenes climáticos de las vertientes Pacífica y Atlántica dentro de la cuenca. Las duraciones de los hietogramas característicos de corta duración generados para la cuenca del río Reventazón varían entre los 300 min (5 h) y los 650 min (10 h 50 min), por lo que no se puede decir que estos hietogramas representan tormentas con una formación puramente convectiva. Además las intensidades de los hietogramas de corta duración son

bajas si se comparan por ejemplo con las intensidades obtenidas para los hietogramas característicos de la cuenca del río Virilla. Por otro lado los hietogramas característicos de larga duración obtenidos son una evidencia de la afectación del viento Alisio sobre la cuenca del río Reventazón durante la mayor parte del año y de que descargan gran parte de su humedad sobre ella.

En contraste con estos resultados, las estaciones analizadas por Murillo (1994) presentan un solo hietograma característico, lo que refleja una mayor uniformidad en el comportamiento de las tormentas en las estaciones analizadas. Sus duraciones son menores a la de los hietogramas característicos de la cuenca del río Reventazón. De los diez hietogramas generados para la cuenca del río Virilla, ocho tienen duraciones de entre 110 min (1 h 50 min) en el caso de la estación 84034 Embalse La Garita y 290 min (4 h 50 min) para la estación 84001 San José. Los dos hietogramas restantes de las estaciones 84021 Aeropuerto Juan Santa María y 84046 San Josecito tienen duraciones de 320 min (5 h 20 min) y 380 min (6 h 20 min) respectivamente. Aunado a lo anterior, en todas las tormentas típicas obtenidas para la cuenca del río Virilla las intensidades máximas en 10 minutos varían entre 20% y 40% aproximadamente, exceptuando la estación 84046 San Josecito, cuya intensidad mayor en 10 minutos es de 12% aproximadamente y que es el hietograma característico de mayor duración entre todos los obtenidos para esa cuenca. Para el caso de la cuenca del río Reventazón, la mayor intensidad en 10 minutos se da en un hietograma característico de la estación 73026 San Rafael de Tapantí y es de 19% aproximadamente. De esta manera se puede ver, por lo menos en las estaciones en las que se generaron hietogramas característicos para la cuenca del río Virilla, una marcada influencia de fenómenos puramente convectivos y la nula incidencia de tormentas con varios días de duración y que representen máximos de precipitación en 24 horas.

Los resultados del presente trabajo en cuanto a caracterización climática complementan el trabajo de graduación elaborado por Murillo (1994) en la cuenca del río Virilla. Aunque la caracterización climática aquí realizada no es profunda, permite tener una continuidad de parámetros climáticos entre las dos cuencas y conecta desde el punto de vista de caracterización climática a los valles centrales Occidental y Oriental, que son dos de las regiones más pobladas del país. Del mismo modo los hietogramas característicos aquí generados complementan los realizados para la cuenca del río Virilla y aumentan la cantidad de herramientas de diseño en la zona del Valle Central, que es la más poblada del país.

Este trabajo se centra en el valor desde el punto de vista de diseño hidrológico que representa conocer la distribución temporal de una tormenta para el mejor modelado de un área de escurrimiento. Con esto se pretende motivar al ingeniero civil a que haga uso de métodos de diseño más precisos en la modelación de cuencas y áreas de escurrimiento y generar las herramientas necesarias para un cambio en los patrones de diseño que se han mantenido en Costa Rica hasta el momento.

Recomendaciones

Es importante tener en cuenta que los hietogramas característicos generados en este trabajo representan distribuciones temporales de eventos extremos, pero sus intensidades y duraciones corresponden a condiciones promedio de dichos eventos extremos. Se debe tomar en cuenta este aspecto a la hora de hacer uso de ellos.

Se recomienda hacer un estudio probabilístico que genere hietogramas característicos con la misma distribución temporal pero con intensidades asociadas a distintas probabilidades de ocurrencia. De esta forma se puede complementar el presente trabajo y no se limita el uso de los hietogramas a condiciones promedio solamente.

Debido a que los mapas de influencia de los hietogramas característicos son preliminares se debe tratar de restringir el uso de determinado tipo de hietograma característico a la zona más cercana a la estación. Entre más se aleja uno de las estaciones medidoras menor es la certeza de que se va a mantener el comportamiento de determinado hietograma característico.

Se recomienda ampliar este trabajo generando hietogramas característicos en otras estaciones conforme vaya aumentando el registro de información de precipitación diaria continua. De esta manera se puede tener una mayor cobertura de la cuenca y se pueden generar mapas de influencia de los hietogramas más precisos. También se recomienda actualizar los hietogramas característicos existentes conforme el registro de sus estaciones aumente. De este modo se puede tener un registro de posibles cambios en los patrones de distribución temporal de las tormentas y de esta forma depurar los resultados obtenidos en este trabajo.

Para complementar este trabajo se recomienda hacer un estudio probabilístico para generar los totales de lluvia máxima para diferentes periodos de retorno. Esto es necesario para la utilización de los hietogramas y facilitaría mucho la labor del ingeniero civil.

A mediano y largo plazo, la actualización de los hietogramas característicos puede ser un modo útil para establecer posibles efectos del cambio climático en los patrones de distribución temporal de las tormentas. Por ejemplo, se pueden detectar cambios como la duración de las tormentas máximas anuales, la variación en sus intensidades y el cambio en la cantidad de tormentas de corta o larga duración que se puedan presentar.

Se debe aprovechar el hecho de que hay una gran cantidad de información de precipitación diaria procesada y hacer uso de ella para hacer estudios como el realizado por Murillo (1994) en la cuenca del río Virilla que incluyan herramientas de diseño como curvas i-d-f y mapas de intensidades, siempre utilizando a la cuenca como unidad de estudio. De este modo se complementa el trabajo ya realizado y se generan herramientas de diseño que pueden ser útiles en casos específicos y que permiten mayor libertad al diseñador a la hora de solucionar diversos problemas. Esto es útil y no excluye o limita la utilización de métodos de área – tiempo que permitan un mejor modelado de las áreas de escurrimiento.

Se plantea la necesidad de operar más estaciones medidoras de viento y humedad relativa sobre todo en las partes centro, oeste y sur de la cuenca. Para esto es necesaria la coordinación entre instituciones como el I.C.E. y el I.M.N.

Es posible conectar los resultados obtenidos en el trabajo de graduación de Murillo (1994) y este trabajo especialmente en la línea divisoria entre las dos cuencas. Se pueden realizar mapas de distribución espacial de la lluvia y que permitan verificar el desplazamiento de los frentes de brisa hacia la parte oeste de la cuenca del río Reventazón. Esto se puede complementar haciendo una caracterización más detallada del comportamiento del viento en el Valle Central Oriental.

Es conveniente utilizar la cuenca hidrográfica como unidad de estudio a la hora de generar herramientas de diseño porque esto proporciona al diseñador más información a la hora de hacer uso de ellas. Genera además información más completa desde el punto de vista hidrológico y que puede ser utilizada en otros campos distintos a la ingeniería, como la meteorología o la agricultura.

Como consideración de diseño, se recomienda utilizar los diferentes hietogramas característicos disponibles en una estación para así tener posibles escenarios que permitan determinar las condiciones críticas para cada situación de diseño. Esto se puede complementar haciendo un estudio de probabilidad de ocurrencia de los distintos tipos de hietogramas para cada estación.

En la elaboración del mapa de precipitación promedio anual obtenido de PRODUS se utilizó un registro de años corto para obtener condiciones de lluvia promedio (10 años). Es conveniente utilizar un registro más extenso de por lo menos 25 a 30 años para describir el comportamiento de condiciones promedio de lluvia.

Se debe contar con la información de lluvia diaria en formato de hoja de cálculo para facilitar el manejo de la información a la hora de procesar los datos.

Se recomienda la digitalización de las bandas pluviográficas para facilitar el uso de los registros de precipitación diaria. Esto lo puede realizar el I.C.E. en coordinación con universidades y bajo una estricta supervisión que resguarde la información, de modo que el estudiante de ingeniería civil pueda entrar en contacto con información meteorológica y familiarizarse con su proceso de obtención y registro, y que la institución pueda digitalizar la gran cantidad de información que se encuentra en las bandas pluviográficas.

Es importante contar con las coordenadas de ubicación de estaciones y mapas en grados, minutos y segundos, y en proyecciones Lambert y CRTM05. Esto con el fin de facilitar la manipulación de la información mediante S.I.G.

Se debe extender estudios de este tipo a otras cuencas del país empezando por la cuenca del río Virilla. De este modo se complementa el trabajo realizado por Murillo (1994) y se avanza en la iniciativa de modelar las áreas de escurrimiento urbano con métodos de área – tiempo. Las subsiguientes cuencas se deben elegir en función de su importancia y grado de urbanización.

Bibliografía

1. Aparicio Mijares, Francisco (1989). Fundamentos de Hidrología de Superficie. Limusa, México.
2. Barry, R & Chorley, R (1987). Atmosphere, Weather & Climate. Routledge, U.S.A. & England.
3. Chacón Mora, Rafael E. (1983). Variabilidad espacial y Temporal de la Precipitación en la Región Montañosa de la Cuenca del Río Reventazón. Proyecto de graduación presentado en la Universidad de Costa Rica para optar por el grado de licenciatura.
4. Chacón M., Rafael & Fernández, W. (1985). Temporal and Spatial Rainfall Variability in the Mountainous Region of the Reventazón River Basin, Costa Rica. Journal of Climatology, vol. 5, pags. 175-188.
5. Chow, Ven Te et al. (1994). Hidrología Aplicada. McGraw Hill Latinoamericana.
6. Gaceta Diario Oficial, (1996). Alcance N° 10 a La Gaceta N° 34 Decreto 24973 – MP-MOPT, Imprenta Nacional, Costa Rica.
7. Gamboa, Ramiro. (1969). Diseño Hidrológico e Hidráulico de Drenajes de Carreteras. Proyecto de graduación presentado en la Universidad de Costa Rica para optar por el grado de Ingeniero Civil.
8. Grandoso, Héctor. (1980). Estudio Meteorológico de las Inundaciones de Diciembre de 1970 en Costa Rica. Trabajo de investigación para el Instituto Meteorológico Nacional. I.M.N, San José, Costa Rica.
9. Günter Varson, W. y Alfredo M. (1992). Las Intensidades de las Tormentas en los Centros Urbanos más Importantes de Costa Rica. Informe final al Colegio de Ingenieros Civiles. Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.
10. Hidalgo, Hugo (1980). Heavy Rainfall in Costa Rica. M.sc. Thesis, Birmingham University.
11. Instituto Meteorológico Nacional, 1967. *Mapa de Isoyetas en mm Para una Lluvia con una Duración de Una Hora, que Puede Esperarse Una Vez Cada Año.*
12. Instituto Meteorológico Nacional, 1996. Boletín Meteorológico Mensual. Instituto Meteorológico Nacional, Costa Rica, Febrero de 1996.
13. Instituto Meteorológico Nacional, 1998. Atlas Climatológico Interactivo versión digital.
14. Linsley, Ray K. (1977). Hidrología para Ingenieros. McGraw Hill, México.

15. Murillo Muñoz, Rafael (1994). Estudio de Intensidades de Lluvia en la Cuenca del Río Virilla. Proyecto de graduación presentado en la Universidad de Costa Rica para optar por el grado de Ingeniero Civil.
16. Vargas, Carlos. (1953). Análisis de Condiciones de Precipitación Lluviosa Máxima para la ciudad de San José basado en 36 Años de Observaciones. Proyecto de graduación presentado en la Universidad de Costa Rica para optar por el grado de Ingeniero Civil.
17. Villón Béjar, Máximo (2004). Hidrología. Editorial Tecnológica de Costa Rica, San José, Costa Rica.
18. Villón Béjar, Máximo (2006). Hidrología Estadística. Editorial Tecnológica de Costa Rica, San José, Costa Rica.
19. Zárate Hernández, Eladio. (1977). Principales Sistemas de Vientos que Afectan a Costa Rica y sus Relaciones con la Precipitación. Proyecto de graduación presentado en la Universidad de Costa Rica para optar por el grado de licenciatura.
20. Zárate Hernández, Eladio (1978). Comportamiento del Viento en Costa Rica. Nota de Investigación N° 2, I.M.N, Costa Rica.

Anexos

Anexo A

Mapas generales de la cuenca.

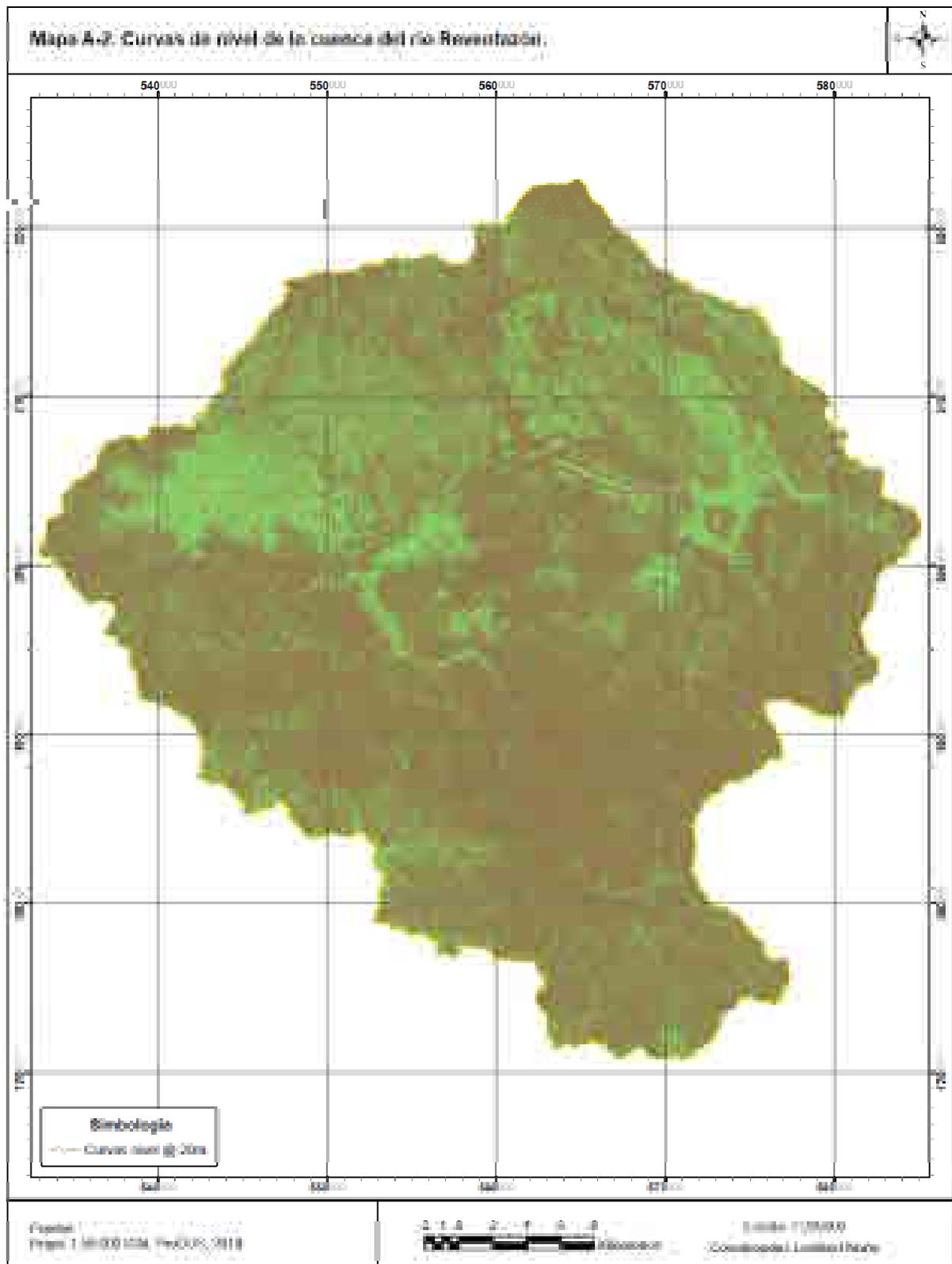


Figura A.2. Mapa de la cuenca con las curvas de nivel cada 20 m.

Fuente: el autor.



Figura A.3. Mapa de la red hidrográfica de la cuenca y el número de orden de los cauces.

Fuente: el autor.



Figura A.4. Mapa de la red hidrográfica de la cuenca con el cauce principal.

Fuente: el autor.

Anexo B

Estaciones meteorológicas y máximos anuales utilizados

Cuadro B.1. Estaciones meteorológicas con medición de humedad relativa.

Número	Estación	Operador	Altura [m.s.n.m.]	Coordenadas			
				Latitud		Longitud	
				Grados	Minutos	Grados	Minutos
73046	Cachí (Plantel)	I.C.E.	1018	9	49	83	48
73079	Oriente	I.C.E.	740	9	47	83	43
73080	Cerro de la muerte (repetidoras)	I.C.E.	3130	9	34	83	46
73126	Terrena de Guatuso	I.C.E.	1390	9	49	83	57

Fuente: el autor.

Cuadro B.2. Estaciones meteorológicas con medición de viento.

Número	Estación	Operador	Altura [m.s.n.m.]	Coordenadas			
				Latitud		Longitud	
				Grados	Minutos	Grados	Minutos
73116	Campamento	I.C.E.	570	9	53	83	39
73132	Pacayas	I.C.E.	1890	9	55	83	49
73134	San Pablo de Cot	I.C.E.	2219	9	56	83	50
73136	Tierra Blanca	I.C.E.	2123	9	55	83	53

Fuente: el autor.

Cuadro B.3. Estaciones meteorológicas utilizadas para la elaboración de los hietogramas característicos.

Número	Estación	Operador	Altura [m.s.n.m.]	Coordenadas			
				Latitud		Longitud	
				Grados	Minutos	Grados	Minutos
73011	Sanatorio Durán	I.C.E.	2337	9	56	83	53
73026	San Rafael de Tapantí	I.C.E.	1203	9	46	83	50
73027	El Cañón	I.C.E.	2460	9	41	83	54
73028	El humo	I.C.E.	680	9	48	83	43
73029	Embalse - El Llano (río Macho)	I.C.E.	1572	9	46	83	52
73033	Villa Mills	I.C.E.	3000	9	34	83	43
73039	Tres de Junio	I.C.E.	2630	9	40	83	51
73041	La Cangreja	I.C.E.	1830	9	48	83	58
73044	La Suiza	I.C.E.	620	9	51	83	37
73046	Cachí (Plantel)	I.C.E.	1018	9	49	83	48
73047	Tucurrique	I.C.E.	770	9	51	83	45
73074	San Antonio Santa Cruz de Turrialba	I.C.E.	1190	9	58	83	43
73079	Oriente	I.C.E.	740	9	47	83	43
73089	Sitio de Presa Tapantí	I.C.E.	1921	9	42	83	46

Fuente: el autor.

Cuadro B.4. Máximos anuales estación 73011 Sanatorio Durán.

73011 Sanatorio Durán	
Fecha	Precipitación total [mm]
16-Nov-70	134,8
06-Sep-71	85,0
04-Sep-72	55,6
10-Sep-73	54,3
31-May-74	55,4
15-Ago-75	67,5
19-Jun-76	51,6
08-Ago-77	69,9
25-Ago-78	78,6
20-Oct-79	70,9
13-Dic-80	73,3
30-Oct-81	54,7
04-Oct-82	62,9
27-Ago-83	52,2
26-May-84	78,5
14-Oct-85	40,3
01-Sep-86	77,3
28-Oct-87	73,0
27-May-88	78,4
27-Sep-89	41,0
23-May-90	79,0
20-Oct-91	39,3
1992 (11-Oct-74)	74,5
01-Oct-93	49,2
04-Nov-94	68,6
28-Ago-95	57,0
12-Feb-96	51,1
1997 (13-Nov-80)	57,3
04-Dic-98	91,2
02-May-99	46,7
18-set-1999	64,8
30-Nov-00	44,8
15-May-01	36,7
30-Nov-02	63,3
11-Dic-03	67,2
07-Nov-04	111,5
11-Jul-05	70,1
03-Jun-06	84,8
06-Oct-07	51,4
21-May-08	72,7
23-Oct-09	93,7

Fuente: el autor.

Cuadro B.5. Máximos anuales estación 73026 San Rafael de Tapantí.

73026 San Rafael de Tapantí	
Fecha	Precipitación total [mm]
09-Abr-70	216,8
16-Jul-71	75,1
20-May-72	58,7
18-Jun-73	95,9
03-Dic-74	118,3
02-Jul-75	88,6
01-Jun-76	78,5
01-Sep-77	90,7
18-Dic-78	70,0
11-Jun-79	68,4
29-Sep-80	114,3
30-Oct-81	96,4
12-Oct-82	81,2
06-Jun-83	95,6
01-Jun-84	78,0
15-Jun-85	87,8
21-Ago-86	90,3
16-Jul-87	82,9
19-Jun-88	78,7
06-Jul-89	130,0
31-May-90	114,3
11-Sep-91	101,2
21-Oct-92	106,8
09-Dic-93	235,3
01-Oct-94	130,0
27-Sep-95	74,7
12-Feb-96	213,2
15-Ago-97	94,3
24-Jul-98	108,5
20-Jun-99	93,5
13-Ene-00	119,3
08-Oct-01	85,7
19-Ago-02	106,7
01-Abr-03	191,0
2004 (3-Dic-70)	180,8
2005 (6-Jul-03)	147,6
30-Nov-06	99,2
18-May-07	102,9
22-Nov-08	133,3
06-Feb-09	127,9

Fuente: el autor.

Cuadro B.6. Máximos anuales estación 73027 El Cañón.

73027 El Cañón	
Fecha	Precipitación total [mm]
09-Abr-70	160,1
18-set-71	107,0
19-Ago-72	50,2
28-Ago-73	127,8
16-May-74	63,0
23-Jun-75	74,1
05-Jun-76	66,5
21-Ago-77	64,6
25-set-78	65,0
17-Ago-79	60,9
12-Jun-80	99,9
04-May-81	66,5
24-May-82	69,9
02-Nov-83	72,6
27-Oct-84	78,1
21-Ago-85	56,4
27-May-86	127,3
07-Abr-87	76,5
12-Sep-88	140,1
09-Jul-89	53,6
15-Oct-90	64,5
30-Ago-91	76,0
24-Nov-92	72,3
09-Dic-93	113,9
08-Nov-94	71,6
07-Oct-95	90,4
27-Jul-96	223,0
08-Jun-97	61,6
29-Oct-98	115,7
30-set-99	76,9
26-May-00	56,2
03-Jun-01	55,8
02-Jul-02	59,6
01-Abr-03	215,7
19-May-04	101,2
20-Oct-05	75,1
17-Jul-06	75,7
18-May-07	57,1
12-Oct-08	127,1
04-Nov-09	71,0

Fuente: el autor.

Cuadro B.7. Máximos anuales estación 73028 El Humo.

73028 El Humo	
Fecha	Precipitación total [mm]
09-Abr-70	353,5
24-Sep-71	68,5
16-Oct-72	111,3
24-May-73	126,4
12-Jun-74	223,8
25-Sep-75	156,0
28-Ago-76	89,9
14-Sep-77	118,3
01-Jun-78	80,6
18-Oct-79	111,7
12-Dic-80	127,5
27-Ago-81	191,7
03-Jun-82	88,1
05-Jun-83	125,4
02-Dic-84	102,0
11-Jun-85	137,0
01-Nov-86	88,3
02-Jul-87	216,3
28-Ene-88	140,7
16-Jun-89	98,2
15-Ago-90	114,1
26-Oct-91	104,3
01-Sep-92	121,6
09-Dic-93	380,1
13-Oct-94	94,7
23-Ago-95	119,4
12-Feb-96	267,3
19-Ene-97	89,2
29-Jun-98	95,0
03-May-99	145,1
13-Ene-00	132,1
28-Sep-01	78,3
29-Nov-02	120,6
01-Abr-03	215,4
15-Jun-04	75,6
09-Ene-05	201,5
09-Jul-06	113,3
25-Dic-07	141,9
02-Dic-08	141,1
05-Feb-09	154,5

Fuente: el autor.

Cuadro B.8. Máximos anuales estación 73029 Embalse – El Llano (río Macho).

73029 Embalse - El Llano (río Macho)	
Fecha	Precipitación total [mm]
03-Dic-70	131,1
16-Jul-71	59,9
25-Ago-72	60,0
18-Jun-73	70,3
03-Dic-74	126,4
03-Jul-75	86,3
02-Sep-76	86,2
01-Sep-77	66,2
18-set-78	68,5
03-May-79	76,1
29-Sep-80	85,1
15-Sep-81	109,5
02-Nov-82	86,3
16-Jul-83	85,0
04-Jul-84	105,0
15-Jun-85	64,8
08-Jun-86	57,4
16-Jul-87	73,3
22-Oct-88	82,8
25-Sep-89	66,3
22-Ago-90	94,6
11-Sep-91	55,7
21-Oct-92	76,8
09-Dic-93	230,4
28-Ago-94	76,9
14-Sep-95	84,1
12-Feb-96	141,2
29-Nov-97	88,3
24-Jul-98	89,0
23-Sep-99	78,0
14-Ene-00	80,8
28-May-01	74,2
30-Ago-02	97,9
06-Jul-03	148,4
15-May-04	75,6
11-Jul-05	109,1
30-Nov-06	88,9
18-May-07	84,8
12-Ago-08	59,3
05-Feb-09	72,4

Fuente: el autor.

Cuadro B.9. Máximos anuales estación 73033 Villa Mills.

73033 Villa Mills	
Fecha	Precipitación total [mm]
16-Nov-70	124,4
18-Sep-71	146,3
18-May-72	52,9
28-Ago-73	118,9
23-Ago-74	73,5
17-Oct-75	84,7
25-May-76	63,5
25-Sep-77	77,2
01-Jun-78	53,8
20-Sep-79	57,1
12-Jun-80	79,0
31-May-81	87,9
23-May-82	68,2
07-Nov-83	74,9
27-Oct-84	106,4
07-May-85	37,8
27-May-86	125,9
07-Abr-87	53,3
13-Sep-88	236,3
07-Sep-89	68,4
08-Oct-90	84,0
30-Ago-91	116,1
04-May-92	55,6
15-Sep-93	59,6
07-Ago-94	48,4
13-Jun-95	88,4
27-Jul-96	357,7
19-Jun-97	49,5
07-Jul-98	84,5
10-Jul-99	52,9
15-set-00	69,1
30-Oct-01	84,5
10-Sep-02	64,4
13-Jun-03	83,7
19-May-04	100,5
19-Sep-05	63,4
19-Sep-06	29,3
20-Oct-07	100,2
29-Nov-08	20,9
05-Jun-09	50,5

Fuente: el autor.

Cuadro B.10. Máximos anuales estación 73039 Tres de Junio.

73039 Tres de Junio	
Fecha	Precipitación total [mm]
04-Dic-70	144,9
22-Ene-71	76,0
19-Ago-72	58,6
10-Dic-73	138,2
12-Jun-74	66,9
12-Dic-75	75,9
03-Jun-76	76,3
28-Sep-77	58,7
17-Dic-78	50,0
04-Jun-79	48,1
12-Dic-80	98,5
22-Nov-81	66,5
06-Sep-82	82,8
31-May-83	83,5
27-Oct-84	85,8
04-Sep-85	56,5
22-Mar-86	84,4
21-Oct-87	75,8
27-Ene-88	227,6
11-Sep-89	66,5
22-Ago-90	65,6
30-Nov-91	106,7
15-Ago-92	54,4
09-Dic-93	143,2
05-Ene-94	83,6
13-Jun-95	84,7
27-Jul-96	192,8
25-Dic-97	94,8*
19-Jun-98	102,3
01-Nov-99	125,2
11-Ene-00	74,1
26-Ene-01	104,9
23-Nov-02	90,3
27-Abr-03	91,7
18-Oct-04	84,6
11-Nov-05	65,9
15-Ene-06	126,8
20-May-07	76,1
22-Nov-08	196,4
05-Feb-09	120,2

*Banda no utilizada por mal funcionamiento del pluviógrafo.

