

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA



TRABAJO DE GRADO:

**PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN DE CURVAS INTENSIDAD -
DURACIÓN - FRECUENCIA EN LA ZONA ORIENTAL DE EL SALVADOR**

PRESENTADO POR:

ABILIO MARQUEZ MARQUEZ

ROBERTO CARLOS MELARA BENAVIDES

**PARA OPTAR AL GRADO DE:
INGENIERO CIVIL**

DOCENTE DIRECTOR:

ING. DAVID ARNOLDO CHÁVEZ SARAVIA

JUNIO 2014

SAN MIGUEL, EL SALVADOR, CENTROAMÉRICA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO
RECTOR

MsD. ANA MARÍA GLOWER DE ALVARADO
VICE - Rectora Académica

DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA
SECRETARIA GENERAL

LIC. FRANCISCO CRUZ LETONA
FISCAL GENERAL

FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL

AUTORIDADES

LIC. CRISTÓBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ

DECANO

LIC. CARLOS ALEXANDER DÍAZ

VICE - DECANO

LIC. JORGE ALBERTO ORTÉZ HERNÁNDEZ

SECRETARIO

ING. JUAN ANTONIO GRANILLO COREAS

JEFE DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

Trabajo de Graduación previo al grado de:

INGENIERO CIVIL

Título:

**“PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN DE CURVAS INTENSIDAD -
DURACIÓN - FRECUENCIA EN LA ZONA ORIENTAL DE EL SALVADOR”**

Presentado por :

ABILIO MARQUEZ MARQUEZ
ROBERTO CARLOS MELARA BENAVIDES

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Director :

ING. DAVID ARNOLDO CHAVEZ SARAVIA

Coordinadora de Proyectos de Graduación :

ING. MILAGRO DE MARÍA ROMERO DE GARCIA

SAN MIGUEL, JUNIO DE 2014

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Director:

ING. DAVID ARNOLDO CHAVEZ SARAVIA

Coordinadora de Trabajos de Graduación:

ING. MILAGRO DE MARIA ROMERO DE GARCIA

DEDICATORIA

A **DIOS**, por darme la oportunidad de vivir y estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis padres, gracias a su amor, ejemplo, comprensión y apoyo he logrado alcanzar mis metas.

Mi esposa, por su amor, comprensión y apoyo en momentos difíciles de mi carrera. Asimismo hago una dedicatoria especial a mis hijos, que son la razón para esforzarme cada día siendo una mejor persona y vean en mí un ejemplo.

A Mis hermanos y hermanas, por confiar en mí siempre, especialmente a Doris por estar ahí siempre pendiente, por apoyarme incondicionalmente durante toda mi carrera.

Mi compañero de tesis y amigo, por su apoyo y amistad durante toda la carrera. Y Finalmente a todos mis familiares y amigos que de una u otra forma han contribuido en la culminación de mi carrera profesional a todos y a cada uno de ellos dedico este triunfo.

Abilio Márquez

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente **A DIOS TODOPODEROSO** por haberme dado la vida y salud para llegar a este momento tan importante de mi formación.

Asimismo lo dedico a la memoria de mi querido padre **JOSE RODOLFO MELARA** por haber compartido su vida conmigo, y sé viejo que hubieses querido estar en primera fila celebrando este gran logro.

De igual forma, hago una dedicación especial con mucho cariño y amor a mi madre **ANA SILVIA BENAVIDES DE MELARA**, por ser un pilar fundamental de mi vida, gracias por ayudarme a crecer, por estar siempre conmigo en todo momento, por la paciencia que has tenido en enseñarme el camino de la vida, por el amor que me das, por los regaños y por llevarme en tus oraciones porque estoy seguro que siempre lo haces.

A **MELISSA GUADALUPE LOPEZ GONZALEZ**, por todo su apoyo incondicional a la largo de mi carrera y ser parte de mi vida muchas gracias. A todos mis amigos, a mi compañero de tesis y amigo **ABILIO** por su comprensión y apoyo en toda la carrera.

Roberto C. Melara Benavides.

AGRADECIMIENTOS

Nuestros más sinceros agradecimientos van dirigidos a todas aquellas personas e instituciones que prestaron su apoyo desinteresado en la realización de este trabajo de graduación, especialmente:

- A nuestro docente director Ingeniero David Arnoldo Chávez Saravia, por su orientación y valiosos consejos durante toda la investigación.

- A un gran amigo y docente el Ingeniero Jaime Perla Palacios por su apoyo incondicional.

- A la Coordinadora de Trabajo de Graduación, Ing. Milagro de María Romero de Garcia. Por sus sugerencias y apoyo.

- A nuestro Co-Asesor Ing. Guillermo Moya Turcios, por brindarnos su ayuda incondicional en la realización de esta investigación.

- A la Dirección General del Observatorio Ambiental, por la valiosa información entregada y su buena disposición en todo momento, especialmente a su personal Técnico y Administrativo al: Lic. Luis Alberto Garcia Guirola (Gerente de Meteorología), Licda. Rosa María Araujo, Ing. Ricardo A. Zimmermann, al personal de CIAGRO.

INDICE GENERAL

Contenido	Página.
<i>Resumen</i>	<i>i</i>
<i>Lista de acrónimos</i>	<i>ii</i>
<i>Introducción</i>	<i>1</i>
<u>CAPITULO I : GENERALIDADES</u>	3
<i>1.1 Planteamiento del problema</i>	<i>3</i>
<i>1.2 Justificación de la investigación</i>	<i>4</i>
<i>1.3 Objetivos</i>	<i>5</i>
<i>1.3.1 Objetivo General</i>	<i>5</i>
<i>1.3.2 Objetivos Específicos</i>	<i>5</i>
<i>1.4 Alcances</i>	<i>6</i>
<i>1.5 Limitaciones</i>	<i>7</i>
<u>CAPITULO II: MARCO REFERENCIAL</u>	8
<i>2.1 MARCO HISTORICO</i>	<i>8</i>
<i>2.1.1 Antecedentes de la Investigación</i>	<i>8</i>
<i>2.1.2 Antecedentes históricos de la meteorología en El Salvador</i>	<i>9</i>
<i>2.1.2.1 Cronología</i>	<i>9</i>
<i>2.2 MARCO TEORICO</i>	<i>13</i>
<i>2.2.1 Definición de hidrología</i>	<i>13</i>
<i>2.2.2 El ciclo hidrológico</i>	<i>14</i>

2.2.3 <i>El clima</i>	15
2.2.3.1 <i>Elementos del clima</i>	16
2.2.3.2 <i>Factores del clima</i>	16
2.2.4 <i>El clima en El Salvador</i>	16
2.2.5 <i>Precipitación</i>	19
2.2.5.1 <i>Proceso de formación de la precipitación</i>	19
2.2.5.1.1 <i>Las nubes</i>	21
2.2.5.2 <i>Formas de precipitación</i>	22
2.2.5.3 <i>Clasificación de la precipitación</i>	24
2.2.5.3.1 <i>Precipitación frontal (ciclónica)</i>	24
2.2.5.3.2 <i>Precipitación Convectiva</i>	25
2.2.5.3.3 <i>Precipitación orográfica</i>	25
2.2.5.4 <i>Medición de la precipitación</i>	26
2.2.5.4.1 <i>Pluviómetro</i>	26
2.2.5.4.2 <i>Pluviógrafo</i>	27
2.2.5.4.2.1 <i>Tipos de pluviógrafos</i>	28
2.2.5.4.2.2 <i>La importancia del pluviógrafo</i>	29
2.2.5.4.2.2 <i>Pluviograma y la curva de masa</i>	30
2.2.5.4.2.2.1 <i>Pluviograma</i>	30
2.2.5.4.2.2.2 <i>Curva de masa</i>	34
2.2.5.5 <i>La precipitación en El Salvador</i>	35
2.2.5.5.1 <i>Comportamiento de la lluvia</i>	36

2.2.6 Definición de las curvas intensidad duración frecuencia	37
2.2.7 Elementos asociados a las curvas IDF.....	38
2.2.7.1 Intensidad.....	38
2.2.7.2 Duración	38
2.2.7.3 Periodo de retorno o frecuencia	39
2.2.7.4 Probabilidad de excedencia y no excedencia	40
2.2.8 Modelado de la frecuencia de eventos extremos	41
2.2.9 Modelo de la frecuencia de eventos extremos	41
2.2.10 Estadística aplicada a la hidrología	43
2.2.11 Distribuciones de probabilidad.....	43
2.2.12 Métodos de estimación de los parámetros de funciones de distribución	45
2.2.13 Aplicaciones de las curvas IDF.....	46
2.2.14 Métodos de construcción de las Curvas IDF	47
2.2.15 Las curvas IDF en el mundo.....	52

CAPITULO III: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION..... 56

3.1 Tipo de investigación.....	56
3.2 Diseño de la investigación.....	57
3.3 Fases metodológicas	57
3.3.1 Revisión bibliográfica.....	58
3.3.2 Recopilación de información pluviográfica	59
3.3.3 Selección de estaciones meteorológicas.....	60

3.3.4 Selección de intensidades máximas de precipitación.....	61
3.3.5 Ajuste de datos a una función de distribución de probabilidad.....	62
3.3.6 Pruebas de bondad de ajuste.....	63
3.3.6.1 Coeficiente de determinación R^2	64
3.3.6.2 Test de Kolmogorov - Smirnov	64
3.3.7 Determinación de las curvas IDF, para distintos periodos de retorno.....	66
<u>CAPITULO IV: ANALISIS DE RESULTADOS</u>	67
4.1 Análisis de registros pluviográficos	67
4.2 Alturas máximas de precipitación para cada duración	71
4.4 Calculo de intensidades máximas anuales y parámetros estadísticos serie periodo 1984-2012.....	78
4.5 Intensidades máximas anuales, series actualizadas.....	83
4.6 Ajuste a la función de distribución de probabilidad de Gumbel.....	88
4.7 Pruebas de bondad de ajuste	88
4.7.1 Coeficiente de determinación R^2	89
4.7.2 Test de Kolmogorov - Smirnov	90
4.8 Presentación grafica de las curvas IDF para cada estación	91
4.9 Comparación para cada duración de las curvas IDF del periodo 1960-1983 y 1960-2012, y su variación porcentual	101

<u>CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u>	106
5.1 Conclusiones	106
5.2 Recomendaciones	107
GLOSARIO	108
BIBLIOGRAFIA	113
ANEXOS	116

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 2.1. El Ciclo Hidrológico</i>	14
<i>Figura 2.2. Formación de la precipitación en las nubes</i>	20
<i>Figura 2.3. Tipos de nubes</i>	21
<i>Figura 2.4. Formas de precipitación</i>	22
<i>Figura 2.5. Precipitación frontal o ciclónica</i>	24
<i>Figura 2.6. Precipitación convectiva</i>	25
<i>Figura 2.7. Precipitación orográfica</i>	26
<i>Figura 2.8. Pluviómetro tipo Hellmann</i>	27
<i>Figura 2.9. Pluviógrafo de Sifón</i>	28
<i>Figura 2.10. Pluviograma</i>	31
<i>Figura 2.11. Fallas comunes del pluviógrafo</i>	33
<i>Figura 2.12. Curva de masa de una tormenta</i>	34
<i>Figura 2.13. Esquema teórico de curvas IDF</i>	51
<i>Figura 3.1. Fases metodológicas de la investigación</i>	58

<i>Figura 3.2. Equipo pluviográfico con su respectiva banda de registro</i>	<i>59</i>
<i>Figura 3.3. Ubicación de estaciones meteorológicas en la zona oriental</i>	<i>60</i>
<i>Figura 4.1. Banda de registro pluviográfico tipo diaria</i>	<i>67</i>
<i>Figura 4.2. Registro pluviográfico con trazas de longitud mayor de escala</i>	<i>68</i>
<i>Figura 4.3. Registro pluviográfico distorsionado</i>	<i>69</i>
<i>Figura 4.4. Registro pluviográfico estación Santiago de María.....</i>	<i>70</i>

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 2.1 Estaciones y transiciones climáticas.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 2.2 Resumen de funciones de distribución usadas en hidrología</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 3.1 Ubicación geográfica de estaciones meteorológicas y periodo de estudio</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 4.1 Bandas digitalizadas y analizadas</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 4.2 Tabulación de lecturas de registros pluviográfico</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 4.3 Sumatorias sucesivas para diferentes duraciones</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 4.4 Tabla resumen de alturas máximas de precipitación</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 4.5 Resumen multianual de alturas máximas de precipitación, estación Santiago de María periodo 1984-2012</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 4.6 Resumen multianual de alturas máximas de precipitación, estación San Miguel UES, periodo 1984-2012</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 4.7 Resumen multianual de alturas máximas de precipitación, estación San Francisco Gotera, periodo 1984-2012</i>	<i>76</i>

<i>Tabla 4.8 Resumen multianual de alturas máximas de precipitación, estación</i>	
<i>La Unión/Corsaín, periodo 1984-2012.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 4.9 Intensidades máximas y mínimas periodo 1984-2012</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 4.10 Resumen multianual de intensidades máximas de precipitación. Estación</i>	
<i>Santiago de María periodo 1984-2012</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 4.11 Resumen multianual de intensidades máximas de precipitación, estación</i>	
<i>San Miguel UES periodo 1984-2012</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 4.12 Resumen multianual de intensidades máximas de precipitación, estación</i>	
<i>San Francisco Gotera periodo 1984-2012</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 4.13 Resumen multianual de intensidades máximas de precipitación, estación</i>	
<i>La Unión/Corsaín periodo 1984-2012</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 4.14 Años de estadística de registros pluviográficos para cada estación</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 4.15 Resumen multianual de intensidades máximas. Estación</i>	
<i>Santiago de María U-6.....</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 4.16 Resumen multianual de intensidades máximas, estación</i>	
<i>San Miguel UES M-24</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 4.17 Resumen multianual de intensidades máximas, estación</i>	
<i>San Francisco Gotera Z-2.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 4.18 Resumen multianual de intensidades máximas, estación</i>	
<i>La Unión/Corsain N-2.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 4.19 Parámetros de ajuste distribución de Gumbel.....</i>	<i>88</i>

<i>Tabla 4.20 Prueba de bondad de ajuste coeficiente de determinación R^2 , serie actualizada</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 4.21 Resultado test Kolmogorov – Smirnov para cada estación y duración</i>	<i>90</i>
<i>Tabla 4.22 Intensidades para cada periodo de retorno y duración Santiago de María U-6.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 4.23 Intensidades para cada periodo de retorno y duración San Miguel UES M-24</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 4.24 Intensidades para cada periodo de retorno y duración San Francisco Gotera Z-2.....</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 4.25 Intensidades para cada periodo de retorno y duración La Unión/Corsáin N-2.....</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 4.26 Comparación de la variación porcentual periodo 1957-1984 y serie actualizada 1957-2012, estación Santiago de María.</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 4.27 Comparación de la variación porcentual periodo 1961-1984 y serie actualizada 1957-2012, estación San Miguel UES.....</i>	<i>103</i>
<i>Tabla 4.28 Comparación de la variación porcentual periodo 1962-1984 y serie actualizada 1957-2012, estación San Francisco Gotera.....</i>	<i>104</i>
<i>Tabla 4.29 Comparación de la variación porcentual periodo 1970-1984 y serie actualizada 1957-2012, estación La Unión/Corsáin</i>	<i>105</i>

INDICE DE GRAFICOS

<i>Grafico 4.1 Curvas IDF estación Santiago de María U-6, escala logarítmica.....</i>	<i>93</i>
<i>Grafico 4.2 Curvas IDF estación Santiago de María U-6, escala aritmética.....</i>	<i>94</i>
<i>Grafico 4.3 Curvas IDF estación San Miguel UES M-24, escala logarítmica.....</i>	<i>95</i>
<i>Grafico 4.4 Curvas IDF estación San Miguel UES M-24, escala aritmética.....</i>	<i>96</i>
<i>Grafico 4.5 Curvas IDF estación San Francisco Gotera Z-2, escala logarítmica.....</i>	<i>97</i>
<i>Grafico 4.6 Curvas IDF estación San Francisco Gotera Z-2, escala aritmética.....</i>	<i>98</i>
<i>Grafico 4.7 Curvas IDF estación La Unión/Corsain N-2, escala logarítmica.....</i>	<i>99</i>
<i>Grafico 4.8 Curvas IDF estación La Unión/Corsain N-2, escala aritmética.....</i>	<i>100</i>

INDICE DE ANEXOS

<i>Anexo I. Tabla de valores críticos Test Kolmogorov - Smirnov.....</i>	<i>117</i>
<i>Anexo II. Funciones de Distribución de Probabilidad utilizadas para la determinación de Curvas IDF.....</i>	<i>118</i>
<i>Anexo III. Intensidades máximas anuales 1957-1983, Santiago de María U-6</i>	<i>123</i>
<i>Anexo IV. Intensidades máximas anuales 1961-1983, El Papalón M-1-6</i>	<i>124</i>
<i>Anexo V. Intensidades máximas anuales 1962-1983, San Francisco Gotera Z-2</i>	<i>125</i>
<i>Anexo VI. Intensidades máximas anuales 1970-1983, La Unión N-15</i>	<i>126</i>
<i>Anexo VII. Valores y graficas de intensidad duración frecuencia, estación Santiago de María periodo 1957-1983</i>	<i>127</i>
<i>Anexo VIII. Valores y graficas de intensidad duración frecuencia, estación El Papalón periodo 1961-1983</i>	<i>128</i>

<i>Anexo IX. Valores y graficas de intensidad duración frecuencia, estación</i>	
<i>San Francisco Gotera periodo 1962-1983</i>	<i>129</i>
<i>Anexo X. Valores y graficas de intensidad duración frecuencia, estación</i>	
<i>La Unión periodo 1970-1983.....</i>	<i>130</i>
<i>Anexo XI. Estaciones meteorológicas de la zona oriental de El Salvador.....</i>	<i>131</i>

RESUMEN

Las Curvas Intensidad - duración - frecuencia (IDF), son el eslabón fundamental en el diseño y construcción de obras hidráulicas. En este contexto el conocimiento de las metodologías para su construcción es fundamental, por tal motivo se analizaron las bandas de registros pluviográficos de cada estación meteorológica suministrados por la Dirección General del Observatorio Ambiental (DGOA), con el objetivo de obtener intensidades máximas anuales para distintos periodos de retorno 5, 10, 15, 25 y 50 años para duraciones de 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 240 y 360 minutos, para la elaboración de curvas Intensidad - Duración – Frecuencia (IDF) correspondientes a 4 estaciones meteorológicas de la zona oriental de El Salvador. Estas estaciones son: Santiago de María U-6, San Miguel UES M-24, San Francisco Gotera Z-2 y La Unión / Corsain N-2, ubicadas entre los $13^{\circ}19'29.7''$ y $13^{\circ}41'32.1''$ de latitud norte, y los $87^{\circ}48'53.2''$ y $88^{\circ}28'17.6''$ de longitud oeste, contando con registros históricos para la actualización del periodo 1984-2012.

Los datos obtenidos de la conformación de series de intensidades máximas anuales fueron ajustadas satisfactoriamente mediante la ley de distribución de valores extremos tipo I o Gumbel, reflejado en resultados de dos pruebas de bondad de ajuste: el coeficiente de determinación R^2 y el test de Kolmogorov – Smirnov.

LISTA DE ACRÓNIMOS

- CIAGRO** : Centro de Información y Agrometeorología.
- DGOA** : Dirección General del Observatorio Ambiental.
- DGRNR** : Dirección General de Recursos Naturales Renovables.
- DMH** : División de Meteorología e Hidrología.
- IDF** : Intensidad – Duración – Frecuencia.
- MARN** : Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- msnm** : Metros sobre el nivel del mar.
- OMM** : Organización Mundial de Meteorología.
- SAT** : Sistemas de Alerta Temprana.
- SEMEH** : Servicio Meteorológico e Hidrológico.
- SMN** : Servicio Meteorológico Nacional.
- SNET** : Servicio Nacional de Estudios Territoriales
- USGS** : United States Geological Survey.

INTRODUCCION

La precipitación es uno de los componentes integrales del ciclo hidrológico, de manera que los ingenieros deben ser capaces de cuantificar las precipitaciones. Una de las herramientas para la cuantificación de las precipitaciones son las curvas intensidad, duración y frecuencia IDF, esta técnica aunque antigua en su concepto, es muy vigente y de amplio uso en ingeniería, para el diseño de obras hidráulicas de control y evacuación de crecidas, diseño de conservación de suelos y protección de causes, ya que permite obtener información de las lluvias esperadas en una zona o región, teniendo en cuenta tres variables importantes: la intensidad, duración y frecuencia o tiempo de retorno. Las curvas IDF vigentes en nuestro país y específicamente en la zona oriental datan de principios de la década de los años 80, así la presente investigación está enfocada en un objetivo principal actualizar los registros de intensidades máximas anuales de lluvia para la generación de Curvas Intensidad – Duración - Frecuencia para las estaciones meteorológicas de la zona Oriental de El Salvador.

En el Capítulo I, se enuncia el planteamiento del problema, la justificación de la investigación en base a tres criterios fundamentales: relevancia social, técnica y económica. Asimismo se establece el objetivo general y los objetivos específicos de la presente tesis, los límites y alcances de la misma.

El capítulo II, llamado Marco Referencial estructurado en: marco histórico que presenta una reseña histórica de la meteorología en nuestro país, un marco teórico que refleja conceptos fundamentales de hidrología básica, así como todos los elementos

teóricos necesarios que dan sustento a la conceptualización de Curvas Intensidad - Duración - Frecuencia.

En el capítulo III, hace referencia a la metodología empleada para la construcción de las curvas IDF, basada en extraer de los registros pluviográficos series de intensidades máximas anuales para duraciones de 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 240 y 360 minutos, aplicando a estas series análisis de frecuencias mediante la estimación de los parámetros de la función de distribución de Gumbel, para finalmente obtener la gráfica que relaciona la variación de la intensidad con la duración para cada periodo de retorno.

El capítulo IV, presenta los resultados obtenidos del procesamiento de la información. Finalmente en el Capítulo V, se plantean las conclusiones más importantes obtenidas y las recomendaciones que el equipo de trabajo propone para ampliar conocimientos en esta área.

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Los registros de intensidades máximas de lluvia con los que se cuenta en El Salvador y específicamente en la zona oriental del país datan de la década de los años 80's. De esta década a la actualidad el país ha experimentado una serie de cambios en cuanto a fenómenos climáticos que han modificado el comportamiento de los patrones de las intensidades máximas de lluvia.

Esta carencia de registros actualizados, ha permitido que en la actualidad se diseñen muchas obras de infraestructura hidráulicas, estudios hidrológicos para el análisis de cuencas, con proyecciones de tormentas de diseño para el cálculo de caudales máximos en base a registros de intensidades máximas anuales de lluvia de series históricas registradas hasta el año de 1983.

Como consecuencia se diseñan obras hidráulicas con dimensionamientos inadecuados, lo que incurre en gastos excesivos, mal funcionamiento de la obra o el colapso de la misma ante la presencia de eventos extremos.

1.2 JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION.

La importancia de la investigación se basa en los siguientes criterios:

Relevancia Social: con la actualización de registros de intensidades máximas de lluvia se diseñaran curvas IDF, que servirán para los futuros diseños de drenajes pluviales, así mismo en soluciones hidráulicas que sean necesarias para mejorar la calidad de vida de muchos habitantes, servirá a instituciones como Protección Civil en la elaboración de Sistema de Alertas Tempranas (SAT) referentes a inundaciones urbanas, etc.