Fuente: el autor.

Cuadro B.11. Máximos anuales estación 73041 La Cangreja.

73041 La Cangreja	
Fecha	Precipitación total [mm]
16-Nov-70	80,2
18-May-71	66,9
21-May-72	45,8
25-Jun-73	59,6
17-Oct-74	66,1
17-Nov-75	64,3
01-Jun-76	59,5
24-Sep-77	80,5
25-Oct-78	49,6
17-Ago-79	79,7
02-Jun-80	56,5
27-Ago-81	88,8
03-Oct-82	62,5
26-Ago-83	65,7
02-Dic-84	87,2
14-Oct-85	47,5
12-Oct-86	79,7
11-Oct-87	84,5
27-May-88	72,3
15-Jul-89	69,5
11-Oct-90	63,2
30-May-91	52,7
23-set-92	61,5
25-set-93	89,9
08-Jun-94	80,3
13-Jun-95	73,5
27-Jul-96	117,6
21-Abr-97	66,8
27-May-98	61,4
25-Ago-99	66,2
21-set-00	72,5
08-Sep-01	25,2
26-Ago-02	74,7
18-Jun-03	56,0
07-Sep-04	72,5
16-Nov-05	48,7
08-May-06	52,9
21-Ago-07	68,9
12-Oct-08	66,1
05-Jun-09	67,6

Fuente: el autor.

Cuadro B.12. Máximos anuales estación 73044 La Suiza.

73044 La Suiza	
Fecha	Precipitación total [mm]
03-Dic-70	231,6
25-Ago-71	96,1
23-Dic-72	114,7
10-Dic-73	160,3
03-Dic-74	154,0
12-Dic-75	102,3
31-Jul-76	103,9
14-Jun-77	156,2
17-Dic-78	72,6
17-Ago-79	64,4
12-Dic-80	168,0
22-Nov-81	148,6
25-Jul-82	97,3
01-Mar-83	90,3
02-Dic-84	221,6
22-Ago-85	95,0
21-Mar-86	99,4
05-Jun-87	91,1
27-Ene-88	236,5
01-Nov-89	82,4
06-Oct-90	84,6
11-Ago-91	142,6
08-Ago-92	162,9
09-Dic-93	295,5
27-Sep-94	83,9
27-Oct-95	91,5
12-Feb-96	279,7
26-Nov-97	150,6
06-Oct-98	90,1
04-Dic-99	103,5
13-Ene-00	132,4
29-Abr-01	88,2
23-Nov-02	212,5
10-Dic-03	187,2
08-Nov-04	133,2
09-Ene-05	214,2
13-Jun-06	139,2
25-Dic-07	165,2
23-Nov-08	216,6
05-Feb-09	129,4

Fuente: el autor.

Cuadro B.13. Máximos anuales estación 73046 Cachí (Plantel).

73046 Cachí (Plantel)	
Fecha	Precipitación total [mm]
09-Abr-70	148,4
06-Sep-71	65,7
04-Sep-72	62,0
19-May-73	55,9
03-Dic-74	108,1
13-Dic-75	124,9
16-Jul-76	74,3
06-Ago-77	53,4
17-Dic-78	78,4
01-Jun-79	57,1
11-Sep-80	116,0
27-Ago-81	82,1
26-Jun-82	62,5
01-Mar-83	65,4
02-Dic-84	229,9
11-Jun-85	69,5
26-Sep-86	77,2
02-Jul-87	116,9
28-Ene-88	78,4
15-Jul-89	121,5
23-Oct-90	84,7
11-Ago-91	82,9
01-Sep-92	91,2
09-Dic-93	130,0
01-Oct-94	58,2
1995 (30-Ago-02)	93,8
12-Feb-96	238,1
04-Ago-97	130,2
26-Jul-98	76,4
31-Ago-99	83,8
13-Ene-00	191,4
10-Feb-01	87,1
29-Nov-02	151,9
01-Abr-03	148,6
18-Sep-04	74,4
08-Ene-05	62,8
15-Ene-06	50,1
25-Dic-07	61,6
12-Oct-08	33,8
05-Jun-09	32,1

Fuente: el autor.

Cuadro B.14. Máximos anuales estación 73047 Tucurrique.

73047 Tucurrique	
Fecha	Precipitación total [mm]
09-Abr-70	272,8
15-Jul-71	118,6
23-Dic-72	82,3
06-Jun-73	63,3
04-Dic-74	148,3
02-Sep-75	106,8
16-Jul-76	110,4
23-Ago-77	71,4
03-May-78	62,4
30-set-79	65,5
12-Dic-80	108,8
22-Nov-81	103,5
26-Jul-82	66,9
01-Mar-83	77,1
02-Dic-84	247,0
11-Jun-85	83,5
01-Nov-86	133,6
16-Jun-87	90,6
28-Ene-88	117,3
16-Sep-89	68,0
15-Oct-90	75,3
11-Ago-91	143,4
02-Jul-92	139,2
09-Dic-93	284,2
31-Ago-94	130,6
13-Jun-95	99,4
12-Feb-96	331,7
03-Ago-97	181,0
08-Sep-98	76,5
02-Oct-99	74,0
13-Ene-00	214,5
04-Jul-01	125,5
30-Nov-02	158,7
01-Abr-03	206,6
30-set-05	100,9
09-Ene-05	180,8
14-Ene-06	155,7
25-Dic-07	141,7
02-Dic-08	135,0
04-Feb-09	116,5

Fuente: el autor.

Cuadro B.15. Máximos anuales estación 73074 San Antonio de Santa Cruz de Turrialba.

73074 San Antonio de Santa Cruz de Turrialba	
Fecha	Precipitación total [mm]
18-Dic-70	290,6
22-Jul-71	109,9
03-Abr-72	144,9
28-Nov-73	143,9
09-Ene-74	158,3
13-Dic-75	161,3
09-Dic-76	261,2
27-Jun-77	93,1
02-Feb-78	193,8
23-Oct-79	112,6
12-Dic-80	134,6
28-Feb-81	144,5
25-Jun-82	124,7
01-Mar-83	145,7
02-Dic-84	163,5
24-Ago-85	100,9
21-Mar-86	164,7
20-Dic-87	307,2
28-Ene-88	165,4
14-Ago-89	64,1
15-Dic-90	202,1
11-Ago-91	199,2
01-Mar-92	120,8
20-Ago-93	168,9
09-Dic-94	154,3
16-Oct-95	79,8
12-Feb-96	367,3
15-May-97	99,1
15-May-98	175,5
04-Dic-99	123,6
14-Ene-00	179,1
29-Abr-01	154,8
30-Nov-02	364,2
2003 (31-Jul-76)	228,6
2004 (09-Dic-93)	158,2
22-Sep-05	144,5
15-Ene-06	215,9
25-Dic-07	185,6
22-Nov-08	121,9
18-Jul-09	135,9

Fuente: el autor.

Cuadro B.16. Máximos anuales estación 73079 Oriente.

73079 Oriente	
Fecha	Precipitación total [mm]
03-Dic-70	273,8
02-Ago-71	82,6
16-Oct-72	135,0
09-Dic-73	128,8
03-Dic-74	211,2
31-May-75	102,2
23-Jun-76	98,8
30-Jun-77	142,5
12-Sep-78	101,1
11-Jul-79	131,8
09-Sep-80	132,7
27-Ago-81	138,0
21-Sep-82	84,7
23-Jul-83	99,5
30-Jun-84	96,3
09-Jun-85	100,9
03-Oct-86	84,4
02-Jul-87	132,7
27-Ene-88	223,4
04-Ago-89	93,6
15-Oct-90	140,0
24-Sep-91	102,8
01-Sep-92	224,8
09-Dic-93	435,2
04-Sep-94	129,0
01-Jul-95	113,3
12-Feb-96	273,6
29-Ago-97	162,0
29-Jun-98	99,2
17-May-99	116,7
09-Sep-00	100,9
04-Jun-01	62,0
23-Nov-02	164,0
01-Abr-03	200,7
15-Jun-04	143,3
09-Ene-05	160,2
15-Ene-06	119,4
06-Sep-07	151,9
22-Nov-08	102,0
05-Feb-09	167,5

Fuente: el autor.

Cuadro B.17. Máximos anuales estación 73089 Sitio de Presa Tapantí.

73089 Sitio de Presa Tapantí	
Fecha	Precipitación total [mm]
1970 (02-Ago-75)	107,3
1971 (02-Oct-75)	112,5
1972 (14-Ago-97)	129,8
1973 (20-Jun-83)	132,5
25-Jul-74	123,1
1975 (2-Ene-82)	108,9
18-Ene-76	121,6
21-May-77	78,2
30-Oct-78	92,4
01-Sep-79	91,4
17-Dic-80	181,6
22-Nov-81	129,4
10-Feb-82	116,1
05-May-83	159,4
28-Feb-84	194,4
01-Jun-85	106,1
1986 (25-Sep-89)	122,0
12-Jun-87	105,3
27-Ene-88	310,5
19-Ago-89	160,7
1990 (30-Ago-02)	133,6
14-Jun-91	91,1
11-Sep-92	86,9
22-Oct-93	151,1
05-Ene-94	112,8
29-Jun-95	97,6
05-Feb-96	169,3
09-Jun-97	136,8
11-Jul-98	91,7
30-Nov-99	177,4
30-Oct-00	155,3
25-Ene-01	149,8
23-Nov-02	222,6
2003 (24-Oct-02)	126,5
08-Nov-04	268,3
17-Abr-05	88,2
15-Ene-06	178,3
06-Nov-07	118,7
23-Nov-08	209,2
05-Feb-09	157,4

Fuente: el autor.

Anexo C

Ejemplos de cálculo

Ejemplos de cálculo de las características morfométricas de la cuenca obtenidas de forma analítica mediante fórmulas.

Índice de compacidad

El índice de compacidad es la relación entre el perímetro de la cuenca en estudio y el perímetro de una cuenca imaginaria circular con la misma área. Es una medida de la forma de la cuenca, que tan redonda o alargada es. El índice de compacidad está definido por la siguiente fórmula (Villón, Máximo 2004):

$$I_c = \frac{0,28 \cdot P}{\sqrt{A}} \quad (\text{C.1})$$

Donde:

P = Perímetro de la cuenca en km.

A = Área de la cuenca en km².

Con este índice se puede expresar la influencia del perímetro y del área en la escorrentía, particularmente en las características del hidrograma (Villón, Máximo 2004).

Para la cuenca en estudio se tiene un I_c de $I_c = 0,28 * \frac{200,3}{\sqrt{1525,7}} = 1,44$.

Según sea el valor del I_c la cuenca se puede clasificar en los tipos expuestos en la Cuadro C.1

Cuadro C.1. Índices de compacidad

Forma aproximada de la cuenca	I_c
Circular	[1-1,25[
Ovalada	[1,25-1,5[
Oblonga	[1,5-1,75[
Rectangular alargada	Mayor a 1,75

Fuente: Notas de clase Hidrología (IC - 0808), Prof: Ing. Rafael Oreamuno Vega.

Esta cuenca se clasifica como Ovalada.

Rectángulo equivalente

El rectángulo equivalente es una transformación geométrica que permite representarla cuenca con la forma de un rectángulo de igual área y perímetro. Esto implica que la cuenca transformada tiene el mismo índice de compacidad, la misma distribución de alturas, la misma curva hipsométrica y la misma distribución de cobertura de terreno (Máximo, V. 2004). Sus lados "L" y "l" se encuentran con las siguientes fórmulas:

$$L = \frac{I_c \sqrt{A}}{1,12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{I_c} \right)^2} \right) \quad (C.2)$$

$$l = \frac{I_c \sqrt{A}}{1,12} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{I_c} \right)^2} \right) \quad (C.3)$$

Donde:

L = Lado mayor.

l = Lado menor.

I_c = Índice de compacidad.

A = Área de la cuenca.

Los lados "L" y "l" de la cuenca en estudio tienen las siguientes longitudes:

$$L = \frac{1,44 * \sqrt{1525,7}}{1,12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{1,44} \right)^2} \right) = 81,41 \text{ Km.}$$

$$l = \frac{1,44 * \sqrt{1525,7}}{1,12} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{1,44} \right)^2} \right) = 18,74 \text{ Km.}$$

Índice de pendiente

Es una ponderación de las pendientes de los distintos tramos recorridos por el cauce del río. Con este valor se puede establecer aproximadamente el tipo de granulometría que se encuentra en el cauce. Este valor es diferente de la pendiente media del río. La fórmula para calcular el índice de pendiente está dada por la siguiente ecuación:

$$I_p = \sum_{i=2}^n \sqrt{\beta_i (a_i - a_{i-1})} * \frac{1}{\sqrt{L}} \quad (C.4)$$

$$I_p = 18,1$$

Donde:

- **I_p** = Índice de Pendiente.
- **n** = número de curvas de nivel existente en el rectángulo.
- $(a_i - a_{i-1})$ = Resta de los valores de las cotas de las curvas "a_i" y "a_{i-1}".
- **β_i** = factor de ponderación correspondiente al área entre curvas de nivel "i" e "i - 1" dividida por el área total de la cuenca.
- **L** = Longitud del lado mayor del rectángulo equivalente, en kilómetros (ver ec. C.2).

Pendiente de la cuenca

Este parámetro es importante porque tiene una relación importante con la humedad del suelo, la escorrentía superficial, la infiltración y la contribución del agua subterránea a la escorrentía. La magnitud de las crecidas del río se ve afectada por este parámetro, ya que este controla el tiempo de escurrimiento del agua hasta los canales de drenaje.

Existen distintos métodos para encontrar la pendiente de la cuenca. Entre ellos están los métodos de Horton, Alvord, Nash y el del rectángulo equivalente (Villón, Máximo 2004).

Utilizando el criterio del rectángulo equivalente se obtiene un valor de pendiente de la cuenca expresado en porcentaje de 3,77 %.

$$S = \frac{H}{L} \quad (C.5)$$

$$S = \frac{(3,491 - 0,420)}{81,41} = 0,0377$$

Donde:

S = pendiente de la cuenca.

H = desnivel total (cota de la máxima elevación – cota de mínima elevación), en km.

L= lado mayor del rectángulo equivalente, en km.

Pendiente media del cauce principal

La pendiente media de un tramo del cauce de un río es el resultado de la división del desnivel de los extremos del tramo, entre la longitud horizontal de dicho tramo (Villón, Máximo 2004).

Es importante conocer este parámetro para lograr un aprovechamiento hidroeléctrico óptimo o para el manejo de inundaciones.

Existen distintos métodos para la determinación de la pendiente de un cauce. Entre ellos están el método de la pendiente uniforme, el método de compensación de áreas y mediante la ecuación de Taylor y Schwarz (Villón, Máximo 2004).

Utilizando el método de la pendiente uniforme se obtiene un valor en porcentaje de la pendiente media del cauce principal de 3,02%.

$$S = \frac{H}{C_p}$$
$$S = \frac{(3,300 - 0,420)}{95,5} = 0,0302$$

Donde:

S = pendiente media del cauce principal.

H = Desnivel total entre las partes superior e inferior del cauce principal.

C_p = Longitud del cauce principal en km.

Anexo D

Curvas acumuladas de las tormentas por estación

Se muestran tres gráficos por estación. El primero muestra la totalidad de las tormentas de cada estación en curvas acumuladas de precipitación en porcentaje contra tiempo en minutos. El segundo y el tercero contienen las curvas acumuladas de las tormentas de corta y larga duración y la respectiva curva acumulada de los hietogramas característicos que se encontraron. Estos se muestran como una línea de mayor grosor en el gráfico. Se muestra también las curvas de las tormentas que no se ajustaron a ningún comportamiento característico.

D.1 Sanatorio Durán

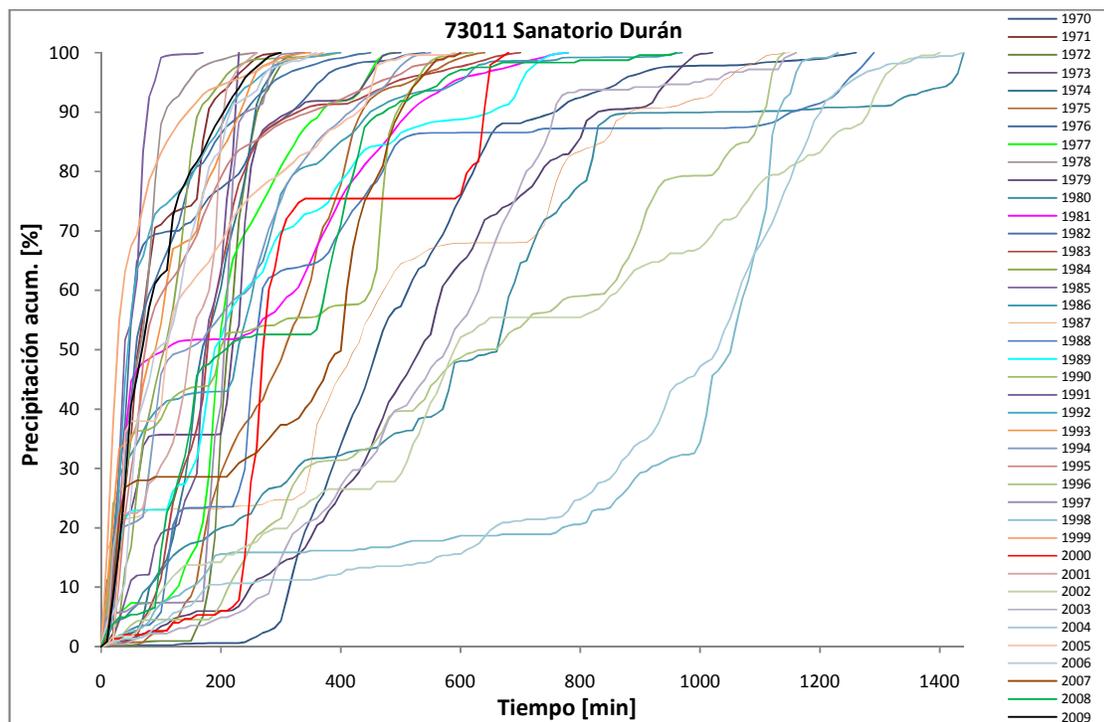


Figura D.1.1. Tormentas acumuladas de la estación Sanatorio Durán.

Fuente: el autor.

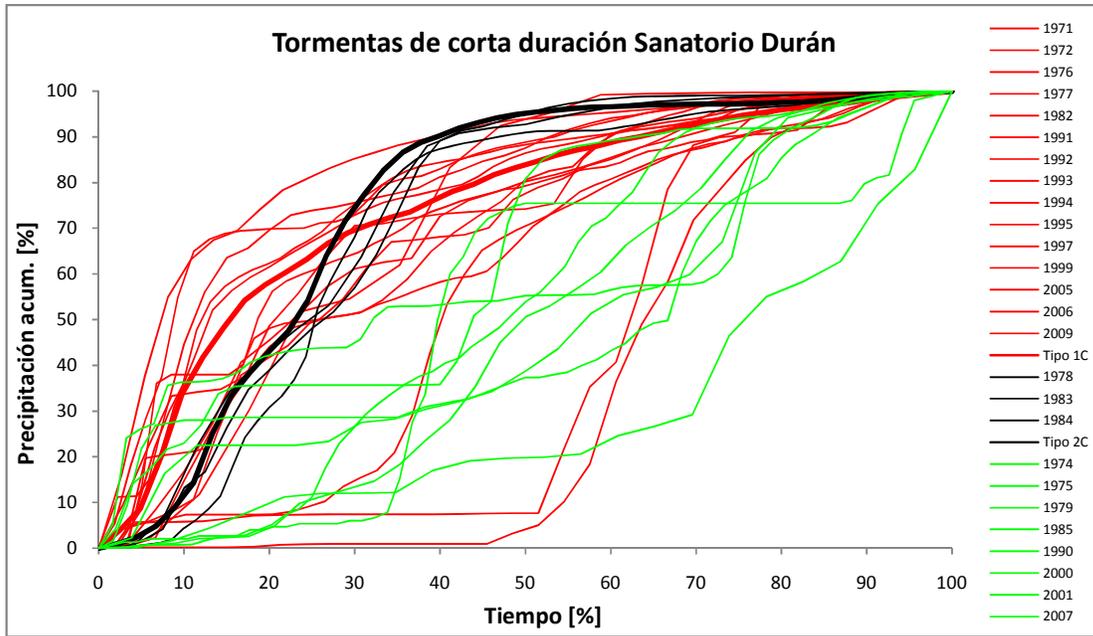


Figura D.1.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración Sanatorio Durán.

Fuente: El autor.

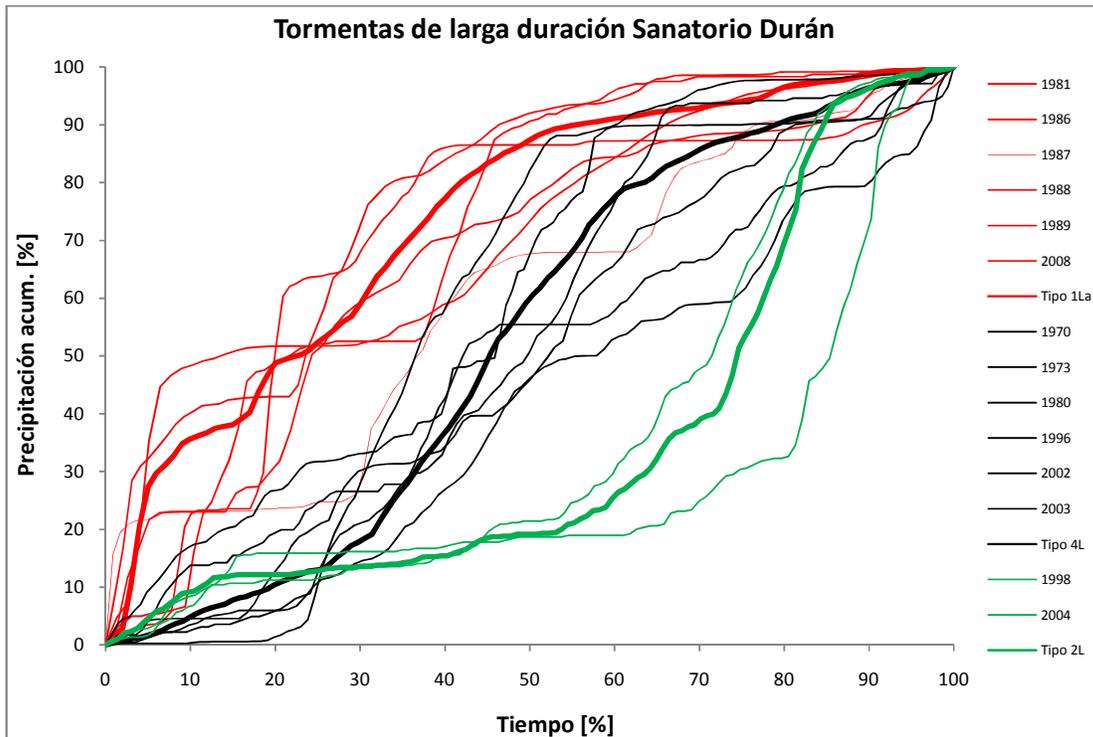


Figura D.1.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración Sanatorio Durán.

Fuente: El autor.

D.2 San Rafael de Tapantí

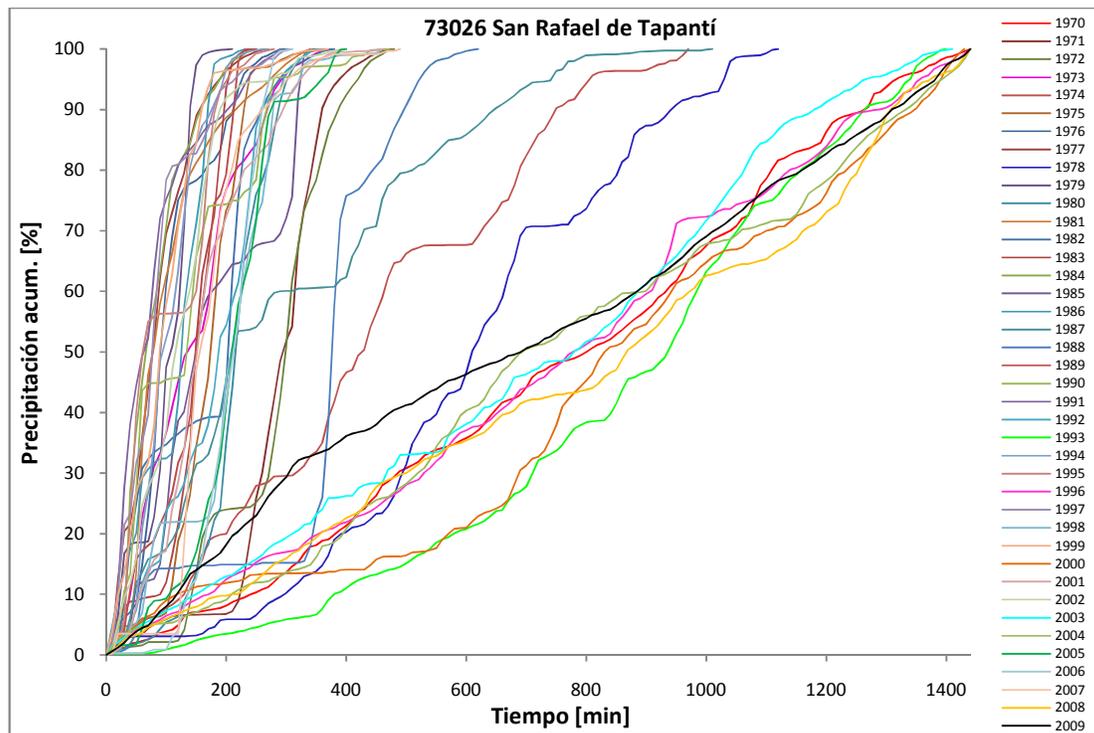


Figura D.2.1. Tormentas acumuladas de la estación San Rafael de Tapantí.

Fuente: el autor.

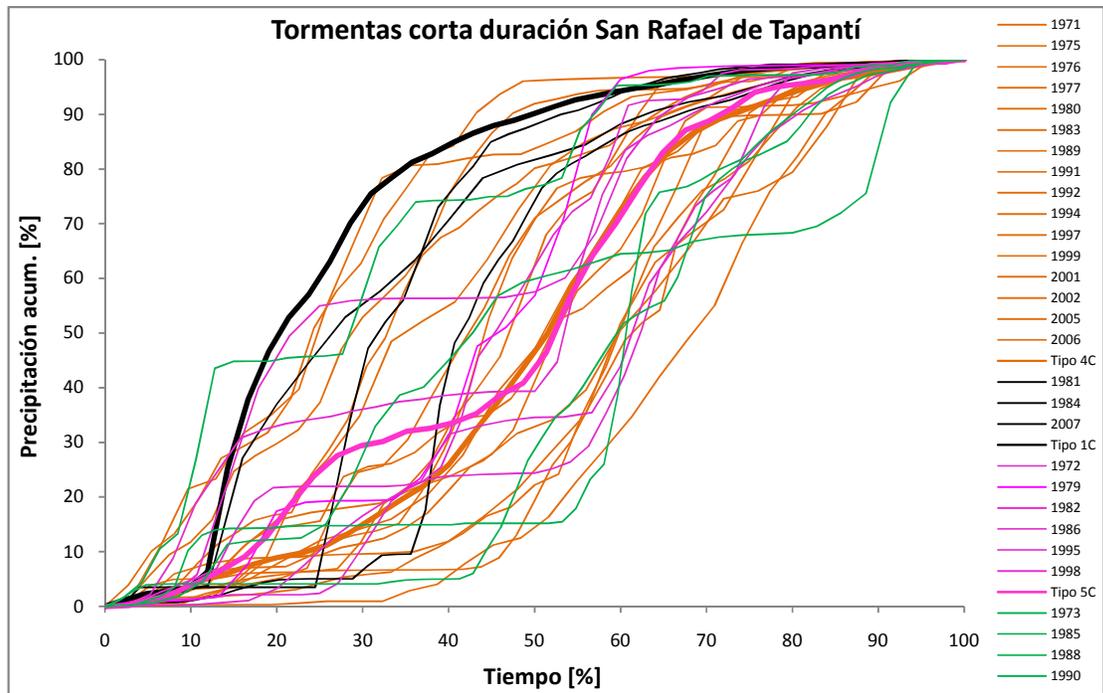


Figura D.2.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración San Rafael de Tapantí.

Fuente: El autor.

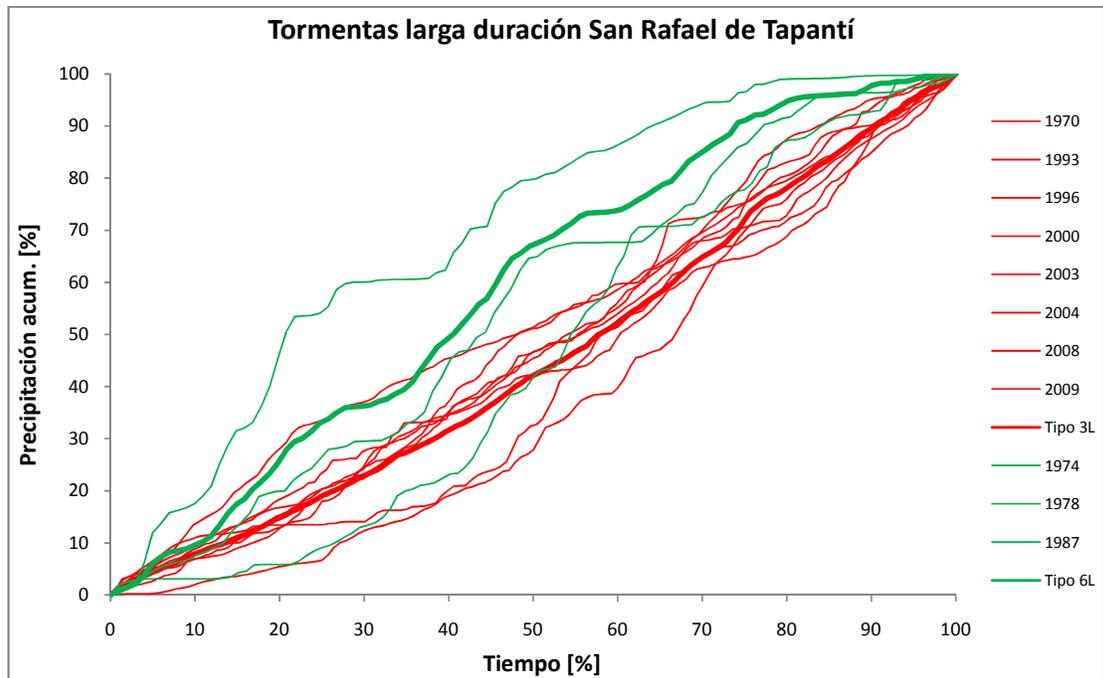


Figura D.2.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración San Rafael de Tapantí.

Fuente: El autor.

D.3 El Cañón

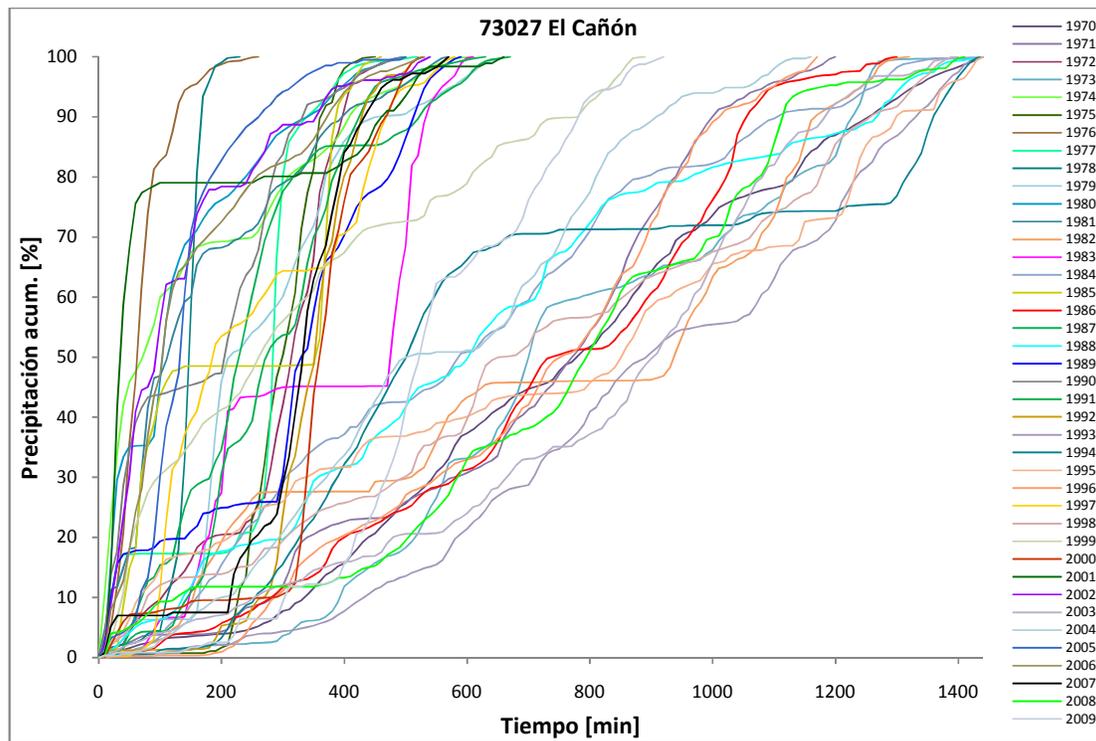


Figura D.3.1. Tormentas acumuladas de la estación El Cañón.

Fuente: el autor.

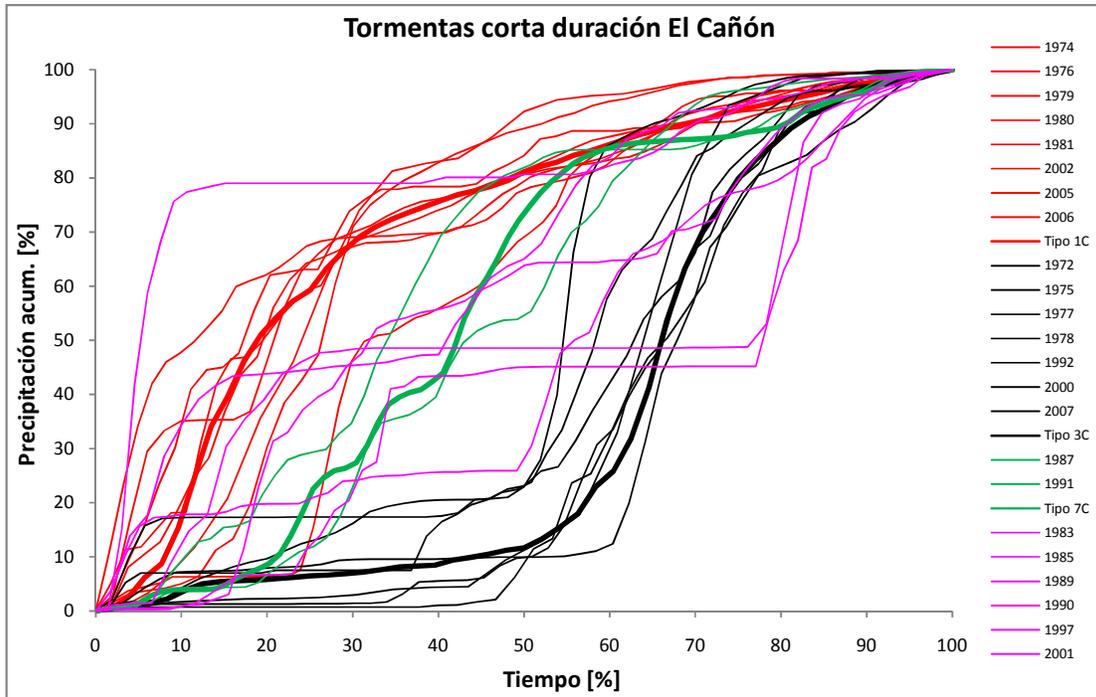


Figura D.3.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración El Cañón.

Fuente: El autor.

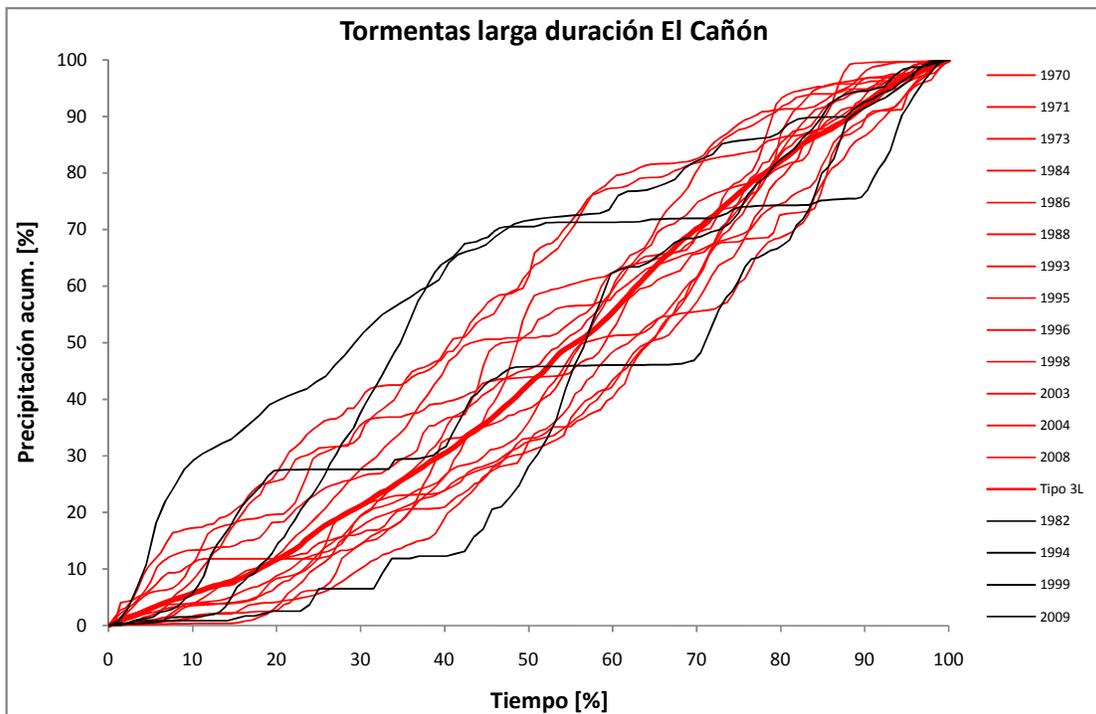


Figura D.3.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración El Cañón.

Fuente: El autor.

D.4 El Humo

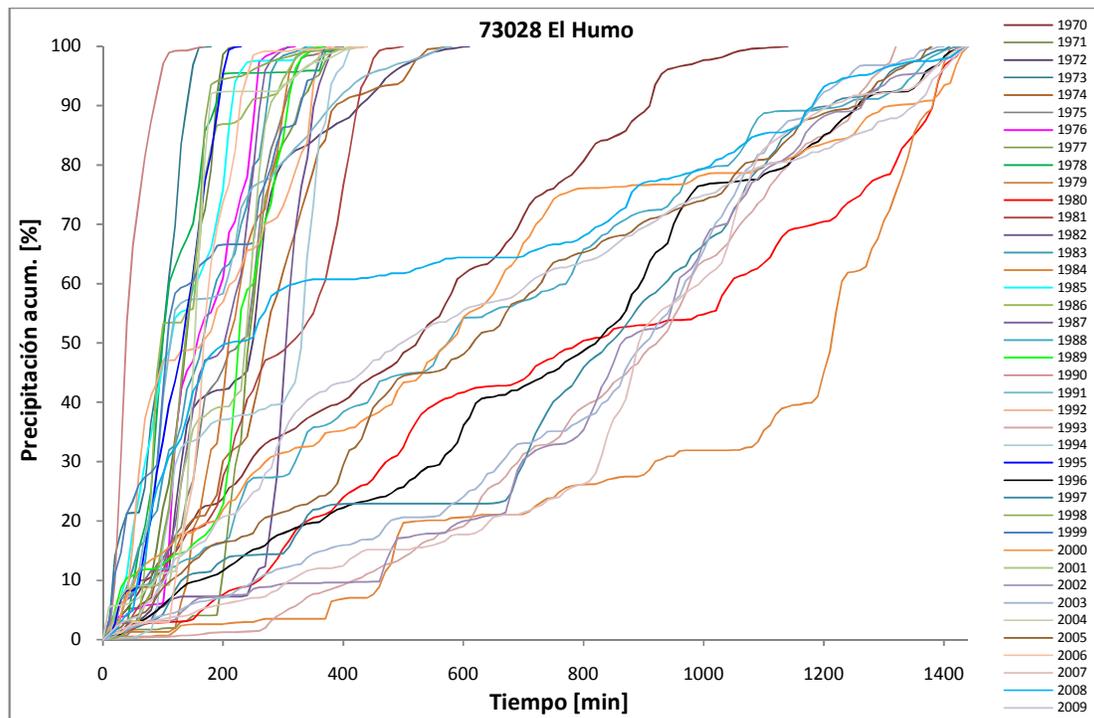


Figura D.4.1. Tormentas acumuladas de la estación El Humo.

Fuente: el autor.

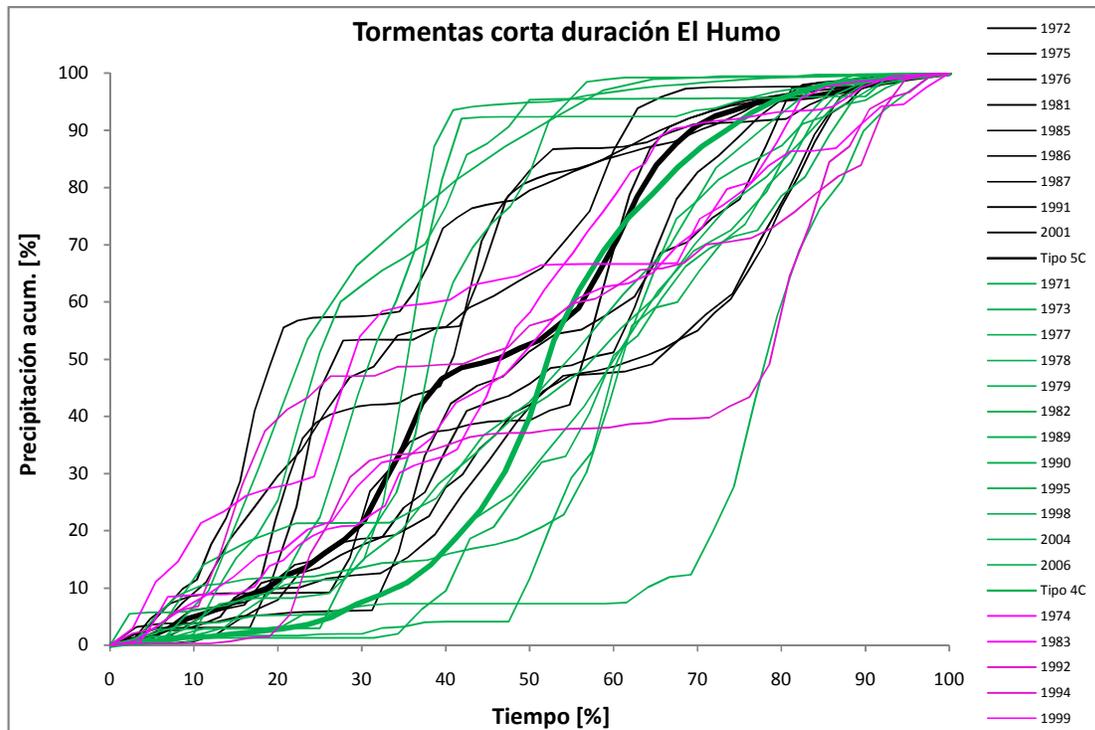


Figura D.4.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración El Humo.

Fuente: El autor.

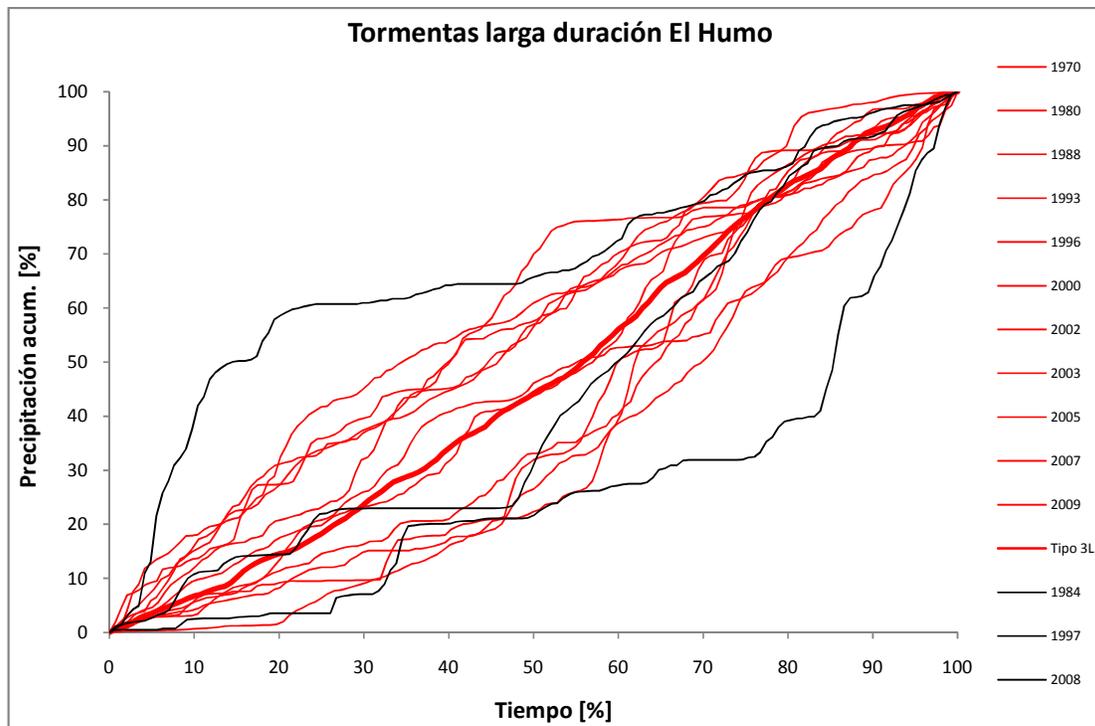
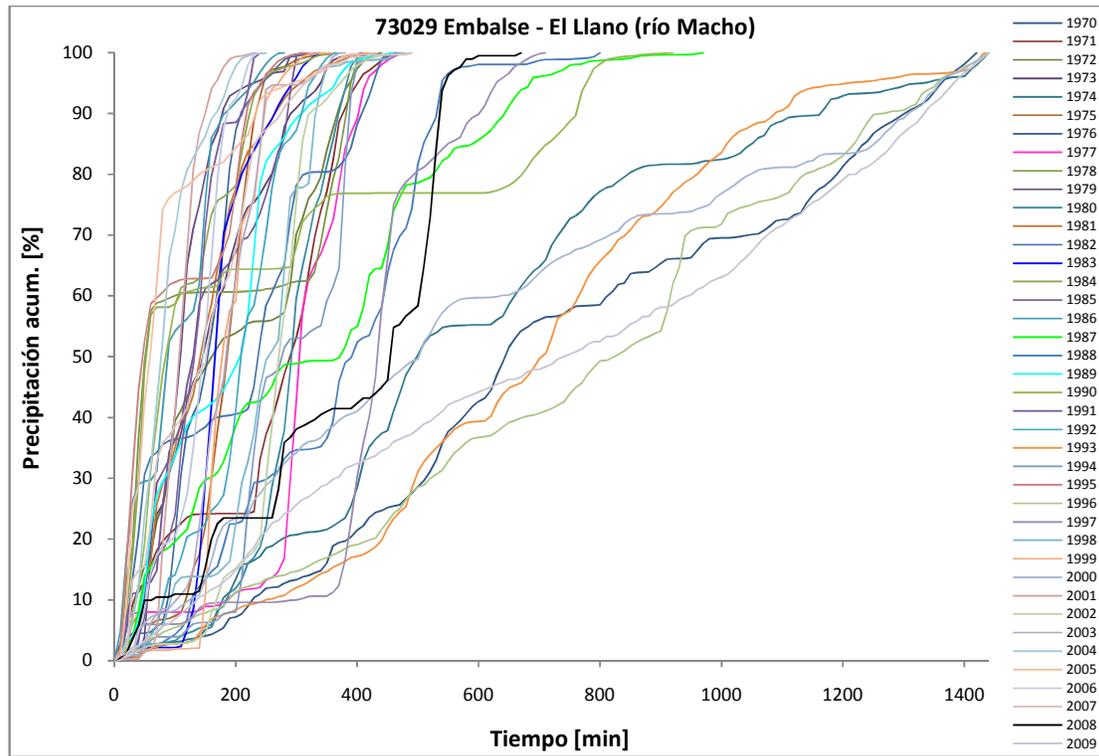


Figura D.4.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración El Humo.

Fuente: El autor.

D.5 Embalse – El Llano



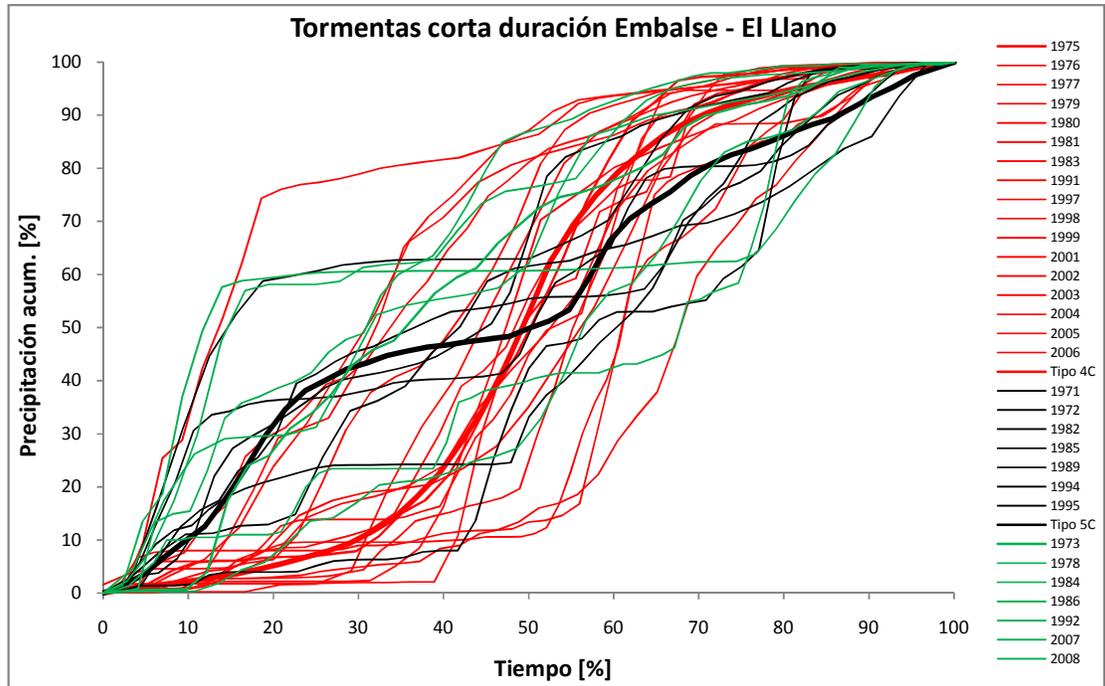


Figura D.5.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración Embalse – El Llano.

Fuente: El autor.

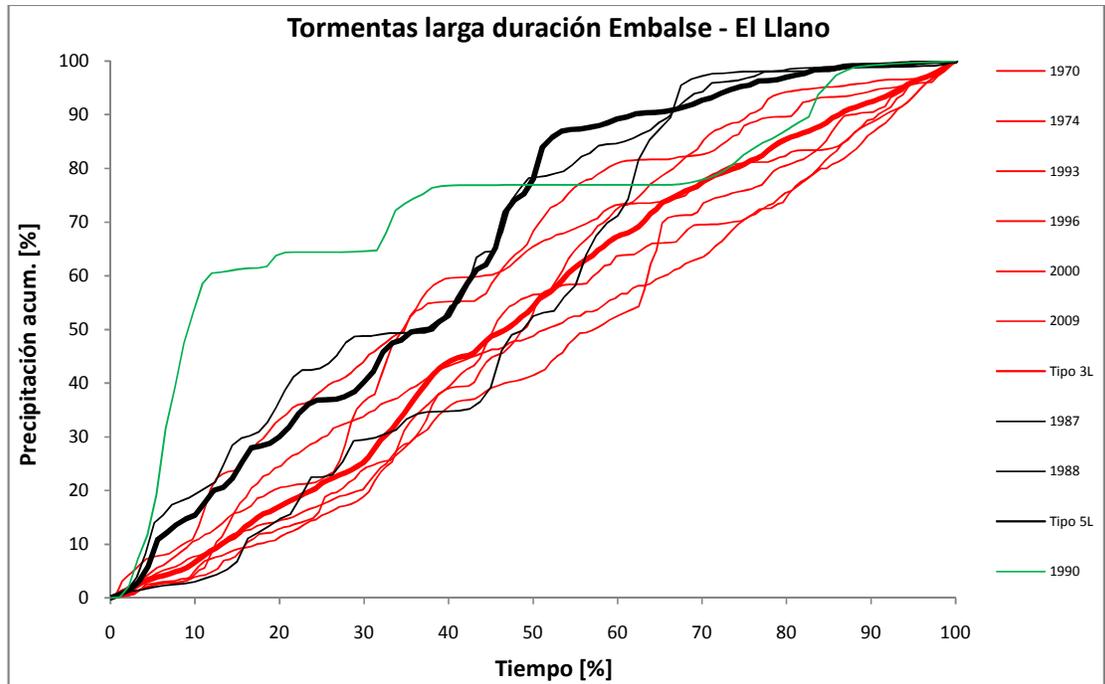


Figura D.5.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración Embalse – El Llano.

Fuente: El autor.