Relevancia Técnica: la Actualización de curvas intensidad duración frecuencia en la zona oriental de El Salvador, proveerá una de las herramientas fundamentales para todo profesional en la planificación y desarrollo de proyectos de infraestructuras hidráulicas, estudios hidrológicos entre otros.

Relevancia Económica: Con datos actualizados de intensidades máximas de lluvia el profesional podrá generar tormentas de diseño para el dimensionamiento apropiado de infraestructuras hidráulicas, que resulte en una obra funcional, confiable y económica.

1.3 OBJETIVOS.

1.3.1 OBJETIVO GENERAL.

- Actualizar los registros de intensidades máximas anuales de precipitación para la generación de Curvas Intensidad Duración Frecuencia para las estaciones meteorológicas de la zona Oriental de El Salvador.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Estimar las intensidades máximas de precipitación para duraciones de 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 240 y 360 minutos con periodos de retorno de 5, 10, 15, 25 y 50 años.
- Diseñar las curvas intensidad duración frecuencia para cada duración y periodo de retorno de las estaciones meteorológicas de la zona oriental de El Salvador.
- Contribuir al conocimiento de las intensidades máximas anuales de precipitación en la zona oriental de El Salvador.
- Facilitar a los especialistas en el área de hidrología una herramienta actualizada y robusta, que es esencial en los modelos hidrometeorológicos de estimación de caudales.

1.4 ALCANCES.

- Recopilar y digitalizar la mayor parte de información de registros pluviográficos que aporte una base de datos robusta para el desarrollo de la investigación.

- Diseñar las curvas Intensidad Duración Frecuencia (IDF) para intensidades máximas anuales de lluvia de las estaciones meteorológicas de Santiago de María, San Miguel UES, San Francisco Gotera y la Unión/Corsáin.

- Actualizar las curvas Intensidad Duración Frecuencia (IDF), incorporando registros de intensidades máximas anuales del periodo 1984-2012.

1.5 LIMITACIONES

- El periodo de actualización de las curvas Intensidad Duración Frecuencia (IDF) dependerá de los registros pluviográficos que brinde la Dirección General del Observatorio Ambiental.

- Se encontraron registros de bandas pluviográficas defectuosos que impidieron su respectivo análisis y procesamiento.

- En este estudio no se incluye la estación meteorológica de Perquín Z-3, por la falta completa de registros pluviográficos del periodo 1984-1995, y los registros existente del periodo 1996-2012 no presentaron una estadística continua.

CAPITULO II: MARCO REFERENCIAL

2.1 MARCO HISTORICO

2.1.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION.

En 1977, se realizó una publicación Técnica N° 17, del Servicio Meteorológico de la Dirección General de Recursos Naturales Renovables del Ministerio de Agricultura y Ganadería, “Intensidades Máximas de Lluvia en la Zona Norte”, por el Ing. Rafael Eduardo López Hernández. En este estudio se realizaron Curvas Intensidad - Duración - Frecuencia para la zona norte del país, utilizando la distribución de Gumbel para el cálculo de los valores límites de las intensidades máximas anuales, y el método de las Isoyetas para el trazado de las curvas.

En 1990 se realizó un trabajo de graduación para la Universidad Tecnológica de El Salvador, “Análisis de intensidades Máximas Anuales de Lluvia en El Salvador”, por Perla Argueta, Salvador y otros, en este trabajo de graduación se obtienen una serie de registros de curvas Intensidad – Duración - Frecuencia y mapas representativos de las intensidades máximas anuales producidos por la precipitación; además enfoca métodos hidrometeorológicos para el cálculo de intensidades en El Salvador. Para su realización se efectúa un análisis de homogeneidad de las series pluviográficas, como también, un análisis de frecuencias para definir la probabilidad de ocurrencia de las intensidades máximas para diferentes períodos de retorno, de las cuales se generan los mapas de intensidades.

2.1.2 ANTECEDENTES HISTORICOS DE LA METEOROLOGIA EN EL SALVADOR.

De la reseña cronológica que se presenta adelante se puede interpretar que la historia del Servicio Meteorológico de El Salvador virtualmente ha reflejado el desarrollo técnico de los países avanzados y también la magnitud del apoyo dado en el país a la tecnología y la ciencia. Nació durante una época repleta de descubrimientos científicos, de magníficos inventos y de cambios políticos y sociales importantísimos. En su juventud y su madurez ha sido una institución crecientemente ligada con el avance socioeconómico y seguramente mantendrá su espíritu dispuesto a colaborar en el progreso de nuestro país.

2.1.2.1 CRONOLOGIA.

En 1889, durante la Presidencia del visionario General Francisco Menéndez, precisamente el 1º de enero, se efectuaron las primeras observaciones meteorológicas en el Observatorio ubicado en el Instituto Nacional de San Salvador. Al Doctor Darío González le corresponde el honor de dar estos pasos iniciales en la medición de algunos elementos atmosféricos de suprema importancia en la supervivencia y actividades de los seres humanos.

El 25 de octubre de 1890 se decreta oficialmente la fundación del Observatorio Astronómico y Meteorológico como institución separada y conducida por el Señor Carlos Meyer, Peruano. Dos meses después asume la dirección del Observatorio el científico Doctor Alberto Sánchez y se publica el primer “ALMANAQUE SALVADOREÑO”.

En los veinte años subsiguientes se amplía la funcionalidad del Observatorio por medio de la publicación de anuarios, la instalación de estaciones pluviométricas y la preparación de estadísticas climáticas que fueron difundidas incluso en Europa.

En 1911 el Observatorio se anexa a la Dirección General de Estadística, dirigido por el Ing. Pedro S. Fonseca. Durante los siguientes treinta años continúa la expansión de las tareas meteorológicas operacionales e investigativas, tales como la puesta en funcionamiento de una estación sismológica en 1930, la adquisición de un reloj de péndulo especial para corrección continua de la hora civil, la operación de una estación aeronáutica y globos de hidrógeno (a cargo de Pan American Airways) en el Aeropuerto de Ilopango, la publicación de nociones de Meteorología por el Señor Cardona Lazo y el funcionamiento del primer equipo de telecomunicaciones meteorológicas RCA. En 1942 se erige las estaciones climatológicas de Santa Tecla, San Andrés y Santa Cruz Porrillo.

La década 1950 - 1960 es notable porque, entre otros eventos, se instalan estaciones de medición de lluvia, temperatura y viento a escala nacional, se funda el Servicio Meteorológico Nacional por el Presidente Coronel Oscar Osorio el 1° de enero de 1953, adscrito al Ministerio de Defensa, y se capacita a nivel académico algunos becarios salvadoreños en Alemania, Argentina y México se incorporan algunos meteorólogos alemanes dentro de la misión alemana del Año Geofísico Internacional.

En 1955 El Salvador se adhiere a la Organización Meteorológica Mundial al ratificar el Convenio de la misma el 16 de marzo.

En 1967, la Organización Meteorológica Mundial comenzó la ejecución del Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano financiado por el Programa de las Naciones para el Desarrollo, lo que hizo posible la ampliación de las redes hidrométricas y meteorológicas, la investigación, la capacitación de técnicos y la cooperación con la comunidad meteorológica/hidrológica internacional.

En la década 1970- 1980 el Servicio Meteorológico se convierte en el más avanzado de Centro América e ingresa en el aprovechamiento de la tecnología satelital al abrirse en 1971 la primera estación de seguimiento de satélites meteorológicos en Ilopango, además del equipamiento con su primer receptor de radio-facsímil meteorológico en el mismo lugar.

El año de 1980 se destacó por la fusión de los Servicios Meteorológico e Hidrológico (SEMEH) en 1983, servicio unificado dependiente del Centro de Recursos Naturales del Ministerio de Agricultura y Ganadería. Aunque también en esos años existieron limitantes y pérdida de varias estaciones meteorológicas y hasta de vidas humanas por el conflicto armado, lo cual provocó una disminución en la calidad de productos y servicios.

Es relevante la apertura de actividades de cómputo electrónico a fines de 1987 que siendo definitivamente operacionales en el primer trimestre de 1989 como respaldo a la investigación científica atmosférica y la planificación de diversas ramas de la economía nacional.

En junio del año 1995 se cambió el nombre a División de Meteorología e Hidrología (DMH) de la Dirección General de Recursos Naturales Renovables (DGRNR) perteneciente al Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG).

A mediados de los noventa se perfiló un nuevo proyecto regional financiado por Finlandia, el Proyecto FINNIDA, que rehabilitó en parte la red de monitoreo, en especial se instalaron 3 estaciones automáticas, se fortaleció con sistemas de cómputo modernos y apoyo económico de becas en el Centro Regional de Formación en Meteorología de la Organización Mundial de Meteorología (OMM) en Costa Rica.

El desastre dejado por el Huracán Mitch en el año 1998 desnudo las limitantes y necesidades de las instituciones a cargo del monitoreo meteorológico e hidrológico, pues no contaban con los recursos necesarios para llevar a cabo un adecuado monitoreo, vigilancia y alertamiento.

Posterior a MITCH la DMH de la DGRNR recibió apoyo del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), en especial para el área de Hidrología, quien monto el primer Centro de Pronóstico Hidrológico.

Posteriormente a los terremotos de enero y febrero del 2001 la Cooperación Internacional apoyo en la formación del Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), adscrito al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), el cual en el año 2007 se convirtió en una Dirección General, desde entonces se fortaleció con una adecuada conexión en red de todas sus áreas de trabajo, internet dedicado las 24 horas,

sostenibilidad de la red de monitoreo existente, mejora de los software y hardware, entre otros.¹

2.2 MARCO TEORICO.

2.2.1 DEFINICION DE HIDROLOGIA.

Existen muchas definiciones de hidrología, sin embargo la más completa es propuesta por la U.S. Federal Council for Science and Technology (1962).

“Hidrología es la ciencia natural que estudia el agua, su ocurrencia, su circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas, físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos”.

Asimismo es importante mencionar la definición que plantea la Organización Meteorológica Mundial (OMM), por que destaca la importancia de la hidrología en relación con los recursos hidráulicos de la tierra y su aprovechamiento.

“Hidrología es la ciencia que trata de los procesos que rigen el agotamiento y recuperación de los recursos de agua en las áreas continentales de la tierra y en las diversas fases del ciclo hidrológico”.

¹ FUENTES: Publicaciones del Ing. Helmut Lessmann (ex -director del Servicio Meteorológico), Diarios oficiales, Almanagues Salvadoreño del SMN y anotaciones varias.

2.2.2 EL CICLO HIDROLOGICO.

El ciclo hidrológico, se considera como el concepto fundamental de la hidrología. De las muchas representaciones que se pueden hacer de él quizás la más descriptiva es la que se ilustra en la figura 2.1.



Figura 2.1. El ciclo hidrológico.

Fuente: www.ciclohidrologico.com

Como todo ciclo, el hidrológico no tiene ni principio ni fin, y su descripción puede comenzar en cualquier punto. El agua que se encuentra sobre la superficie terrestre o muy cerca de ella se evapora bajo el efecto de radiación solar y el viento. El vapor de agua, que así se forma, se eleva y se transporta sobre la atmósfera en forma de nubes hasta que se condensa y cae hacia la tierra en forma de precipitación. Durante su trayecto hacia la superficie de la tierra, el agua precipitada puede volver a evaporarse o ser interceptada por las plantas o las construcciones, luego fluye por la superficie hasta las corrientes o se infiltra. El agua interceptada y una parte de la infiltrada y de la que corre por la superficie se evapora nuevamente.

De la precipitación que llega a las corrientes, una parte se infiltra y otra llega hasta los océanos y otros grandes cuerpos de agua, como presas y lagos, del agua infiltrada, una parte es absorbida por las plantas y posteriormente es transpirada, casi en su totalidad, hacia la atmosfera y otra parte fluye bajo la superficie de la tierra hacia las corrientes, el mar u otros cuerpos de agua, o bien hacia zonas profundas del suelo (percolación) para ser almacenada como agua subterránea y después aflorar en manantiales, ríos o el mar.

2.2.3 EL CLIMA.

Corresponde al promedio de los eventos meteorológicos que ocurren a diario en una región. Este récord histórico ayuda a caracterizar el comportamiento meteorológico de un área geográfica a largo plazo. La palabra "*clima*" deriva de una voz griega que significa inclinación, aludiendo seguramente a la inclinación del eje terrestre. Como se sabe las estaciones tienen lugar debido al movimiento de traslación de la tierra alrededor del sol, con su eje de rotación inclinado con respecto al plano de traslación.

Son numerosas las definiciones que existen de clima, pero todas ellas aluden al estado medio de la atmósfera. Para la Organización Meteorológica Mundial, clima es el *"Conjunto fluctuante de condiciones atmosféricas caracterizado por los estados y la evolución del tiempo, en el curso de un período suficientemente largo"*.

2.2.3.1 ELEMENTOS DEL CLIMA.

Los elementos que permiten distinguir un clima de otro son: la temperatura, la precipitación, la presión, el viento y la radiación solar. Los dos primeros son los principales.

2.2.3.2 FACTORES DEL CLIMA.

Los factores que condicionan el clima son: la latitud, altitud, y continentalidad. La latitud determina la intensidad de radiación solar, la altitud determina la temperatura. La continentalidad se refiere a la mayor o menor proximidad de un lugar a los mares. Muchas veces juegan un papel importante en el condicionamiento del clima las corrientes marinas.

Otros factores de importancia eventual son la orientación, los vientos dominantes, la naturaleza del terreno y la vegetación.

2.2.4 EL CLIMA EN EL SALVADOR.

El Salvador está situado en la parte exterior del Cinturón Climático de los Trópicos, donde todo el año existen condiciones térmicas más o menos iguales a pesar de que las oscilaciones diurnas de la temperatura son mucho mayores que las anuales. Por otra parte, las precipitaciones atmosféricas demuestran grandes cambios durante el curso del año (con una o dos estaciones secas), de año en año y aún durante la propia estación lluviosa. La Estación seca principalmente ocurre durante el semestre invernal (entre Noviembre y Abril) y las temperaturas máximas se observan al final, o sea poco antes de la estación lluviosa.

Otra característica del Cinturón Tropical son LOS ALISIOS, es decir los vientos predominantes alrededor del rumbo NE, y el buen desarrollo del sistema de brisa de mar y tierra en las zonas costeras. Una característica especial del clima de Centroamérica son los NORTES que transportan masas de aire fresco y originalmente ártico hasta los Trópicos, lo cual no sucede en otras partes tropicales de la tierra.

En El Salvador, hay dos Estaciones y dos Transiciones Climáticas durante el curso del año. Erróneamente el público se ha acostumbrado a decir “invierno” a la estación lluviosa y “verano” a la estación seca, ya que para la meteorología y la astronomía es lo contrario. Por eso se recomienda usar solamente los términos “Estación “y “transición”. Según observaciones verificadas en San Salvador durante 50 años, de 1918 hasta 1967, se calcularon las siguientes fechas promedio para principio y final de estaciones como se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2. 1 Estaciones y Transiciones Climáticas.

<i>Época del Año</i>	<i>Promedios</i>		<i>Duración</i>	
	Principio	Final	Días	Semanas
Estación Seca	14 Nov.	19 Abr.	157	22 ½
Transición Seca-lluviosa	20 Abr.	20 May.	31	4 ½
Estación lluviosa	21 May.	16 Oct.	149	21
Transición lluviosa - Seca	17 Oct.	13 Nov.	28	4

Fuente: Elaboración propia basada en datos proporcionados por MARN.

El Salvador se encuentra según las diferentes clasificaciones en los Clima Cálido Húmedo, según la clasificación de Simacas y Serra, Según Atkinson estaría clasificado

dentro de los Climas Tropicales y Cálidos en la zona climática de Clima Templado húmedo, y Según Köppen en Clima de Sabana Tropical (Aw).

Según el Sistema Nacional de Estudios Territoriales (SNET), El Salvador está clasificado en tres zonas climáticas, de acuerdo a su altura, y tomando como base la clasificación de Köppen, Sapper y Lauer, en base a la altura en metros sobre el nivel medio del mar y al promedio de la temperatura ambiente a lo largo del año.

✓ **Sabana Tropical Caliente o Tierra Caliente.**

De 0 a 800 msnm y Promedio de temperatura disminuyendo con la altura de 27 a 22°C en las planicies costeras y de 28 a 22 ° C en las planicies internas.

✓ **Sabana Tropical Calurosa o Tierra Templada.**

De 800 a 1,200 msnm, con promedio de temperatura disminuyendo con la altura de 22 a 20° C en las planicies altas y de 21 a 19° C en las faldas de montañas.

✓ **Clima Tropical de las Alturas.**

De 1,200 a 2,700 msnm, temperatura de 20 a 16 ° C en planicies altas y valles, de 21 a 19° C en faldas de montañas y de 16 a 10° C en valles y hondonadas sobre 1,800 msnm tierra todavía considerada Templada.

La mayor elevación de El Salvador se encuentra en el Pital, departamento de Chalatenango, con 2,700 msnm (Tierra Fría).

2.2.5 PRECIPITACION.

Elementos líquidos o sólidos procedentes de la condensación o sublimación del vapor de agua que caen de las nubes o son depositados desde el aire en el suelo.

La precipitación es una parte importante del ciclo del agua y es responsable por depositar agua fresca en el planeta. La precipitación es generada por las nubes cuando alcanzan un punto de saturación; en este punto las gotas de agua creciente se forman, y caen a la tierra por gravedad.

2.2.5.1 PROCESO DE FORMACION DE LA PRECIPITACION.

A medida en que el vapor de agua va ascendiendo, se va enfriando y el agua se condensa de un estado de vapor a un estado líquido, formando la niebla, las nubes o los cristales de hielo.

Pero, para que esta formación se lleve a cabo, generalmente se requiere la presencia de núcleos de condensación, alrededor de los cuales las moléculas del agua se pueden unir.

Existen diversas partículas que pueden actuar como núcleos de condensación, con tamaños que varían desde 0.1 (aerosoles) hasta 10 mm de diámetro; entre estas partículas tenemos: algunos productos de la combustión, como óxidos de nitrógeno y sulfuro, partículas de sal producto de la evaporación de la espuma marina y algunas partículas de polvo que flotan en el aire.

Las gotas o cristales de hielo crecen rápidamente debido a la nucleación, pero el crecimiento después es más lento. Mientras que las partículas que constituyen las nubes tienden a asentarse, los elementos promedio pesan tan poco que sólo un leve movimiento hacia arriba del aire es necesario para soportarlo.

Constantemente hay gotas de agua que caen de las nubes, pero su velocidad de caída es tan pequeña, que no llegan a la tierra porque muchas veces vuelven a evaporarse antes de alcanzarla y ascienden de nuevo en forma de vapor. Al aumentar el vapor, o si la velocidad de caída supera los 3 m/s, las gotas de agua incrementan su peso, provocando lluvia (Figura 2.2); cuando este peso se hace mayor, aumenta la velocidad de caída con lo que la lluvia se intensifica y puede transformarse en una tormenta.

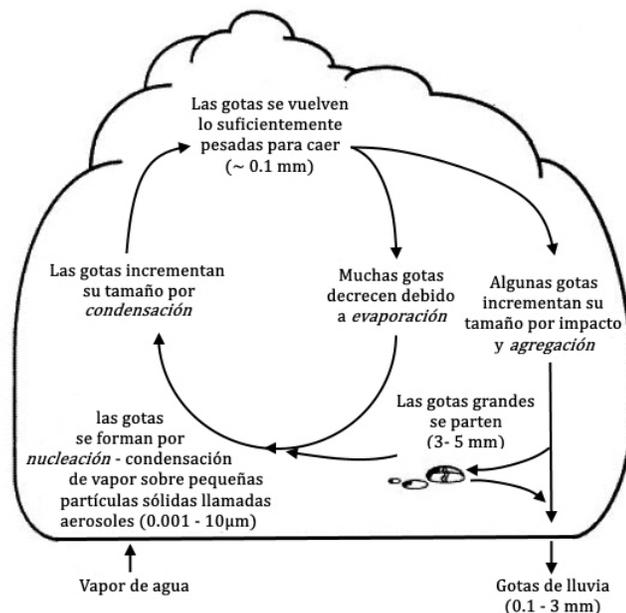


Figura 2.2. Formación de la precipitación en las nubes.

Fuente: CHOW, V.; MAIDMENT, D.; MAYS, L. (1994). Hidrología Aplicada. Santafé de Bogotá: Mc Graw-Hill Interamericana

2.2.5.1.1 LAS NUBES

Las nubes producto de la condensación del vapor de agua pueden ser de diferentes tipos, de acuerdo con su apariencia y altura de base (Figura 2.3). Entre estos tipos de nube se tienen: Cirrus, Cúmulos, Estratos, Nimbos.



Figura 2.3. Tipos de nubes.

Fuente: CAHUANA, A.(2009). *Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología*. Trabajo para optar al diploma de licenciatura en Ingeniería Civil. Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia

a. Nubes tipo Estratos.

Son consideradas como nubes de bajo nivel; por lo general, se encuentran alrededor de las montañas (Figura 2.3 a).

b. Nubes tipo Cúmulos

Las nubes de tipo cúmulos son nubes de desarrollo vertical que se forman por acción convectiva y generalmente son los que producen precipitación (Figura 2.3 b).

c. Nubes tipo Nimbos

Son de nivel medio, generalmente se presentan en forma conjunta con las nubes de tipo estratos, tomando el nombre de nimbostratus. Estas forman una capa lo suficientemente gruesa como para impedir el paso de la luz del sol, y son las responsables de las lluvias intermitentes (Figura 2.3 c).

d. Nubes tipo Cirros

Son nubes de alto nivel, blancas y ligeras, de aspecto fibroso o filamentoso. Aparecen especialmente cuando el aire está seco (Véase Figura 2.3 d).

2.2.5.2 FORMAS DE PRECIPITACION.

De acuerdo a sus características físicas y producto de la condensación del vapor de agua atmosférico, formado en el aire libre o en la superficie de la tierra, y de las condiciones locales, la precipitación puede adquirir diversas formas, siendo las más comunes: llovizna, lluvia, escarcha, nieve y granizo.



Figura 2.3. Formación de la precipitación.

Fuente: CAHUANA, A.(2009). *Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología*. Trabajo para optar al diploma de licenciatura en Ingeniería Civil. Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia.

a) LLOVIZNA.

Más conocida como garúas, consiste en diminutas gotitas de agua líquida cuyo diámetro fluctúa entre 0.1 y 0,5 mm; debido a su pequeño tamaño tienen un asentamiento lento y en ocasiones parecen que flotar en el aire (Véase Figura 2.4 a). Por lo general la llovizna cae de estratos bajos y muy rara vez sobrepasa un valor de 1mm/h.

b) LLUVIA.

Consiste en gotas de agua líquida en su mayoría con un diámetro mayor a los 5 mm. (Véase Figura 2.4 b). En muchos países como en Estados Unidos por ejemplo suelen clasificarla como ligera, moderada o fuerte según su intensidad:

Ligera: Para tasas de caída hasta de 2.5 mm/h.

Moderada: Desde 2.5 hasta 7.6 mm/h.

Fuerte: Por encima de 7.6 mm/h.

c) ESCARCHA.

Es una capa de hielo, por lo general transparente y suave, pero que usualmente tiene bolsas de aire que se forma en superficies expuestas por el congelamiento de agua superenfriada que se ha depositado en forma de lluvia o llovizna. Su gravedad específica puede llegar a ser de 0,8 a 0,9 (Véase Figura 2.4 c).

d) GRANIZO.