D.6 Villa Mills

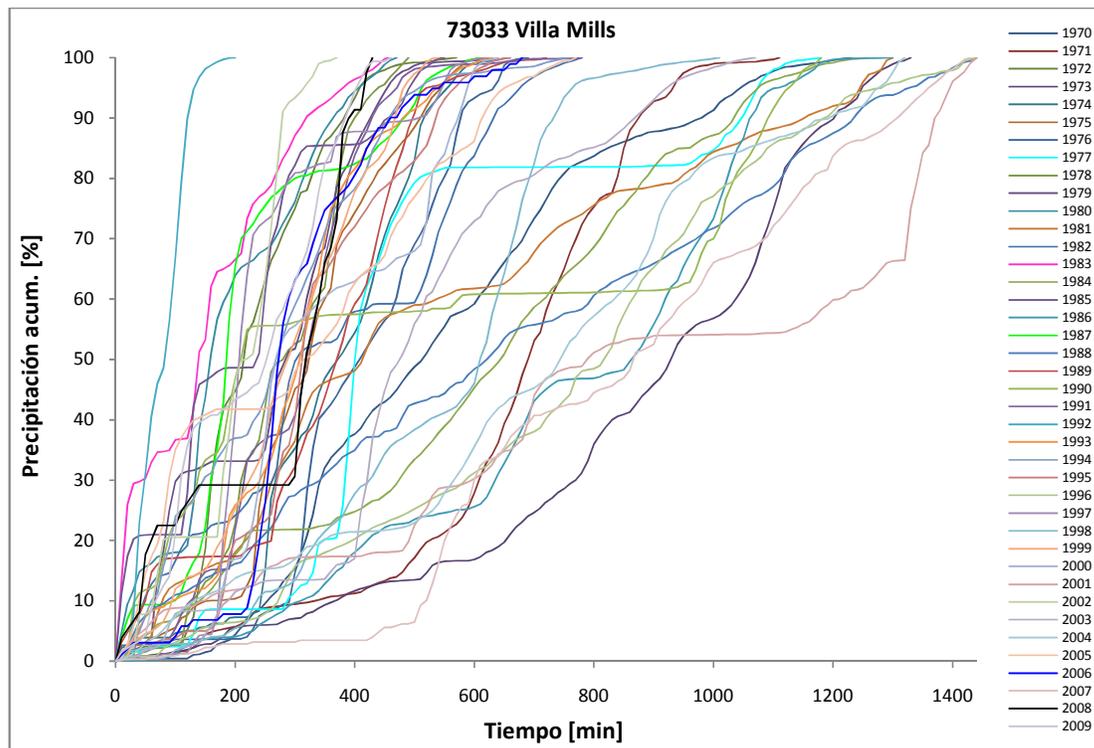


Figura D.6.1. Tormentas acumuladas de la estación Villa Mills.

Fuente: el autor.

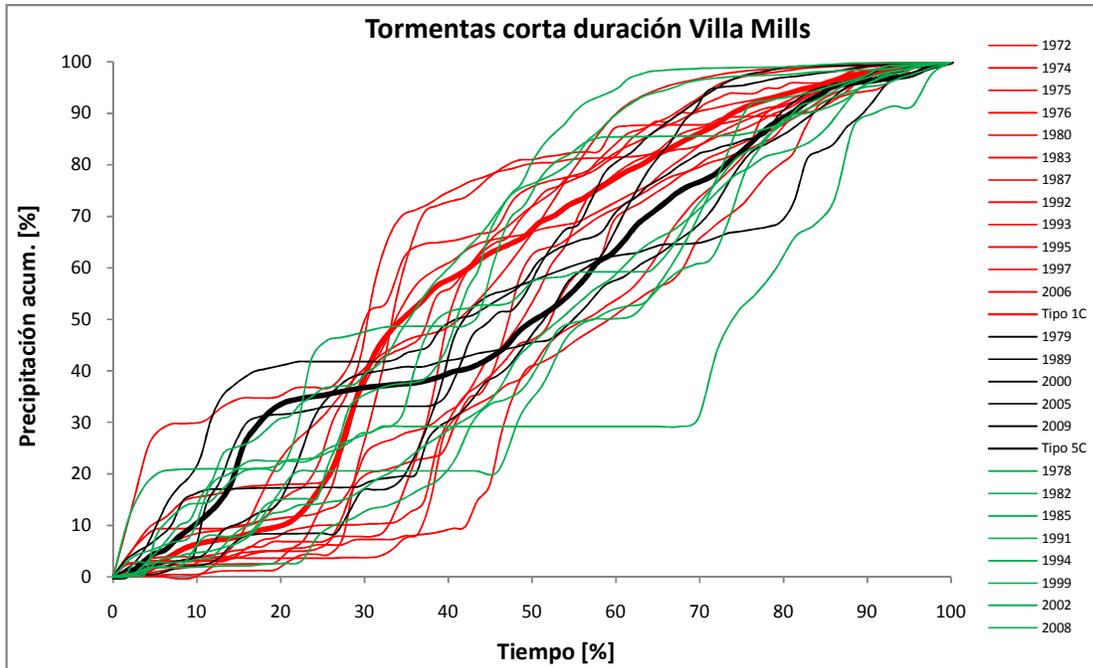


Figura D.6.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración Villa Mills.

Fuente: El autor.

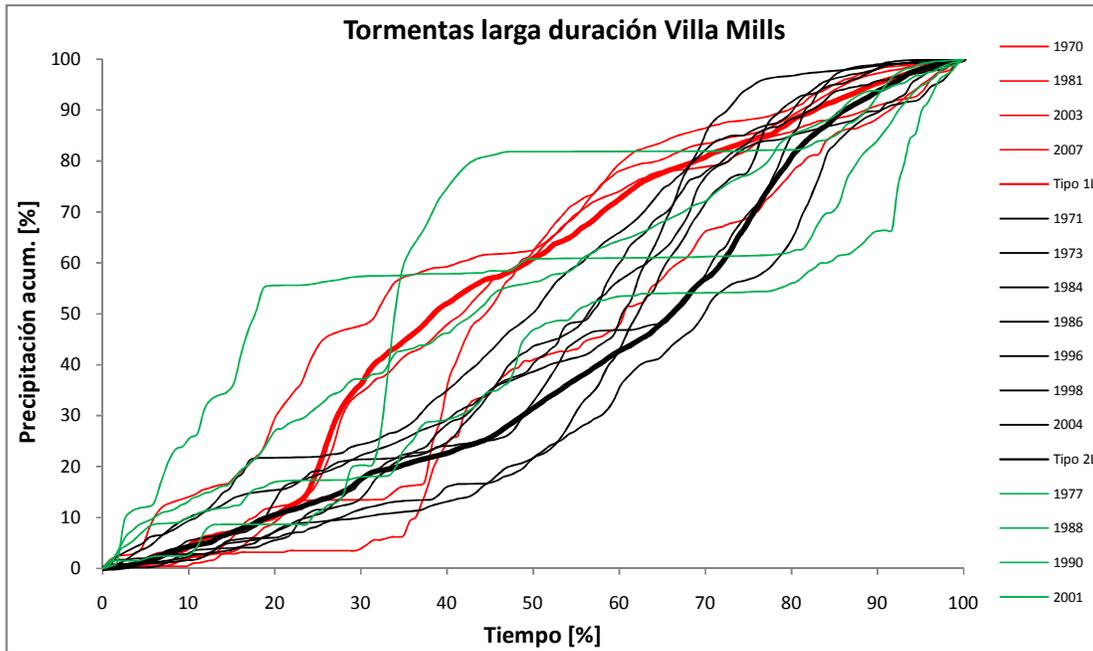


Figura D.6.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración Villa Mills.

Fuente: El autor.

D.7 Tres de Junio

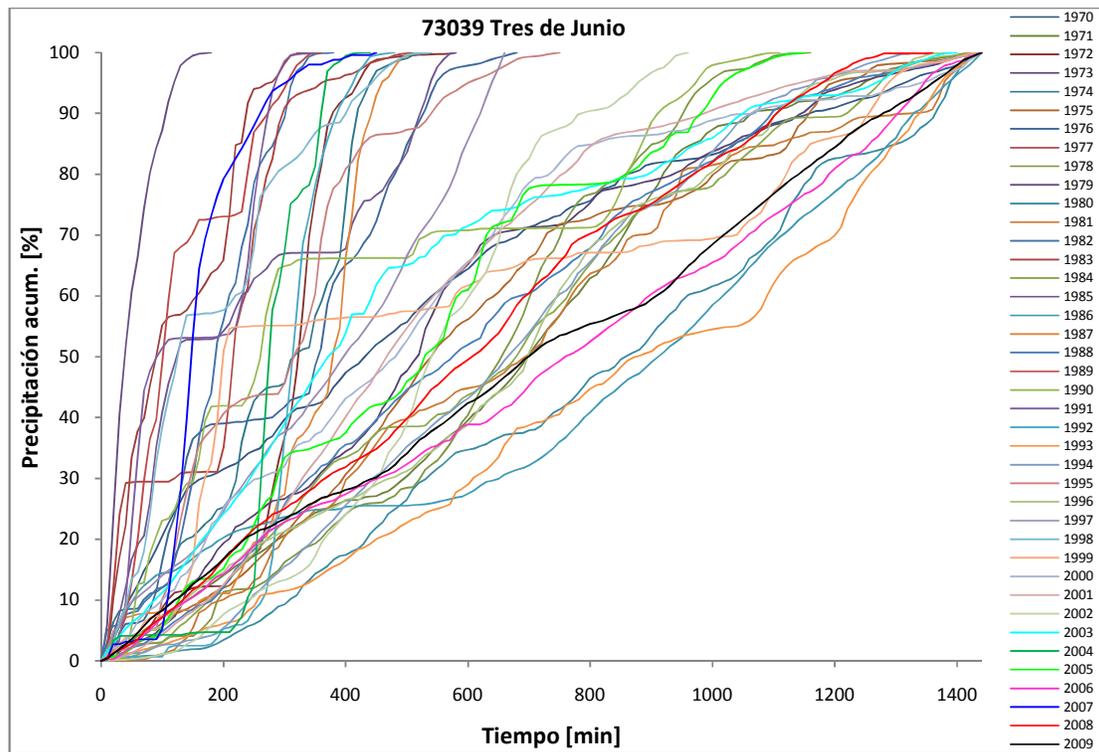


Figura D.7.1. Tormentas acumuladas de la estación Tres de Junio.

Fuente: el autor.

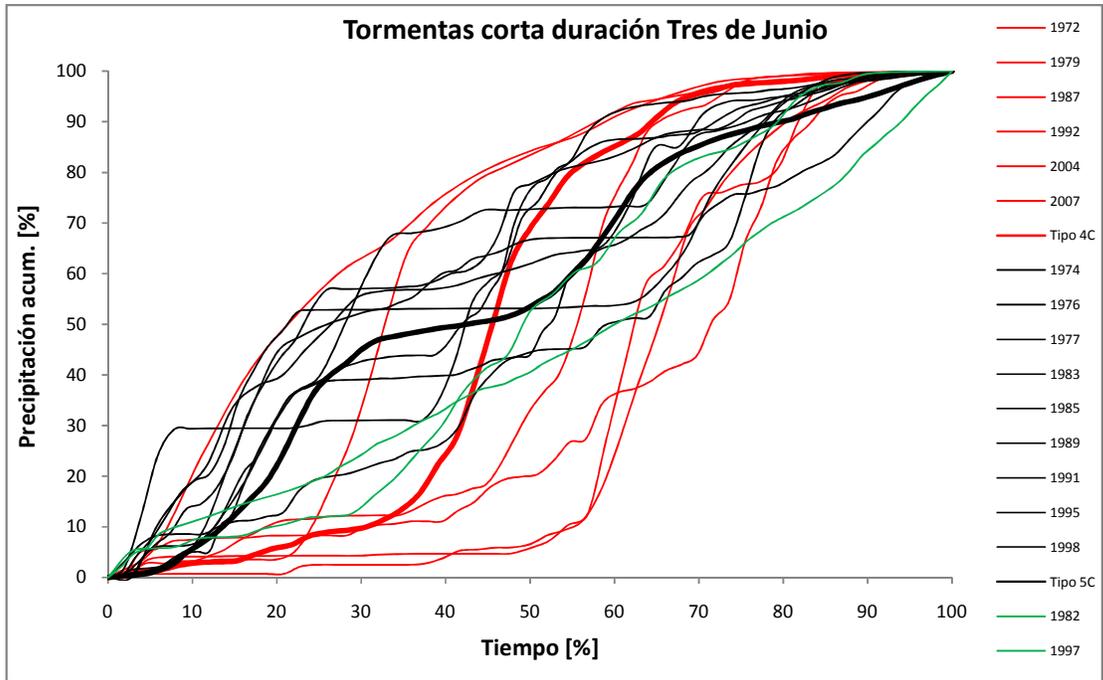


Figura D.7.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración Tres de Junio.

Fuente: El autor.

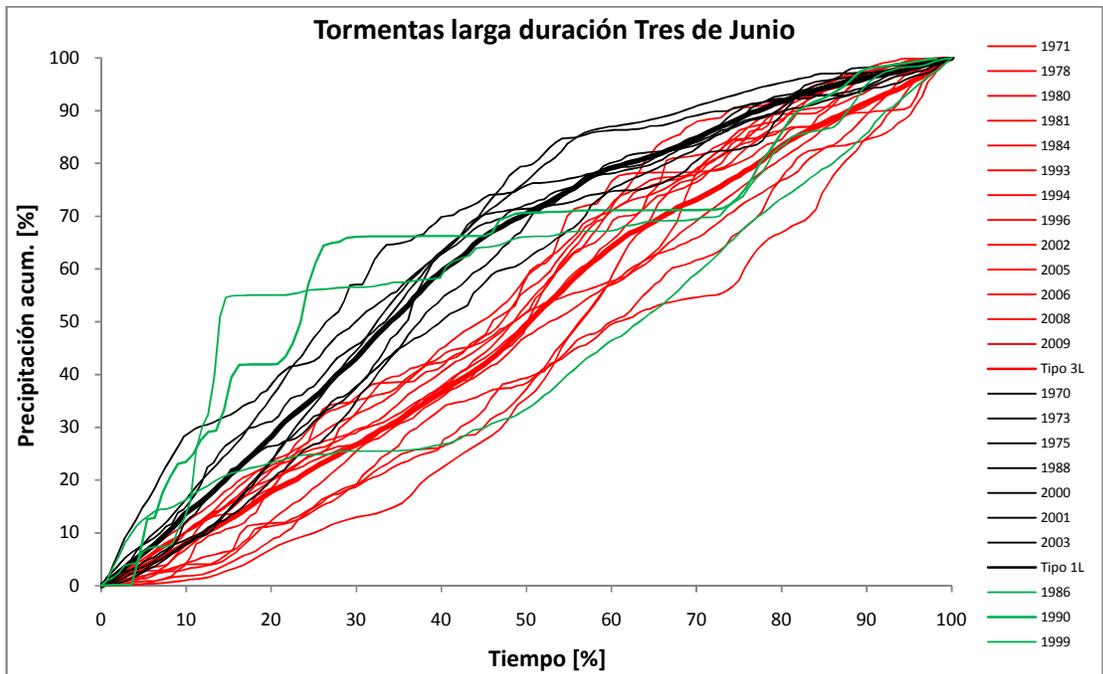


Figura D.7.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración Tres de Junio.

Fuente: El autor.

D.8 La Cangreja

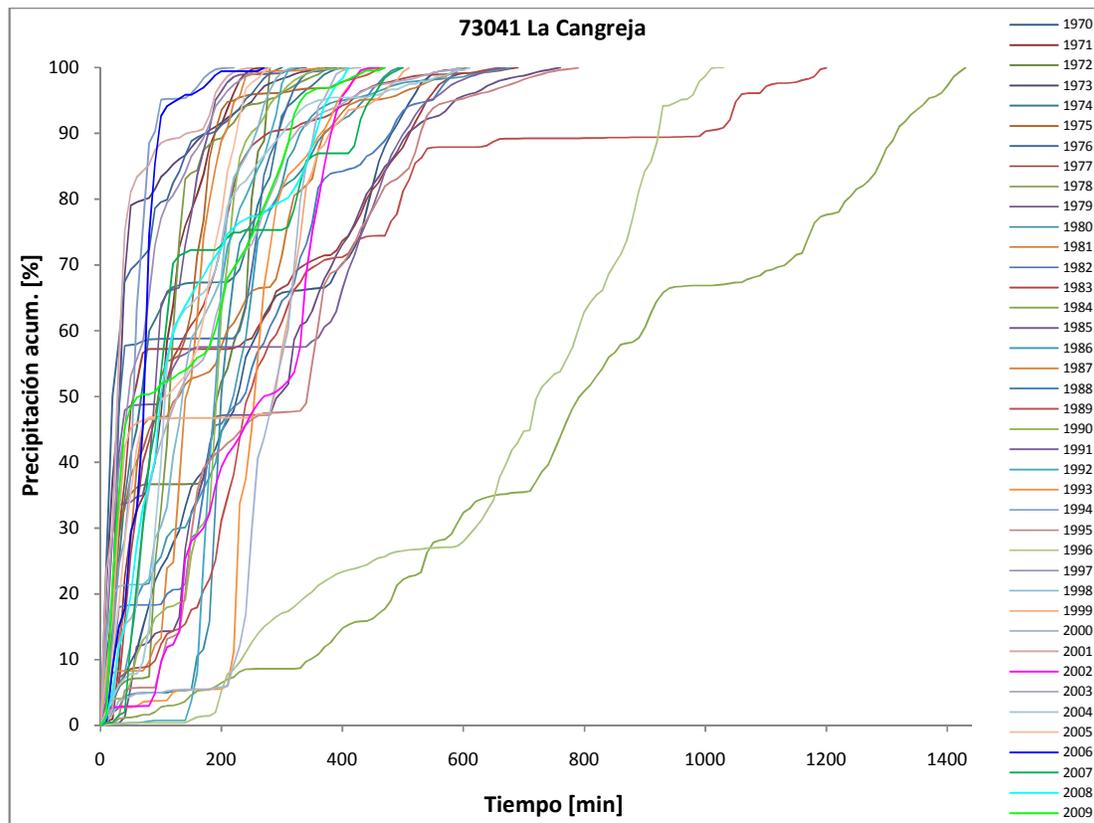


Figura D.8.1. Tormentas acumuladas de la estación La Cangreja.

Fuente: el autor.

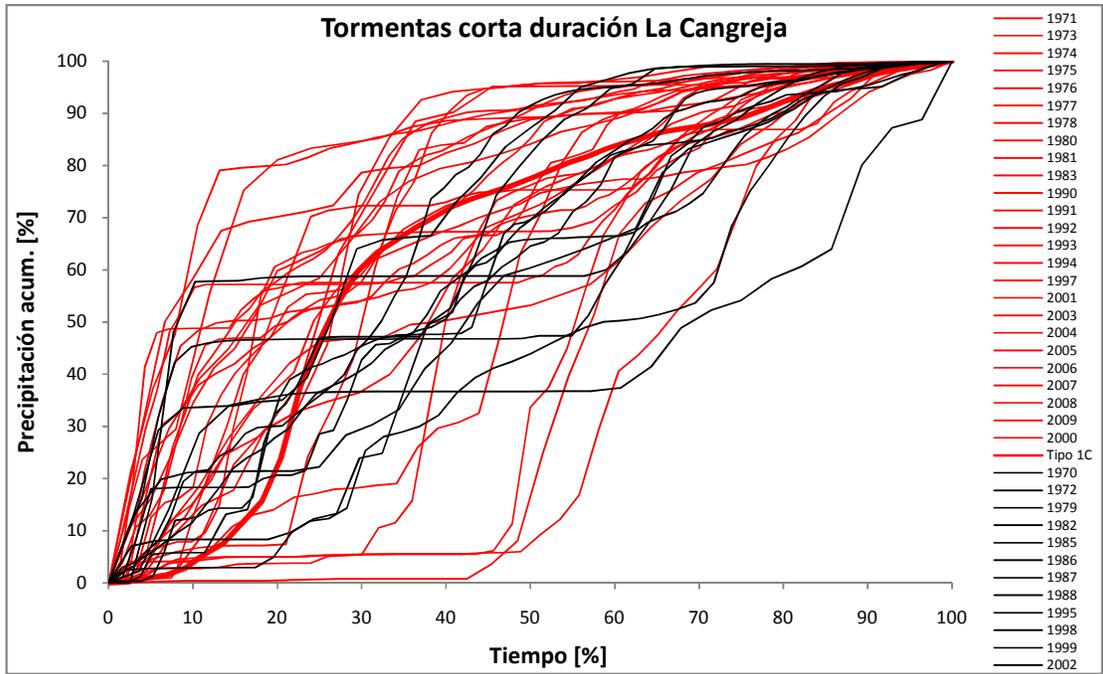


Figura D.8.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración La Cangreja.

Fuente: El autor.

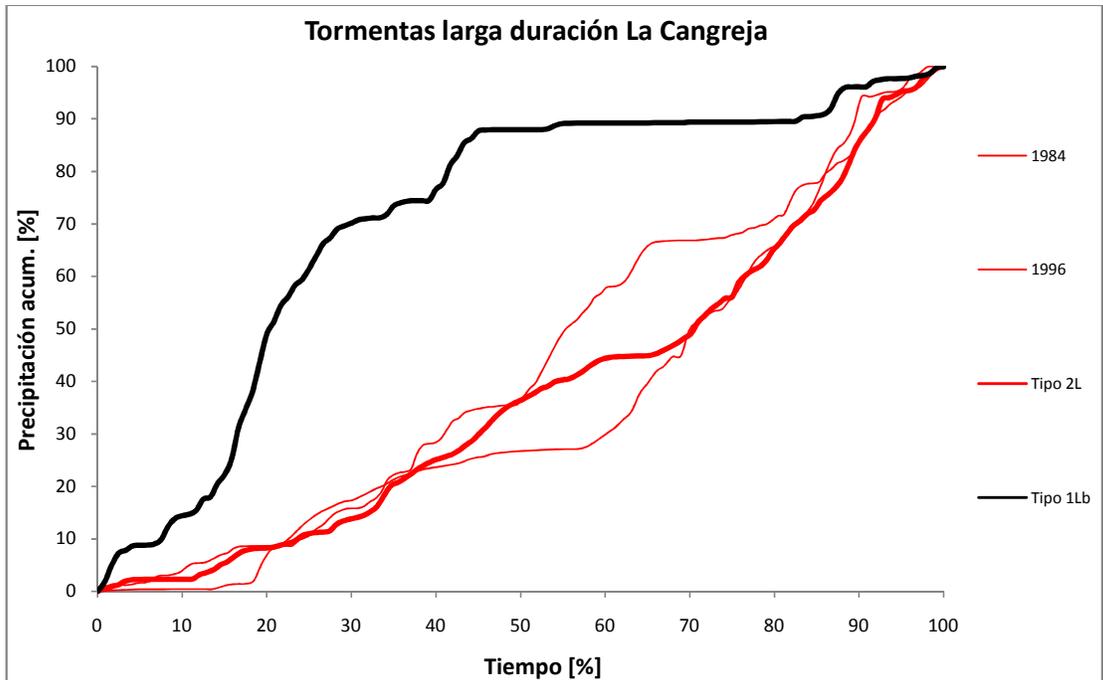


Figura D.8.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración La Cangreja.

Fuente: El autor.

D.9 La Suiza

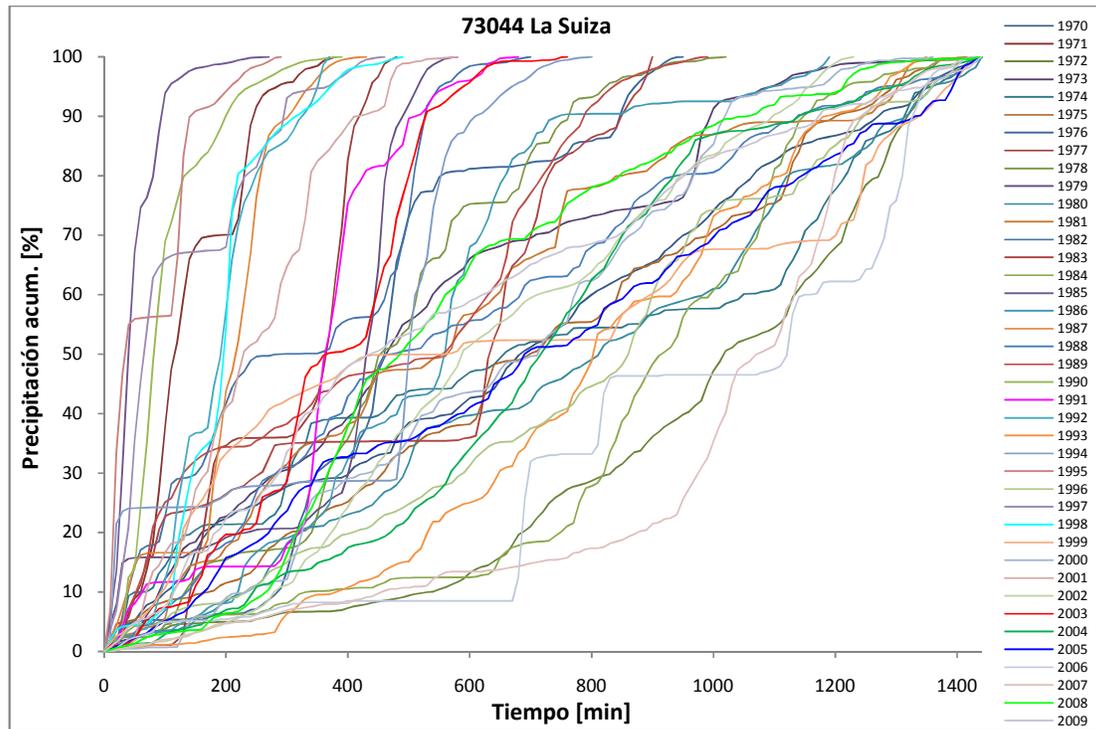


Figura D.9.1. Tormentas acumuladas de la estación La Suiza.

Fuente: el autor.

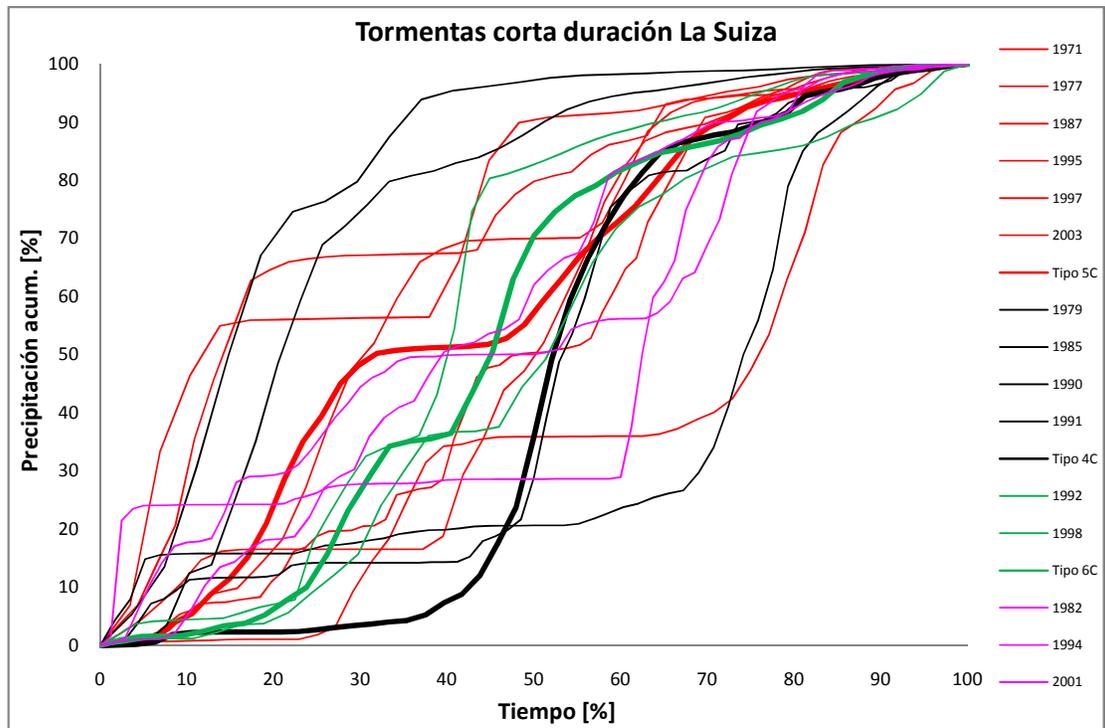


Figura D.9.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración La Suiza.