Es la precipitación en forma de bolas de hielo, producida en nubes convectivas. El granizo se forma a partir de partículas de hielo que, en sus desplazamientos por la nube van "atrapando" gotas de agua, las gotas se depositan alrededor de la partícula de hielo y se congelan formando capas, como una cebolla. Los granizos pueden ser esferoidales, cónicos o irregulares en forma, y su tamaño varía desde 5 hasta 125 mm de diámetro (Figura 2.4 d).

e) NIEVE.

La nieve está compuesta de cristales de hielo blanco o translucidos, principalmente de forma compleja combinados hexagonalmente y a menudo mezclados con cristales simples; alguna veces aglomerada en copos de nieve, que pueden tener varios centímetros de diámetro. La densidad relativa de la nieve fresca varía sustancialmente, pero en promedio se asume como $0,1\text{gr/cm}^3$. (Véase Figura 2.4 e).

2.2.5.3 CLASIFICACION DE LA PRECIPITACIÓN.

La formación de la precipitación, requiere la elevación de una masa de agua en la atmosfera, de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense. Atendiendo el factor que provoca la elevación del aire en la atmósfera, la precipitación se clasifica en: Frontal, Convectiva u Orográfica.

2.2.5.3.1 PRECIPITACION FRONTAL (CICLONICA).

Se produce cuando hay un encuentro de dos masas de aire, con diferente temperatura y humedad, las nubes más calientes son violentamente impulsadas a las partes más altas, donde pueden producirse la condensación y precipitación. Estas asociadas con ciclones o zonas de baja presión. (Véase Figura 2.5).

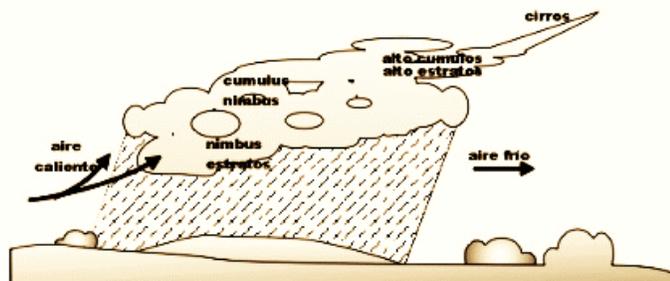


Figura 2.5. Precipitación frontal o ciclónica.

Fuente: Villón, M. (2004). *Hidrología*. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

2.2.5.3.2 PRECIPITACION CONVECTIVA.

En tiempo caluroso, se produce una abundante evaporación a partir de la superficie del agua, formando grandes masas de vapor de agua, que por estar más calientes, se elevan sufriendo un enfriamiento de acuerdo a la adiabática seca o húmeda. En el curso de su ascenso, se enfrían según el gradiente adiabático seco ($1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$), o saturado ($0.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$).

Las masas de vapor se acumulan en los puntos llamados *células de convección*. A partir de este punto, estas masas pueden seguir elevándose hasta llegar a las grandes alturas, donde encuentran condiciones que provocan la condensación y la precipitación. Generalmente viene acompañada de rayos y truenos. Son precipitaciones propias de las regiones tropicales, donde las mañanas son muy calurosas, el viento es calmo y hay una predominancia de movimiento vertical del aire.

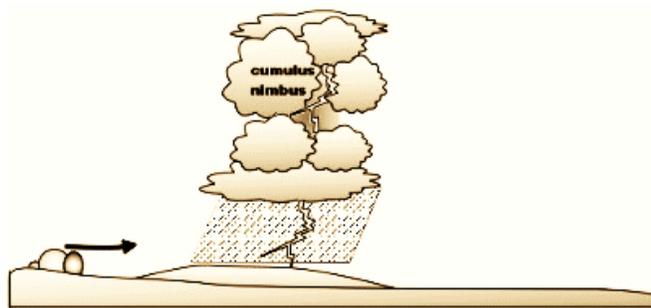


Figura 2.6. Precipitación convectiva.

Fuente: Villón, M. (2004). *Hidrología*. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

2.2.5.3.3 PRECIPITACION OROGRAFICA.

Se producen cuando el vapor de agua que se forma sobre la superficie de agua es empujada por el viento hacia las montañas, aquí las nubes siguen por las laderas de las

montañas, y ascienden a grandes alturas, hasta encontrar condiciones para la condensación y la consiguiente precipitación.

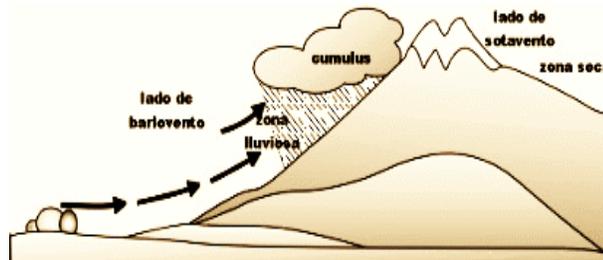


Figura 2.7. Precipitación orográfica.

Fuente: Villón, M. (2004). *Hidrología*. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

2.2.5.4 MEDICION DE LA PRECIPITACION.

La precipitación se mide en términos de la altura de lámina de agua (*hp*), y se expresa comúnmente en milímetros. Esta altura de lámina de agua, indica la altura del agua que se acumularía en una superficie horizontal, si la precipitación permaneciera en el punto caída.

Se han desarrollado una gran variedad de instrumentos y técnicas para obtener información de las diferentes fases de la precipitación. Los instrumentos para medir la cantidad y la intensidad de la precipitación son los más importantes. Estos se clasifican de acuerdo con el registro de las precipitaciones en pluviómetros y pluviógrafos.

2.2.5.4.1 PLUVIOMETRO.

Consiste en un recipiente cilíndrico de lámina, de aproximadamente 200 cm² de área de captación y de 60cm de alto. La tapa del cilindro es un embudo receptor, el cual

se comunica a un vaso medidor instalado dentro del depósito mayor. El área receptora es 10 veces mayor que el área del vaso medidor.

Para efectuar la lectura se vacía el contenido en una probeta graduada y se divide el volumen colectado entre el área receptora del pluviómetro, de esa forma se obtiene la lámina precipitada.



Figura 2.8. Pluviómetro tipo Hellmann.

Fuente: www.casaclima.com/tienda-a/2039A/ficha/Pluvi%C3%B3metro-Hellmann-120-litros.html

2.2.5.4.2 PLUVIOGRAFO.

Este es un aparato que se utiliza para registrar en forma continua la cantidad total y la duración de lluvia caída en milímetros (mm), de los registros puede definirse no solo la altura de la precipitación caída sino también, cuanto ha caído, permitiendo analizar la distribución de la lluvia en el tiempo. Al igual que el pluviómetro posee un brocal en la parte superior por donde ingresa el agua hacia un deposito llamado cámara de sifonaje, en cuyo interior existe un flotador, el cual al recibir una cierta cantidad de precipitación (10 mm) provoca una sifonada hacia un colector que se encuentra en la parte inferior del instrumento. Este ciclo se repite hasta que el periodo de precipitación termina.

El flotador tiene incorporado un pequeño brazo inscriptor con un plumón de tinta, el cual, gráfica las variaciones de la precipitación en un diagrama que esta adherido a un sistema de relojería como se muestra en la figura 2.9.



Figura. 2.9. Pluviógrafo de Sifón.

Fuente: Araya, R. (Agosto 2010), Pluviógrafo de Sifón. [archivo de video] recuperado de: <http://www.youtube.com/watch?v=zCOxA1oerhA>

2.2.5.4.2.1 TIPOS DE PLUVIÓGRAFOS.

✓ **Pluviógrafo de Balanza.**

Consiste en un instrumento que permite recoger y registrar una cantidad representativa de lluvia, para eso el agua se colecta en un recipiente similar al pluviómetro cuyo peso acciona un mecanismo acoplado al dispositivo registrador.

✓ **Pluviógrafo de Flotador.**

En este tipo la lluvia es captada por una boca de sección normalizada igual a la del pluviómetro, cae dentro de un recipiente que contiene un flotador. A medida que el nivel

del agua en el depósito sube lo hace también el flotador, el que se halla vinculado al sistema registrador.

La capacidad del recipiente es igual al volumen de agua correspondiente a 10 mm de lluvia, de modo que al llenarse se accione un sifón que desahogue el recipiente a un depósito y el flotante retorna a su posición inicial, para luego volver a subir si la lluvia continúa.

✓ **Pluviógrafo de Cubeta Basculante.**

Este tipo de Pluviógrafo cuenta bajo la boca del embudo, con un compartimiento en el que hay dos cubetas una de las cuales recibe el agua precipitada y al llenarse se produce un desequilibrio que hace que la cubeta voltee la cantidad de agua que contiene, moviendo la segunda cubeta al lugar de recolección del agua. En ese momento se acciona un circuito eléctrico que marca o produce el registro correspondiente.

2.2.5.4.2.2 IMPORTANCIA DEL PLUVIÓGRAFO.

Para predecir caudales críticos y para ingeniería de diseño de obras hidráulicas, es necesario asociar una probabilidad a lluvias máximas de diferentes duraciones. Deducir la probabilidad de ocurrencia de un evento requiere contar con registros continuos de precipitación, a partir del procesamiento de la información pluviográfica.

Muchas obras de ingeniería civil son profundamente influenciadas por factores climáticos, entre los que se destaca por su regularidad las precipitaciones pluviales. En efecto, un correcto dimensionamiento del drenaje garantizará la vida útil de una carretera, o un aeropuerto.

El conocimiento de las precipitaciones pluviales extremas y el consecuente dimensionamiento adecuado de los órganos extravasores de las represas garantizaran su seguridad y la seguridad de las poblaciones y demás estructuras que se sitúan aguas abajo de la misma. El conocimiento de las lluvias intensas, de corta duración, es muy importante para dimensionar el drenaje urbano, y así evitar inundaciones en los centros poblados.

2.2.5.4.2.3 PLUVIOGRAMA Y LA CURVA DE MASA.

Tomando en cuenta que los pluviógrafos registran en forma continua la variación de la altura o lámina de lluvia con respecto al tiempo, sus registros son los que permiten realizar el análisis más completo de las tormentas en la zona donde esté ubicado el pluviógrafo. El análisis de las precipitaciones en los pluviógrafos se basa en el estudio del pluviograma, gráfica a partir de la cual se pueden obtener la curva de masa y otros tipos de curvas que permiten caracterizar las precipitaciones en un momento dado.

2.2.5.4.2.3.1 PLUVIOGRAMA.

El pluviograma constituye la gráfica sobre la cual la plumilla del pluviógrafo registra la lluvia acumulada. La lectura del mismo indica la cantidad de precipitación acumulada cada determinado período de tiempo. Los pluviogramas se dibujan sobre una banda pluviográfica cuyos ejes marcan el tiempo y la cantidad de lluvia. El eje de tiempo puede ser de un día, una semana o un mes, de acuerdo con el mecanismo de relojería del pluviógrafo y las necesidades de precisión; mientras que el eje de la cantidad de lluvia tiene un máximo de 10 mm con una resolución de 0,1 mm. Sobre esta banda es que la

plumilla va registrando en todo momento, de forma que la ausencia de precipitación queda reflejada como una recta horizontal y la presencia de lluvia se refleja como una recta inclinada. A medida que aumenta la intensidad de la lluvia esta recta se hace más inclinada tendiendo a convertirse en una recta vertical, pero sin llegar a serlo.

El pluviograma presenta como limitación la amplitud de registro de 10 mm de lluvia acumulada, que corresponde al punto de vaciado del volumen acumulado de lluvia en el recipiente. Este vaciado queda representado en la banda como una recta vertical, como se ilustra en la figura 2.10.

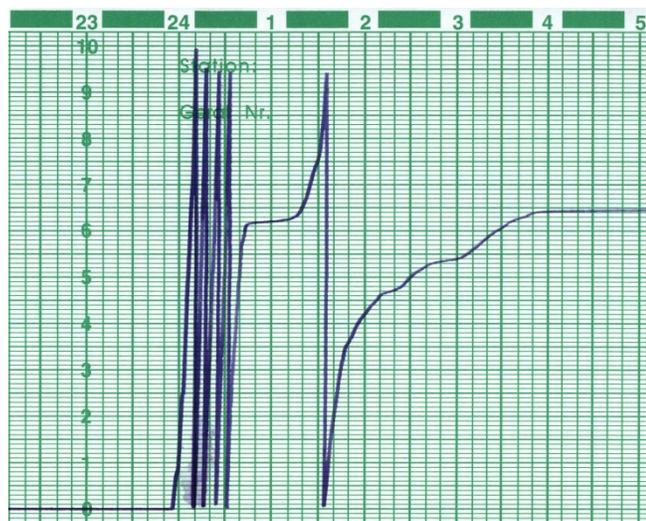


Figura 2.10 Pluviograma.

Fuente: Digitalización propia basada en registros físicos de DGOA, Estación UES M-24

Para interpretar la información que brindan los pluviogramas hay dos vías: transformarlo en una curva de masa o escanearlo para lograr una lectura más precisa, a partir de la imagen escaneada de un pluviograma, se puede obtener una planilla que

contenga la cantidad de precipitación acumulada cada cierto período de tiempo, asimismo pueden obtenerse una serie de curvas importantes para los hidrólogos como son: las curvas de intensidad y duración (ID) y las curvas intensidad duración y frecuencia (IDF).

En las curvas ID a medida que se reduce el intervalo de tiempo, la intensidad máxima expresada en unidad constante, (mm/min), va creciendo. Por su parte, las curvas IDF son una gráfica en la cual se concentran las características de las tormentas de la zona donde se encuentra ubicado el pluviógrafo, con respecto a sus variables: magnitud, duración y frecuencia.

Es muy frecuente que el pluviógrafo presente algún tipo de falla, produciendo registros defectuosos. En ocasiones es posible recuperar estos registros y otras veces no, esto dependiendo del tipo de falla. De manera que para comprobar que el pluviógrafo funciona correctamente y para recuperar registros defectuosos es necesario auxiliarse de los registros pluviométricos. En la figura 2.11 pueden observarse algunas fallas comunes de pluviógrafos.

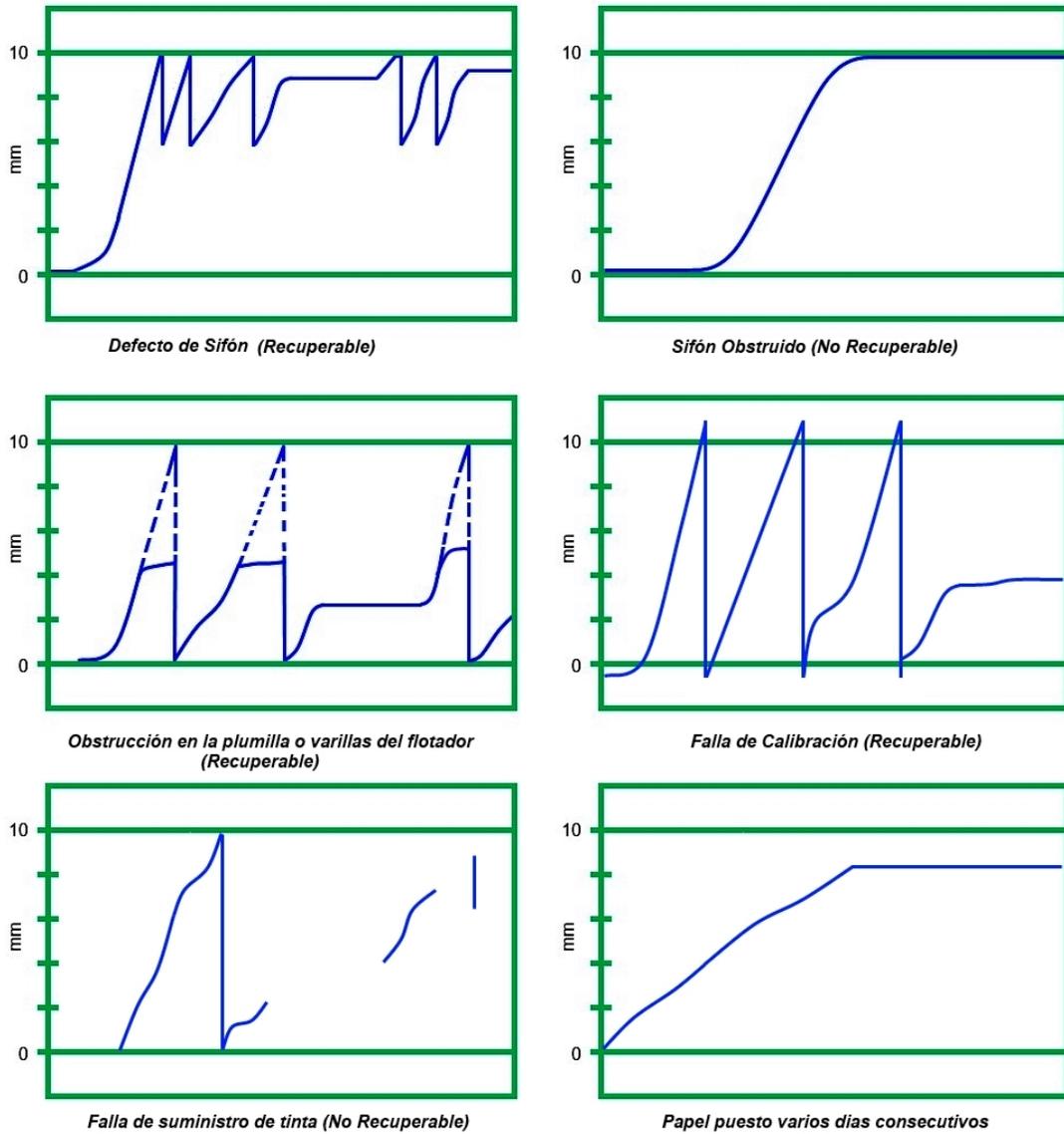


Figura 2.11. Fallas comunes de pluviógrafos.

Fuente: Aparicio, F. (1992). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. México: Limusa.

2.2.5.4.2.3.2 CURVA DE MASA.

La curva de masa es una transformación del pluviograma, se realiza caracterizando a las tormentas de forma individual, es decir, tomando las muestras desde que comienza la lluvia hasta que termina. Las rectas inclinadas que indican la presencia de lluvia se mantienen con la misma pendiente con que fueron registradas; mientras que las rectas verticales que indican el vaciado del dispositivo se eliminan, de forma tal que la recta que aparece tras el vaciado se une con la que se encuentra antes de la descarga.

La curva de masa es la curva de precipitación acumulada en un determinado período, representada en un sistema de ejes en que se grafican los valores del tiempo, usualmente en horas, en el eje de las abscisas, y de precipitación acumulada (mm) en el eje de las ordenadas, como se ilustra en la figura 2.12.

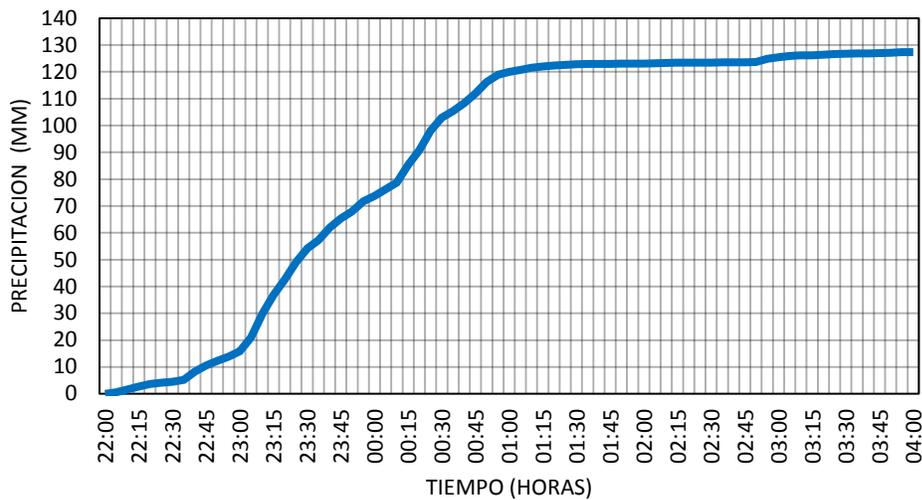


Figura 2.12. Curva de masa de una tormenta
Fuente: Elaboración propia.

Esta curva es empleada generalmente para representar las características de las tormentas consideradas en forma individual, obteniéndose los valores pertinentes basados en los registros de los pluviógrafos en los pluviogramas.

La observación de la curva de masa indica claramente la intensidad y la variación en el tiempo de la lluvia durante el transcurso de la tormenta, de aquí su importancia en el estudio de las precipitaciones. Para determinar el valor de la intensidad de la lluvia en el tiempo se obtiene la inclinación de la recta mediante el cálculo de la pendiente. Los cambios de pendiente, por tanto, equivalen a cambios en la intensidad de la lluvia. De aquí que los tramos en que la curva de masa se hace horizontal indican períodos sin lluvia.

2.2.5.5 LA PRECIPITACION EN EL SALVADOR.

La precipitación en El Salvador se describe como uno de los factores que intervienen en el clima; en nuestro país no existe el invierno en un año normal solo existen dos estaciones las cuales son la seca y la lluviosa, la estación lluviosa comprende los meses de mayo a noviembre, se podría decir que queda dentro de la categoría de regiones de lluvias periódicas puesto que a principios del mes de mayo la temperatura tiende a aumentar por la posición de la tierra, por lo tanto el agua comienza a condensarse hacia las nubes y ocurre el fenómeno de la precipitación; en El Salvador se puede decir que la lluvia es una de las fuentes para obtener ingresos económicos ya que en el campo las personas esperan las lluvias en este periodo de meses para obtener sus cultivos, para las empresas como las presas eléctricas necesitan tener a nivel el embalse de agua de no ser así experimentan pérdidas en sus empresas y también la gente en particular espera las

lluvias para compensar la oleada de calor que se experimenta en esa época del año; todos los que habitamos en este país necesitamos la lluvia para poder subsistir de lo contrario nuestro sistema ecológico se ira debilitando.

2.2.5.5.1 COMPORTAMIENTO DE LA LLUVIA.

El comportamiento de la lluvia como se puede observar entre enero y abril, cuando la lluvia alcanza aproximadamente los 40 mm de mayo a noviembre la precipitación se vuelve más intensa siendo el mes de septiembre el más copioso debido a la posición relativa de El Salvador con la tierra; a medida ha transcurrido el tiempo la lluvia ha experimentado una disminución en nuestro país, debido a las constantes talas de bosques y emisiones de gases de los automóviles; este último factor influye mucho en la precipitación ya que los gases invernaderos emitidos por los automóviles hacen que los rayos del sol entren en la superficie de la tierra y luego no les permita a los rayos solares salir de esta; por lo tanto la tierra tiende a recalentarse produciendo fenómenos como el huracán Mitch ocurrido en 1998. La precipitación fue excesiva probablemente porque la condensación fue tanta que descargo toda el agua sostenida entre las nubes, este tipo de factores que influyen en el clima y pueden llegar a generar una escasez de lluvias en el país. También se pueden generar precipitaciones intensas que pueden afectar en la perdida de cultivos, y pérdidas de vidas humanas por inundaciones como las provocadas por el fenómeno antes mencionado.

2.2.6 DEFINICIÓN DE LAS CURVAS INTENSIDAD DURACIÓN FRECUENCIA.

Con respecto a las curvas **Intensidad – Duración – Frecuencia** (IDF), es importante señalar que éstas son curvas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno (Témez 1978).