Fuente: El autor.

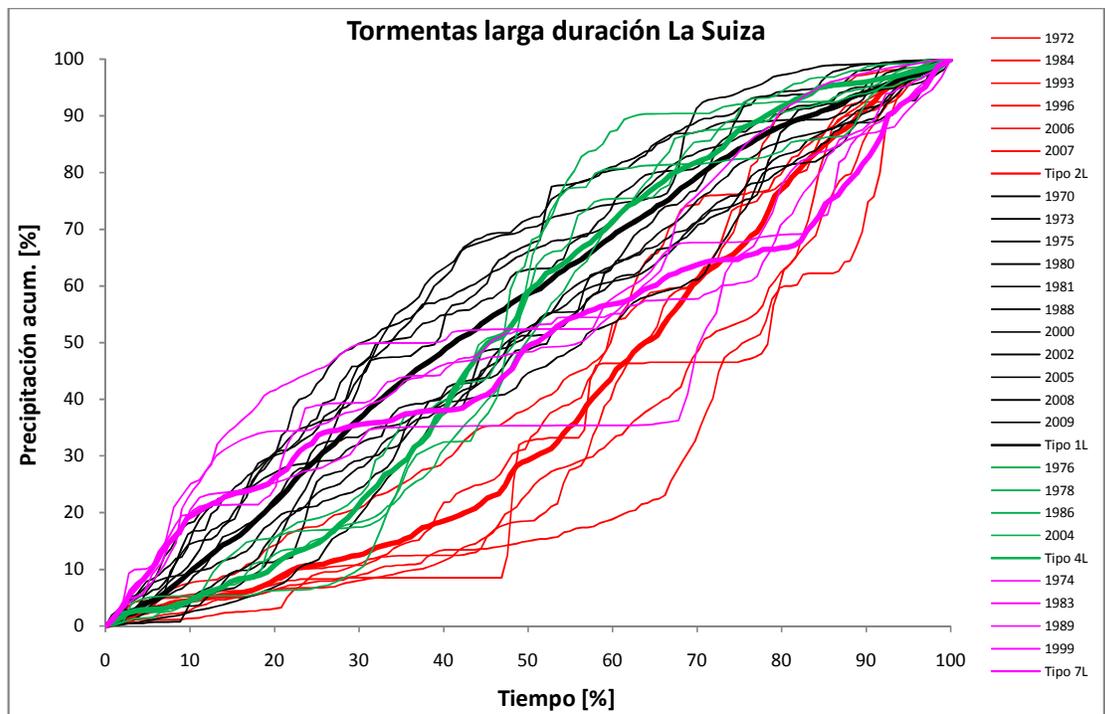


Figura D.9.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración La Suiza.

Fuente: El autor.

D.10 Cachí (Plantel)

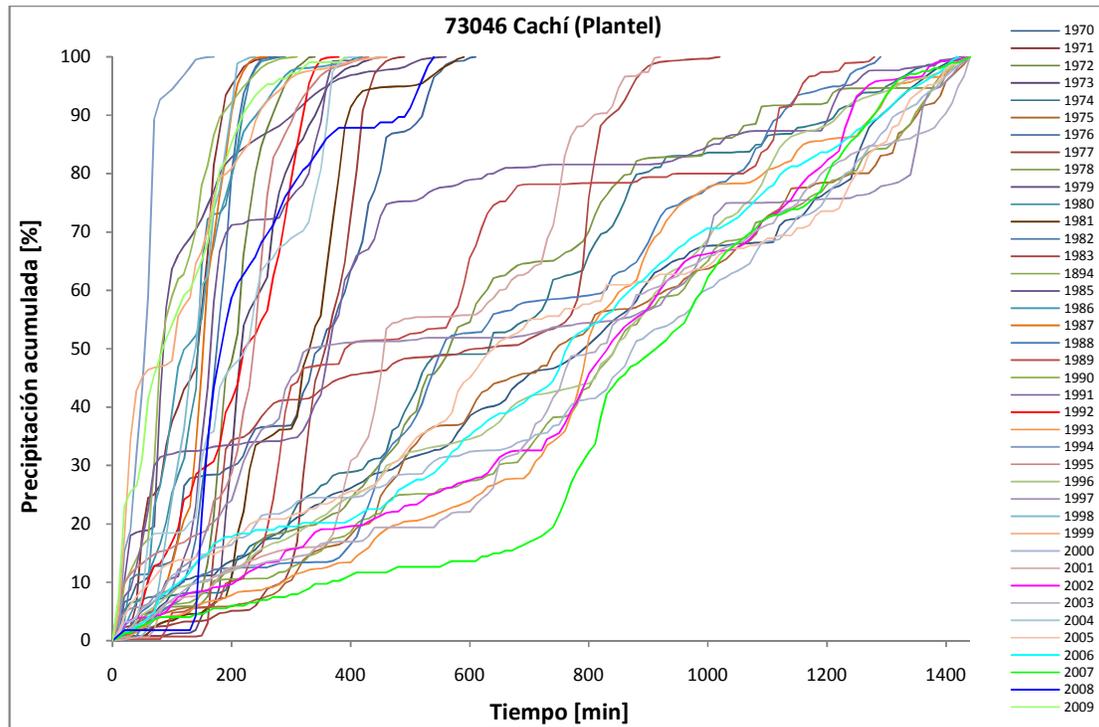


Figura D.10.1. Tormentas acumuladas de la estación Cachí (Plantel).

Fuente: el autor.

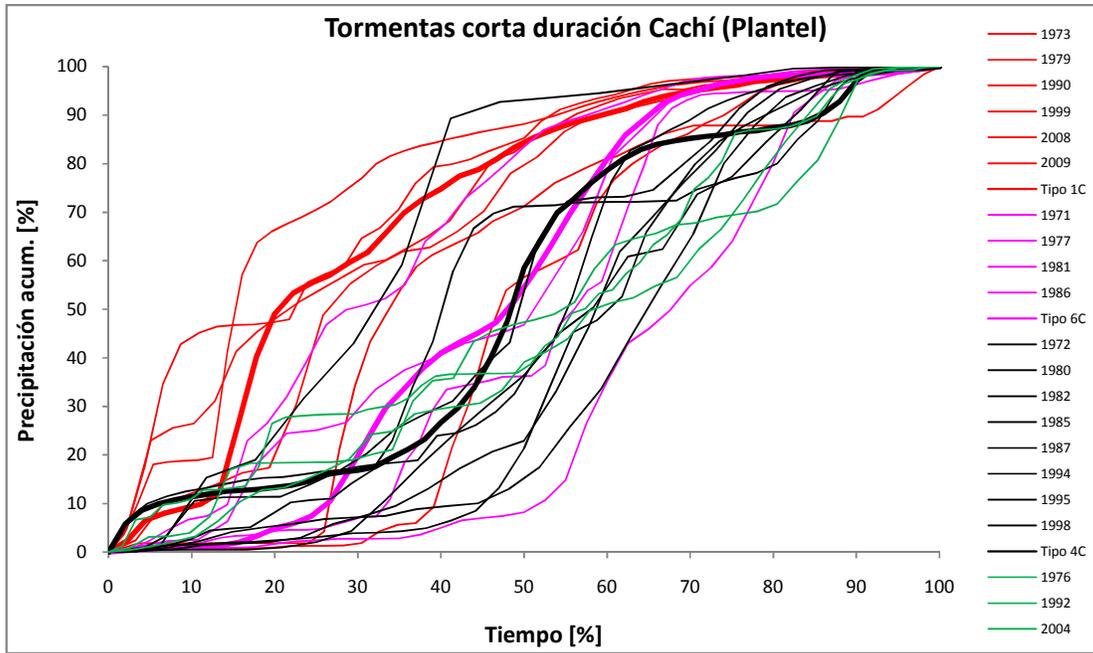


Figura D.10.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración Cachí (Plantel).

Fuente: El autor.

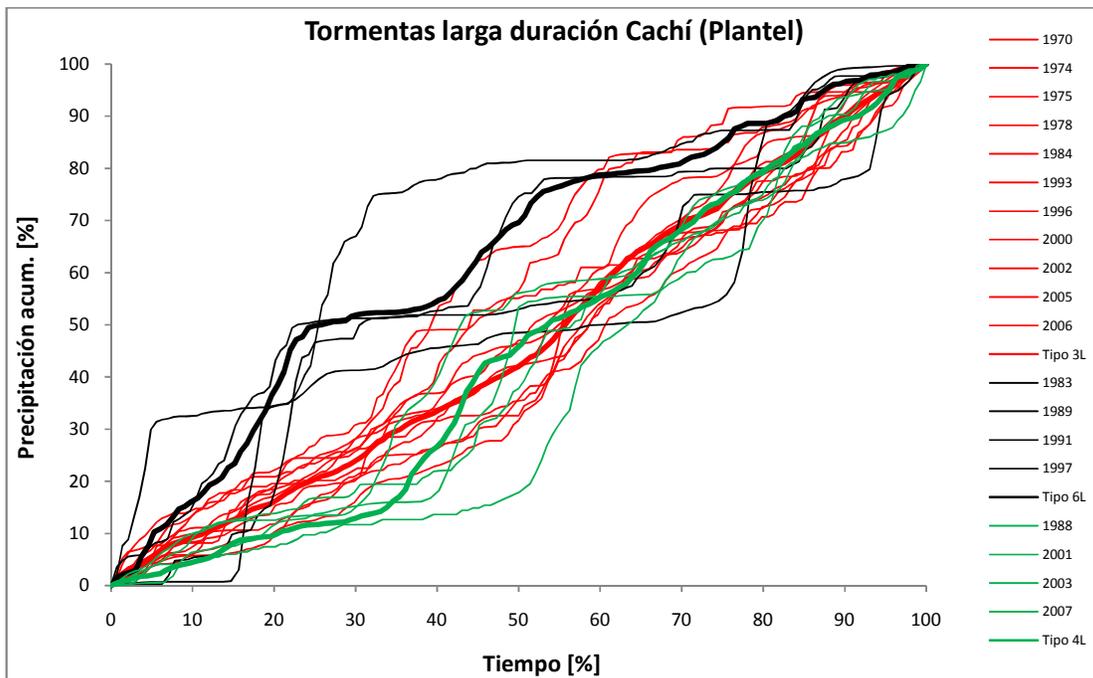


Figura D.10.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración Cachí (Plantel).

Fuente: El autor.

D.11 Tucurrique

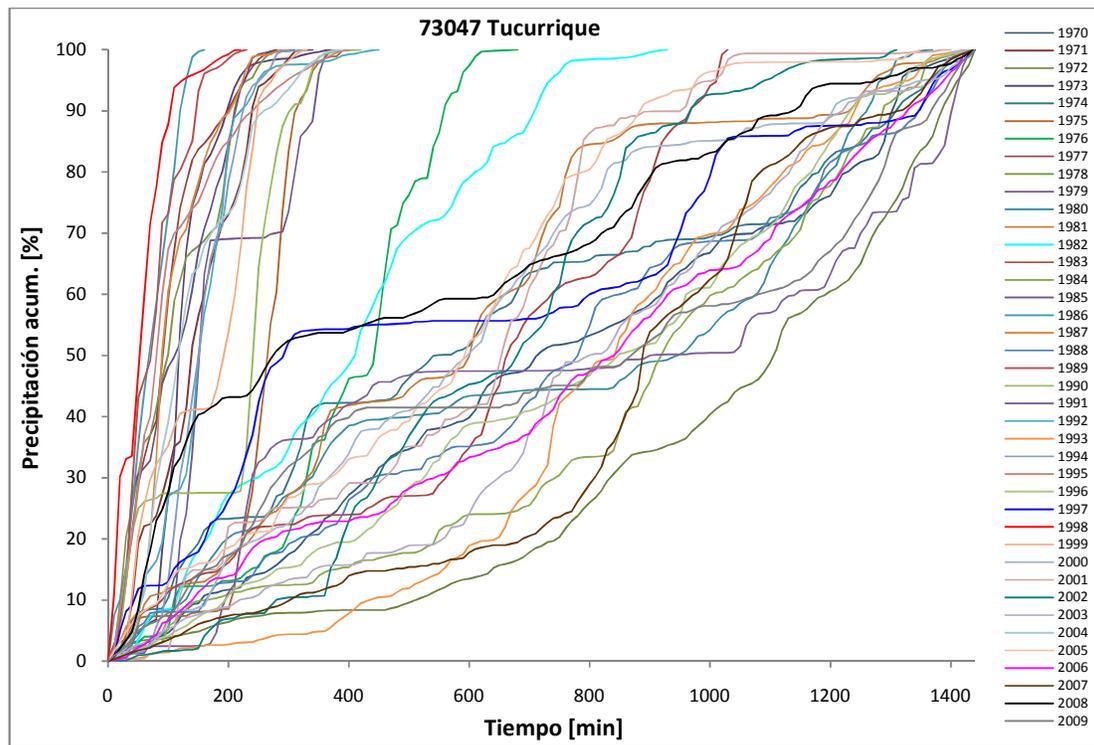


Figura D.11.1. Tormentas acumuladas de la estación Tucurrique.

Fuente: el autor.

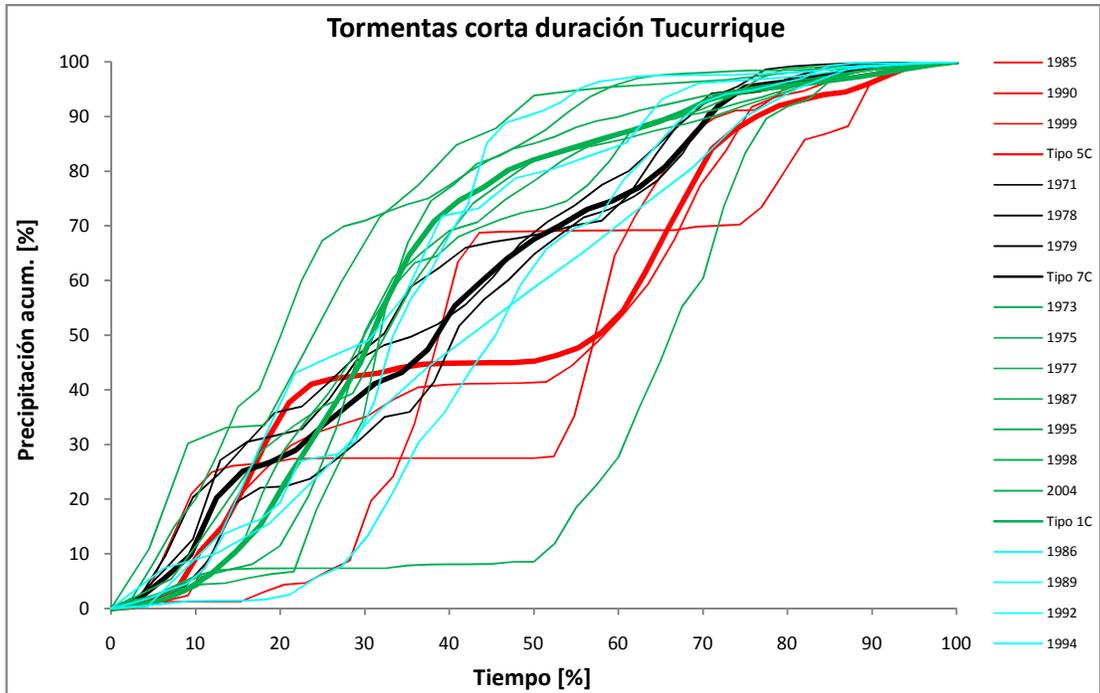


Figura D.11.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración Tucurrique.

Fuente: El autor.

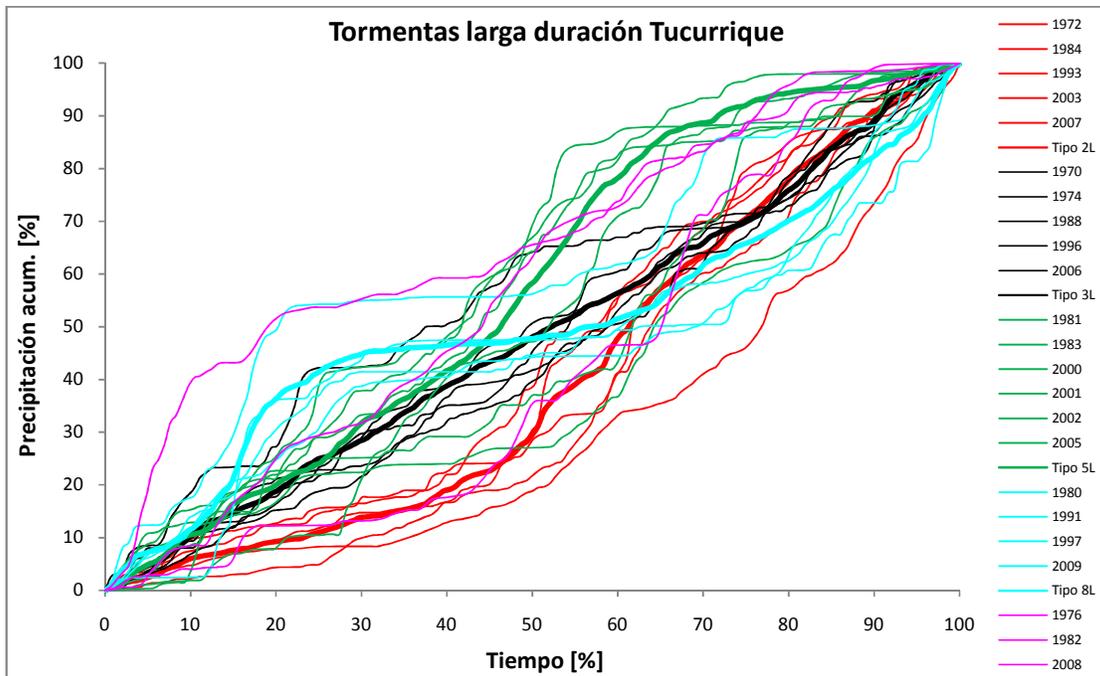


Figura D.11.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración Tucurrique.

Fuente: El autor.

D.12 San Antonio de Santa Cruz de Turrialba

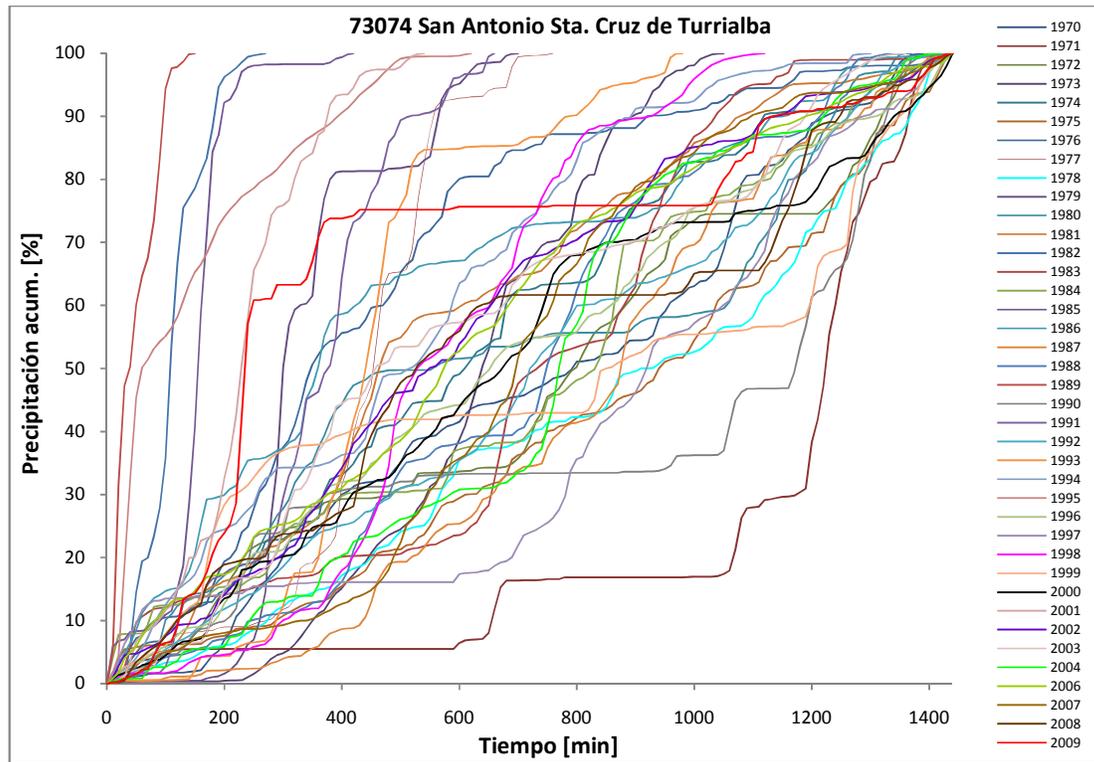


Figura D.12.1. Tormentas acumuladas de la estación San Antonio de Turrialba.

Fuente: el autor.

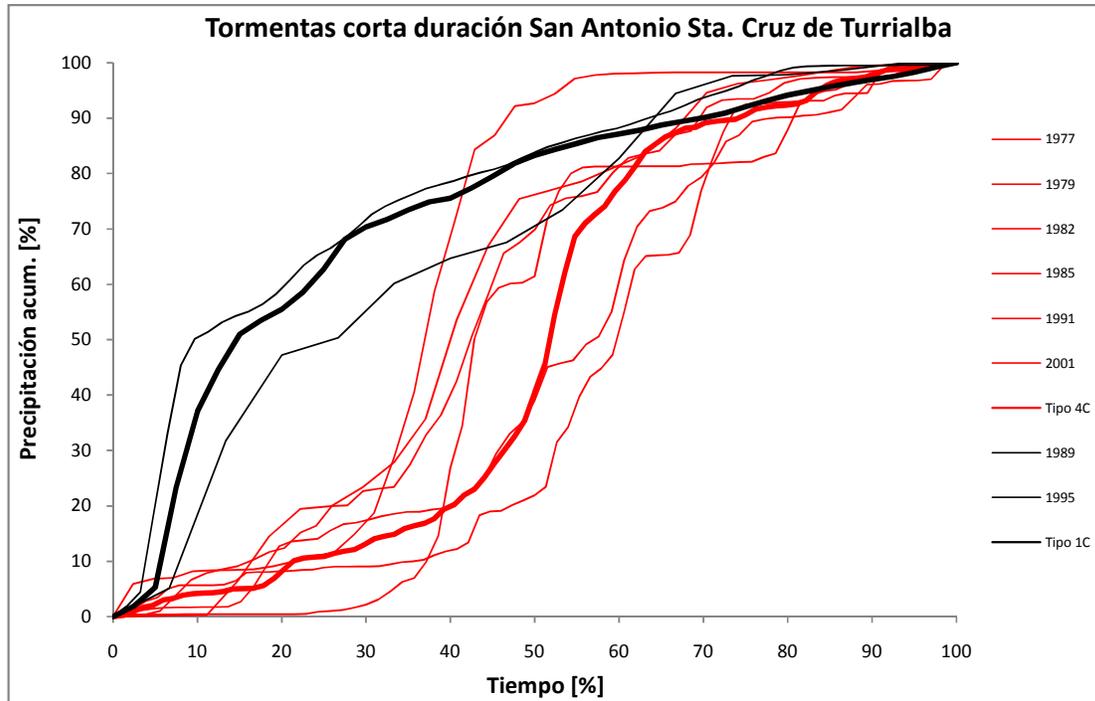


Figura D.12.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración San Antonio de Turrialba.

Fuente: El autor.

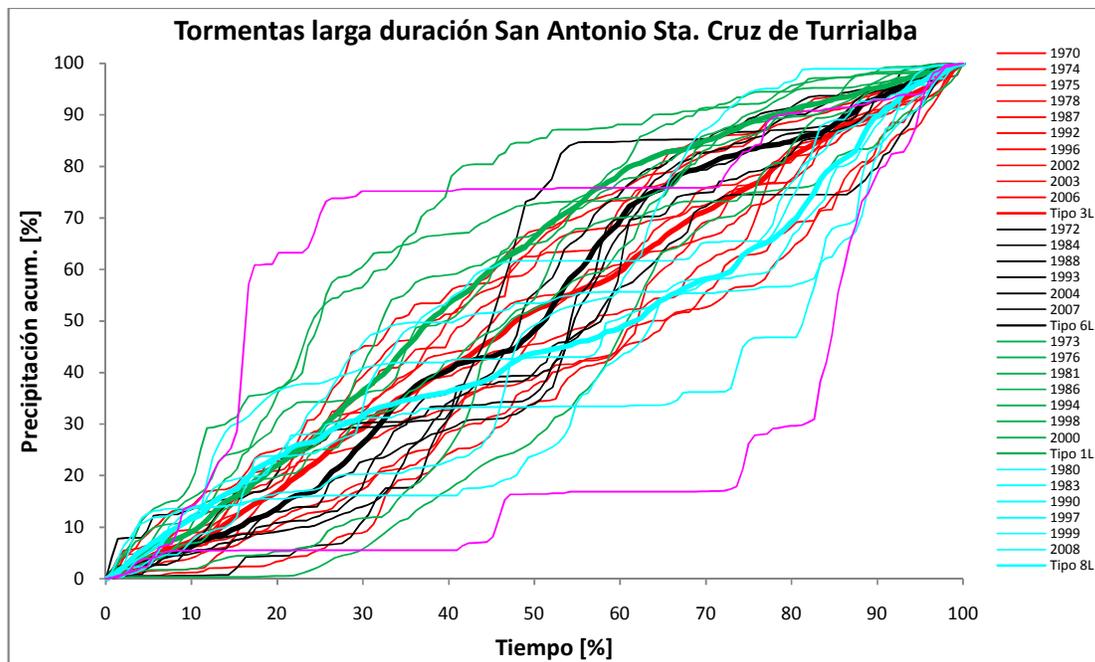


Figura D.12.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración San Antonio de Turrialba.

Fuente: El autor.

D.13 Oriente

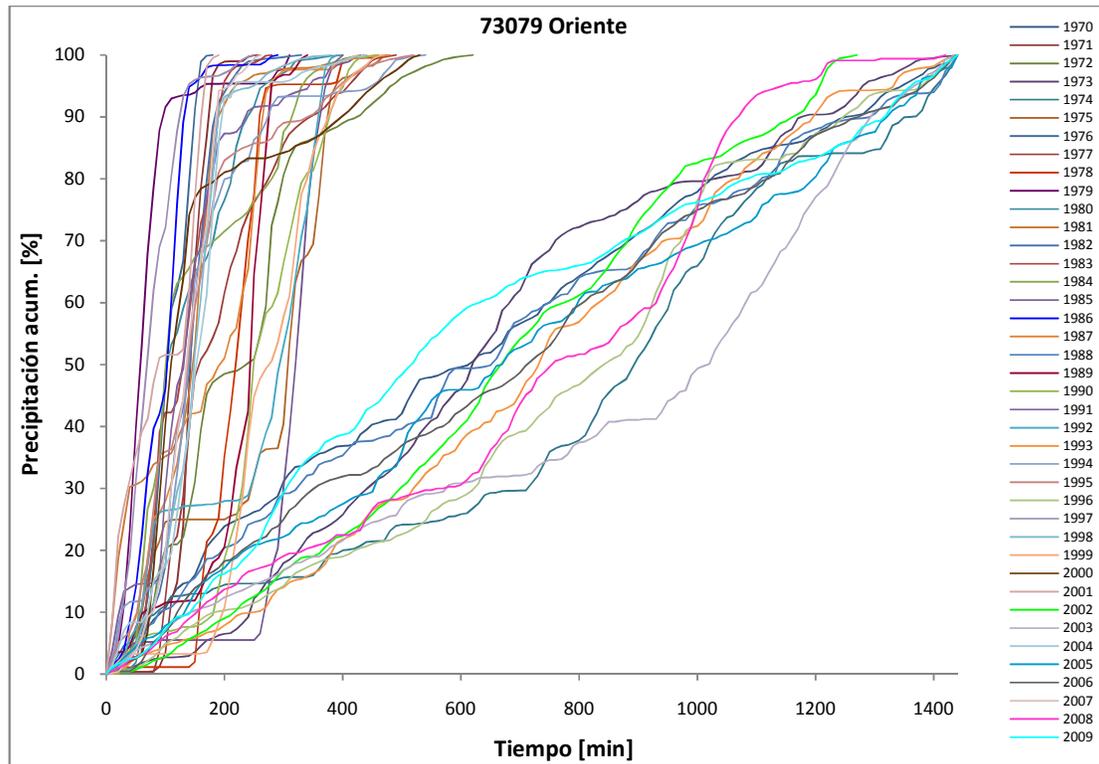


Figura D.13.1. Tormentas acumuladas de la estación Oriente.

Fuente: el autor.

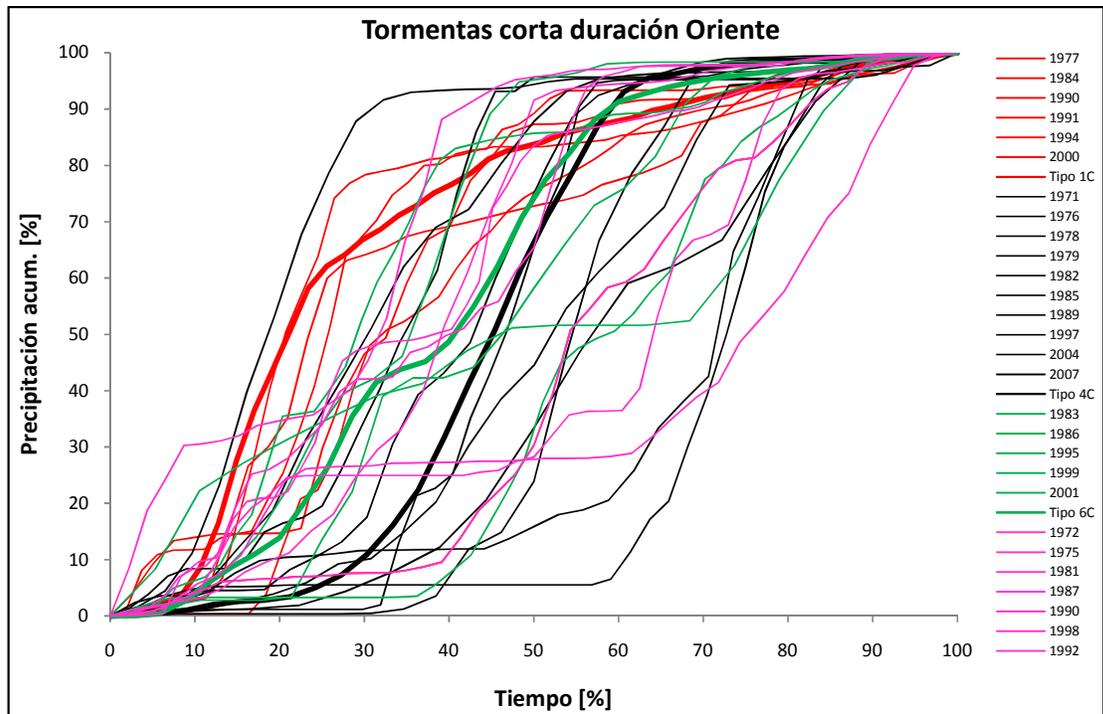


Figura D.13.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración Oriente.

Fuente: El autor.

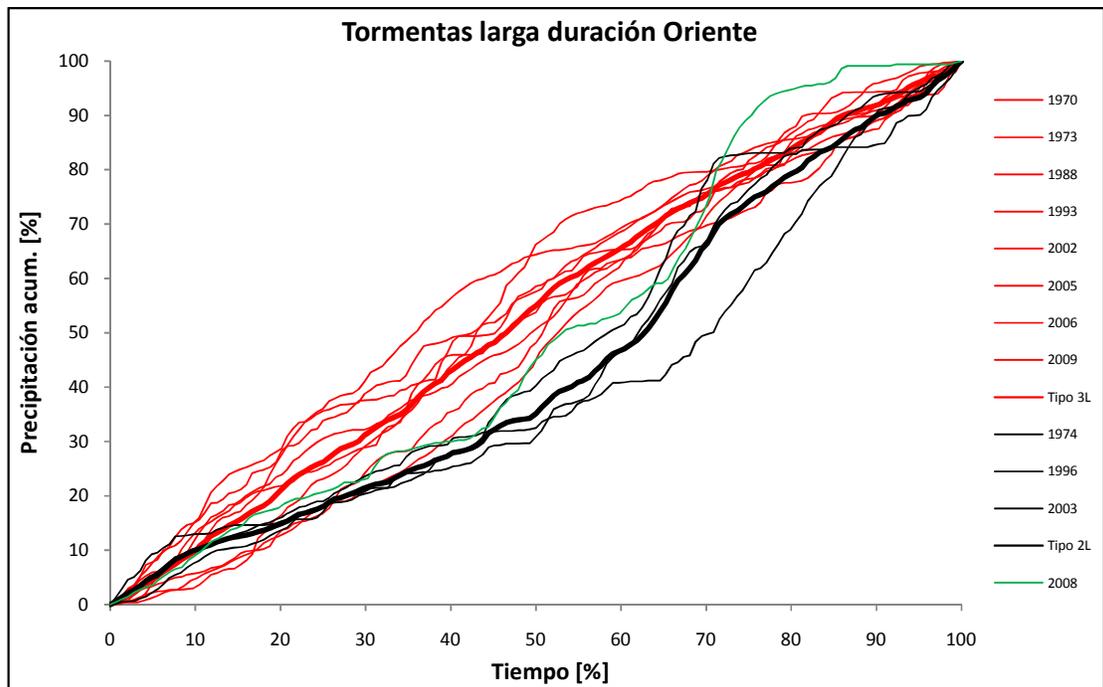


Figura D.13.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración Oriente.

Fuente: El autor.

D.14 Sitio de Presa Tapantí

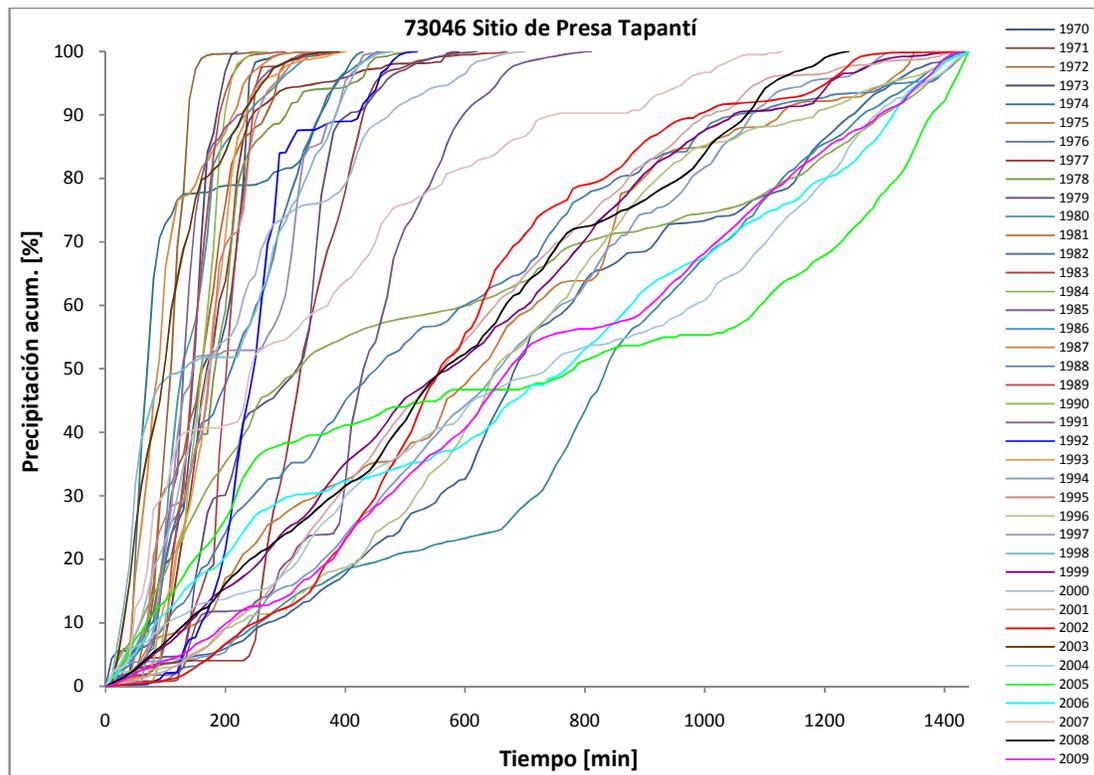


Figura D.14.1. Tormentas acumuladas de la estación Sitio de Presa Tapantí.

Fuente: el autor.

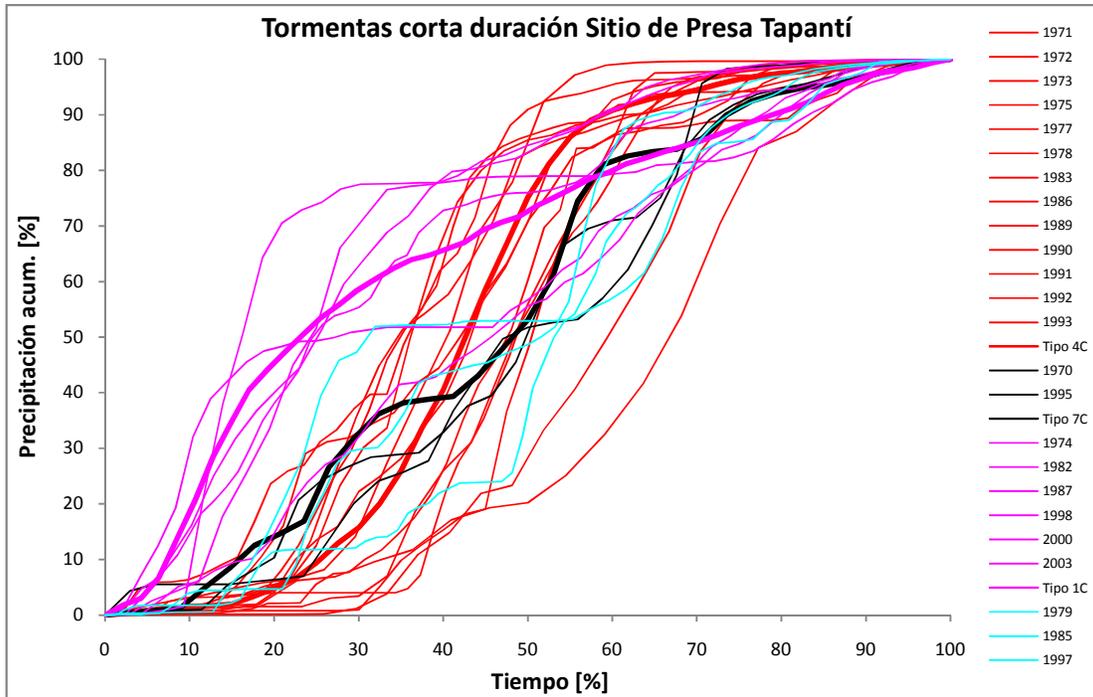


Figura D.14.2. Curvas acumuladas de las tormentas de corta duración Sitio de Presa Tapantí.

Fuente: El autor.

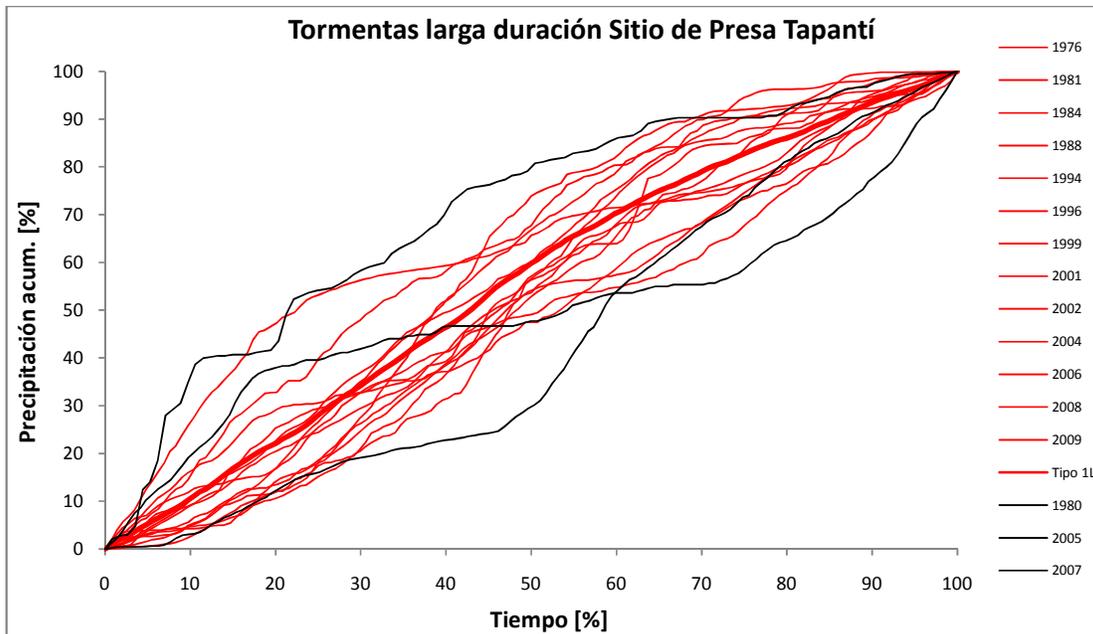


Figura D.14.3. Curvas acumuladas de las tormentas de larga duración Sitio de Presa Tapantí.

Fuente: El autor.

Anexo E

Cuadros con valores de hietogramas característicos

Se muestran los valores de precipitación en porcentaje.

Hietogramas corta duración

Cuadro E.1. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos hietogramas de corta duración.

Tiempo [min]	Sanatorio Durán		San Rafael de Tapantí			El Cañón			El Humo		Embalse – El Llano		Villa Mills	
	Tipo 1C	Tipo 2C	Tipo 4C	Tipo 1C	Tipo 5C	Tipo 1C	Tipo 3C	Tipo 7C	Tipo 5C	Tipo 4C	Tipo 4C	Tipo 5C	Tipo 1C	Tipo 5C
10	3,87	0,95	0,90	1,21	0,15	0,55	0,83	0,07	0,84	0,50	0,82	1,35	0,47	0,23
20	4,86	1,46	1,00	1,06	1,00	2,07	0,54	0,00	0,70	0,20	0,46	2,13	0,37	1,97
30	11,48	2,35	1,10	0,53	1,39	3,61	0,11	0,00	1,41	0,68	0,53	3,22	1,47	2,14
40	13,58	4,11	1,90	0,28	1,82	2,50	0,72	0,10	1,73	0,13	0,54	2,99	1,87	1,00
50	8,03	5,48	1,30	3,14	2,20	6,57	1,62	0,84	1,02	0,45	0,60	2,74	1,53	2,44
60	6,43	10,74	1,60	19,00	2,53	9,32	1,18	1,31	1,27	0,46	0,74	5,14	0,88	1,90
70	5,93	8,32	1,30	12,65	3,88	9,41	0,40	0,94	1,61	0,45	0,87	5,67	0,52	2,05
80	3,52	5,16	0,80	8,71	5,73	5,55	0,17	0,85	1,34	0,75	1,01	6,39	0,38	2,48
90	2,71	4,53	1,40	6,32	5,15	6,49	0,11	1,12	2,25	1,29	1,16	4,93	0,68	3,93
100	2,82	4,43	2,50	4,25	3,73	4,88	0,29	1,99	1,40	2,32	1,14	3,62	0,87	7,66
110	3,46	6,49	2,90	5,93	1,82	3,38	0,23	3,54	2,53	1,66	1,48	2,00	0,57	3,61
120	2,37	9,94	2,90	7,03	0,79	2,99	0,24	4,31	2,41	2,00	2,19	1,95	1,00	2,76
130	1,78	7,71	2,80	5,37	1,87	1,94	0,19	4,87	3,12	3,16	2,59	1,20	2,47	1,62
140	1,59	5,73	3,80	2,92	0,50	4,04	0,24	2,35	6,61	4,66	3,97	1,40	3,86	0,71
150	1,25	5,20	5,80	2,79	1,05	3,08	0,33	1,40	6,23	4,85	4,34	0,86	4,57	0,46
160	2,36	3,94	5,60	1,62	1,66	2,73	0,42	0,46	7,82	6,80	6,02	0,72	8,36	0,32
170	2,06	2,31	6,10	2,02	3,30	1,91	0,50	1,09	4,29	9,51	6,39	0,47	8,43	0,52
180	1,51	1,43	6,40	1,71	2,25	1,39	0,16	3,35	1,95	13,49	8,26	0,53	6,08	0,47
190	2,15	1,67	8,60	1,40	5,60	1,25	0,20	4,65	0,76	8,72	9,62	0,53	3,79	0,45
200	1,53	1,23	7,20	0,95	9,93	1,10	0,89	3,60	0,98	6,86	9,91	0,43	2,74	0,28
210	1,32	1,03	6,90	1,23	7,85	1,08	0,50	1,52	1,64	5,76	6,80	1,56	2,60	0,25
220	1,44	0,69	6,00	1,32	5,91	1,06	0,60	0,92	1,42	4,25	5,44	1,35	2,92	0,22
230	1,16	0,51	4,80	1,23	6,58	0,74	0,77	0,59	2,73	4,60	4,42	2,16	1,50	0,18
240	0,94	0,41	3,40	0,72	6,23	0,82	0,41	1,51	2,86	3,70	3,57	6,13	1,67	0,53
250	1,05	0,38	2,30	0,74	4,22	1,03	1,67	1,74	5,98	2,87	3,27	6,84	2,14	0,75
260	0,91	0,27	1,70	0,66	1,67	1,62	2,16	4,76	6,11	2,96	2,41	4,23	1,64	0,97
270	1,03	0,18	1,60	0,54	2,33	1,02	2,42	6,26	7,42	2,26	1,91	2,62	1,25	0,50
280	1,00	0,19	1,70	0,83	2,95	0,82	5,02	4,29	5,54	1,48	1,50	2,37	1,51	1,02
290	0,92	0,16	1,30	0,63	0,98	1,18	2,88	3,37	3,72	1,19	1,19	3,11	2,67	1,47
300	0,89	0,11	1,20	0,61	0,53	0,83	6,07	3,80	2,94	0,36	1,07	2,22	1,31	1,88
310	0,83	0,06	0,70	0,52	0,50	1,01	9,33	4,47	1,85	0,56	0,86	1,69	2,07	2,94
320	0,70	0,03	0,80	0,32	0,97	1,00	12,43	3,48	1,13	0,48	0,73	1,18	1,37	1,96
330	0,63	0,05	0,90	0,33	1,47	1,00	9,63	2,78	1,14	0,25	0,73	1,43	1,83	1,51
340	0,42	0,05	0,80	0,21	0,54	0,76	6,70	2,63	0,55	0,35	0,76	1,64	1,78	1,81
350	0,47	0,04	0,30	0,09	0,31	0,77	4,78	2,30	0,33		0,53	1,41	1,66	2,18
360	0,49	0,18		0,12	0,35	0,60	5,15	1,79	0,33		0,90	1,22	1,30	2,69

**Continuación Cuadro E.1. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos
hietogramas de corta duración.**

Tiempo [min]	Sanatorio Durán		San Rafael de Tapantí			El Cañón			El Humo		Embalse – El Llano		Villa Mills	
	Tipo 1C	Tipo 2C	Tipo 4C	Tipo 1C	Tipo 5C	Tipo 1C	Tipo 3C	Tipo 7C	Tipo 5C	Tipo 4C	Tipo 4C	Tipo 5C	Tipo 1C	Tipo 5C
370	0,65	0,16		0,14	0,26	0,73	3,53	1,79	0,63		0,73	1,98	1,81	3,20
380	0,54	0,26		0,11		0,94	2,85	1,27	0,56		0,54	2,11	1,46	1,54
390	0,48	0,28		0,26		0,78	3,02	0,85	0,91			1,79	1,52	2,61
400	0,44	0,28		0,23		0,64	2,17	0,85	0,48			2,15	1,38	3,15
410	0,44	0,32		0,06		0,68	1,47	0,57	0,61			1,32	1,45	2,04
420		0,43		0,22		0,65	1,91	0,38	0,45			1,23	2,05	1,94
430		0,32				0,56	1,57	0,20	0,41				1,41	2,12
440		0,27				0,66	0,95	0,19					1,04	1,47
450		0,19				0,79	0,75	0,18					0,92	0,99
460						0,64	0,68	0,14					0,80	1,34
470						0,46	0,53	0,15					0,81	2,30
480						0,46	0,68	0,08					0,69	2,07
490						0,42		0,09					0,91	2,31
500						0,52		0,12					0,91	2,29
510						0,47		0,22					0,55	1,65
520						0,51		0,40					0,51	1,50
530								0,50					0,46	1,91
540								0,36					0,31	1,34
550								0,29					0,30	1,63
560								0,46					0,22	0,44
570								1,12					0,37	0,36
580								1,63						0,22
590								1,06						0,42
600								0,64						0,32
610								0,79						0,43
620								0,64						1,14
630								0,63						0,75
640								0,52						0,65
650								0,81						

Fuente: el autor.

Cuadro E.2. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos hietogramas de corta duración.

Tiempo [min]	Tres de Junio		La Can-greja	La Suiza			Cachí (Plantel)			Tucurrique		
	Tipo 4C	Tipo 5C	Tipo 1C	Tipo 5C	Tipo 4C	Tipo 6C	Tipo 1C	Tipo 6C	Tipo 4C	Tipo 5C	Tipo 7C	Tipo 1C
10	0,38	0,36	0,20	0,52	0,10	0,96	2,31	0,31	0,47	0,31	1,58	0,50
20	0,68	0,35	0,72	0,05	0,12	0,62	4,22	0,31	0,57	1,38	3,89	1,04
30	0,57	0,73	0,60	0,68	0,37	0,08	1,39	0,44	1,10	2,06	4,26	1,86
40	0,86	1,44	1,29	2,68	1,30	0,08	1,02	0,07	1,96	6,71	10,55	2,81
50	0,46	2,21	2,62	1,60	0,33	0,74	0,89	0,04	0,68	4,53	4,88	4,07
60	0,14	1,96	2,12	3,33	0,09	0,89	2,42	0,16	0,48	7,22	1,56	4,93
70	0,21	2,43	4,01	2,64	0,01	0,46	13,80	0,68	0,90	8,55	2,31	7,80
80	1,24	2,97	4,04	3,68	0,01	1,48	14,18	1,29	2,55	6,92	4,39	7,26
90	1,19	3,22	8,29	5,83	0,00	2,42	8,90	1,59	2,40	3,33	3,91	7,15
100	0,74	3,44	13,63	7,70	0,00	2,30	4,20	1,01	2,73	1,03	3,84	7,31
110	1,77	5,36	8,94	6,37	0,09	5,72	2,14	1,59	4,71	0,51	2,02	10,98
120	0,75	6,55	7,48	4,40	0,31	7,44	1,59	3,00	4,04	0,49	4,24	8,99
130	0,35	5,78	5,82	5,53	0,33	5,67	2,50	6,12	5,63	0,98	7,93	6,22
140	0,58	3,27	3,61	3,18	0,36	5,40	2,13	6,66	8,34	0,69	4,43	3,77
150	1,48	2,35	2,28	2,07	0,26	0,89	3,99	6,41	10,30	0,14	4,28	2,41
160	2,04	2,81	2,44	0,51	0,36	0,41	4,21	3,99	14,80	0,08	3,50	3,16
170	3,26	1,75	2,08	0,26	0,27	0,94	2,84	4,12	7,94	0,03	2,59	1,84
180	5,74	0,65	2,05	0,18	0,92	6,86	2,05	3,21	7,54	0,01	2,82	1,39
190	5,39	0,63	1,47	0,12	2,07	7,14	2,66	2,20	3,81	0,28	1,64	1,39
200	10,82	0,55	1,23	0,15	1,49	12,49	1,32	1,93	4,38	1,00	2,47	1,42
210	12,00	0,54	1,13	0,30	3,18	7,49	2,11	2,24	3,67	1,45	3,89	1,24
220	11,97	0,38	1,48	1,06	5,57	4,06	2,55	4,47	3,22	2,66	5,32	1,45
230	6,33	0,55	1,45	2,32	6,14	2,83	1,94	5,48	2,42	4,05	5,73	1,83
240	4,89	0,48	1,58	4,15	12,22	1,75	1,51	6,11	1,51	6,96	3,40	2,21
250	5,23	0,69	1,21	3,70	13,31	2,28	1,43	6,37	0,87	7,97	0,59	1,27
260	2,92	1,17	1,45	3,99	10,21	1,66	0,97	5,75	0,75	7,28	0,60	0,76
270	2,11	1,80	1,21	3,08	7,20	1,59	1,06	5,47	0,60	7,43	1,00	0,41
280	1,78	1,92	1,07	2,65	5,85	0,71	0,96	4,95	0,41	3,45	0,81	0,60
290	2,03	3,21	0,99	2,84	4,93	0,68	1,48	3,19	0,83	2,45	0,81	0,64
300	3,31	3,15	0,59	3,79	3,95	0,80	1,05	3,25	0,39	1,99	0,57	0,51
310	2,76	4,31	0,60	3,83	3,49	1,19	0,74	1,79		1,06	0,14	0,70
320	1,42	4,59	0,73	3,79	1,60	1,52	0,64	1,03		0,98	0,06	0,82
330	0,85	4,79	0,73	2,20	0,67	1,03	0,51	1,15		0,46		0,74
340	0,97	3,49	1,32	1,45	0,70	1,30	0,48	0,67		1,49		0,54
350	0,35	2,22	1,48	1,90	0,50	2,04	0,71	0,66		1,71		
360	0,26	1,76	1,42	1,08	1,02	2,97	0,37	0,40		1,61		
370	0,22	1,27	1,22	0,63	0,98	1,13	0,38	0,17		0,50		
380	0,34	1,28	0,99	0,81	1,27	0,82	0,29	0,07		0,22		
390	0,40	1,02	0,76	0,72	2,98	0,61	0,25	0,06				
400	0,40	0,86	1,25	0,63	0,65	0,28	0,21	0,08				
410	0,01	0,87	0,77	0,59	0,48	0,18	0,26	0,09				
420	0,01	0,70	0,50	0,66	0,83	0,09	0,13	0,19				
430	0,24	0,71	0,53	0,68	1,18		0,31	0,32				
440	0,23	1,17	0,61	0,50	0,69		0,44	0,44				
450	0,03	0,92		0,40	0,50		0,46	0,50				
460	0,31	0,99		0,36	0,38							
470		0,69		0,38	0,48							

**Continuación Cuadro E.2. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos
hietogramas de corta duración.**

Tiempo [min]	Tres de Junio		La Can- greja	La Suiza			Cachí (Plantel)			Tucurrique		
	Tipo 4C	Tipo 5C	Tipo 1C	Tipo 5C	Tipo 4C	Tipo 6C	Tipo 1C	Tipo 6C	Tipo 4C	Tipo 5C	Tipo 7C	Tipo 1C
480		0,89			0,24							
490		1.01										
500		1,08										
510		1,00										
520		0,89										
530		0,81										

Fuente: el autor.