Por otro lado, según Mintegui y López (1990), se denominan Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) aquellas que representan duraciones en abscisas y alturas de precipitación en las ordenadas, en la cual, cada curva representada corresponde a una frecuencia (o período de retorno), de tal forma que las gráficas de las curvas IDF representan la intensidad media en intervalos de diferente duración, correspondiendo todos los de una misma curva, a un idéntico período de retorno.

Bendient y Huber (2002), señalan que las curvas IDF son: representaciones graficas que representan la probabilidad de que una cierta intensidad media de precipitación pueda ocurrir dada una determinada duración.

Asimismo, para De Fraja (1993), las curvas IDF corresponden a una metodología que permite estimar el valor de las precipitaciones con distintos intervalos y periodos de retorno, a partir de la información de precipitación. Para Benítez (2002), las curvas IDF son la representación gráfica de la relación existente entre la intensidad, la duración y la frecuencia o período de retorno de la precipitación.

2.2.7 ELEMENTOS ASOCIADOS A LAS CURVAS IDF.

En base a la definición de las curvas IDF planteadas, surgen algunos términos que deben considerarse como: la intensidad de precipitación, la duración, la frecuencia o periodo de retorno y la probabilidad de excedencia de un evento determinado.

2.2.7.1 INTENSIDAD.

Según Chow et al. (1994), la intensidad se define como la tasa temporal de precipitación, es decir, la profundidad por unidad de tiempo (mm/h ó pul/h), y se expresa como:

$$i = \frac{P}{D} \quad \text{Ec. 2.1.}$$

Donde P es la profundidad de la lluvia (mm/h ó pul/h) y D la duración en horas.

Asimismo el mismo autor señala, que la intensidad máxima se determina calculado las intensidades corrientes, pertenecientes a una serie de datos para un intervalo de tiempo determinado, para luego seleccionar el valor máximo de ese conjunto de datos.

2.2.7.2 DURACIÓN

Es el tiempo comprendido entre el comienzo y el final de la tormenta considerado como evento. Aquí conviene definir el *periodo de duración*, que es un determinado periodo de tiempo, tomado en minutos u horas, dentro del total que dura la tormenta. De aquí la importancia en la determinación de intensidades máximas.

2.2.7.3 PERIODO DE RETORNO O FRECUENCIA.

Frecuencia, es la repetición de eventos de características similares en intensidad y duración. Esta definición va en directa relación con el período de retorno, el que se define como el número de años promedio que transcurre para que un evento sea igualado o excedido (Linsley *et al.* 1988).

Según Chow *et al.* (1994), los conceptos de frecuencia y período de retorno se encuentran estrechamente relacionados, ya que la frecuencia se expresa en función del período de retorno, que es el intervalo de tiempo promedio entre eventos de precipitación, que igualan o exceden la magnitud del diseño.

En el diseño de las curvas IDF se debe considerar la frecuencia, la cual se expresa en función del período de retorno T, que se denomina al tiempo que transcurre entre dos sucesos iguales. (Pizarro, R.; Novoa, P. 1986).

Por otra parte, para Aparicio (1992), el número de años en que se presenta un evento puntual, se llama período de retorno, intervalo de ocurrencia o frecuencia, y suele ser denotado mediante la ecuación:

$$T = \frac{1}{P} \quad \text{Ec. 2.2.}$$

Donde:

P = probabilidad que ocurra un evento cualquiera.

2.2.7.4 PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA Y NO EXCEDENCIA.

Pizarro et al (1986), afirma: que la probabilidad de excedencia, es la probabilidad asociada al período de retorno. En otras palabras de que un evento sea igualado o superado en uno o más años.

Por otro lado, según Viessman y Lewis (2003), la probabilidad de excedencia se define como la probabilidad de que un cierto valor a asumir por la variable aleatoria sea superado. Se define por:

$$P = \frac{1}{T} \quad \text{Ec. 2.3.}$$

Donde:

T = período de retorno.

La probabilidad de excedencia sirve para estimar riesgos en obras civiles en general, y poder tener una aplicación a largo plazo en el sector productivo. Además, dentro de las aplicaciones de la estadística, usadas comúnmente en la hidrología, está la determinación de la probabilidad o del período de recurrencia de determinado suceso.

Por consiguiente la probabilidad de que un evento no ocurra en un año cualquiera se denomina probabilidad de no excedencia y se define como lo expresa la ecuación:

$$\bar{P} = 1 - \frac{1}{T} \quad \text{Ec. 2.4}$$

2.2.8 MODELADO DE LA FRECUENCIA DE EVENTOS EXTREMOS.

Según Álvarez M. (2000). El modelado de la frecuencia de los eventos extremos de las series hidrológicas y en particular, el de las avenidas y las precipitaciones máximas, está relacionado en etapas básicas como:

- ✓ Selección del tipo de modelo (series de máximos, parciales, etc.).
- ✓ Selección de la función de distribución a emplear con el modelo previamente seleccionado.
- ✓ Selección del método de estimación de parámetros.

2.2.9 MODELO DE LA FRECUENCIA DE VALORES EXTEMOS.

En el análisis probabilístico, una serie puede ser definida como una secuencia de datos, como son las observaciones horarias, diarias, estacionales o anuales de una variable hidrológica. Si la serie de estas observaciones contiene todos los eventos que ocurrieron dentro de un período dado, a la serie se le llama serie de duración completa (Chow, 1994).

Para obtener una estimación eficiente de las relaciones $Q-T$, IDF se emplea la modelación estadística de las series de datos, donde se pueden distinguir tres modelos:

- ✓ Serie de máximos anuales, es aquella serie que está conformada por cada uno de los valores máximos de precipitación observados en cada uno de los años de registro.
- ✓ Serie de duraciones parciales, en la cual la serie de datos está conformada por aquellos datos que sobrepasan un valor base predefinido.

- ✓ Serie de excedencias anuales, en la cual el valor base, de la serie anterior, es seleccionado de tal forma que el número de datos que conforman la serie sea igual al número de años de registros.

De estos tres modelos, el primero es el más utilizado. El análisis local de frecuencia de las avenidas y precipitaciones se basa en las series de máximos anuales, donde suponiendo la serie independiente y estacionaria, se siguen dos etapas. En la primera, se selecciona una función de distribución de probabilidades para ajustar a los datos disponibles, mientras que en la segunda, se selecciona el método para la determinación de los parámetros de la función de distribución y así poder estimar la magnitud de los eventos extremos para diferentes probabilidades de sobrepaso o sus correspondientes períodos de retorno.

No existe un consenso de los investigadores sobre cuál sería el modelo de serie más adecuado a utilizar en los análisis, sin embargo para Chow (1994). Señala que utilización de cada uno de los tipos de series es determinada por cada proyecto específico en el cual se vayan a utilizar los resultados del análisis de los eventos extremos.

De las ventajas que posee el modelo de máximos anuales destaca el hecho de que no se necesita de una definición previa del umbral a considerar, la posibilidad de emplear conjuntos de datos reducidos en lugar del total de la información original y la circunstancia de que sea posible tratar con mayor flexibilidad los períodos de datos faltantes.

La serie de máximos anuales será el modelo que se empleara en la presente investigación en el procesamiento estadístico de las precipitaciones.

2.2.10 ESTADÍSTICA APLICADA A LA HIDROLOGÍA.

Debido a la cantidad de datos y la extensa información que en hidrología se requiere procesar, organizar y analizar de manera apropiada, es necesario auxiliarse de conceptos de probabilidad y estadística, ya que la información hidrometeorológica es de carácter aleatorio es decir regida por leyes del azar o de la probabilidad.

En este sentido es posible describir la variación de un grupo de datos u observaciones mediante la utilización de modelos matemáticos, en este caso las precipitaciones más intensas.

2.2.11 DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD.

Para Escalante y Reyes (2002). En estadística una distribución de probabilidad indica toda la gama de valores que pueden presentarse como resultado de un experimento, y describe que tan probable es un evento futuro. No es más que una función continua que representa la frecuencia de éxito por medio de una variable que toma los valores posibles de los eventos.

Por esto, mediante el ajuste de la distribución de un conjunto de datos hidrológicos, una gran cantidad de información probabilística contenida en la muestra puede resumirse en forma compacta en la función y en sus parámetros asociados.

Existe una cantidad de funciones de distribución de probabilidad empleadas en diversos estudios hidrológicos relacionados con los recursos hídricos, por ejemplo en estudios de avenidas, caudales, precipitaciones máximas e intensidades, entre otros. En la tabla 2.2 puede observarse la cantidad de distribuciones usadas en hidrología, en lo referente a la estudios de avenidas y precipitaciones máximas e intensidades la OMM en 1981 llego a la conclusión que las mas recomendadas son la EV1 y LN.

Tabla 2.2. Resumen de funciones de distribución usadas en hidrología.

Nombre de la distribución	Abreviatura	Referencias
Log-Normal	LN	(Hazen, 1914)
Pearson tipo 3	P3	(Foster, 1924)
Valores extremos tipo I	EV1	(Gumbel, 1941)
Valores extremos tipo II	EV2	(Gumbel, 1941)
Valores extremos tipo III	EV3	(Jenkinson, 1969)
Gamma de tres parámetros		(Kritsky y Menkel, 1950)
Gamma	G	(Moran, 1957)
Log-Pearson tipo 3	LP3	(U.S.W.R.C., 1967, 1981)
Valores extremos generalizados	GEV	(Jenkinson, 1955)
Wakeby	WAK	(Houghton, 1978)
Boughton		(Boughton, 1980)
Valores extremos con dos componentes	TCEV	(Rossi, et.al.,1984)
Logística logarítmica	LLG	(Ahmad, et.al.,1988)
Logística generalizada	GLO	(Ahmad, 1988)

Fuente: Álvarez, M. (2000). *Análisis Regional de la Frecuencia aplicado a las precipitaciones máximas y avenidas*. (Tesis Doctoral). Universidad de Santiago de Compostela. Galicia. España.

Las expresiones matemáticas de algunas de las funciones de distribución de probabilidad, así como sus parámetros μ , α y k (posición, escala y forma), puede verse en el *anexo II*.

2.2.12 METODOS DE ESTIMACION DE LOS PARAMETROS DE FUNCIONES DE DISTRIBUCION.

Las series de máximos anuales son consideradas como muestras aleatorias que provienen de una población que puede ser descrita por una función de distribución de probabilidades, que depende de unos parámetros determinados.

Tradicionalmente las funciones empleadas, incluyen dos, tres parámetros y en algunos casos más de cuatro. Estos parámetros son la media de la distribución, la desviación estándar y el coeficiente de asimetría.

Entre los métodos actualmente empleados para estimar parámetros podemos mencionaren en orden ascendente de eficiencia, la cual considera que un estimador sea no sesgado y regular, entre otros, están:

- ✓ Método Gráfico Analítico.
- ✓ Método de Mínimos Cuadrados. (Alexeev, 1922).
- ✓ Método de los Momentos Ordinarios. (Pearson, 1902).
- ✓ Método de los Momentos Ponderados por la Probabilidad o el Metodo L-Moments. (Greenwood *et al*, 1979).
- ✓ Método de Máxima Verosimilitud. (Fisher, 1922).

El método empleado en esta investigación es el de los momentos ordinarios, el principio básico de este método es la relación que existe entre los parámetros de la función

de distribución y los momentos muestrales, los cuales se suponen iguales a los momentos de la población.

2.2.13 APLICACIONES DE LAS CURVAS IDF.

Para dimensionar el tamaño de una obra hidráulica, se requiere conocer el caudal máximo de diseño, o en términos hidrológicos la crecida de diseño. Sin embargo, el proyectista no sólo debe calcular la magnitud del o de los valores de diseño, sino que además debe proporcionar una indicación de su probabilidad de excedencia, con el fin de fijar la seguridad de funcionamiento de la obra, lo cual significa una respuesta no solo de lo que puede ocurrir, sino también un pronunciamiento sobre su probabilidad de excedencia. (Varas, E. y Bois, P. 1998).

En este aspecto, Linsley *et al* (1988) señala que la hidrología debe recurrir al estudio de la probabilidad o frecuencia, con la cual un determinado caudal o volumen puede ser igualado o excedido, ya que en la construcción de una determinada obra, dicho aspecto influirá directamente en los costos y en la duración de la misma, de manera que los diferentes problemas hidrológicos que se presentan en una tormenta, obtengan un adecuado análisis temporal.

Según Chow *et al* (1994), uno de los primeros pasos que se debe seguir en muchos proyectos de diseño hidrológico (diseños de drenaje urbano, construcción de grandes represas para el aprovechamiento del recurso hídrico o el diseño de obras de ingeniería, entre otros), es determinar los eventos de lluvias que serán utilizados. Una forma de

hacerlo es a través de las curvas IDF, las cuales son diseñadas para cada lugar en particular.

Para Viessman *et al* (2003) estas relaciones, conocidas como curvas IDF, son usadas en el diseño de obras que captan aguas provenientes de las tormentas y en la construcción de reservas de agua. Tales diseños están basados en la estimación de los peores casos de lluvias intensas en intervalos de tiempo dados. De esta forma es posible analizar varias tormentas de distintas duraciones, para encontrar los eventos más críticos de manera que se pueda seleccionar las frecuencias en los diseños.

Por su parte, Román (2003) señala que las curvas IDF son de gran ayuda en la construcción de obras de control de erosión y recuperación de suelos degradados. Su utilización se incluye en obras como zanjas de infiltración, canales de desviación, diques y otro tipo de obras destinadas al control de procesos erosivos en laderas y el control de cárcavas.

2.2.14 METODOS DE CONSTRUCCION DE LAS CURVAS IDF.

Las curvas IDF pueden ser determinadas por varios métodos. Chow *et al* (1994), proponen dos métodos para la elaboración de las curvas IDF: el primero de ellos está basado en un análisis de frecuencia de precipitaciones, para lo cual es necesario el empleo de una función de distribución de valor extremo como la de Gumbel, el segundo método consiste en expresar las curvas como ecuaciones matemáticas, con el propósito de evitar la lectura de la intensidad de lluvia de diseño en una gráfica.

Wenzel (1982), citado por Chow *et al* (1994), quien desarrollo para algunas ciudad de los Estados Unidos de América, coeficientes para ser utilizados en una ecuación de la forma:

$$I = \frac{c}{(Td^{e+f})} \text{ Ec. 2.5}$$

donde I es la intensidad de lluvia de diseño, y Td la duración, en tanto c , e y f son coeficientes que varían con el lugar y el período de retorno.

Por otro lado, Varas y Sánchez, citado por EULA (1993), han propuesto otra metodología para el diseño de las curvas IDF. Dicho procedimiento plantea la siguiente expresión (Ec. 2.6), para estimar las intensidades máximas, para distintos períodos de retorno y duraciones:

$$P_{t,T} = K * P_{10,D} * C_{d,t} * C_{f,T} \text{ Ec. 2.6.}$$

donde:

$P_{t,T}$ = Lluvia con periodo de retorno de T años y duración t horas en (mm).

K = Coeficiente para obtener la lluvia máxima absoluta en 24 horas en función del valor máximo diario ($k=1,1$).

$P_{10,D}$ = Lluvia máxima diaria con 10 años de periodo de retorno.

$C_{d,t}$ = Coeficiente de duración para t horas.

$C_{f,T}$ = Coeficiente de frecuencia para T años de periodo de retorno.

Entonces la intensidad máxima de precipitación queda dada por:

$$I_{t,T}(mm/h) = \frac{P_{t,T}}{d} \text{ Ec. 2.7}$$

donde:

d = Duración en horas.

Siguiendo esta metodología, se pueden diseñar las curvas IDF en aquellas ciudades o zonas en que sólo exista información pluviométrica, para lo cual se deberán seleccionar los coeficientes de duración y frecuencia de la estación pluviográfica más cercana

Bernard y Yarnell (1932), proponen un método que relaciona de manera conjunta las variables de intensidad, duración y periodo de retorno en una familia de curvas cuya ecuación es la siguiente:

$$I = \frac{K * T^m}{(d + b)^n} \text{ Ec. 2.8}$$

donde:

I: intensidad de precipitación en mm.

d: duración de precipitación en minutos.

T: periodo de retorno en años.

k, m, n y b: constantes que se deben calcular mediante análisis de regresión.

Monsalve (1999), indica que en el análisis de las relaciones intensidad, duración y frecuencia de las lluvias observadas, se debe determinar para distintos intervalos de duración de la lluvia, el tipo de ecuación y el número de parámetros que mejor caracterizan aquellas relaciones, señalando que en hidrología, usualmente se emplean ecuaciones del tipo:

$$I = \frac{c}{(t + t_0)^n} \quad \text{Ec. 2.9}$$

donde:

I: es la intensidad de precipitación máxima en mm/h.

T: es la duración de la lluvia en minutos.

c, t_0 y n: son parámetros por determinar.

Además, agrega que c se relaciona con el periodo de retorno T en años por medio de la siguiente ecuación:

$$C = K * T^m \quad \text{Ec. 2.10}$$

donde:

K y m: son constantes.

Por lo tanto, si se reemplaza esta relación en la ecuación anterior, se llegará al modelo propuesto por Bernard y Yarnell (1932).

Otra forma de construcción de las curvas IDF, es el que se presenta en este documento, y fue planteado por Témez (1978). Es un método de carácter gráfico que

consiste en extraer la información de registros contenidos en bandas pluviográficas, asimismo seleccionar para cada año los valores extremos de precipitación para cada duración, posteriormente obtener la intensidad dividiendo cada uno de los valores extremos de precipitación por su respectiva duración para luego ajustar estos valores a una ley de distribución de probabilidad extrema, como puede ser la Ley de distribución de Gumbel. Finalmente se grafican las intensidades de precipitación y sus duraciones para los distintos periodos de retorno que representa a una familia de curvas IDF, correspondiente a una estación pluviográfica. Figura 2.12.

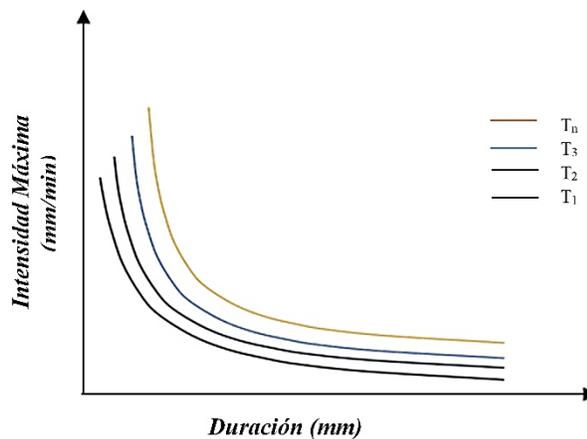


Figura 2.12. Esquema teórico de curvas IDF
Fuente: Elaboración propia

Donde:

I : Intensidad en mm/min.

D : Duración en minutos.

T : Distintos periodos de retorno en años.

En la figura 2.12, es posible apreciar que la intensidad (I) aumenta al disminuir la duración (D), de tal manera que la gráfica posee una forma exponencial negativa. Témez

(1978) lo explica de la siguiente manera: la probabilidad de encontrar intensidades mayores aumenta a medida que las duraciones disminuyen; caso contrario ocurre con las intensidades menores que estas se encuentran vinculadas a mayores duraciones.

Con respecto al empleo de la ley de Gumbel para el análisis de frecuencia Mintegui *et al* (1993), señala que la distribución de Gumbel ha sido empleada con buenos resultados en el estudio de eventos meteorológicos de valores máximos, obteniéndose ajustes muy precisos para valores máximos diarios y anuales. A su vez, Stol (1971), citado por Dickinson (1977), señala que la función de Gumbel resulta ser la más adecuada para representar lluvias anuales extremas.

La aplicación de la función de Gumbel en estudios que contemplen eventos de valores extremos, no sólo es avalada por los autores anteriormente mencionados. La literatura especializada en el tema cita siempre a la función de distribución de Gumbel debido a la calidad de ajuste que presenta en eventos máximos (Témez, 1978; Pizarro *et al*, 1986; Linsley *et al*, 1988; Ponce, 1989; Chow *et al*, 1994; Monsalve, 1999).

2.2.15 LAS CURVAS IDF EN EL MUNDO.

En general, son diversos los autores que desde hace ya varios años se han dedicado al estudio de las precipitaciones extremas a nivel mundial, entre ellos, Bell (1969) citado por Pizarro *et al* (2007), quién estudio las razones entre lluvias de distintas duraciones e igual período de retorno, como también, para lluvias de diferentes períodos de retorno e igual duración. Para ello utilizó datos de estaciones presentes en diversos países del mundo como Estados Unidos, Australia, Alaska, Rusia, Hawái, Puerto Rico y África.

Dicho autor concluyó a partir de su estudio que las razones entre lluvias de distintas duraciones e igual período de retorno y la razón entre lluvias de diferentes períodos de retorno e igual duración, son muy constantes en todos los puntos estudiados debido a que las grandes intensidades se producen en tormentas convectivas, las cuales tienen gran independencia geográfica y regional (Varas y Sánchez, 1988).

En estos días las curvas IDF denotan una gran importancia a nivel mundial, más aún para países que presentan condiciones climáticas extremas, ya que permiten entre otras cosas, la prevención de aluviones e inundaciones mediante un adecuado diseño de obras de ingeniería como puentes y alcantarillas; en cuanto a esto, Kothyari y Garde (1992) sostienen que en India las curvas IDF son utilizadas en la planificación y diseño de proyectos relacionados con los recursos hídricos. Las curvas IDF permiten además un diseño adecuado para la construcción de obras de recuperación de suelos y/o control de la erosión como zanjas de infiltración, canales de evacuación de aguas lluvias y diques entre otras.

Actualmente son variados los países que cuentan con una amplia red de curvas IDF. Dentro de los estudios más recientes destaca el realizado por Puentes (2000), quien generó una serie de curvas IDF en el contexto de un estudio de caracterización hidrológica de cuencas tropicales, específicamente en la cuenca del río San Diego en el poblado de San Andrés, Cuba. Para esto se basó en los datos pluviográficos de la estación “República de Chile”, considerando una serie de tiempo de 10 años y seleccionando las series de

máximos anuales para las duraciones de 5, 10, 20, 30, 40, 60, 90, 150, 300, 720 y 1440 minutos.

Por otra parte en el área de Milán, Italia, De Michele et al (2002) estudiaron las curvas Intensidad Duración Frecuencia en precipitaciones extremas y determinaron las curvas para la evaluación de tormentas. La variabilidad de la intensidad de precipitación máxima anual y la duración fue representada a través del tiempo, obteniendo así mediante los conceptos de escalamiento dinámico y autoafinidad estadística las relaciones de aumento de la intensidad de precipitación. Watkins et al. (2005), actualizaron las curvas Intensidad Duración Frecuencia para el Estado de Michigan, obteniendo además puntos de riesgo de inundaciones. Con ello se obtuvo un mapa isopluvial, donde se ven representadas las curvas IDF. Por su parte, en México Gutiérrez-López y Ramírez (2005), también actualizaron y ampliaron variables para la construcción de índices de inundaciones, generados en el año 1960 por Dalrymple.

Minh Nhat et al (2006), en su estudio titulado “Establecimiento de Curvas Intensidad Duración Frecuencia para las precipitaciones en el área de Monzón, Vietnam”, Construyeron las curvas IDF para siete estaciones en el Monzón del área y propusieron además una fórmula generalizada que usa la intensidad de precipitación y el período de retorno, la cual puede ser utilizada para la construcción de las curvas IDF en otras estaciones aledañas a la zona.

Otro estudio es el realizado por Langousi y Veneziano (2006), quienes generaron algunas representaciones escalares de precipitación, dando a conocer así el desarrollo de

métodos para estimar las curvas Intensidad Duración Frecuencia para tres modelos de precipitación. Estos modelos usan la noción clásica del proceso exterior e interior, respectivamente, para la variación de intensidad de precipitación en la tormenta. El modelo basado en las curvas IDF puede ser obtenido a partir de pocos años de datos de precipitación. En una validación con un registro de precipitación de 24 años de Florencia, Italia, los modelos reproducen estrechamente las curvas IDF empíricas y hacen extrapolaciones similares durante períodos de retorno más largos que el registro histórico.

CAPITULO III: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

3.1 TIPO DE INVESTIGACION.

De acuerdo a los objetivos que se persiguen, la investigación se caracteriza por ser de tipo descriptiva, en vista que a través de los datos, en este caso bandas pluviográficas suministrados por la Dirección General del Observatorio Ambiental, se obtuvieron estudios descriptivos para el análisis de las variables de precipitación en la zona Oriental de El Salvador en las estaciones distribuidas en el territorio.

Según (Tamayo y Tamayo, 2002), el tipo de investigación descriptiva, comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual y la composición o procesos de los fenómenos.

Los estudios descriptivos permiten detallar situaciones y eventos, es decir como es y cómo se manifiesta determinado fenómeno (Hernández, Fernández y Baptista 2010).

Asimismo (Hurtado de Barrera, 2000), infiere que la investigación descriptiva tienen como objetivo central la descripción o caracterización del evento de estudio dentro de un contexto particular.

El objetivo de la investigación se basa en el análisis de registros pluviográficos recopilados de las estaciones ubicadas en la zona oriental de El Salvador, para la elaboración de las curvas Intensidad – Duración - Frecuencia IDF.

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACION.

El diseño de la investigación se basa en el análisis de las variables de precipitación e intensidades máximas para las estaciones de la zona oriental de El Salvador, para un periodo de actualización considerable de 30 años consecutivos en algunas estaciones.

Esta investigación es de tipo, no experimental, transeccional, descriptivo. No experimental porque no se pueden manipular variables, los registros pluviográficos a reunir se obtuvieron de la Dirección General del Observatorio Ambiental (DGOA) y transeccional ya que la recolección de registros se realizó en un solo tiempo.

Para Hernández *et al* (2010), en un estudio no experimental no se construye ninguna situación sino que se observan situaciones ya existentes, no provocadas intencionalmente.

Los diseños de transeccionales descriptivos tienen como objetivo indagar la incidencia y los valores en los que se manifiesta una o más variables dentro del enfoque cuantitativo. El procedimiento consiste en medir o ubicar un grupo de personas, objetos, situaciones, contextos, fenómenos en una variable o concepto y proporcionar su descripción (Hernández *et al*, 2010).

3.3 FASES METODOLOGICAS.

El proceso para la elaboración de las curvas intensidad duración frecuencia fue desarrollado como se muestra en la figura 3.1.

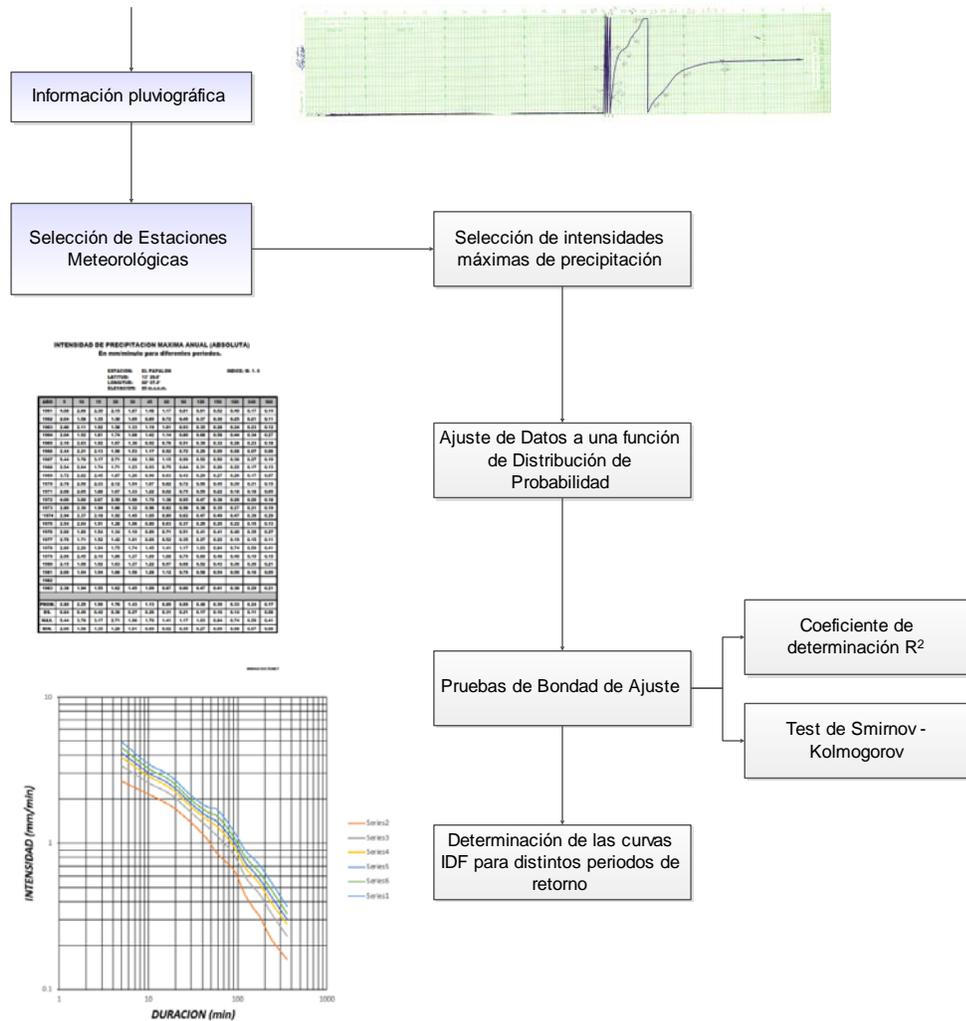


Figura. 3.1 Fases metodológicas de la investigación

Fuente: Elaboración propia.

3.3.1 REVISION BIBLIOGRAFICA.

En esta fase se recopiló la mayor cantidad posible de información relacionada con el tema de estudio, la cual sirvió de base para los análisis y toma de decisión. Esta información se extrajo de libros de texto de hidrología y estadísticas, así como otros temas afines que brindaron antecedentes a esta investigación.

Esta fase presentó un poco de dificultad debido a la escasa información en el ámbito nacional, factor que se debe a la falta de investigación e importancia que se le dado al estudio de la hidrometeorología en El Salvador.

3.3.2 RECOPIACION DE INFORMACION PLUVIOGRAFICA.

En esta etapa se recopiló la información básica contenida principalmente en bandas de registros pluviográficos de las estaciones meteorológicas pertenecientes a la Dirección General del Observatorio Ambiental (DGOA). Esta información corresponde a las precipitaciones diarias y horarias, dichas estaciones cuentan con equipos pluviográficos que por medio de bandas pluviográficas milimetradas (figura 3.2), registran todos los eventos de precipitación que ocurren durante el año en forma diaria y horaria.



Figura 3.2. Equipo pluviográfico con su respectiva banda de registro.

Fuente: www.meteosort.com/meteosort/cas/am28.html

Para cada una de las estaciones, se utilizó la máxima cantidad de años posibles de registros disponibles, con el objetivo de disponer del máximo de datos pluviográficos y conseguir así una estadística confiable.

3.3.3 SELECCIÓN DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS.

La zona oriental de El Salvador tiene 5 estaciones meteorológicas distribuidas en el territorio como se muestra en la figura 3.3.

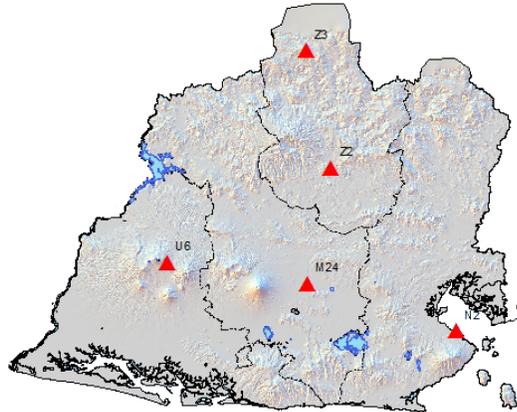


Figura 3.3. Ubicación de estaciones meteorológicas en la zona oriental.

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

La selección de las estaciones meteorológicas se basó en el tipo, cantidad y periodicidad de los registros pluviográficos, tomándose como referencia el periodo comprendido entre 1984-2012, en la tabla 3.1, se muestran las estaciones meteorológicas seleccionadas con su respectiva ubicación geográfica.

Tabla 3.1. Ubicación de geográfica de estaciones meteorológicas y periodo de estudio.

Índice Nacional	Estación	Coordenadas Geográficas		Elevación (msnm)	Periodo de Estudio
		Latitud	Longitud		
U-6	Santiago de María	13° 28' 46.6"	88° 28' 17.6"	917	1984-2012
M-24	San Miguel UES	13° 26' 20.1"	88° 09' 32.7"	117	1984-2012
Z-2	San Francisco Gotera	13° 41' 32.1"	88° 06' 30.6"	250	1984-2012
N-2	Cutuco/Corsaín	13° 19' 29.7"	87° 48' 53.2"	5	1984-2012

Fuente: Elaboración propia basada en datos de CIAGRO.

3.3.4 SELECCIÓN DE INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACION.

Para la obtención de datos requeridos para la construcción de curvas IDF, mediante series de máximos anuales es necesario analizar 5 bandas de registros pluviográficos en intervalos de 5 minutos con el objetivo de encontrar las alturas máximas de precipitación para cada año y para duraciones de 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 240 y 360 minutos respectivamente.

De acuerdo a muchos autores ellos plantean como criterio y metodología para la lecturas de bandas pluviográficas, tomar como referencia de medición las 8:00 horas de un día determinado a las 8:00 horas del día siguiente, esto excluye a las duraciones de 48 horas, donde se finaliza a las 8:00 horas del día subsiguiente. De manera que este procedimiento implica la realización de varios muestreos para lograr el diseño óptimo de las curvas IDF, con el fin de conseguir el modelo propuesto por Aparicio (1992). Para evitar esto, se analizó cada evento de precipitación de forma independiente, de manera que solo se evaluaron los registros de tormentas que realmente fueran influyentes y de esta forma no hacer un muestreo continuo de registros pluviográficos; logrando así efectuar un solo muestreo, y no fue necesario repetir el proceso.

Luego de obtener los valores extremos de alturas de precipitación para cada año y duración, se obtuvieron las intensidades máximas de precipitación, a través del cociente entre cada valor de serie y su respectiva duración en minutos, obteniendo así la intensidad en mm/min.

3.3.5 AJUSTE DE DATOS A UNA FUNCION DE DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD.

Con el cálculo de las intensidades máximas de precipitación obtenidas para cada duración de las lluvias en cada estación, se ajustó a una función de distribución de probabilidad. Este se hizo determinando los parámetros de la muestra; y este se llevó a cabo por el método de los momentos, utilizando como función de distribución de probabilidad la función de distribución de Gumbel que se define:

$$F(x) = e^{-e^{-\left(\frac{x-\mu}{\alpha}\right)}} \text{ Para } -\infty \leq x \leq \infty \text{ Ec. 3.1}$$

Donde:

- χ : Representa el valor asumir por la variable aleatoria
- μ, α : Parámetros a estimar en función de la muestra.
- e : Base de logaritmos neperianos

Los parámetros estadísticos extraen información de una muestra, de manera que indican las características de una población. Los estadísticos utilizados son: la media aritmética y la desviación estándar.

- ✓ **La Media μ :** Es el valor esperado de la variable misma o primero momento respecto al origen. Muestra la tendencia central de la distribución.

$$\int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx \text{ Ec. 3.2}$$

Y el valor estimado de la media es:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad \text{Ec. 3.3}$$

- ✓ **Desviación Estándar:** es una medida de la variabilidad ya que es la raíz cuadrada de la varianza, es importante mencionar que cuando mayor sea la desviación estándar, mayor es la dispersión de los datos.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad \text{Ec. 3.4}$$

Los parámetros de la distribución de una muestra de tamaño finito tienden a los siguientes valores, en base a la media aritmética y la desviación estándar de la muestra:

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} S \quad \text{Ec. 3.5}$$

$$\mu = \bar{x} - 0.5772 \times S \quad \text{Ec. 3.6}$$

3.3.6 PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTE.

La bondad de ajuste consiste en determinar a partir de un conjunto de datos muestrales si estos son consistentes con una distribución de probabilidad teórica.

Según Pizarro (1986), la bondad de ajuste es la asimilación de datos observados de una variable, a una función matemática previamente establecida y reconocida. A través de esta es posible predecir el comportamiento de la variable en estudio. Para probar la calidad de ajuste, es necesario la contrastación de cada dato obtenido de la frecuencia acumulada y la frecuencia teórica acumulada; utilizando para ello dos métodos cuantitativos: el coeficiente de determinación R^2 y el test de Kolmogorov-Smirnov.

3.3.6.1 COEFICIENTE DE DETERMINACION R^2 .

Este coeficiente indica que proporción de la variación total de la frecuencia observada, es explicada por la frecuencia teórica acumulada, se encuentra de definido por la siguiente expresión:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (F_n(x)_i - F(x)_i)^2}{\sum (F_n(x)_i - \overline{F_n(x)_i})^2} \text{ Ec. 3.7}$$

Donde

R^2 = Coeficiente de determinación: $0 \leq R^2 \leq 1$

$F_n(X)_i$ = Frecuencia observada acumulada.

$F(X)_i$ = Frecuencia Teórica Acumulada.

$\overline{F_n(X)}$ = Media de Frecuencias Observadas Acumuladas.

Es importante mencionar que cuando el coeficiente de determinación alcance un valor mayor que 0.9 el ajuste será considerado como bueno (Askhar et al, 1993).

3.3.6.2 TEST DE KOLMOGOROV – SMIRNOV.

El test de Kolmogorv-Smirnov según Canavos (1988), es una prueba no paramétrica, utilizada en funciones de distribución continua, la cual se basa en una comparación entre la función de distribución acumulativa que se observa en la muestra ordenada y la distribución propuesta bajo la hipótesis nula.

Por otro lado, Pizarro et al. (2007) señalan que el test Kolmogorov- Smirnov mide la desviación máxima de las frecuencias comparadas en la distribución. De esto se desglosa que se necesita determinar la frecuencia observada acumulada y la teórica

acumulada. Para determinar la primera frecuencia mencionada se deben ordenar los datos de menor a mayor y luego utilizar la siguiente expresión de Weibull:

$$F_n(X) = \frac{n}{N+1} \quad \text{Ec. 3.8}$$

donde:

$F_n(X)$ = frecuencia observada acumulada;

n = número de orden;

N = número total de datos.

La segunda frecuencia, se determina utilizando alguna función de distribución de probabilidad en nuestro caso la distribución de Gumbel. Cuando ya se han calculado ambas frecuencias, se elige el valor máximo de la diferencia de ambas frecuencias, definido por la siguiente expresión:

$$Dc = \max |F_n(X)_i - F(X)_i| \quad \text{Ec. 3.9}$$

Cuando ya se obtiene el valor Dc , se procede a compararlo con el valor obtenido de la tabla de los valores Dt teóricos del anexo *I* (con tamaño de muestra n y un nivel de significancia α de 0.05). Luego se decide si el ajuste es o no adecuado, considerando las afirmaciones siguientes:

- ✓ Si el valor $Dc < Dt$, entonces se acepta (el ajuste es adecuado).
- ✓ Si el valor $Dc > Dt$, entonces se rechaza (El ajuste no es adecuado).

3.3.7 DETERMINACION DE LAS CURVAS IDF, PARA DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO.

Una vez se han realizado las pruebas de bondad de ajuste, demostrando que este es adecuado, se procede a la selección de los periodos de retorno, para lo cual se tomaron valores típicos que se adapten a las necesidades del usuario para diferentes proyectos: 2, 5, 10, 15, 25 y 50 años.

Con los periodos de retorno ya seleccionados empleamos las ecuaciones descritas por Ven Te Chow:

$$Y_T = -\ln\left(\ln\left(\frac{T_R}{T_R-1}\right)\right) \quad \text{Ec. 3.10}$$

que representa la variable reducida, con el valor de YT obtenemos XT que representa las magnitudes máximas de cada duración con la siguiente ecuación:

$$X_T = \mu + \alpha Y_T \quad \text{Ec. 3.11.}$$

Seleccionado los periodos de retorno y obtenido los valores variables reducida YT y la magnitud del evento máximo XT, se elaboraron los diagramas de dispersión de las curvas IDF para las 4 estaciones en estudio, utilizando Microsoft Excel 2013, las intensidades se presentan en el eje Y en (mm/min), y las duraciones en el eje X en (min), en donde cada curva representa un periodo de retorno diferente.

CAPITULO IV: ANALISIS DE RESULTADOS

4.1 ANALISIS DE REGISTROS PLUVIOGRAFICOS.

A partir de la información facilitada por la Dirección General del Observatorio Ambiental (DGOA), se procedió al análisis de las bandas de registros pluviográficos diarios (figura 4.1) en intervalos de 5 minutos.

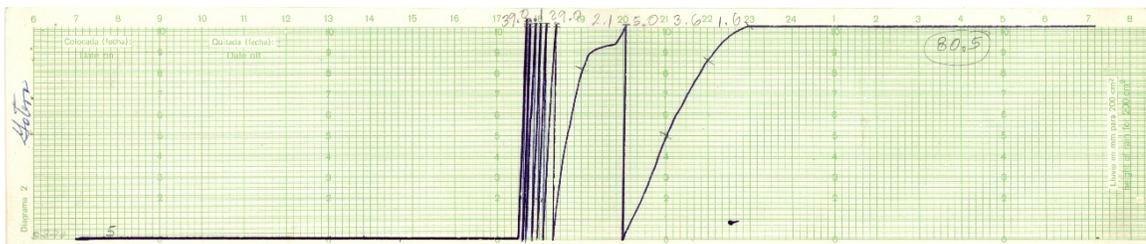


Figura 4.1. Banda de registro pluviográfico tipo diaria.

Fuente: Digitalización propia basada en registro pluviográficos DGOA.

Estas bandas pluviográficas tienen las siguientes características:

- ✓ La escala de la línea vertical, inicia en un valor mínimo de 0.0 mm, hasta un máximo de 10.2 mm con un incremento vertical de 0.1 mm.
- ✓ La escala de la línea horizontal, inicia a las 7:00 am y termina a las 8 am de siguiente día, con un incremento temporal de 10 minutos. Sin embargo la banda se cambia a las 7:00 am del día siguiente de acuerdo a normas internacionales.

Se seleccionaron 445 de 14,774 registros pluviográficos de bandas digitalizadas de las 4 estaciones meteorológicas como se observa en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Bandas Pluviográficas digitalizadas y analizadas.

Índice nacional	Estación	Bandas digitalizadas	Bandas analizadas
U-6	Santiago de María	2,845	189
M-24	San Miguel UES	4,591	98
Z-2	San Francisco Gotera	3,500	83
N-2	La Unión/Corsaín	3,838	75
TOTAL		14,774	445

Fuente: Elaboración propia.

Durante el análisis de dichos registros se observaron algunas inconsistencias en los pluviogramas como las siguientes:

- ✓ Pluviogramas en los cuales el trazado de la aguja del pluviógrafo no coincide con la escala vertical de precipitación del papel. Es decir que en algunos que el nivel mínimo del pluviograma no coincide con el nivel cero del papel, y en otros casos el nivel máximo del pluviograma es superior a 10 mm, como se ilustra en la figura 4.2. Este error es frecuente y se debe a la descalibración mecánica del instrumento.

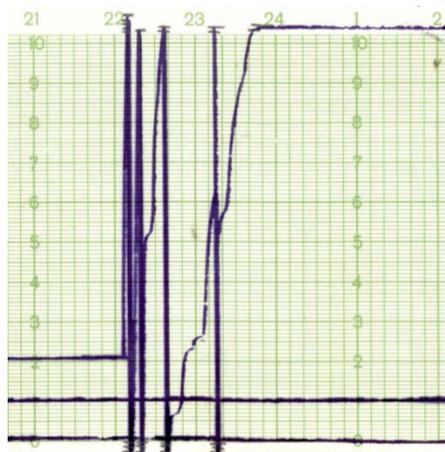


Figura 4.2. Registro pluviográfico con trazas de longitud mayor a la escala.

Fuente: Digitalización propia basada en registro físicos de la DGOA.

- ✓ Otro error frecuente fue la falla en el suministro de tinta o poca presión de la aguja de inscripción del pluviógrafo sobre el papel, generando una traza poco legible o simplemente no se produce el registro.
- ✓ Registros distorsionados por caídas de gotas de agua, en este caso se necesitó trabajar intensamente los pluviogramas identificando la tendencia y la línea original del trazo.

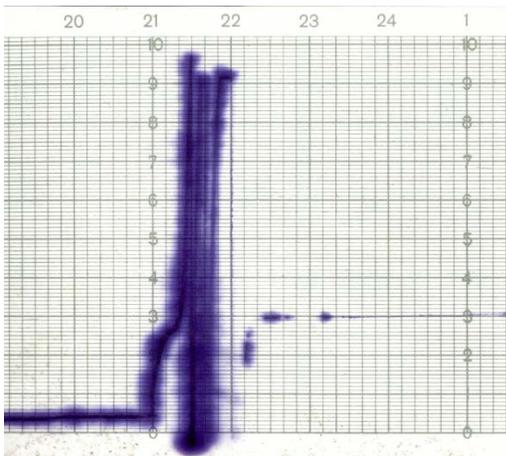


Figura 4.3. Registro pluviográfico distorsionado.

Fuente: Digitalización propia basada en registro físicos de la DGOA

- ✓ Trazas en registros que no llegan a una altura de 10 mm, este error se debe a la acumulación de insectos muertos en el sifón del pluviógrafo, el material orgánico genera un tipo de aceite que produce un goteo sobre el mismo. Esto provoca una traza del pluviógrafo que no llega hasta el final del papel (10 mm) y se produce la eliminación del agua (sifoneo) a una altura menor.

Para el análisis de la lectura de banda pluviográfica se realizó tomando en cuenta lo siguiente:

- ✓ Marcar el punto de inicio de la precipitación registrando la hora en la escala horizontal y el nivel de altura de precipitación de la escala vertical en mm.
- ✓ Observar un incremento de altura, para realizar la lectura del siguiente punto en intervalos de 5 minutos correspondiente a la mitad de la separación horizontal de la banda, y así sucesivamente.
- ✓ La Lectura máxima es 10 mm y la mínima 0.0 mm

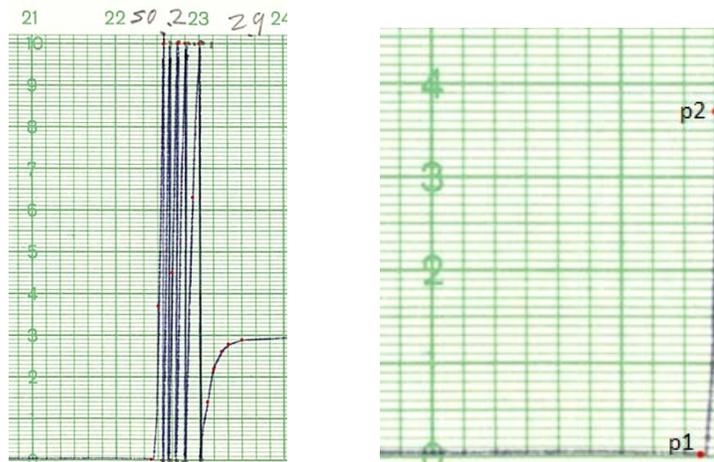


Figura 4.4. Registro pluviográfico, Estación Santiago de María U-6.
Fuente: Digitalización propia basada en registros de la DGOA.