Cuadro E.3. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos hietogramas de corta duración.

Tiempo [min]	San Antonio de Turrialba		Oriente			Sitio de Presa Tapantí		
	Tipo 4C	Tipo 1C	Tipo 1C	Tipo 4C	Tipo 6C	Tipo 4C	Tipo 7C	Tipo 1C
10	0,57	1,87	0,47	0,16	0,07	0,30	0,51	1,79
20	0,15	3,40	0,46	0,36	0,28	0,16	0,31	1,21
30	0,12	18,06	1,30	0,55	2,14	0,70	0,35	3,77
40	0,62	13,72	1,72	0,93	3,23	0,42	3,73	6,95
50	0,51	7,54	4,65	0,57	2,95	0,10	3,49	6,94
60	0,31	6,39	7,84	0,25	2,36	0,33	4,13	7,78
70	1,08	2,50	11,05	0,59	2,87	1,33	2,05	6,21
80	1,16	2,03	9,11	1,63	6,19	1,46	2,33	5,87
90	0,56	3,00	7,04	2,21	6,50	1,82	9,66	3,52
100	0,36	4,22	7,17	3,66	8,94	2,82	5,22	3,29
110	1,18	5,43	7,45	5,13	5,99	3,45	4,44	3,08
120	0,63	2,21	3,80	6,34	2,31	2,88	1,95	3,03
130	0,54	1,35	2,10	9,28	1,29	4,29	0,68	2,36
140	0,94	1,71	2,66	9,96	3,65	5,88	0,47	2,56
150	2,00	1,44	1,84	9,24	6,10	7,73	3,72	2,04
160	0,91	0,69	2,44	10,81	7,23	6,85	4,94	1,92
170	2,01	1,79	1,80	9,10	8,65	9,15	5,18	1,57
180	1,23	2,13	2,27	7,99	6,81	8,94	7,70	0,85
190	2,44	2,29	1,56	8,31	4,75	8,21	13,61	1,11
200	2,88	1,49	1,85	5,95	5,73	8,31	6,48	1,22
210	2,73	1,15	2,57	2,54	3,25	6,07	1,60	2,14
220	2,84	1,02	1,41	0,69	1,40	4,76	0,83	1,41
230	3,19	1,05	0,77	0,97	1,13	3,13	0,45	1,02
240	5,90	0,69	0,84	0,50	0,98	1,74	1,87	2,01
250	5,82	0,69	1,35	0,47	0,75	1,24	4,29	1,53
260	10,39	0,89	0,84	0,33	0,48	0,97	2,51	1,64
270	8,77	0,66	0,81	0,16	0,54	0,65	1,36	1,75
280	7,35	0,64	0,62	0,14	0,37	0,77	0,95	1,10
290	2,74	0,82	0,71	0,16	0,29	1,02	0,56	1,57
300	1,84	1,18	1,20	0,26	0,64	0,90	0,81	0,97
310	1,82	1,06	0,68	0,23	1,01	0,62	1,15	1,05
320	2,98	1,03	0,88	0,23	0,62	0,48	1,20	0,93
330	2,38	0,79	0,79	0,26	0,20	0,23	1,01	0,96
340	2,75	0,75	0,61		0,05	0,39	0,47	1,17
350	3,11	0,64	0,75		0,25	0,29		1,35
360	1,58	0,66	0,44			0,44		1,15
370	1,49	0,54	0,64			0,36		1,08
380	0,84	0,74	0,60			0,26		1,04
390	0,91	0,89	0,65			0,35		1,20
400	0,19	0,83	1,00			0,20		1,65
410	0,94		0,85					1,59
420	0,35		0,68					1,09
430	0,19		0,33					0,97
440	0,23		0,37					0,50
450	0,94		0,30					0,56
460	1,16		0,30					0,87

**Continuación Cuadro E.3. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos
hietogramas de corta duración.**

Tiempo [min]	San Antonio de Turrialba		Oriente			Sitio de Presa Tapantí		
	Tipo 4C	Tipo 1C	Tipo 1C	Tipo 4C	Tipo 6C	Tipo 4C	Tipo 7C	Tipo 1C
470	0,35		0,42					0,62
480	0,33							
490	0,14							
500	0,21							
510	0,72							
520	1,71							
530	1,39							
540	0,83							
550	0,50							
560	0,23							

Fuente: el autor.

Hietogramas larga duración

Cuadro E.4. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos hietogramas de larga duración.

Tiempo [min]	Sanatorio Durán			San Rafael de Tapantí		El Cañón	El Humo	Embalse – El Llano		Villa Mills		Tres de Junio		La Cangreja	
	Tipo 1La	Tipo 4L	Tipo 2L	Tipo 3L	Tipo 6L	Tipo 3L	Tipo 3L	Tipo 3L	Tipo 5L	Tipo 1L	Tipo 2L	Tipo 3L	Tipo 1L	Tipo 2L	Tipo 1Lb
10	1,52	0,33	0,65	0,88	1,02	0,40	0,55	0,40	0,65	0,25	0,09	0,35	0,68	0,51	1,78
20	1,40	0,41	0,42	0,83	0,47	0,59	0,53	0,63	0,84	0,20	0,07	0,35	0,91	0,44	3,17
30	7,55	0,10	0,99	0,58	0,61	0,30	0,43	0,44	1,51	0,07	0,16	0,80	0,93	0,27	2,31
40	10,09	0,30	0,30	0,62	1,63	0,37	0,54	0,42	2,88	0,08	0,30	0,49	0,97	0,69	0,57
50	6,82	0,22	0,50	0,46	2,40	0,45	0,66	0,75	5,00	0,42	0,31	0,48	0,91	0,31	0,82
60	2,37	0,31	1,01	0,42	1,17	0,52	0,47	0,52	1,28	0,39	0,37	0,58	0,74	0,05	0,13
70	1,37	0,38	1,02	0,44	0,90	0,45	0,36	0,33	1,51	0,74	0,27	0,60	0,85	0,02	0,03
80	1,59	0,43	0,89	0,47	0,29	0,48	0,49	0,42	1,03	0,50	0,47	0,55	0,90	0,02	0,17
90	2,09	0,66	0,40	0,57	0,37	0,40	0,46	0,21	0,75	0,22	0,60	0,54	0,89	0,00	0,86
100	0,85	0,51	0,89	0,41	0,66	0,45	0,42	0,32	2,24	0,37	0,70	0,51	1,04	0,00	2,53
110	0,61	0,44	0,86	0,40	0,68	0,36	0,47	0,40	2,37	0,15	0,31	0,62	1,05	0,00	1,53
120	0,51	0,69	0,92	0,53	1,12	0,28	0,41	0,33	0,47	0,32	0,44	0,77	1,04	0,01	0,51
130	0,75	0,63	0,25	0,72	1,96	0,38	0,52	0,46	1,80	1,03	0,31	0,66	1,23	0,00	0,28
140	0,34	0,60	0,25	0,48	2,34	0,44	0,43	0,75	2,98	0,70	0,26	0,73	1,30	0,07	0,75
150	0,27	0,39	0,65	0,35	1,73	0,35	0,29	0,79	2,65	0,54	0,25	0,71	0,86	0,83	2,13
160	1,02	0,31	0,62	0,40	1,08	0,41	0,48	0,83	0,33	0,24	0,33	0,62	0,86	0,37	0,40
170	1,12	0,33	1,00	0,49	1,86	0,37	0,38	0,70	0,51	0,42	0,86	0,57	0,83	0,54	2,54
180	3,43	0,66	0,12	0,34	1,48	0,27	0,36	0,62	1,24	0,20	0,51	0,62	0,93	0,91	1,70
190	2,75	0,41	0,00	0,41	1,51	0,30	0,29	0,75	1,69	0,22	0,51	0,60	1,01	0,59	2,95
200	2,38	0,24	0,27	0,47	2,00	0,25	0,64	0,72	2,54	0,39	0,56	0,63	1,09	0,95	6,04
210	0,53	0,50	0,15	0,49	2,57	0,31	0,96	0,49	1,74	0,53	0,40	0,75	0,96	0,87	3,50
220	0,45	0,28	0,00	0,44	1,60	0,52	1,09	0,94	0,79	0,54	0,59	0,61	1,19	0,46	3,46
230	0,43	0,47	0,00	0,52	0,67	0,58	0,83	1,09	0,05	0,69	0,82	0,70	0,89	0,24	5,50
240	0,77	0,73	0,00	0,54	1,25	0,56	0,64	0,65	0,16	0,44	0,49	0,84	1,11	0,09	5,34
250	1,42	0,60	0,00	0,43	1,66	0,62	0,56	0,97	0,52	0,40	0,46	0,80	0,99	0,04	2,38
260	1,04	0,42	0,00	0,52	0,71	0,57	0,48	0,72	0,90	0,97	0,42	0,85	0,93	0,20	3,09
270	1,19	0,57	0,00	0,63	1,26	0,62	0,47	0,35	1,81	0,84	0,41	0,75	1,21	0,38	1,59
280	1,30	0,42	0,00	0,61	0,93	0,49	0,32	0,52	1,95	0,76	0,36	0,72	1,05	0,29	2,24
290	0,93	0,43	0,00	0,50	0,17	0,57	0,27	0,61	3,62	0,81	0,37	0,63	1,03	0,54	1,09
300	2,10	0,19	0,15	0,51	0,11	0,67	0,36	0,65	1,64	1,41	0,61	0,53	1,35	0,95	2,05
310	2,49	0,15	0,15	0,60	0,23	0,79	0,51	0,49	0,56	3,17	0,38	0,59	1,29	0,38	2,42
320	2,35	0,94	0,15	0,45	0,68	1,10	0,66	0,50	1,48	3,31	0,54	0,53	0,95	0,20	2,37
330	1,59	1,10	0,12	0,71	0,43	0,82	0,61	0,59	0,38	3,96	0,35	0,77	0,83	0,08	1,13
340	2,03	0,95	0,15	0,45	1,04	0,83	0,74	0,53	0,21	3,62	0,56	0,74	0,92	0,21	1,68
350	1,58	1,09	0,39	0,66	0,75	0,80	0,57	0,52	1,41	2,66	0,54	0,69	0,93	1,26	0,59
360	1,57	0,54	0,00	0,68	1,42	0,63	0,84	0,99	1,11	1,95	0,68	0,71	0,97	0,65	0,53
370	1,62	0,74	0,15	0,51	2,42	0,57	0,77	0,49	3,19	1,66	1,03	0,59	0,86	0,36	0,61
380	1,61	0,70	0,00	0,45	2,03	0,65	0,69	0,49	2,82	1,36	1,04	0,58	1,23	0,30	0,22
390	1,96	2,02	0,00	0,54	2,30	0,64	0,60	0,50	2,54	2,36	0,88	0,61	1,20	0,40	0,16
400	1,52	1,97	0,15	0,58	1,26	0,55	0,94	0,40	0,96	1,57	0,50	0,70	1,17	0,72	0,03
410	1,60	1,73	0,12	0,48	1,33	0,53	0,63	0,49	3,12	0,94	0,24	0,63	0,95	1,04	0,62
420	1,36	1,61	0,00	0,69	1,81	0,68	0,94	0,71	6,44	1,26	0,20	0,58	0,85	2,09	1,64
430	1,10	1,40	0,12	0,44	1,82	0,77	0,94	0,64	2,42	0,81	0,33	0,62	0,99	1,84	0,59

**Continuación Cuadro E.4. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos
hietogramas de larga duración.**

Tiempo [min]	Sanatorio Durán			San Rafael de Tapantí		El Ca- ñón	El Hu- mo	Embalse – El Llano		Villa Mills		Tres de Junio		La Cangreja	
	Tipo 1La	Tipo 4L	Tipo 2L	Tipo 3L	Tipo 6L	Tipo 3L	Tipo 3L	Tipo 3L	Tipo 5L	Tipo 1L	Tipo 2L	Tipo 3L	Tipo 1L	Tipo 2L	Tipo 1Lb
440	0,87	1,82	0,00	0,59	2,04	0,71	0,80	1,18	1,13	1,11	0,44	0,87	1,20	0,60	0,32
450	1,11	1,83	0,15	0,55	1,17	0,51	0,79	1,50	2,84	1,07	0,43	0,67	1,32	0,77	0,09
460	0,83	1,59	0,00	0,57	2,59	0,66	0,84	1,63	5,94	1,04	0,42	0,67	1,27	0,90	0,02
470	1,00	1,47	0,27	0,86	2,89	0,83	0,85	1,01	1,70	1,22	0,34	0,59	1,20	0,96	0,02
480	0,63	1,57	0,12	0,78	2,19	0,67	0,45	1,01	1,21	1,43	0,33	0,62	1,06	0,73	2,13
490	0,72	1,46	0,27	0,80	0,96	0,64	0,42	1,56	0,34	1,43	0,30	0,68	1,16	0,68	1,16
500	0,87	1,80	0,52	0,39	1,29	0,77	0,41	1,32	0,11	0,98	0,37	0,67	0,94	0,45	3,38
510	0,81	1,72	0,15	0,47	0,70	0,68	0,48	1,60	0,28	0,73	0,39	0,82	1,05	0,45	1,85
520	0,62	1,85	0,00	0,53	0,67	0,82	0,68	1,45	0,30	1,01	0,61	0,81	1,11	0,43	2,47
530	0,51	2,40	0,15	0,61	0,77	0,66	0,86	1,51	0,56	0,92	0,50	0,73	1,46	0,75	0,80
540	0,26	2,59	0,00	0,48	1,26	0,55	0,82	1,41	0,73	0,86	0,32	0,77	1,08	1,01	1,44
550	0,32	2,67	0,39	0,57	0,95	0,67	1,14	1,33	0,31	0,74	0,47	0,66	1,16	0,92	0,19
560	0,21	2,28	0,37	0,62	1,40	0,73	0,96	1,12	0,65	0,72	0,45	0,72	1,22	1,31	0,05
570	0,25	1,25	0,42	0,76	0,66	0,92	0,86	0,79	0,15	0,31	0,69	0,71	0,83	1,27	0,00
580	0,21	1,47	0,76	0,59	0,09	1,08	0,78	0,62	0,06	0,29	0,88	0,90	0,96	1,48	0,00
590	0,26	1,84	0,64	0,61	0,07	0,63	0,61	0,55	0,18	0,63	0,95	0,73	0,79	1,21	0,00
600	0,26	1,72	0,39	0,49	0,19	0,75	0,50	0,25	0,30	0,59	0,90	0,67	0,75	1,02	0,00
610	0,19	1,42	0,30	0,62	0,32	0,79	0,60	0,20	0,54	0,77	0,95	0,74	0,82	0,74	0,00
620	0,17	1,19	0,00	0,67	0,83	0,92	0,52	0,51	0,50	0,65	0,93	0,82	0,99	0,58	0,00
630	0,19	1,60	0,15	0,79	1,04	0,96	1,18	1,21	0,73	0,93	0,95	0,72	1,34	0,70	0,03
640	0,32	1,10	0,00	0,81	0,85	1,02	0,98	1,05	0,46	0,67	0,92	0,93	0,86	0,64	0,23
650	0,25	1,36	0,27	0,77	1,12	0,88	0,84	0,87	0,85	0,82	1,01	0,91	0,81	0,87	0,61
660	0,19	1,35	0,00	0,82	1,02	0,97	0,51	0,47	0,67	1,25	0,82	1,10	0,74	0,46	0,34
670	0,20	1,49	0,00	0,81	0,58	1,14	0,67	0,50	0,57	0,50	0,85	1,08	0,60	0,84	0,04
680	0,12	1,78	0,00	0,92	1,75	1,04	0,65	0,73	0,24	0,64	0,99	1,26	0,56	0,33	0,04
690	0,08	2,28	0,15	0,86	1,95	1,00	0,63	0,79	0,80	0,80	0,85	1,02	0,72	0,20	0,00
700	0,17	1,30	0,00	0,68	1,18	0,76	0,79	1,02	0,07	1,21	0,84	1,20	0,54	0,57	0,01
710	0,30	1,39	0,15	0,85	1,05	1,18	0,68	0,77	0,21	0,82	0,81	1,25	0,50	0,78	0,01
720	0,26	1,19	0,54	0,56	1,14	1,32	0,57	1,19	0,43	1,02	0,98	1,23	0,58	0,99	0,01
730	0,21	1,34	0,89	0,59	0,94	1,27	0,58	1,38	0,41	1,29	0,83	1,12	0,64	0,85	0,00
740	0,14	0,96	0,27	0,57	1,03	0,72	0,61	0,66	0,36	1,08	1,00	0,97	0,56	0,61	0,00
750	0,22	0,44	0,67	0,63	2,25	0,69	0,49	0,72	0,66	0,92	0,86	1,01	0,51	0,30	0,00
760	0,26	0,34	0,52	0,71	0,51	0,71	0,74	1,05	0,13	1,05	0,77	1,07	0,63	0,14	0,00
770	0,22	0,33	0,91	0,44	0,89	0,64	0,96	1,12	0,07	1,01	0,64	1,27	0,70	0,06	0,00
780	0,62	0,74	0,15	0,74	0,14	0,86	1,11	1,29	0,37	1,03	0,81	1,12	0,59	0,06	0,00
790	0,76	1,11	0,42	0,76	0,88	0,91	0,83	0,94	0,12	0,92	0,80	1,10	0,63	0,04	0,02
800	0,59	0,95	1,51	0,61	0,88	1,04	0,86	0,82	0,07	0,65	0,79	0,99	0,53	0,01	0,02
810	0,37	0,51	1,16	0,60	0,88	0,99	1,38	0,74	0,04	0,63	1,21	0,94	0,82	0,09	0,01
820	0,26	0,54	0,49	1,15	0,47	1,12	0,87	0,71	0,04	0,52	1,17	0,85	0,78	0,39	0,00
830	0,21	0,56	0,91	1,03	0,29	1,18	1,02	1,04	0,04	0,53	1,20	0,99	0,73	0,63	0,00
840	0,10	0,68	1,02	0,57	0,11	1,17	1,11	0,73	0,15	0,43	1,42	0,89	0,47	0,67	0,09
850	0,07	0,70	0,62	0,60	0,10	1,35	0,93	0,94	0,07	0,46	1,40	0,89	0,53	0,69	0,00
860	0,13	0,56	1,04	0,82	0,05	1,05	0,74	0,72	0,27	0,47	1,81	0,86	0,43	0,91	0,00
870	0,10	0,50	1,51	0,91	0,11	1,22	0,88	0,50	0,14	0,58	1,31	0,80	0,31	0,90	0,00
880	0,27	0,32	1,88	0,88	0,12	1,11	1,41	0,26	0,06	0,45	1,17	0,49	0,27	2,12	0,00
890	0,66	0,34	1,75	0,78	0,09	1,16	1,14	0,58	0,02	0,77	0,84	0,51	0,40	1,28	0,00

**Continuación Cuadro E.4. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos
hietogramas de larga duración.**

Tiempo [min]	Sanatorio Durán			San Rafael de Tapantí		El Ca- ñón	El Hu- mo	Embalse – El Llano		Villa Mills		Tres de Junio		La Cangreja	
	Tipo 1La	Tipo 4L	Tipo 2L	Tipo 3L	Tipo 6L	Tipo 3L	Tipo 3L	Tipo 3L	Tipo 5L	Tipo 1L	Tipo 2L	Tipo 3L	Tipo 1L	Tipo 2L	Tipo 1Lb
900	0,16	0,25	1,01	0,64	0,64	1,03	1,38	0,66	0,02	0,47	1,43	0,60	0,30	1,32	0,00
910	0,26	0,25	0,37	0,91	0,95	0,93	1,25	1,11		0,44	1,76	0,61	0,28	0,93	0,00
920	0,13	0,46	0,64	0,79	0,37	1,22	1,01	1,32		0,47	1,92	0,74	0,35	1,05	0,00
930	0,09	0,27	0,40	0,69	0,09	0,97	0,59	0,81		0,46	2,45	0,64	0,32	0,25	0,02
940	0,02	0,38	1,01	0,75	0,25	0,82	0,55	1,25		0,50	1,87	0,64	0,36	2,82	0,01
950	0,02	0,53	0,52	0,96	0,04	0,98	0,65	0,44		0,36	2,33	0,75	0,38	1,33	0,03
960	0,08	0,46	0,30	0,95	0,34	0,61	0,94	0,60		0,54	2,06	0,53	0,49	0,92	0,03
970	0,10	0,48	1,11	1,15	0,58	1,17	1,03	0,61		0,32	2,23	0,39	0,41	0,63	0,03
980	0,16	0,43	2,50	1,01	0,22	0,68	1,08	0,54		0,32	1,94	0,52	0,49	1,22	0,02
990	0,09	0,27	3,13	1,00	0,05	1,06	1,02	0,40		1,09	1,86	0,60	0,48	1,99	0,02
1000	0,17	0,21	4,62	0,83	0,13	0,96	1,09	0,42		0,69	1,69	0,61	0,42	1,37	0,80
1010		0,26	2,15	0,76	0,10	0,92	1,18	0,93		1,06	2,11	0,63	0,54	1,73	0,11
1020		0,54	1,85	0,68		0,97	1,20	0,60		0,69	1,40	0,65	0,60	1,56	0,14
1030		0,75	2,13	0,66		0,89	0,92	0,54		0,45	1,39	0,81	0,60	0,98	0,29
1040		0,56	2,91	0,67		1,08	0,94	0,35		0,62	1,12	0,64	0,55	1,26	1,11
1050		0,84	2,86	0,90		0,73	0,85	0,43		0,73	1,08	0,60	0,39	0,76	2,78
1060		0,50	2,41	1,30		0,69	0,83	0,41		0,61	0,86	0,87	0,46	1,80	1,21
1070		0,60	3,38	1,08		0,82	0,89	0,36		0,43	1,32	0,59	0,51	1,08	0,11
1080		0,40	3,15	1,73		0,84	0,95	0,51		0,62	1,16	0,75	0,50	1,18	0,02
1090		0,36	3,01	1,68		0,86	0,81	0,68		0,49	0,80	0,85	0,59	1,64	0,01
1100		0,29	7,12	0,84		0,71	0,76	0,36		0,56	0,78	0,98	0,54	2,72	1,03
1110		0,32	2,63	0,95		0,92	0,82	0,51		0,65	0,72	0,72	0,33	3,18	0,30
1120		0,11	2,28	0,76		1,00	0,89	1,01		0,62	0,70	0,88	0,35	2,16	0,21
1130		0,02	2,00	0,44		0,65	0,71	0,78		0,49	0,83	0,79	0,48	1,69	0,00
1140		0,14	2,36	0,61		0,66	0,47	0,75		0,47	0,75	0,63	0,54	2,07	0,03
1150		0,25	2,01	0,72		0,56	0,51	0,50		0,44	0,62	0,65	0,35	3,54	0,09
1160		0,15	0,52	0,79		0,47	0,54	0,49		0,37	0,78	0,57	0,41	0,31	0,31
1170		0,61	0,67	0,78		0,52	0,48	0,36		0,39	0,80	0,63	0,37	0,56	0,18
1180		0,44	0,39	0,66		0,71	0,85	0,35		0,47	0,88	0,43	0,58	0,69	0,37
1190		0,35	0,39	0,80		0,64	1,16	0,41		0,31	0,54	0,49	0,30	0,14	1,13
1200		0,38	0,52	0,89		0,68	0,73	0,48		0,46	0,44	0,54	0,25	0,62	0,21
1210		0,53	0,54	0,80		0,88	0,65	0,48		0,47	0,33	0,53	0,36	1,60	
1220			0,59	0,61		0,89	0,68	0,58		0,31	0,18	0,74	0,28	1,02	
1230			0,30	0,80		0,89	1,21	0,88		0,28	0,33	0,59	0,25	0,99	
1240			0,30	0,88		0,84	0,65	0,54		0,29	0,43	0,53	0,27	0,33	
1250			0,59	0,80		1,01	0,98	0,70		0,28	0,23	0,56	0,18		
1260			0,30	0,86		0,72	0,42	0,43		0,37	0,33	0,51	0,26		
1270			0,00	0,90		0,65	0,32	0,36				0,45	0,27		
1280			0,00	0,94		0,59	0,36	0,37				0,56	0,23		
1290			0,30	0,59		0,37	0,46	0,40				0,51	0,33		
1300			0,79	0,88		0,51	0,66	0,32				0,42	0,35		
1310			0,00	0,83		0,50	0,60	0,46				0,44	0,24		
1320			0,00	0,65		0,54	0,62	0,36				0,57	0,18		
1330			0,00	0,71		0,53	0,98	0,60				0,72	0,25		
1340			0,30	0,75		0,42	0,56	0,58				0,60	0,25		

**Continuación Cuadro E.4. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos
hietogramas de larga duración.**

Tiempo [min]	Sanatorio Durán			San Rafael de Tapantí		El Ca- ñón	El Hu- mo	Embalse – El Llano		Villa Mills		Tres de Junio		La Cangreja	
	Tipo 1La	Tipo 4L	Tipo 2L	Tipo 3L	Tipo 6L	Tipo 3L	Tipo 3L	Tipo 3L	Tipo 5L	Tipo 1L	Tipo 2L	Tipo 3L	Tipo 1L	Tipo 2L	Tipo 1Lb
1350				0,70		0,32	0,72	0,51				0,58	0,22		
1360				1,03		0,52	0,73	0,71				0,72	0,27		
1370				0,82			0,40	0,53				0,79	0,27		
1380				0,67			0,31	0,36				0,82	0,29		
1390				0,63			0,28	0,40				0,71	0,24		
1400				0,55			0,17	0,49				0,57	0,24		
1410				0,39				0,50					0,30		
1420				0,54				0,71					0,34		
1430				0,74				0,88					0,32		
1440				1,04				0,38					0,30		

Fuente: el autor.

Cuadro E.5. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos hietogramas de larga duración.