Para la lectura del pluviograma se analiza dos puntos en el tiempo, la diferencia del punto final menos el punto inicial es el resultado de la precipitación para ese intervalo de tiempo, de la figura 4.4 se obtiene:

- ✓ Del segmento 1 a 2 (punto final – punto inicial).

$$\mathcal{L}(t_2, p_2) = 3.7 \text{ mm} , \mathcal{L}(t_1, p_1) = 0.0 \text{ mm}$$

La precipitación P1 representa la diferencia de las dos lecturas.

$$P_1 = \mathcal{L}(t_2, p_2) - \mathcal{L}(t_1, p_1), P_1 = 3.7 \text{ mm} - 0.0 \text{ mm} = 3.7 \text{ mm}$$

✓ Del segmento 2 a 3.

$$\mathcal{L}(t_3, p_3) = 10 \text{ mm}, \mathcal{L}(t_2, p_2) = 3.7 \text{ mm}$$

$$P_2 = \mathcal{L}(t_3, p_3) - \mathcal{L}(t_2, p_2), P_2 = 10 \text{ mm} - 3.7 \text{ mm} = 6.3 \text{ mm}$$

El proceso se repite hasta terminar el evento y las precipitaciones de cada intervalo de 5 minutos se registraron en una hoja electrónica de Excel como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4.2. Tabulación de lecturas de registro pluviográfico

PPT (mm)	52.9 mm
(hora:minutos)	LLUVIA (mm)
22:25:00	0.0
22:30:00	3.7
22:35:00	6.3
22:40:00	14.5
22:45:00	5.5
22:50:00	10.0
22:55:00	6.3
23:00:00	3.7
23:05:00	1.4
23:10:00	0.8
23:15:00	0.4
23:20:00	0.2
23:25:00	0.0
23:30:00	0.1

Fuente: Elaboración propia

4.2 ALTURAS MAXIMAS DE PRECIPITACION PARA CADA DURACION

Con los datos de la tabla 4.1, que corresponden a la altura de precipitación en intervalos de 5 minutos, se procede al cálculo mediante sumatorias sucesivas para

encontrar las alturas de precipitación para duraciones 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 240, 360 minutos.

El procedimiento empleado para obtener las sumatorias respectivas, se inicia con el segundo valor de la tabla 4.1 (hora 20:30) que corresponde al primer intervalo de 5 minutos, con el dato siguiente de hora (20:35) para obtener un nuevo valor que corresponde al primer intervalo de duración de 10 minutos; posteriormente se realiza de la misma manera el procedimiento pero analizando el evento en intervalos de 20, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 240 hasta llegar a 360 minutos. Donde el dato de 360 minutos corresponde a la sumatoria total del evento como se muestra en la tabla 4.2, luego se selecciona el máximo valor de volumen de precipitación para cada duración.

Tabla 4.3. Sumatorias sucesivas para diferentes duraciones.

<i>INT.</i>	<i>5</i>	<i>10</i>	<i>15</i>	<i>20</i>	<i>30</i>	<i>45</i>	<i>60</i>	<i>90</i>	<i>120</i>	<i>150</i>	<i>180</i>	<i>240</i>	<i>360</i>
1	3.7	10.0	24.5	30.0	46.3	52.2	52.8	52.9	52.9	52.9	52.9	52.9	52.9
2	6.3	20.8	26.3	36.3	46.3	48.9	49.2	49.2	49.2	49.2	49.2	49.2	49.2
3	14.5	20.0	30.0	36.3	41.4	42.8	42.9	42.9	42.9	42.9	42.9	42.9	42.9
4	5.5	15.5	21.8	25.5	27.7	28.3	28.4	28.4	28.4	28.4	28.4	28.4	28.4
5	10	16.3	20	21.4	22.6	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9
6	6.3	10.0	11.4	12.2	12.8	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9
7	3.7	5.1	5.9	6.3	6.5	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6
8	1.4	2.2	2.6	2.8	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
9	0.8	1.2	1.4	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
10	0.4	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
11	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
12	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
13	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Máx.	14.5	20.8	30	36.3	46.3	52.2	52.8	52.9	52.9	52.9	52.9	52.9	52.9

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se elaboró un registro en tablas resumen de todas las alturas máximas de eventos por cada año, seleccionando el valor máximo que represente la altura máxima anual de ese año.

Tabla 4.4. Tabla resumen de alturas máximas de precipitación.

<i>ALTURAS MAXIMAS DE PRECIPITACION</i>													
<i>Estación: Santiago de María</i>					<i>Índice Nacional: U-6</i>					<i>Año: 1985</i>			
EVENTO	DURACION (MINUTOS)												
	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180	240	360
1985-10-31	6.0	9.6	13.3	16.4	22.4	27.4	32.1	36.8	41.7	42.7	42.7	42.7	42.7
1985-08-11	9.5	14.0	17.0	19.4	21.9	31.9	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4
1985-07-29	5.7	10.7	14.7	17.2	24.5	33.6	40.4	41.8	41.8	41.8	41.8	41.8	41.8
1985-07-20	8.0	15.5	20.5	25.5	28.9	30.7	31.1	33.1	34.5	34.5	34.5	34.5	34.5
1985-07-10	14.5	20.8	30.0	36.3	46.3	52.2	52.9	52.9	52.9	52.9	52.9	52.9	52.9
H_{Máx.} (mm)	14.5	20.8	30.0	36.3	46.3	52.2	52.9	52.9	52.9	52.9	52.9	52.9	52.9

Fuente: Elaboración propia basada en análisis de bandas pluviográficas.

Encontradas las alturas máximas de precipitación por cada año y estación se conformaron las series de alturas de precipitación de máximos anuales como se muestra en las tablas (4.5, 4.6, 4.7 y 4.8).

Tabla 4.5. Resumen multianual de alturas máximas de precipitación, estación Santiago de María periodo 1984-2012.

ALTURAS DE PRECIPITACION MAXIMAS ANUALES													
En mm para diferentes períodos.													
ESTACION: SANTIAGO DE MARIA							INDICE NACIONAL: U-6						
LATITUD: 13° 28' 46.6" N				LONGITUD: 88° 28' 17.6" W				ELEVACION: 917 m.s.n.m.					
AÑO	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180	240	360
1984	18.7	27.0	29.0	31.0	36.0	40.5	45.5	46.1	46.6	47.7	48.0	48.0	48.0
1985	14.5	20.8	30.0	36.3	46.3	52.2	52.9	52.9	52.9	52.9	52.9	52.9	52.9
1986	17.7	23.2	26.7	28.0	32.0	36.8	44.3	52.9	60.4	63.6	67.9	69.5	69.5
1987	14.0	21.8	29.5	33.0	44.8	51.5	53.4	53.6	53.6	53.6	53.6	53.6	53.6
1988	SIN DATOS												
1989	15.5	26.5	34.0	40.0	47.5	55.1	57.0	57.5	57.5	58.2	66.6	73.3	88.5
1990	8.8	14.9	20.6	24.6	30.1	34.7	34.8	34.8	34.8	34.8	34.8	34.8	34.8
1991	12.0	19.0	23.0	25.5	28.5	35.3	37.9	42.3	44.3	45.3	46.0	52.3	59.9
1992	11.2	20.2	28.3	34.9	39.6	43.9	46.8	58.1	66.9	70.8	73.2	78.1	79.9
1993	13.0	22.0	26.0	32.7	41.5	54.2	63.4	73.3	75.3	75.7	76.7	77.7	78.4
1994	11.5	20.0	21.7	22.2	31.7	45.4	53.2	59.3	60.9	62.1	62.3	62.3	62.3
1995	14.0	20.5	26.5	32.0	38.5	47.3	55.0	65.1	71.9	73.3	73.3	73.3	73.3
1996	14.0	22.0	26.5	28.0	29.1	33.0	34.6	41.4	49.4	56.2	71.4	88.4	95.5
1997	14.5	28.0	31.0	38.5	43.0	52.1	57.1	59.2	59.2	59.2	60.7	80.0	106.2
1998	14.0	24.0	37.0	42.7	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8
1999	9.0	17.0	22.0	26.5	37.0	45.2	46.9	52.9	52.9	52.9	52.9	52.9	52.9
2000	18.0	26.0	32.0	39.0	49.0	54.0	59.0	59.4	59.4	59.4	59.4	59.4	59.4
2001	10.0	18.0	26.0	29.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
2002	18.0	27.0	32.0	35.2	42.2	45.0	55.7	64.0	67.7	69.9	71.4	71.9	71.9
2003	10.0	16.0	20.5	26.0	32.5	39.0	40.0	41.4	42.1	42.1	42.1	42.1	42.1
2004	19.5	23.5	30.0	35.0	41.0	53.0	58.2	63.6	64.6	64.6	64.6	64.6	64.6
2005	13.0	17.3	19.0	24.0	31.5	34.0	38.5	45.8	65.3	72.6	72.9	77.0	93.5
2006	12.0	22.0	29.0	32.7	34.3	35.0	35.8	36.5	39.6	44.2	45.5	47.8	48.0
2007	15.0	22.0	26.7	28.0	34.5	37.3	40.8	58.6	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
2008	17.0	27.0	32.2	36.8	40.8	41.9	46.3	49.5	50.0	50.6	50.9	54.9	67.8
2009	14.0	24.0	29.4	33.4	38.7	40.0	40.3	61.4	63.7	64.3	64.3	64.3	64.3
2010	11.2	20.0	27.0	35.0	42.1	46.8	49.3	63.4	81.1	90.1	115.2	128.4	128.4
2011	12.0	23.0	32.0	38.0	44.0	46.0	46.3	46.8	46.8	46.8	46.8	46.8	46.8
2012	18.0	28.0	33.0	35.2	42.2	44.9	55.4	61.2	61.2	61.2	61.2	61.2	61.2

Fuente: Elaboración propia en base al análisis de registros pluviográficos.

Tabla 4.6. Resumen multianual de alturas máximas de precipitación, estación San Miguel UES periodo 1984-2012.

ALTURAS DE PRECIPITACION MAXIMAS ANUALES													
En mm para diferentes períodos.													
ESTACION: SAN MIGUEL UES							INDICE NACIONAL: M-24						
LATITUD: 13° 26' 20.1" N				LONGITUD: 88° 09' 32.7" W				ELEVACION: 117 m.s.n.m.					
AÑO	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180	240	360
1984	10.0	19.0	25.5	30.5	38.5	42.4	51.9	64.3	66.6	68.3	70.2	73.2	75.8
1985	15.0	25.0	32.0	33.9	35.6	36.2	36.2	37.5	44.5	58.6	66.6	82.4	107.7
1986	SIN DATOS												
1987	8.9	15.9	21.7	28.1	38.7	50.1	58.5	88.0	106.0	116.6	122.7	125.6	129.9
1988	18.0	23.6	29.6	33.6	43.5	51.5	58.1	77.8	84.3	87.8	101.7	124.3	136.1
1989	19.8	39.2	49.5	56.0	69.0	80.7	83.0	85.9	88.4	89.8	90.4	92.2	93.5
1990	10.0	17.5	23.5	24.9	31.3	32.9	33.5	41.0	43.8	43.8	43.8	43.8	43.8
1991	8.0	13.2	19.2	23.0	28.0	32.3	34.9	35.8	36.7	37.3	38.9	39.5	39.5
1992	19.0	30.0	40.0	49.0	62.5	71.2	76.4	80.0	82.0	83.5	84.6	85.3	89.6
1993	7.9	12.0	19.0	23.5	31.5	39.3	42.6	52.7	57.0	57.7	60.2	61.4	61.4
1994	8.5	16.8	20.1	22.6	27.8	32.0	34.0	35.2	38.1	49.8	51.6	57.6	61.5
1995	12.0	20.0	27.1	31.6	37.3	39.9	40.1	40.4	40.4	40.4	40.4	40.4	40.4
1996	10.0	16.0	20.0	28.0	33.0	47.0	51.5	52.9	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3
1997	10.0	17.2	24.2	30.8	39.8	51.9	55.7	63.2	63.3	63.3	63.3	63.3	63.3
1998	13.0	20.7	25.0	28.9	33.6	36.8	38.1	39.3	40.3	41.8	43.2	44.8	44.8
1999	10.3	20.1	30.3	40.1	52.6	59.6	63.3	66.9	66.9	66.9	66.9	66.9	66.9
2000	11.7	20.0	29.0	36.9	42.1	46.3	48.9	50.0	51.0	53.2	54.0	54.5	54.5
2001	10.0	20.0	30.0	35.5	42.8	47.2	48.5	51.4	51.8	51.8	51.8	51.8	51.8
2002	20.0	30.0	40.0	45.2	47.7	49.3	50.4	50.4	50.4	50.4	50.4	50.4	50.4
2003	10.0	20.0	28.0	32.8	42.7	46.3	49.3	55.4	58.6	61.1	62.2	62.9	62.9
2004	10.0	17.0	20.0	22.0	25.9	31.7	35.3	46.5	48.8	50.6	51.0	51.1	51.1
2005	10.0	20.0	26.5	30.3	38.9	41.2	41.3	42.7	44.2	49.4	50.7	51.6	51.9
2006	13.0	23.0	30.1	33.0	36.8	39.1	39.2	40.1	40.3	42.1	44.4	45.1	45.1
2007	13.7	16.5	20.0	27.2	37.1	49.9	51.8	51.8	51.8	51.8	51.8	51.8	51.8
2008	12.1	22.7	29.5	34.9	42.0	46.5	47.6	48.3	49.5	51.5	53.4	56.7	58.1
2009	14.0	24.5	34.5	45.4	63.7	69.6	70.1	70.2	71.1	72.1	72.9	72.9	74.0
2010	6.0	11.0	15.6	20.9	30.0	36.7	45.3	47.5	48.6	50.3	54.5	55.3	55.3
2011	10.0	16.9	17.9	18.4	18.6	21.6	21.6	26.1	36.0	36.0	37.8	40.8	46.8
2012	11.3	21.3	30.0	40.0	53.7	60.0	64.0	67.1	69.7	72.0	74.4	75.9	76.1

Fuente: Elaboración propia basada en el análisis de registros pluviográficos.

Tabla 4.7. Resumen multianual de alturas máximas de precipitación, estación San Francisco Gotera periodo 1984-2012

ALTURAS DE PRECIPITACION MAXIMAS ANUALES													
En mm para diferentes períodos.													
ESTACION: SAN FRANCISCO GOTERA							INDICE NACIONAL: Z-2						
LATITUD: 13° 41' 32.1" N				LONGITUD: 88° 06' 30.6" W				ELEVACION: 250 m.s.n.m.					
AÑO	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180	240	360
1984	10.7	19.0	26.1	33.1	42.4	45.9	46.3	46.3	46.3	46.3	46.3	48.2	49.0
1985	13.5	21.5	30.0	37.2	53.5	70.2	89.1	117.1	121.6	123.9	125.7	127.7	128.0
1986	10.0	20.0	29.7	35.5	44.5	57.1	64.5	66.9	67.9	68.4	68.8	69.3	69.5
1987	11.0	18.5	23.1	27.7	34.0	42.0	48.8	54.7	55.6	57.0	63.1	67.4	76.3
1988	SIN DATOS												
1989	10.2	19.0	28.0	36.8	41.8	46.8	60.0	66.9	68.2	70.0	71.0	71.7	71.8
1990	10.0	17.0	21.0	27.0	31.3	36.6	44.6	60.0	66.1	69.0	69.3	73.4	80.0
1991	10.0	16.0	20.0	26.0	31.7	35.2	39.9	52.5	67.0	70.6	71.0	85.5	97.9
1992	10.0	20.0	30.0	40.0	60.0	87.0	98.8	132.0	156.6	169.1	178.7	179.1	184.2
1993	18.3	30.0	34.5	39.0	41.8	47.0	48.8	49.0	49.0	49.0	49.0	49.0	49.0
1994	20.0	32.0	41.5	49.0	53.3	58.5	58.8	58.8	58.9	58.9	58.9	58.9	58.9
1995	10.0	20.0	30.0	37.8	51.4	67.3	71.3	74.0	74.2	74.2	74.2	74.2	74.2
1996	10.6	20.0	26.5	34.5	46.5	54.4	56.7	57.6	59.4	62.0	64.1	66.2	67.1
1997	13.9	24.0	34.0	44.0	58.0	70.8	76.5	78.6	79.3	79.6	79.8	79.8	81.2
1998	20.0	30.0	38.1	45.1	50.1	53.9	61.6	65.8	66.5	66.7	66.7	66.7	66.7
1999	10.0	18.5	23.5	26.3	35.0	41.4	52.5	58.3	58.4	58.4	58.4	58.4	58.4
2000	10.0	18.3	20.3	28.3	37.0	38.0	38.8	38.8	38.8	38.8	38.8	38.8	38.8
2001	11.0	20.0	30.0	40.0	47.2	57.0	57.6	57.6	57.8	57.9	57.9	57.9	57.9
2002	15.0	25.0	35.0	42.0	49.0	56.0	62.7	69.6	70.2	70.2	70.5	73.2	74.1
2003	10.0	20.0	30.0	34.0	40.0	55.0	66.3	68.6	69.2	69.4	69.4	69.4	69.4
2004	10.0	20.0	30.0	40.0	48.8	56.4	60.0	64.0	64.9	65.0	69.6	72.8	73.1
2005	10.0	15.0	20.5	25.5	35.5	50.1	65.1	72.3	75.8	77.7	80.0	80.0	80.0
2006	20.0	28.9	36.0	44.9	48.9	51.4	51.9	51.9	51.9	51.9	51.9	51.9	51.9
2007	10.0	20.0	30.0	35.9	38.6	45.2	47.9	51.1	51.1	51.7	51.7	51.7	51.7
2008	15.0	25.0	36.9	48.0	54.9	57.8	58.2	58.5	58.5	58.5	58.5	58.5	58.5
2009	17.1	23.1	28.2	34.8	46.0	56.2	61.0	62.2	63.3	64.9	65.0	66.1	66.1
2010	SIN DATOS												
2011	12.3	24.3	34.8	44.8	60.0	73.5	83.6	88.9	90.5	91.8	93.4	94.8	100.1
2012	10.0	20.0	27.0	32.0	41.8	46.3	55.2	65.0	65.9	66.5	67.2	68.4	71.1

Fuente: Elaboración propia basada en análisis de registros pluviográficos.

Tabla 4.8. Resumen multianual de alturas máximas de precipitación, estación La Unión/Corsain periodo 1984-2012

ALTURAS DE PRECIPITACION MAXIMAS ANUALES													
En mm para diferentes períodos.													
ESTACION : LA UNION/CORSAIN							INDICE NACIONAL: N-2						
LATITUD: 13° 19' 29.7" N				LONGITUD: 87° 48' 53.2" W				ELEVACION: 5 m.s.n.m.					
AÑO	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180	240	360
1984	11.0	19.5	25.5	32.5	38.0	50.0	56.2	65.3	72.3	98.3	107.4	111.9	111.9
1985	13.0	23.0	26.3	28.3	30.5	31.9	33.1	41.2	50.0	58.0	70.5	76.4	76.4
1986	17.0	29.0	40.0	53.0	73.0	84.0	84.8	86.9	89.9	91.4	92.8	94.0	94.0
1987	11.0	20.0	25.5	27.0	35.0	42.2	45.8	49.3	51.2	55.3	57.6	57.8	57.8
1988	15.2	24.0	34.0	44.0	63.0	78.0	98.0	122.5	143.0	155.0	161.0	198.2	215.5
1989	13.0	24.0	30.0	40.0	57.0	73.0	79.4	87.8	114.4	141.9	154.8	163.6	177.1
1990	11.0	18.0	24.0	29.0	37.0	45.0	50.6	51.4	51.4	51.4	51.4	51.4	51.4
1991	11.0	17.0	22.0	22.5	23.1	26.1	36.1	45.8	47.0	47.7	47.7	47.7	47.7
1992	SIN DATOS												
1993	SIN DATOS												
1994	SIN DATOS												
1995	12.0	22.0	32.0	42.0	48.0	52.6	54.2	56.4	58.7	74.4	79.0	81.1	91.9
1996	10.0	20.0	30.0	38.0	47.0	55.0	69.8	90.2	103.7	118.6	129.0	142.8	185.7
1997	SIN DATOS												
1998	15.5	25.5	32.0	36.5	45.5	53.2	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5
1999	SIN DATOS												
2000	SIN DATOS												
2001	SIN DATOS												
2002	SIN DATOS												
2003	7.00	13.0	15.0	18.0	27.0	33.50	36.7	52.6	57.9	62.1	62.1	62.1	62.1
2004	15.8	30.0	37.0	44.3	58.4	66.30	67.6	68.4	69.5	69.6	69.6	69.6	69.6
2005	10.5	20.5	30.5	38.5	48.5	66.50	78.5	86.9	90.5	93.3	93.3	93.3	93.3
2006	16.0	27.0	34.0	38.0	43.0	46.10	48.2	48.6	48.6	48.9	48.9	48.9	48.9
2007	12.0	22.0	33.0	41.0	55.8	67.90	90.0	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9
2008	13.0	20.0	28.7	31.2	43.0	54.40	61.2	71.1	84.6	118.8	140.6	150.8	167.3
2009	SIN DATOS												
2010	18.0	20.0	30.0	40.0	58.3	59.60	59.8	59.8	59.8	59.8	59.8	59.8	59.8
2011	16.0	19.6	30.0	33.6	50.0	65.00	75.1	81.8	86.8	95.4	104.6	116.2	116.7
2012	10.0	17.0	22.0	26.0	39.5	47.50	51.5	55.4	57.4	58.4	59.2	59.2	59.2

Fuente: Elaboración propia basada en el análisis de registros pluviográficos.

4.3 CALCULO DE LAS INTENSIDADES MAXIMAS ANUALES Y PARAMETROS ESTADISTICOS SERIE PERIODO 1984-2012 .

Con las alturas de precipitación máximas anuales se procedió al cálculo de intensidades para cada duración, a partir de la información obtenida en la tablas 4.5, 4.6, 4.7 y 4.8, dividiendo cada altura de precipitación por su respectiva duración obteniendo así la intensidad en mm/min. En tablas 4.10, 4.11, 4.12 y 4.13 se muestran dichos valores con su correspondiente promedio (media) y desviación estándar, así como la intensidad máxima de la serie de años.

En cuanto a los valores de intensidades máximas encontradas para cada estación y cada año se puede apreciar en la tabla 4.9.

Tabla 4.9. Intensidades máximas y mínimas periodo 1984-2012.

<i>Estación</i>	<i>INTENSIDADES ENCONTRADAS DE PRECIPITACION EN (mm/min)</i>				
	<i>Valor Máximo</i>	<i>Año</i>	<i>Valor Mínimo</i>	<i>Año</i>	<i>Periodo Comprendido</i>
Santiago de María	3.90	2004	1.76	1990	1984-2012
San Miguel UES	4.00	2002	1.20	2010	1984-2012
San Francisco Gotera	4.00	1994	2.00	2010	1984-2012
La Unión/Corsaín	3.60	1975	1.40	2003	1984-2012

Fuente: Elaboración propia.

Los mayores valores de intensidad se encuentran en duraciones 5 minutos, en las estaciones de San Miguel UES y San Francisco Gotera de 4.0 min/mm, Santiago de María 3.90 mm/mim y La Unión/Corsaín con 3.60 mm/min.

Tabla 4.10. Resumen multianual de intensidades máximas de precipitación, estación Santiago de María periodo 1984-2012

INTENSIDAD DE PRECIPITACION MAXIMA ANUAL (ABSOLUTA)													
En mm/minuto para diferentes períodos.													
ESTACION: SANTIAGO DE MARIA							INDICE NACIONAL: U-6						
LATITUD: 13° 28' 46.6" N				LONGITUD: 88° 28' 17.6" W					ELEVACION: 917 m.s.n.m.				
AÑO	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180	240	360
1984	3.74	2.70	1.93	1.55	1.20	0.90	0.76	0.51	0.39	0.32	0.27	0.20	0.13
1985	2.90	2.08	2.00	1.82	1.54	1.16	0.88	0.59	0.44	0.35	0.29	0.22	0.15
1986	3.54	2.32	1.78	1.40	1.07	0.82	0.74	0.59	0.50	0.42	0.38	0.29	0.19
1987	2.80	2.18	1.97	1.65	1.49	1.14	0.89	0.60	0.45	0.36	0.30	0.22	0.15
1988	SIN DATOS												
1989	3.10	2.65	2.27	2.00	1.58	1.22	0.95	0.64	0.48	0.39	0.37	0.31	0.25
1990	1.76	1.49	1.37	1.23	1.00	0.77	0.58	0.39	0.29	0.23	0.19	0.15	0.10
1991	2.40	1.90	1.53	1.28	0.95	0.78	0.63	0.47	0.37	0.30	0.26	0.22	0.17
1992	2.24	2.02	1.89	1.75	1.32	0.98	0.78	0.65	0.56	0.47	0.41	0.33	0.22
1993	2.60	2.20	1.73	1.64	1.38	1.20	1.06	0.81	0.63	0.50	0.43	0.32	0.22
1994	2.30	2.00	1.45	1.11	1.06	1.01	0.89	0.66	0.51	0.41	0.35	0.26	0.17
1995	2.80	2.05	1.77	1.60	1.28	1.05	0.92	0.72	0.60	0.49	0.41	0.31	0.20
1996	2.80	2.20	1.77	1.40	0.97	0.73	0.58	0.46	0.41	0.37	0.40	0.37	0.27
1997	2.90	2.80	2.07	1.93	1.43	1.16	0.95	0.66	0.49	0.39	0.34	0.33	0.30
1998	2.80	2.40	2.47	2.14	1.49	1.00	0.75	0.50	0.37	0.30	0.25	0.19	0.12
1999	1.80	1.70	1.47	1.33	1.23	1.00	0.78	0.59	0.44	0.35	0.29	0.22	0.15
2000	3.60	2.60	2.13	1.95	1.63	1.20	0.98	0.66	0.50	0.40	0.33	0.25	0.17
2001	2.00	1.80	1.73	1.45	1.00	0.67	0.50	0.33	0.25	0.20	0.17	0.13	0.08
2002	3.60	2.70	2.13	1.76	1.41	1.00	0.93	0.71	0.56	0.47	0.40	0.30	0.20
2003	2.00	1.60	1.37	1.30	1.08	0.87	0.67	0.46	0.35	0.28	0.23	0.18	0.12
2004	3.90	2.35	2.00	1.75	1.37	1.18	0.97	0.71	0.54	0.43	0.36	0.27	0.18
2005	2.60	1.73	1.27	1.20	1.05	0.76	0.64	0.51	0.54	0.48	0.41	0.32	0.26
2006	2.40	2.20	1.93	1.64	1.14	0.78	0.60	0.41	0.33	0.29	0.25	0.20	0.13
2007	3.00	2.20	1.78	1.40	1.15	0.83	0.68	0.65	0.50	0.40	0.33	0.25	0.17
2008	3.40	2.70	2.15	1.84	1.36	0.93	0.77	0.55	0.42	0.34	0.28	0.23	0.19
2009	2.80	2.40	1.96	1.67	1.29	0.89	0.67	0.68	0.53	0.43	0.36	0.27	0.18
2010	2.24	2.00	1.80	1.75	1.40	1.04	0.82	0.70	0.68	0.60	0.64	0.54	0.36
2011	2.40	2.30	2.13	1.90	1.47	1.02	0.77	0.52	0.39	0.31	0.26	0.20	0.13
2012	3.60	2.80	2.20	1.76	1.41	1.00	0.92	0.68	0.51	0.41	0.34	0.26	0.17
PROM.	2.79	2.22	1.86	1.61	1.28	0.97	0.79	0.59	0.47	0.38	0.33	0.26	0.18
DS.	0.60	0.37	0.30	0.27	0.20	0.16	0.15	0.12	0.10	0.09	0.09	0.08	0.06
MAX.	3.90	2.80	2.47	2.14	1.63	1.22	1.06	0.81	0.68	0.60	0.64	0.54	0.36
MIN.	1.76	1.49	1.27	1.11	0.95	0.67	0.50	0.33	0.25	0.20	0.17	0.13	0.08

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.11. Resumen multianual de intensidades máximas de precipitación, estación San Miguel UES periodo 1984-2012

INTENSIDAD DE PRECIPITACION MAXIMA ANUAL (ABSOLUTA)													
En mm/minuto para diferentes períodos.													
ESTACION: SAN MIGUEL UES							INDICE NACIONAL: M-24						
LATITUD: 13° 26' 20.1" N					LONGITUD: 88° 09' 32.7" W				ELEVACION: 117 m.s.n.m.				
AÑO	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180	240	360
1984	2.00	1.90	1.70	1.53	1.28	0.94	0.87	0.71	0.56	0.46	0.39	0.31	0.21
1985	3.00	2.50	2.13	1.70	1.19	0.80	0.60	0.42	0.37	0.39	0.37	0.34	0.30
1986	SIN DATOS												
1987	1.78	1.59	1.45	1.41	1.29	1.11	0.98	0.98	0.88	0.78	0.68	0.52	0.36
1988	3.60	2.36	1.97	1.68	1.45	1.14	0.97	0.86	0.70	0.59	0.57	0.52	0.38
1989	3.96	3.92	3.30	2.80	2.30	1.79	1.38	0.95	0.74	0.60	0.50	0.38	0.26
1990	2.00	1.75	1.57	1.25	1.04	0.73	0.56	0.46	0.37	0.29	0.24	0.18	0.12
1991	1.60	1.32	1.28	1.15	0.93	0.72	0.58	0.40	0.31	0.25	0.22	0.16	0.11
1992	3.80	3.00	2.67	2.45	2.08	1.58	1.27	0.89	0.68	0.56	0.47	0.36	0.25
1993	1.58	1.20	1.27	1.18	1.05	0.87	0.71	0.59	0.48	0.38	0.33	0.26	0.17
1994	1.70	1.68	1.34	1.13	0.93	0.71	0.57	0.39	0.32	0.33	0.29	0.24	0.17
1995	2.40	2.00	1.81	1.58	1.24	0.89	0.67	0.45	0.34	0.27	0.22	0.17	0.11
1996	2.00	1.60	1.33	1.40	1.10	1.04	0.86	0.59	0.44	0.36	0.30	0.22	0.15
1997	2.00	1.72	1.61	1.54	1.33	1.15	0.93	0.70	0.53	0.42	0.35	0.26	0.18
1998	2.60	2.07	1.67	1.45	1.12	0.82	0.64	0.44	0.34	0.28	0.24	0.19	0.12
1999	2.06	2.01	2.02	2.01	1.75	1.32	1.06	0.74	0.56	0.45	0.37	0.28	0.19
2000	2.34	2.00	1.93	1.85	1.40	1.03	0.82	0.56	0.43	0.35	0.30	0.23	0.15
2001	2.00	2.00	2.00	1.78	1.43	1.05	0.81	0.57	0.43	0.35	0.29	0.22	0.14
2002	4.00	3.00	2.67	2.26	1.59	1.10	0.84	0.56	0.42	0.34	0.28	0.21	0.14
2003	2.00	2.00	1.87	1.64	1.42	1.03	0.82	0.62	0.49	0.41	0.35	0.26	0.17
2004	2.00	1.70	1.33	1.10	0.86	0.70	0.59	0.52	0.41	0.34	0.28	0.21	0.14
2005	2.00	2.00	1.77	1.52	1.30	0.92	0.69	0.47	0.37	0.33	0.28	0.22	0.14
2006	2.60	2.30	2.01	1.65	1.23	0.87	0.65	0.45	0.34	0.28	0.25	0.19	0.13
2007	2.74	1.65	1.33	1.36	1.24	1.11	0.86	0.58	0.43	0.35	0.29	0.22	0.14
2008	2.42	2.27	1.97	1.75	1.40	1.03	0.79	0.54	0.41	0.34	0.30	0.24	0.16
2009	2.80	2.45	2.30	2.27	2.12	1.55	1.17	0.78	0.59	0.48	0.41	0.30	0.21
2010	1.20	1.10	1.04	1.05	1.00	0.82	0.76	0.53	0.41	0.34	0.30	0.23	0.15
2011	2.00	1.69	1.19	0.92	0.62	0.48	0.36	0.29	0.30	0.24	0.21	0.17	0.13
2012	2.26	2.13	2.00	2.00	1.79	1.33	1.07	0.75	0.58	0.48	0.41	0.32	0.21
PROM.	2.37	2.03	1.80	1.62	1.34	1.02	0.82	0.60	0.47	0.39	0.34	0.26	0.18
DS.	0.73	0.58	0.51	0.45	0.39	0.29	0.23	0.18	0.15	0.12	0.11	0.09	0.07
MAX.	4.00	3.92	3.30	2.80	2.30	1.79	1.38	0.98	0.88	0.78	0.68	0.52	0.38
MIN.	1.20	1.10	1.04	0.92	0.62	0.48	0.36	0.29	0.30	0.24	0.21	0.16	0.11

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.12. Resumen multianual de intensidades máximas de precipitación, estación San Francisco Gotera periodo 1984-2012

INTENSIDAD DE PRECIPITACION MAXIMA ANUAL (ABSOLUTA)													
En mm/minuto para diferentes períodos.													
ESTACION: SAN FRANCISCO GOTERA							INDICE NACIONAL: Z-2						
LATITUD: 13° 41' 32.1" N					LONGITUD: 88° 06' 30.6" W				ELEVACION: 250 m.s.n.m.				
AÑO	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180	240	360
1984	2.14	1.90	1.74	1.66	1.41	1.02	0.77	0.51	0.39	0.31	0.26	0.20	0.14
1985	2.70	2.15	2.00	1.86	1.78	1.56	1.49	1.30	1.01	0.83	0.70	0.53	0.36
1986	2.00	2.00	1.98	1.78	1.48	1.27	1.08	0.74	0.57	0.46	0.38	0.29	0.19
1987	2.20	1.85	1.54	1.39	1.13	0.93	0.81	0.61	0.46	0.38	0.35	0.28	0.21
1988	SIN DATOS												
1989	2.04	1.90	1.87	1.84	1.39	1.04	1.00	0.74	0.57	0.47	0.39	0.30	0.20
1990	2.00	1.70	1.40	1.35	1.04	0.81	0.74	0.67	0.55	0.46	0.39	0.31	0.22
1991	2.00	1.60	1.33	1.30	1.06	0.78	0.67	0.58	0.56	0.47	0.39	0.36	0.27
1992	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.93	1.65	1.47	1.31	1.13	0.99	0.75	0.51
1993	3.66	3.00	2.30	1.95	1.39	1.04	0.81	0.54	0.41	0.33	0.27	0.20	0.14
1994	4.00	3.20	2.77	2.45	1.78	1.30	0.98	0.65	0.49	0.39	0.33	0.25	0.16
1995	2.00	2.00	2.00	1.89	1.71	1.50	1.19	0.82	0.62	0.49	0.41	0.31	0.21
1996	2.12	2.00	1.77	1.73	1.55	1.21	0.95	0.64	0.50	0.41	0.36	0.28	0.19
1997	2.78	2.40	2.27	2.20	1.93	1.57	1.28	0.87	0.66	0.53	0.44	0.33	0.23
1998	4.00	3.00	2.54	2.26	1.67	1.20	1.03	0.73	0.55	0.44	0.37	0.28	0.19
1999	2.00	1.85	1.57	1.32	1.17	0.92	0.88	0.65	0.49	0.39	0.32	0.24	0.16
2000	2.00	1.83	1.35	1.42	1.23	0.84	0.65	0.43	0.32	0.26	0.22	0.16	0.11
2001	2.20	2.00	2.00	2.00	1.57	1.27	0.96	0.64	0.48	0.39	0.32	0.24	0.16
2002	3.00	2.50	2.33	2.10	1.63	1.24	1.05	0.77	0.59	0.47	0.39	0.31	0.21
2003	2.00	2.00	2.00	1.70	1.33	1.22	1.11	0.76	0.58	0.46	0.39	0.29	0.19
2004	2.00	2.00	2.00	2.00	1.63	1.25	1.00	0.71	0.54	0.43	0.39	0.30	0.20
2005	2.00	1.50	1.37	1.28	1.18	1.11	1.09	0.80	0.63	0.52	0.44	0.33	0.22
2006	4.00	2.89	2.40	2.25	1.63	1.14	0.87	0.58	0.43	0.35	0.29	0.22	0.14
2007	2.00	2.00	2.00	1.80	1.29	1.00	0.80	0.57	0.43	0.34	0.29	0.22	0.14
2008	3.00	2.50	2.46	2.40	1.83	1.28	0.97	0.65	0.49	0.39	0.33	0.24	0.16
2009	3.42	2.31	1.88	1.74	1.53	1.25	1.02	0.69	0.53	0.43	0.36	0.28	0.18
2010	SIN DATOS												
2011	2.46	2.43	2.32	2.24	2.00	1.63	1.39	0.99	0.75	0.61	0.52	0.40	0.28
2012	2.00	2.00	1.80	1.60	1.39	1.03	0.92	0.72	0.55	0.44	0.37	0.29	0.20
PROM.	2.51	2.17	1.96	1.83	1.51	1.20	1.00	0.74	0.57	0.47	0.39	0.30	0.21
DS.	0.71	0.44	0.38	0.35	0.28	0.27	0.24	0.22	0.20	0.17	0.15	0.11	0.08
MAX.	4.00	3.20	2.77	2.45	2.00	1.93	1.65	1.47	1.31	1.13	0.99	0.75	0.51
MIN.	2.00	1.50	1.33	1.28	1.04	0.78	0.65	0.43	0.32	0.26	0.22	0.16	0.11

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.13. Resumen multianual de intensidades máximas de precipitación, estación La Unión/Corsain periodo 1984-2012

INTENSIDAD DE PRECIPITACION MAXIMA ANUAL (ABSOLUTA)													
En mm/minuto para diferentes períodos.													
ESTACION : LA UNION/CORSAIN							INDICE NACIONAL: N-2						
LATITUD: 13° 19' 29.7" N				LONGITUD: 87° 48' 53.2" W				ELEVACION: 5 m.s.n.m.					
AÑO	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180	240	360
1984	2.20	1.95	1.70	1.63	1.27	1.11	0.94	0.73	0.60	0.66	0.60	0.47	0.31
1985	2.60	2.30	1.75	1.42	1.02	0.71	0.55	0.46	0.42	0.39	0.39	0.32	0.21
1986	3.40	2.90	2.67	2.65	2.43	1.87	1.41	0.97	0.75	0.61	0.52	0.39	0.26
1987	2.20	2.00	1.70	1.35	1.17	0.94	0.76	0.55	0.43	0.37	0.32	0.24	0.16
1988	3.04	2.40	2.27	2.20	2.10	1.73	1.63	1.36	1.19	1.03	0.89	0.83	0.60
1989	2.60	2.40	2.00	2.00	1.90	1.62	1.32	0.98	0.95	0.95	0.86	0.68	0.49
1990	2.20	1.80	1.60	1.45	1.23	1.00	0.84	0.57	0.43	0.34	0.29	0.21	0.14
1991	2.20	1.70	1.47	1.13	0.77	0.58	0.60	0.51	0.39	0.32	0.27	0.20	0.13
1992	SIN DATOS												
1993	SIN DATOS												
1994	SIN DATOS												
1995	2.40	2.20	2.13	2.10	1.60	1.17	0.90	0.63	0.49	0.50	0.44	0.34	0.26
1996	2.00	2.00	2.00	1.90	1.57	1.22	1.16	1.00	0.86	0.79	0.72	0.60	0.52
1997	SIN DATOS												
1998	3.10	2.55	2.13	1.83	1.52	1.18	1.04	0.69	0.52	0.42	0.35	0.26	0.17
1999	SIN DATOS												
2000	SIN DATOS												
2001	SIN DATOS												
2002	SIN DATOS												
2003	1.40	1.30	1.00	0.90	0.90	0.74	0.61	0.58	0.48	0.41	0.35	0.26	0.17
2004	3.16	3.00	2.47	2.22	1.95	1.47	1.13	0.76	0.58	0.46	0.39	0.29	0.19
2005	2.10	2.05	2.03	1.93	1.62	1.48	1.31	0.97	0.75	0.62	0.52	0.39	0.26
2006	3.20	2.70	2.27	1.90	1.43	1.02	0.80	0.54	0.41	0.33	0.27	0.20	0.14
2007	2.40	2.20	2.20	2.05	1.86	1.51	1.50	1.11	0.83	0.67	0.56	0.42	0.28
2008	2.60	2.00	1.91	1.56	1.43	1.21	1.02	0.79	0.71	0.79	0.78	0.63	0.46
2009	SIN DATOS												
2010	3.60	2.00	2.00	2.00	1.94	1.32	1.00	0.66	0.50	0.40	0.33	0.25	0.17
2011	3.20	1.96	2.00	1.68	1.67	1.44	1.25	0.91	0.72	0.64	0.58	0.48	0.32
2012	2.00	1.70	1.47	1.30	1.32	1.06	0.86	0.62	0.48	0.39	0.33	0.25	0.16
PROM.	2.58	2.16	1.94	1.76	1.53	1.22	1.03	0.77	0.62	0.55	0.49	0.38	0.27
DS.	0.57	0.42	0.38	0.42	0.42	0.34	0.31	0.24	0.22	0.21	0.20	0.18	0.14
MAX.	3.60	3.00	2.67	2.65	2.43	1.87	1.63	1.36	1.19	1.03	0.89	0.83	0.60
MIN.	1.40	1.30	1.00	0.90	0.77	0.58	0.55	0.46	0.39	0.32	0.27	0.20	0.13

Fuente: Elaboración propia.

4.4 INTENSIDADES MAXIMAS ANUALES, SERIES ACTUALIZADAS.

Los valores obtenidos de intensidades máximas del periodo 1984-2012 de cada estación, se incorporaron a los registros históricos de intensidades de las series anteriores.

Así las series actualizadas quedan conformadas en periodos de estadística considerable como se observa en la tabla 4.14.

Tabla 4.14. Años de estadística de registros pluviográficos para cada estación.

Índice Nacional	Estación	Periodo de Serie Actualizada	Longitud de años Comprendidos	Años de Estadística	Años de Registro Extraviados
U-6	Santiago de María	1957-2012	56	55	1
M-24	San Miguel UES	1961-2012	52	50	2
Z-2	San Francisco Gotera	1962-2012	51	48	3
N-2	La Unión/Corsaín	1970-2012	43	34	9

Fuente: Elaboración propia.

Puede observarse de la tabla 4.14 que la estación de Santiago de María posee la mayor cantidad de años de estadística con 55 años faltando únicamente los registros del año 1988 como se observa en la tabla 4.15 de intensidades máximas anuales. Las estaciones de San Miguel y San Francisco Gotera poseen registros extraviados de 2 y 3 años respectivamente, no obstante la estación de La Unión/Corsaín que presenta una estadística de registros extraviados de 9 años (1982, 1992-1994, 1997, 1999-2002 y 2009). Como se muestra en la tabla 4.18.

Tabla 4.15. Resumen multianual de intensidades máximas. Estación Santiago de María U-6.