Tiempo [min]	La Suiza				Cachí (Plantel)			Tucurrique			
	Tipo 2L	Tipo 1L	Tipo 4L	Tipo 7L	Tipo 3L	Tipo 6L	Tipo 4L	Tipo 2L	Tipo 3L	Tipo 5L	Tipo 8L
10	0,24	0,58	0,90	0,97	0,89	1,57	0,50	0,55	0,91	0,48	0,90
20	0,57	0,52	0,45	1,44	1,04	0,59	0,33	0,37	0,39	0,50	1,73
30	0,33	0,59	0,98	1,30	0,77	0,35	0,34	0,47	0,25	0,70	1,41
40	0,44	0,51	0,32	2,35	0,63	0,54	0,39	0,25	1,21	1,00	0,84
50	0,41	0,49	0,18	1,27	0,83	2,68	0,20	0,17	0,87	1,04	1,37
60	0,35	0,70	0,06	0,84	0,57	1,78	0,11	0,24	0,40	0,65	0,58
70	0,16	0,60	0,05	1,33	0,62	2,76	0,27	0,33	0,56	0,64	0,32
80	0,29	0,49	0,13	1,45	0,70	0,64	0,17	0,35	0,45	0,48	0,33
90	0,52	0,57	0,36	2,17	0,73	0,79	0,68	0,28	0,52	0,75	0,19
100	0,23	0,71	0,52	1,37	0,79	1,40	0,49	0,86	0,57	1,08	0,33
110	0,36	0,83	0,23	1,18	0,54	1,58	0,35	0,44	1,13	1,19	0,87
120	0,16	0,80	0,66	1,34	0,31	0,57	0,29	0,65	0,98	1,27	0,77
130	0,24	0,83	0,70	2,00	0,29	0,84	0,24	0,50	0,89	0,59	0,71
140	0,14	0,96	0,51	0,62	0,39	0,66	0,35	0,44	0,83	0,28	0,96
150	0,17	0,93	0,37	0,73	0,41	1,19	0,27	0,28	0,65	0,33	0,63
160	0,17	0,79	0,44	0,66	0,33	1,40	0,37	0,28	1,16	0,50	1,03
170	0,13	0,79	0,89	0,55	0,73	0,61	0,56	0,16	0,69	0,85	1,31
180	0,17	0,92	0,51	0,39	0,37	0,81	0,73	0,20	0,51	0,85	1,01
190	0,17	0,82	0,18	0,81	0,35	1,91	0,77	0,16	0,42	1,32	1,97
200	0,17	0,85	0,24	0,35	0,47	0,75	0,80	0,19	0,48	1,70	1,42
210	0,10	0,54	0,25	0,34	0,66	2,30	0,52	0,33	0,42	0,62	1,10
220	0,12	0,60	0,54	0,19	0,35	1,51	0,13	0,19	0,44	0,75	2,63
230	0,18	0,67	1,28	0,26	0,61	2,50	0,16	0,19	0,82	0,56	3,24
240	0,26	0,96	1,01	0,34	0,72	1,81	0,20	0,11	0,44	0,39	2,70
250	0,22	1,00	0,79	0,39	0,57	2,01	0,11	0,26	0,45	0,34	2,74
260	0,38	0,96	0,50	0,40	0,38	2,95	0,08	0,42	0,39	0,42	1,84
270	0,50	0,96	0,48	1,16	0,25	1,98	0,43	0,27	0,64	0,72	1,77
280	0,40	1,03	0,51	0,79	0,30	2,52	0,64	0,20	0,89	0,94	0,83
290	0,70	0,95	0,59	0,70	0,65	4,08	0,20	0,14	0,51	0,59	0,96
300	0,56	1,00	1,02	1,80	0,74	2,12	0,35	0,20	0,81	0,65	1,16
310	0,60	1,12	1,14	1,32	0,73	0,51	0,36	0,14	0,66	0,41	0,67
320	0,51	1,38	1,27	0,87	0,59	1,79	0,23	0,12	1,01	0,37	0,44
330	0,44	1,17	0,98	0,51	0,71	0,33	0,05	0,07	1,57	0,79	0,43
340	0,22	0,85	1,49	1,53	0,44	0,14	0,05	0,44	0,79	0,45	0,41
350	0,13	1,03	1,73	0,43	0,44	0,33	0,19	0,45	0,52	1,08	1,16
360	0,05	0,90	1,27	0,28	0,48	0,28	0,06	0,28	0,70	0,96	0,62
370	0,11	1,22	1,28	0,11	0,55	0,12	0,10	0,34	0,28	1,52	0,81
380	0,35	0,71	1,88	0,34	0,33	0,09	0,09	0,33	0,34	0,78	0,52
390	0,30	0,81	0,60	0,32	0,34	0,86	0,48	0,36	0,56	1,34	0,54
400	0,22	1,22	1,15	0,24	0,45	0,29	0,34	0,39	0,54	1,29	0,40
410	0,29	1,02	0,95	0,18	0,65	0,22	0,46	0,50	0,47	1,07	0,44
420	0,28	1,16	2,11	0,15	0,49	0,09	0,22	0,43	0,60	0,64	0,31
430	0,14	0,84	0,92	0,11	0,64	0,07	0,30	0,49	0,58	0,26	0,31
440	0,27	0,90	1,43	0,05	0,65	0,02	0,28	0,10	0,48	0,66	0,44
450	0,49	1,12	2,90	0,18	0,84	0,05	0,78	0,17	0,90	0,79	0,17
460	0,55	0,89	0,93	0,30	1,13	0,04	1,16	0,08	0,56	0,99	0,03
470	0,36	0,78	2,51	0,57	0,94	0,11	0,87	0,17	0,72	0,64	0,03
480	0,24	0,92	2,56	0,47	0,57	0,11	1,31	0,33	0,59	0,49	0,16

**Continuación Cuadro E.5. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos
hietogramas de larga duración.**

Tiempo [min]	La Suiza				Cachí (Plantel)			Tucurrique			
	Tipo 2L	Tipo 1L	Tipo 4L	Tipo 7L	Tipo 3L	Tipo 6L	Tipo 4L	Tipo 2L	Tipo 3L	Tipo 5L	Tipo 8L
490	0,26	0,89	1,98	0,08	1,00	0,25	3,00	0,34	1,06	0,97	0,12
500	0,22	0,82	1,67	0,23	0,59	0,20	1,47	0,20	0,80	0,63	0,07
510	0,51	0,81	1,89	0,15	0,42	0,31	1,54	0,24	0,64	0,90	0,25
520	0,34	0,85	1,63	0,08	0,73	0,53	1,25	0,28	0,60	0,81	0,03
530	0,86	0,86	0,62	0,02	0,70	0,74	0,89	0,35	1,10	0,91	0,05
540	0,80	0,72	0,48	0,02	0,42	0,39	1,16	0,33	0,84	0,80	0,05
550	0,19	0,67	1,58	0,06	0,46	1,20	1,80	0,86	0,32	0,53	0,03
560	0,48	0,70	1,83	0,11	0,36	1,24	1,74	0,69	0,79	0,94	0,15
570	0,28	0,72	3,81	0,25	0,45	1,12	2,63	0,85	0,67	0,63	0,10
580	0,39	0,92	1,30	0,75	0,65	1,81	3,39	0,31	0,63	1,13	0,15
590	0,31	0,78	0,96	0,73	0,55	1,55	1,68	0,54	0,57	0,94	0,12
600	0,42	0,82	1,72	0,54	0,53	1,93	2,16	1,04	0,48	1,33	0,05
610	0,48	0,56	0,58	0,38	0,68	0,83	1,62	0,63	0,70	1,12	0,01
620	0,39	0,51	0,83	0,97	0,49	1,05	0,45	0,48	0,97	0,83	0,01
630	0,51	0,70	0,92	1,64	0,60	1,22	0,35	0,30	0,81	1,87	0,01
640	0,75	0,99	1,30	1,00	0,80	1,31	0,41	0,30	0,40	1,72	0,03
650	0,99	0,71	1,02	0,99	0,71	0,81	0,27	0,36	0,49	1,64	0,03
660	0,40	0,76	0,74	2,08	0,50	0,46	1,16	0,70	0,39	1,98	0,10
670	0,36	0,57	1,26	1,48	0,62	1,40	1,04	0,92	0,40	1,45	0,05
680	1,40	0,61	1,17	0,70	0,52	2,35	1,72	0,86	0,63	1,02	0,11
690	1,98	0,87	1,18	0,38	0,53	1,17	0,58	0,93	0,98	1,63	0,40
700	1,52	0,66	1,50	0,85	0,60	1,05	0,43	1,22	0,55	1,35	0,04
710	0,66	0,59	1,29	0,71	0,66	0,37	0,73	0,79	0,84	1,53	0,15
720	0,41	0,54	0,62	1,12	0,52	0,40	1,18	1,34	0,81	1,63	0,06
730	0,54	0,41	0,94	0,72	0,80	0,34	0,26	1,71	0,54	1,66	0,21
740	0,50	0,45	1,07	0,72	0,93	0,45	0,56	2,84	0,71	1,88	0,19
750	0,52	0,87	0,97	0,38	0,45	0,38	0,57	1,44	0,53	1,67	0,22
760	0,48	0,82	0,86	0,36	0,85	0,35	0,43	1,23	0,68	2,37	0,04
770	1,14	0,95	1,27	0,60	0,98	0,29	0,77	0,74	0,47	1,62	0,01
780	1,44	0,62	0,58	0,29	1,03	0,35	0,42	0,62	0,46	1,45	0,13
790	1,17	0,80	0,61	0,51	1,26	0,21	0,62	0,77	0,61	1,30	0,53
800	0,72	0,52	0,66	0,27	1,36	0,08	0,77	0,90	0,68	0,46	0,60
810	1,52	0,55	0,49	0,19	1,41	0,05	0,52	0,75	0,97	0,83	0,29
820	1,62	0,83	0,49	0,21	1,31	0,22	0,59	0,46	0,56	1,00	0,13
830	1,33	0,76	0,86	0,23	0,95	0,05	0,76	0,75	0,27	1,59	0,06
840	1,02	0,77	0,90	0,56	1,16	0,16	0,61	0,87	0,50	0,81	0,10
850	1,16	0,82	1,64	0,85	1,34	0,17	1,23	2,66	0,59	0,93	0,39
860	1,02	0,72	1,32	0,69	1,01	0,10	1,08	1,89	0,57	1,39	0,70
870	1,74	0,87	0,74	0,46	1,16	0,06	1,74	1,48	0,52	0,92	0,41
880	0,89	0,63	0,55	0,36	1,05	0,21	2,19	0,87	0,46	1,00	0,42
890	0,83	0,64	0,65	1,02	1,09	0,42	1,07	1,96	0,70	0,92	0,38
900	1,43	0,56	0,85	0,71	1,02	0,13	0,68	1,20	0,52	0,36	0,45
910	0,98	0,63	0,71	0,34	1,15	0,27	0,63	1,21	0,62	0,41	0,30
920	0,70	0,68	0,77	0,54	0,75	0,19	0,80	1,44	0,89	0,57	0,41
930	0,51	0,67	0,55	0,32	1,02	0,70	0,99	1,36	1,27	0,22	0,67
940	0,69	0,92	0,78	0,41	0,53	0,63	0,71	0,97	0,60	0,29	1,23
950	1,80	0,53	0,46	0,41	0,54	0,25	0,74	0,75	0,78	0,12	0,96
960	1,53	0,62	0,53	0,36	0,71	0,27	1,37	1,07	1,27	0,32	1,10

**Continuación Cuadro E.5. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos
hietogramas de larga duración.**

Tiempo [min]	La Suiza				Cachí (Plantel)			Tucurrique			
	Tipo 2L	Tipo 1L	Tipo 4L	Tipo 7L	Tipo 3L	Tipo 6L	Tipo 4L	Tipo 2L	Tipo 3L	Tipo 5L	Tipo 8L
970	1,10	0,94	1,05	0,22	0,82	0,60	1,27	1,13	0,58	1,13	0,69
980	1,35	1,00	0,17	0,11	0,80	0,68	0,71	1,17	0,50	0,80	0,82
990	1,47	0,64	0,25	0,04	0,65	0,98	0,32	0,63	0,19	0,44	0,44
1000	1,62	0,74	0,17	0,02	0,64	0,88	0,93	0,86	0,19	0,29	0,95
1010	0,89	0,84	0,09	0,05	0,79	1,81	0,83	0,59	0,84	0,15	1,36
1020	1,14	0,76	0,12	0,54	0,56	0,41	0,42	0,57	1,01	0,68	0,69
1030	0,82	0,79	0,06	0,25	0,41	0,53	1,37	0,74	0,50	0,54	0,58
1040	0,60	0,76	0,29	0,29	0,31	0,03	0,97	1,19	0,57	0,25	0,23
1050	1,02	0,57	0,25	0,63	0,38	0,00	0,74	1,54	0,47	0,34	0,47
1060	0,44	0,49	0,26	0,04	0,54	0,01	0,66	0,82	0,40	0,40	1,08
1070	0,56	0,69	0,18	0,04	0,44	0,28	0,55	1,03	0,36	0,07	0,46
1080	0,98	0,74	0,33	0,25	1,17	0,25	1,00	0,73	0,48	0,20	0,41
1090	1,04	0,49	0,38	0,07	1,13	0,92	0,52	1,04	0,62	0,24	0,40
1100	1,26	0,56	0,29	0,38	0,94	0,27	0,65	0,79	0,57	0,14	0,59
1110	0,65	0,68	0,26	0,65	0,50	0,66	0,94	1,06	0,79	0,14	0,48
1120	1,54	0,60	0,32	1,86	0,92	2,26	0,98	1,14	0,75	0,12	0,73
1130	2,26	0,56	0,51	1,25	0,77	0,19	0,52	0,96	1,01	0,13	0,55
1140	2,53	0,53	0,65	1,46	0,65	0,19	1,09	0,95	1,16	0,10	0,78
1150	1,04	0,50	0,44	2,14	0,80	0,86	1,04	1,08	0,99	0,09	0,62
1160	0,86	0,36		0,82	0,47	0,97	0,61	1,54	0,70	0,07	0,59
1170	1,49	0,45		0,59	0,56	0,63	0,64	1,10	1,00	0,06	0,63
1180	1,05	0,46		1,64	0,56	0,14	0,49	0,58	1,19	0,10	0,69
1190	1,24	0,28		1,19	0,45	0,44	0,73	0,90	1,23	0,05	0,50
1200	0,98	0,33		1,09	0,72	0,14	0,36	0,64	1,07	0,38	0,92
1210	0,95	0,34		1,75	0,70	0,04	0,22	0,88	1,05	0,56	0,98
1220	1,07	0,53		1,23	0,60	0,41	0,42	0,87	1,50	0,22	1,07
1230	0,84	0,29		1,80	1,18	0,61	0,82	1,06	0,81	0,13	0,94
1240	0,93	0,52		1,96	0,75	0,08	0,70	1,10	0,87	0,18	0,65
1250	0,79	0,48		3,53	1,23	0,29	0,99	1,28	0,93	0,28	1,09
1260	0,61	0,49		0,59	1,06	0,11	1,39	1,02	0,53	0,24	0,96
1270	0,81	0,61		1,21	0,98	0,16	1,07	0,49	0,59	0,35	1,21
1280	1,19	0,37		0,75	0,62	0,52	2,27	0,35	0,29	0,27	0,97
1290	1,43	0,24		0,58	0,69	0,50	0,62	1,12	0,79	0,14	0,68
1300	0,50	0,38		1,09	0,56	0,15	0,30	0,35	1,40	0,31	0,82
1310	0,91	0,26		0,76	0,90	0,13	0,46	0,53	1,43	0,28	1,05
1320	1,39	0,43		1,83	0,81	0,19	0,36	0,45	1,46	0,17	0,71
1330	0,78	0,57		1,86	0,74		0,93	0,61	1,20	0,39	0,27
1340	0,85	0,33		0,37	0,62			0,57	0,66	0,26	1,48
1350	0,63	0,48		0,78	0,74			0,94	0,53	0,24	0,60
1360	0,98	0,43			0,70			1,59	0,74		0,82
1370	0,56	0,27			0,67			0,84	0,69		1,09
1380	0,19	0,19			0,63			0,82	0,65		1,50
1390	0,36	0,40			0,72			0,64	0,68		1,10
1400	0,71	0,54			0,88			0,82	0,63		2,47
1410	0,42	0,51			0,59			0,32	0,35		2,05
1420	0,25	0,37			0,52			0,25	0,47		2,00
1430	0,27	0,43			0,63			0,40	0,40		1,31
1440	0,07	0,51			0,59			0,43	0,40		0,86

Fuente: el autor.

Cuadro E.6. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos hietogramas de larga duración.

Tiempo [min]	San Antonio de Turrialba				Oriente		Sitio de Presa Tapantí
	Tipo 3L	Tipo 6L	Tipo 1L	Tipo 8L	Tipo 3L	Tipo 2L	Tipo 1L
10	0,58	1,19	0,59	0,49	0,44	0,55	0,75
20	0,80	0,83	1,10	0,71	0,47	0,82	0,89
30	0,89	0,17	0,82	1,06	0,69	0,79	0,69
40	0,43	0,13	0,68	1,07	0,56	0,55	0,54
50	0,34	0,19	0,98	1,27	0,95	0,71	0,77
60	0,42	0,19	0,82	0,79	0,84	0,89	0,78
70	0,43	0,53	0,81	0,75	0,68	0,77	0,64
80	0,40	0,67	0,72	0,94	0,67	0,48	0,79
90	0,49	0,56	0,44	0,62	0,75	0,93	0,65
100	0,53	0,27	0,39	1,05	0,65	0,91	0,70
110	0,50	0,21	0,43	0,60	0,75	0,99	0,73
120	0,44	0,16	0,45	0,65	0,78	0,42	0,63
130	0,29	0,48	0,65	0,67	0,69	0,61	0,72
140	0,27	0,38	0,71	0,69	0,65	0,50	0,91
150	0,25	0,67	0,94	0,55	0,79	0,33	0,88
160	0,38	0,64	1,31	0,41	1,04	0,41	0,87
170	0,66	0,32	1,31	1,36	1,19	0,38	0,57
180	0,63	0,52	1,22	1,16	0,59	0,48	0,89
190	0,90	0,38	0,82	0,81	0,59	0,33	0,94
200	0,93	0,23	0,68	0,61	0,74	0,36	0,99
210	0,75	0,67	0,42	0,64	0,52	0,23	0,95
220	0,87	0,50	0,79	0,48	0,63	0,17	0,85
230	0,80	0,44	1,46	1,37	0,71	0,16	0,84
240	0,79	0,91	0,75	0,94	0,72	0,31	0,79
250	0,83	0,44	1,07	1,44	0,63	0,30	0,85
260	0,55	0,30	1,22	0,60	0,47	0,28	0,71
270	0,51	0,40	0,70	0,65	0,80	0,38	0,69
280	0,63	0,66	0,89	0,72	1,16	0,47	0,59
290	0,64	0,72	1,26	0,59	1,07	0,41	0,62
300	0,94	1,03	0,57	0,43	1,06	0,49	0,79
310	1,10	0,85	0,59	1,15	0,87	0,65	0,67
320	0,79	0,53	0,87	0,60	0,75	0,57	0,70
330	0,78	0,17	1,33	0,27	0,65	0,24	0,71
340	0,97	0,30	2,03	0,28	0,65	0,32	0,84
350	0,78	0,29	1,24	0,15	0,52	0,42	1,00
360	0,87	0,89	1,06	0,56	0,47	0,49	1,12
370	1,11	1,61	1,27	1,04	0,82	0,78	0,91
380	1,26	1,33	1,22	0,78	0,86	0,63	0,75
390	1,04	0,69	0,84	0,58	0,80	0,20	0,94
400	0,65	0,96	1,15	0,37	0,40	0,40	1,05
410	0,66	1,15	0,92	0,44	0,41	0,41	0,80
420	0,65	1,54	1,12	0,37	0,57	0,48	0,75
430	0,51	1,02	0,88	0,79	1,07	0,46	0,82
440	0,87	1,06	1,35	0,85	0,81	0,45	0,85
450	1,18	1,34	1,86	0,51	0,71	0,34	0,88
460	1,32	1,40	1,51	0,37	0,71	0,16	0,96
470	0,82	1,45	1,19	0,27	0,63	0,19	0,87

**Continuación Cuadro E.6. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos
hietogramas de larga duración.**

Tiempo [min]	San Antonio de Turrialba				Oriente		Sitio de Presa Tapantí
	Tipo 3L	Tipo 6L	Tipo 1L	Tipo 8L	Tipo 3L	Tipo 2L	Tipo 1L
480	0,68	1,58	1,28	0,24	0,47	0,69	0,75
490	0,98	1,17	1,72	0,48	0,47	0,54	0,79
500	0,44	1,02	1,40	0,31	0,85	0,63	0,95
510	0,61	1,08	1,06	0,23	1,03	0,41	0,92
520	0,64	1,12	0,82	0,12	1,25	0,36	0,97
530	0,86	0,83	1,47	0,46	1,12	0,38	0,86
540	0,80	0,55	0,93	0,18	0,79	0,40	0,78
550	0,82	0,53	0,72	0,16	0,73	0,63	0,70
560	0,65	0,41	0,77	0,22	0,53	0,30	0,90
570	0,88	0,53	0,99	0,21	1,30	0,42	0,75
580	0,70	0,50	1,42	0,40	0,74	0,67	0,67
590	0,50	0,94	1,09	0,29	0,81	0,15	0,80
600	0,74	0,28	1,19	0,29	0,80	0,28	0,94
610	0,63	0,26	0,81	0,32	0,64	0,30	0,88
620	0,98	0,36	1,05	0,42	0,73	0,54	0,94
630	0,92	0,31	0,74	0,29	0,62	0,81	1,10
640	0,70	0,13	0,69	0,44	0,88	1,55	1,17
650	0,56	0,16	0,65	0,41	0,43	0,61	1,18
660	0,72	0,50	1,32	0,90	0,99	0,68	1,04
670	0,93	0,46	1,18	0,88	0,84	0,58	0,91
680	1,18	0,20	1,27	0,92	1,13	0,30	0,87
690	0,99	0,59	0,97	0,70	0,97	0,18	0,70
700	0,77	1,25	0,89	0,69	1,07	0,18	0,73
710	0,55	0,95	0,81	0,45	1,01	0,12	1,01
720	0,66	1,10	0,68	0,28	0,78	0,83	0,85
730	0,50	1,16	0,82	0,21	1,02	1,22	0,78
740	0,39	1,23	1,09	0,21	1,25	1,05	0,93
750	0,74	2,23	1,29	0,27	0,99	1,02	0,86
760	0,53	1,72	1,01	0,24	0,85	0,84	0,83
770	0,45	2,05	0,50	0,23	0,61	0,41	0,64
780	0,41	1,71	0,93	0,31	0,54	0,44	0,94
790	0,52	0,94	0,60	0,55	0,41	0,74	0,65
800	0,52	1,12	1,21	0,27	0,75	0,42	0,58
810	0,46	1,48	0,90	0,11	0,81	0,60	0,60
820	0,37	2,11	0,53	0,37	0,67	1,11	0,57
830	0,34	1,45	0,33	0,46	0,58	0,93	0,63
840	0,59	1,31	0,68	0,91	0,59	1,33	0,74
850	0,64	1,05	0,51	0,14	0,65	0,89	0,76
860	0,74	0,99	0,51	0,30	0,60	0,53	0,80
870	0,73	1,96	0,45	0,71	0,76	0,42	0,58
880	1,35	1,61	0,17	0,44	0,59	0,78	0,68
890	1,06	0,66	0,09	0,52	0,98	0,73	0,69
900	0,82	0,76	0,32	0,58	0,77	1,00	0,70
910	0,55	0,79	0,47	1,22	0,77	1,22	0,63
920	0,88	0,59	0,64	0,95	0,74	1,49	0,62
930	0,66	0,38	0,49	1,04	0,69	1,68	0,61
940	1,19	0,49	0,34	0,56	0,94	1,55	0,57
950	0,81	0,83	0,38	0,70	0,72	2,25	0,50
960	0,67	1,34	0,63	0,42	0,60	1,87	0,46

**Continuación Cuadro E.6. Valores de lluvia en porcentaje cada 10 minutos
hietogramas de larga duración.**

Tiempo [min]	San Antonio de Turrialba				Oriente		Sitio de Presa Tapantí
	Tipo 3L	Tipo 6L	Tipo 1L	Tipo 8L	Tipo 3L	Tipo 2L	Tipo 1L
970	0,83	0,58	0,61	0,79	0,45	1,00	0,56
980	0,78	0,41	0,34	0,53	0,60	1,35	0,67
990	0,86	0,22	0,82	0,53	0,43	1,24	0,58
1000	0,46	0,37	0,48	0,64	0,41	2,10	0,50
1010	0,48	0,56	0,42	0,23	0,73	1,14	0,68
1020	0,53	0,54	0,39	0,23	0,86	2,01	0,65
1030	0,78	0,61	0,41	0,26	0,84	1,63	0,48
1040	0,74	0,39	0,30	0,41	0,48	0,98	0,38
1050	0,63	0,19	0,30	0,48	0,54	0,80	0,47
1060	0,58	0,23	0,41	1,36	0,55	0,57	0,53
1070	0,67	0,52	0,43	1,80	0,42	0,75	0,58
1080	0,70	0,50	0,37	0,84	0,31	0,99	0,55
1090	0,49	0,20	0,25	0,68	0,68	0,83	0,55
1100	0,50	0,38	0,23	0,44	0,50	0,48	0,49
1110	1,11	0,20	0,22	0,51	0,69	0,47	0,50
1120	1,31	0,11	0,39	0,57	0,61	0,96	0,44
1130	0,93	0,10	0,35	1,00	0,48	0,77	0,51
1140	0,47	0,35	0,24	1,00	0,41	0,89	0,41
1150	0,79	0,21	0,19	1,23	0,82	0,60	0,32
1160	0,76	0,44	0,39	0,95	0,72	0,53	0,40
1170	0,65	0,48	0,44	1,65	0,71	0,72	0,47
1180	0,63	0,30	0,66	1,68	0,51	1,28	0,50
1190	0,65	0,13	0,12	1,58	0,78	0,68	0,62
1200	0,84	0,19	0,22	2,51	0,43	0,83	0,53
1210	0,56	0,67	0,26	1,53	0,95	0,42	0,54
1220	0,48	0,70	0,37	0,90	0,83	0,46	0,44
1230	0,63	0,99	0,51	0,95	0,92	0,75	0,56
1240	0,59	0,78	0,44	0,68	0,52	0,95	0,53
1250	0,53	0,55	0,38	0,75	0,35	0,89	0,53
1260	0,59	0,65	0,43	0,86	0,27	0,74	0,53
1270	0,37	1,35	0,36	2,37	0,33	0,33	0,53
1280	0,41	0,53	0,09	2,22	0,37	0,89	0,51
1290	0,58	0,41	0,15	1,61	0,32	0,90	0,51
1300	0,58	0,48	0,51	0,67	0,29	0,64	0,54
1310	0,89	0,38	0,48	1,31	0,55	0,21	0,44
1320	0,66	0,65	0,25	0,53	0,52	0,60	0,45
1330	0,43	0,50	0,41	0,96	0,59	0,76	0,36
1340	0,54	0,41		1,52	0,59	0,44	0,42
1350	0,65	0,96		0,72	0,88	0,61	0,41
1360	0,53	0,89		0,80	0,61	0,25	0,37
1370	0,58	0,58		0,57	0,45	0,27	0,41
1380	0,56	0,26		0,63	0,58	0,71	0,39
1390	0,60	0,38		0,91	0,34	1,35	0,46
1400	0,98	0,46		0,62	0,20	1,08	0,61
1410	0,85	0,37		0,44	0,49	0,69	0,53
1420	0,73	0,12		0,40	0,63	0,84	0,56
1430	0,82	0,39		0,41	0,77	1,06	0,40
1440	0,63	0,17		0,24	0,79	0,94	0,47

Fuente: el autor.