AÑO	INTENSIDADES MAXIMAS ANUALES EN (mm/min) PARA CADA DURACION EN (min)												
	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180	240	360
1957	2.02	1.65	1.65	1.56	1.24	0.86	0.66	0.48	0.37	0.31	0.27	0.21	0.14
1958	2.54	2.23	2.05	2.01	1.78	1.30	1.10	0.80	0.69	0.53	0.48	0.38	0.24
1959	2.46	2.35	2.05	1.69	1.29	1.00	0.92	0.64	0.48	0.39	0.33	0.26	0.18
1960	2.58	2.06	2.00	1.70	1.30	1.00	0.91	0.73	0.56	0.46	0.34	0.30	0.20
1961	3.28	2.27	1.87	1.75	1.25	0.89	0.67	0.44	0.31	0.22	0.22	0.17	0.18
1962	2.56	2.00	1.62	1.30	0.93	0.81	0.63	0.44	0.39	0.32	0.21	0.18	0.12
1963	2.00	1.60	1.41	1.33	1.06	0.73	0.56	0.40	0.31	0.25	0.21	0.14	0.09
1964	2.52	1.96	1.66	1.49	1.43	1.08	0.67	0.38	0.30	0.24	0.20	0.10	0.07
1965	2.76	2.36	1.99	1.72	1.26	1.14	1.07	0.90	0.79	0.71	0.62	0.52	0.35
1966	2.10	2.05	1.94	1.88	1.75	1.41	0.77	0.56	0.44	0.37	0.31	0.23	0.08
1967	2.06	1.77	1.56	1.34	0.96	0.68	0.51	0.41	0.34	0.29	0.26	0.20	0.13
1968	4.40	3.32	2.61	2.11	1.57	1.36	1.12	0.84	0.64	0.51	0.27	0.21	0.03
1969	2.50	1.96	1.77	1.60	1.37	1.45	1.20	0.70	0.58	0.47	0.41	0.18	0.09
1970	4.00	2.79	2.20	1.88	1.51	1.05	0.97	0.68	0.55	0.29	0.24	0.19	0.14
1971	3.88	2.54	1.95	1.56	1.29	1.06	0.91	0.74	0.58	0.47	0.40	0.31	0.21
1972	2.76	2.36	1.81	1.62	1.39	1.07	0.84	0.57	0.43	0.30	0.25	0.20	0.13
1973	1.96	1.96	1.96	1.74	1.41	1.05	0.84	0.59	0.54	0.34	0.31	0.17	0.11
1974	1.78	1.64	1.35	1.19	0.93	0.71	0.62	0.45	0.38	0.34	0.31	0.30	0.24
1975	2.68	2.02	1.75	1.54	1.39	1.07	0.84	0.59	0.45	0.37	0.34	0.28	0.23
1976	3.84	3.52	2.88	2.41	1.86	1.43	1.15	0.78	0.59	0.47	0.39	0.29	0.25
1977	2.44	1.67	1.53	1.56	1.18	1.07	0.98	0.68	0.52	0.45	0.39	0.30	0.25
1978	3.88	2.73	2.22	1.79	1.42	1.27	1.00	0.68	0.52	0.42	0.35	0.26	0.18
1979	3.94	2.74	2.15	1.90	1.58	1.51	1.09	0.89	0.75	0.75	0.76	0.59	0.41
1980	3.54	2.37	1.89	1.50	1.21	0.97	0.78	0.54	0.41	0.33	0.28	0.20	0.10
1981	5.62	2.59	1.93	1.84	1.50	1.10	1.03	0.93	0.75	0.62	0.53	0.40	0.28
1982	3.08	2.31	2.04	1.86	1.50	1.19	0.95	0.66	0.50	0.47	0.38	0.29	0.22
1983	2.94	2.22	1.81	1.61	1.35	1.02	0.78	0.54	0.41	0.33	0.27	0.21	0.05
1984	3.74	2.70	1.93	1.55	1.20	0.90	0.76	0.51	0.39	0.32	0.27	0.20	0.13
1985	2.90	2.08	2.00	1.82	1.54	1.16	0.88	0.59	0.44	0.35	0.29	0.22	0.15
1986	3.54	2.32	1.78	1.40	1.07	0.82	0.74	0.59	0.50	0.42	0.38	0.29	0.19
1987	2.80	2.18	1.97	1.65	1.49	1.14	0.89	0.60	0.45	0.36	0.30	0.22	0.15
1988	SIN DATOS												
1989	3.10	2.65	2.27	2.00	1.58	1.22	0.95	0.64	0.48	0.39	0.37	0.31	0.25
1990	1.76	1.49	1.37	1.23	1.00	0.77	0.58	0.39	0.29	0.23	0.19	0.15	0.10
1991	2.40	1.90	1.53	1.28	0.95	0.78	0.63	0.47	0.37	0.30	0.26	0.22	0.17
1992	2.24	2.02	1.89	1.75	1.32	0.98	0.78	0.65	0.56	0.47	0.41	0.33	0.22
1993	2.60	2.20	1.73	1.64	1.38	1.20	1.06	0.81	0.63	0.50	0.43	0.32	0.22
1994	2.30	2.00	1.45	1.11	1.06	1.01	0.89	0.66	0.51	0.41	0.35	0.26	0.17
1995	2.80	2.05	1.77	1.60	1.28	1.05	0.92	0.72	0.60	0.49	0.41	0.31	0.20
1996	2.80	2.20	1.77	1.40	0.97	0.73	0.58	0.46	0.41	0.37	0.40	0.37	0.27
1997	2.90	2.80	2.07	1.93	1.43	1.16	0.95	0.66	0.49	0.39	0.34	0.33	0.30
1998	2.80	2.40	2.47	2.14	1.49	1.00	0.75	0.50	0.37	0.30	0.25	0.19	0.12
1999	1.80	1.70	1.47	1.33	1.23	1.00	0.78	0.59	0.44	0.35	0.29	0.22	0.15
2000	3.60	2.60	2.13	1.95	1.63	1.20	0.98	0.66	0.50	0.40	0.33	0.25	0.17
2001	2.00	1.80	1.73	1.45	1.00	0.67	0.50	0.33	0.25	0.20	0.17	0.13	0.08
2002	3.60	2.70	2.13	1.76	1.41	1.00	0.93	0.71	0.56	0.47	0.40	0.30	0.20
2003	2.00	1.60	1.37	1.30	1.08	0.87	0.67	0.46	0.35	0.28	0.23	0.18	0.12
2004	3.90	2.35	2.00	1.75	1.37	1.18	0.97	0.71	0.54	0.43	0.36	0.27	0.18
2005	2.60	1.73	1.27	1.20	1.05	0.76	0.64	0.51	0.54	0.48	0.41	0.32	0.26
2006	2.40	2.20	1.93	1.64	1.14	0.78	0.60	0.41	0.33	0.29	0.25	0.20	0.13
2007	3.00	2.20	1.78	1.40	1.15	0.83	0.68	0.65	0.50	0.40	0.33	0.25	0.17
2008	3.40	2.70	2.15	1.84	1.36	0.93	0.77	0.55	0.42	0.34	0.28	0.23	0.19
2009	2.80	2.40	1.96	1.67	1.29	0.89	0.67	0.68	0.53	0.43	0.36	0.27	0.18
2010	2.24	2.00	1.80	1.75	1.40	1.04	0.82	0.70	0.68	0.60	0.64	0.54	0.36
2011	2.40	2.30	2.13	1.90	1.47	1.02	0.77	0.52	0.39	0.31	0.26	0.20	0.13
2012	3.60	2.80	2.20	1.76	1.41	1.00	0.92	0.68	0.51	0.41	0.34	0.26	0.17
PROM.	2.88	2.24	1.89	1.65	1.32	1.02	0.83	0.61	0.48	0.40	0.34	0.26	0.18
DS.	0.77	0.42	0.31	0.27	0.22	0.20	0.17	0.14	0.12	0.11	0.11	0.10	0.08

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.16. Resumen multianual de intensidades máximas. Estación San Miguel UES M-24

AÑO	INTENSIDADES MAXIMAS ANUALES EN (mm/min) PARA CADA DURACION EN (min)												
	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180	240	360
1961	4.08	2.66	2.30	2.15	1.87	1.48	1.17	0.81	0.61	0.52	0.40	0.17	0.14
1962	2.04	1.58	1.35	1.30	1.09	0.89	0.72	0.49	0.37	0.30	0.25	0.21	0.11
1963	2.40	2.11	1.92	1.58	1.33	1.19	1.01	0.93	0.35	0.28	0.24	0.23	0.12
1964	2.04	1.92	1.81	1.74	1.68	1.42	1.14	0.80	0.68	0.58	0.44	0.34	0.27
1965	2.10	2.03	1.92	1.67	1.30	0.92	0.76	0.51	0.39	0.32	0.28	0.23	0.18
1966	2.44	2.21	2.13	1.96	1.53	1.17	0.92	0.72	0.29	0.09	0.08	0.07	0.06
1967	5.44	3.78	3.17	2.71	1.88	1.50	1.15	0.99	0.52	0.50	0.36	0.27	0.19
1968	2.54	2.04	1.74	1.71	1.23	0.93	0.75	0.64	0.31	0.26	0.22	0.17	0.13
1969	3.72	2.82	2.45	1.87	1.26	0.90	0.63	0.43	0.29	0.27	0.26	0.17	0.07
1970	2.78	2.56	2.33	2.12	1.54	1.07	0.82	0.72	0.56	0.45	0.39	0.31	0.15
1971	2.08	2.05	1.88	1.67	1.33	1.22	1.02	0.75	0.59	0.22	0.18	0.18	0.09
1972	4.00	3.00	2.67	2.50	1.96	1.70	1.38	0.95	0.47	0.38	0.26	0.20	0.18
1973	2.80	2.30	1.94	1.66	1.32	0.96	0.82	0.56	0.38	0.35	0.27	0.21	0.19
1974	2.94	2.37	2.18	1.92	1.45	1.05	0.89	0.62	0.47	0.49	0.47	0.39	0.29
1975	2.54	2.04	1.51	1.28	1.06	0.80	0.63	0.37	0.29	0.25	0.22	0.15	0.13
1976	2.60	1.80	1.54	1.34	1.10	0.89	0.71	0.51	0.41	0.41	0.40	0.35	0.27
1977	2.70	1.71	1.52	1.42	1.01	0.69	0.52	0.35	0.27	0.22	0.19	0.15	0.11
1978	2.80	2.20	1.94	1.75	1.74	1.45	1.41	1.17	1.03	0.84	0.74	0.59	0.41
1979	2.96	2.45	2.10	1.86	1.37	1.09	1.08	0.79	0.60	0.48	0.40	0.19	0.15
1980	2.15	1.98	1.92	1.63	1.37	1.22	0.97	0.68	0.52	0.43	0.36	0.30	0.21
1981	2.00	1.94	1.94	1.66	1.56	1.28	1.12	0.76	0.58	0.54	0.50	0.16	0.09
1982	SIN DATOS												
1983	2.38	1.94	1.55	1.62	1.45	1.09	0.87	0.60	0.47	0.41	0.36	0.29	0.21
1984	2.00	1.90	1.70	1.53	1.28	0.94	0.87	0.71	0.56	0.46	0.39	0.31	0.21
1985	3.00	2.50	2.13	1.70	1.19	0.80	0.60	0.42	0.37	0.39	0.37	0.34	0.30
1986	SIN DATOS												
1987	1.78	1.59	1.45	1.41	1.29	1.11	0.98	0.98	0.88	0.78	0.68	0.52	0.36
1988	3.60	2.36	1.97	1.68	1.45	1.14	0.97	0.86	0.70	0.59	0.57	0.52	0.38
1989	3.96	3.92	3.30	2.80	2.30	1.79	1.38	0.95	0.74	0.60	0.50	0.38	0.26
1990	2.00	1.75	1.57	1.25	1.04	0.73	0.56	0.46	0.37	0.29	0.24	0.18	0.12
1991	1.60	1.32	1.28	1.15	0.93	0.72	0.58	0.40	0.31	0.25	0.22	0.16	0.11
1992	3.80	3.00	2.67	2.45	2.08	1.58	1.27	0.89	0.68	0.56	0.47	0.36	0.25
1993	1.58	1.20	1.27	1.18	1.05	0.87	0.71	0.59	0.48	0.38	0.33	0.26	0.17
1994	1.70	1.68	1.34	1.13	0.93	0.71	0.57	0.39	0.32	0.33	0.29	0.24	0.17
1995	2.40	2.00	1.81	1.58	1.24	0.89	0.67	0.45	0.34	0.27	0.22	0.17	0.11
1996	2.00	1.60	1.33	1.40	1.10	1.04	0.86	0.59	0.44	0.36	0.30	0.22	0.15
1997	2.00	1.72	1.61	1.54	1.33	1.15	0.93	0.70	0.53	0.42	0.35	0.26	0.18
1998	2.60	2.07	1.67	1.45	1.12	0.82	0.64	0.44	0.34	0.28	0.24	0.19	0.12
1999	2.06	2.01	2.02	2.01	1.75	1.32	1.06	0.74	0.56	0.45	0.37	0.28	0.19
2000	2.34	2.00	1.93	1.85	1.40	1.03	0.82	0.56	0.43	0.35	0.30	0.23	0.15
2001	2.00	2.00	2.00	1.78	1.43	1.05	0.81	0.57	0.43	0.35	0.29	0.22	0.14
2002	4.00	3.00	2.67	2.26	1.59	1.10	0.84	0.56	0.42	0.34	0.28	0.21	0.14
2003	2.00	2.00	1.87	1.64	1.42	1.03	0.82	0.62	0.49	0.41	0.35	0.26	0.17
2004	2.00	1.70	1.33	1.10	0.86	0.70	0.59	0.52	0.41	0.34	0.28	0.21	0.14
2005	2.00	2.00	1.77	1.52	1.30	0.92	0.69	0.47	0.37	0.33	0.28	0.22	0.14
2006	2.60	2.30	2.01	1.65	1.23	0.87	0.65	0.45	0.34	0.28	0.25	0.19	0.13
2007	2.74	1.65	1.33	1.36	1.24	1.11	0.86	0.58	0.43	0.35	0.29	0.22	0.14
2008	2.42	2.27	1.97	1.75	1.40	1.03	0.79	0.54	0.41	0.34	0.30	0.24	0.16
2009	2.80	2.45	2.30	2.27	2.12	1.55	1.17	0.78	0.59	0.48	0.41	0.30	0.21
2010	1.20	1.10	1.04	1.05	1.00	0.82	0.76	0.53	0.41	0.34	0.30	0.23	0.15
2011	2.00	1.69	1.19	0.92	0.62	0.48	0.36	0.29	0.30	0.24	0.21	0.17	0.13
2012	2.26	2.13	2.00	2.00	1.79	1.33	1.07	0.75	0.58	0.48	0.41	0.32	0.21
PROM.	2.56	2.13	1.89	1.69	1.38	1.07	0.87	0.64	0.47	0.39	0.34	0.25	0.18
DS.	0.80	0.55	0.48	0.41	0.34	0.28	0.24	0.20	0.16	0.14	0.12	0.10	0.08

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.17. Resumen multianual de intensidades máximas. Estación San Francisco Gotera Z-2

AÑO	INTENSIDADES MAXIMAS ANUALES EN (mm\min) PARA CADA DURACION EN (min)												
	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180	240	360
1962	2.80	2.60	2.33	2.10	1.60	1.19	0.93	0.78	0.66	0.47	0.40	0.31	0.21
1963	2.88	2.69	2.31	2.08	1.80	1.63	1.42	1.17	1.08	0.88	0.74	0.18	0.07
1964	2.56	2.05	1.81	1.76	1.47	1.11	0.86	0.58	0.46	0.26	0.23	0.20	0.12
1965	3.16	2.26	2.06	1.89	1.61	1.23	1.00	0.77	0.48	0.40	0.34	0.26	0.06
1966	3.40	3.14	2.63	2.14	1.52	1.02	0.84	0.61	0.53	0.51	0.41	0.21	0.18
1967	3.04	2.22	1.95	1.76	1.44	1.12	0.97	0.81	0.43	0.27	0.24	0.19	0.13
1968	2.68	2.59	2.43	2.32	1.92	1.33	0.84	0.67	0.27	0.22	0.19	0.16	0.08
1969	3.80	3.80	2.95	2.49	2.14	1.68	1.45	1.00	0.76	0.63	0.53	0.41	0.28
1970	3.32	2.41	2.00	2.00	1.95	1.44	1.10	0.75	0.40	0.33	0.28	0.22	0.19
1971	1.98	1.96	1.67	1.50	1.33	0.97	0.97	0.77	0.60	0.50	0.45	0.33	0.23
1972	2.01	1.96	1.17	1.12	1.00	0.90	0.76	0.53	0.40	0.34	0.29	0.22	0.17
1973	3.36	2.57	2.43	2.05	1.61	1.33	1.13	0.85	0.67	0.56	0.49	0.38	0.28
1974	2.00	1.96	1.96	1.75	1.31	0.95	0.71	0.48	0.36	0.28	0.30	0.28	0.20
1975	2.80	1.90	1.57	1.45	1.23	0.96	0.77	0.62	0.48	0.39	0.33	0.26	0.18
1976	2.58	2.39	1.96	1.87	1.60	1.28	1.06	0.73	0.55	0.44	0.40	0.32	0.21
1977	3.22	2.82	2.82	1.88	1.55	1.08	0.83	0.62	0.41	0.34	0.29	0.22	0.20
1978	3.24	3.09	2.71	2.52	1.87	1.55	1.22	0.83	0.63	0.50	0.42	0.32	0.19
1979	2.00	2.00	1.87	1.60	1.50	1.34	1.16	0.81	0.65	0.55	0.49	0.29	0.24
1980	2.60	2.20	1.93	1.78	1.40	1.01	0.81	0.58	0.50	0.60	0.52	0.29	0.29
1981	2.06	2.06	1.90	1.82	1.58	1.09	0.67	0.45	0.34	0.28	0.19	0.21	0.16
1982	3.04	2.33	1.40	1.36	1.23	1.03	0.92	0.69	0.56	0.47	0.47	0.39	0.28
1983	SIN DATOS												
1984	2.14	1.90	1.74	1.66	1.41	1.02	0.77	0.51	0.39	0.31	0.26	0.20	0.14
1985	2.70	2.15	2.00	1.86	1.78	1.56	1.49	1.30	1.01	0.83	0.70	0.53	0.36
1986	2.00	2.00	1.98	1.78	1.48	1.27	1.08	0.74	0.57	0.46	0.38	0.29	0.19
1987	2.20	1.85	1.54	1.39	1.13	0.93	0.81	0.61	0.46	0.38	0.35	0.28	0.21
1988	SIN DATOS												
1989	2.04	1.90	1.87	1.84	1.39	1.04	1.00	0.74	0.57	0.47	0.39	0.30	0.20
1990	2.00	1.70	1.40	1.35	1.04	0.81	0.74	0.67	0.55	0.46	0.39	0.31	0.22
1991	2.00	1.60	1.33	1.30	1.06	0.78	0.67	0.58	0.56	0.47	0.39	0.36	0.27
1992	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.93	1.65	1.47	1.31	1.13	0.99	0.75	0.51
1993	3.66	3.00	2.30	1.95	1.39	1.04	0.81	0.54	0.41	0.33	0.27	0.20	0.14
1994	4.00	3.20	2.77	2.45	1.78	1.30	0.98	0.65	0.49	0.39	0.33	0.25	0.16
1995	2.00	2.00	2.00	1.89	1.71	1.50	1.19	0.82	0.62	0.49	0.41	0.31	0.21
1996	2.12	2.00	1.77	1.73	1.55	1.21	0.95	0.64	0.50	0.41	0.36	0.28	0.19
1997	2.78	2.40	2.27	2.20	1.93	1.57	1.28	0.87	0.66	0.53	0.44	0.33	0.23
1998	4.00	3.00	2.54	2.26	1.67	1.20	1.03	0.73	0.55	0.44	0.37	0.28	0.19
1999	2.00	1.85	1.57	1.32	1.17	0.92	0.88	0.65	0.49	0.39	0.32	0.24	0.16
2000	2.00	1.83	1.35	1.42	1.23	0.84	0.65	0.43	0.32	0.26	0.22	0.16	0.11
2001	2.20	2.00	2.00	2.00	1.57	1.27	0.96	0.64	0.48	0.39	0.32	0.24	0.16
2002	3.00	2.50	2.33	2.10	1.63	1.24	1.05	0.77	0.59	0.47	0.39	0.31	0.21
2003	2.00	2.00	2.00	1.70	1.33	1.22	1.11	0.76	0.58	0.46	0.39	0.29	0.19
2004	2.00	2.00	2.00	2.00	1.63	1.25	1.00	0.71	0.54	0.43	0.39	0.30	0.20
2005	2.00	1.50	1.37	1.28	1.18	1.11	1.09	0.80	0.63	0.52	0.44	0.33	0.22
2006	4.00	2.89	2.40	2.25	1.63	1.14	0.87	0.58	0.43	0.35	0.29	0.22	0.14
2007	2.00	2.00	2.00	1.80	1.29	1.00	0.80	0.57	0.43	0.34	0.29	0.22	0.14
2008	3.00	2.50	2.46	2.40	1.83	1.28	0.97	0.65	0.49	0.39	0.33	0.24	0.16
2009	3.42	2.31	1.88	1.74	1.53	1.25	1.02	0.69	0.53	0.43	0.36	0.28	0.18
2010	SIN DATOS												
2011	2.46	2.43	2.32	2.24	2.00	1.63	1.39	0.99	0.75	0.61	0.52	0.40	0.28
2012	2.00	2.00	1.80	1.60	1.39	1.03	0.92	0.72	0.55	0.44	0.37	0.29	0.20
PROM.	2.63	2.28	2.02	1.85	1.53	1.20	0.99	0.73	0.56	0.45	0.39	0.29	0.20
DS.	0.65	0.47	0.42	0.35	0.27	0.25	0.23	0.20	0.19	0.16	0.14	0.10	0.07

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.18. Resumen multianual de intensidades máximas, Estación La Unión/ Corsain N-2

AÑO	INTENSIDADES MAXIMAS ANUALES EN (mm/min) PARA CADA DURACION EN (min)												
	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180	240	360
1970	2.24	1.98	1.78	1.58	1.24	1.12	0.88	0.59	0.38	0.30	0.26	0.20	0.18
1971	2.88	2.20	2.00	1.79	1.47	1.07	0.89	0.62	0.48	0.40	0.27	0.21	0.12
1972	3.38	2.52	2.03	1.67	1.29	1.08	1.02	0.88	0.69	0.56	0.47	0.37	0.07
1973	2.56	2.23	1.95	1.82	1.44	1.07	0.94	0.92	0.87	0.75	0.64	0.50	0.35
1974	2.78	2.25	1.99	1.69	1.24	0.96	1.07	0.98	0.74	0.60	0.50	0.38	0.28
1975	4.00	3.59	3.20	3.33	2.43	1.80	1.40	0.95	0.73	0.59	0.50	0.38	0.26
1976	2.74	2.22	1.94	1.76	1.55	1.23	0.97	0.69	0.52	0.42	0.36	0.27	0.24
1977	2.42	2.28	1.86	1.58	1.29	1.02	0.87	0.69	0.53	0.44	0.41	0.24	0.21
1978	2.80	2.30	1.87	1.65	1.20	0.89	0.81	0.61	0.45	0.39	0.33	0.31	0.21
1979	2.90	2.24	1.80	1.62	1.28	1.01	0.97	0.82	0.68	0.55	0.47	0.37	0.27
1980	3.28	2.10	1.83	1.67	1.55	1.32	1.17	1.15	1.03	0.95	0.85	0.64	0.43
1981	2.60	2.00	1.83	1.77	1.85	1.62	1.42	1.10	1.01	0.91	0.81	0.63	0.42
1982	SIN DATOS												
1983	2.02	1.97	1.99	1.98	1.81	1.34	0.78	0.70	0.44	0.37	0.31	0.23	0.12
1984	2.20	1.95	1.70	1.63	1.27	1.11	0.94	0.73	0.60	0.66	0.60	0.47	0.31
1985	2.60	2.30	1.75	1.42	1.02	0.71	0.55	0.46	0.42	0.39	0.39	0.32	0.21
1986	3.40	2.90	2.67	2.65	2.43	1.87	1.41	0.97	0.75	0.61	0.52	0.39	0.26
1987	2.20	2.00	1.70	1.35	1.17	0.94	0.76	0.55	0.43	0.37	0.32	0.24	0.16
1988	3.04	2.40	2.27	2.20	2.10	1.73	1.63	1.36	1.19	1.03	0.89	0.83	0.60
1989	2.60	2.40	2.00	2.00	1.90	1.62	1.32	0.98	0.95	0.95	0.86	0.68	0.49
1990	2.20	1.80	1.60	1.45	1.23	1.00	0.84	0.57	0.43	0.34	0.29	0.21	0.14
1991	2.20	1.70	1.47	1.13	0.77	0.58	0.60	0.51	0.39	0.32	0.27	0.20	0.13
1992	SIN DATOS												
1993	SIN DATOS												
1994	SIN DATOS												
1995	2.40	2.20	2.13	2.10	1.60	1.17	0.90	0.63	0.49	0.50	0.44	0.34	0.26
1996	2.00	2.00	2.00	1.90	1.57	1.22	1.16	1.00	0.86	0.79	0.72	0.60	0.52
1997	SIN DATOS												
1998	3.10	2.55	2.13	1.83	1.52	1.18	1.04	0.69	0.52	0.42	0.35	0.26	0.17
1999	SIN DATOS												
2000	SIN DATOS												
2001	SIN DATOS												
2002	SIN DATOS												
2003	1.40	1.30	1.00	0.90	0.90	0.74	0.61	0.58	0.48	0.41	0.35	0.26	0.17
2004	3.16	3.00	2.47	2.22	1.95	1.47	1.13	0.76	0.58	0.46	0.39	0.29	0.19
2005	2.10	2.05	2.03	1.93	1.62	1.48	1.31	0.97	0.75	0.62	0.52	0.39	0.26
2006	3.20	2.70	2.27	1.90	1.43	1.02	0.80	0.54	0.41	0.33	0.27	0.20	0.14
2007	2.40	2.20	2.20	2.05	1.86	1.51	1.50	1.11	0.83	0.67	0.56	0.42	0.28
2008	2.60	2.00	1.91	1.56	1.43	1.21	1.02	0.79	0.71	0.79	0.78	0.63	0.46
2009	SIN DATOS												
2010	3.60	2.00	2.00	2.00	1.94	1.32	1.00	0.66	0.50	0.40	0.33	0.25	0.17
2011	3.20	1.96	2.00	1.68	1.67	1.44	1.25	0.91	0.72	0.64	0.58	0.48	0.32
2012	2.00	1.70	1.47	1.30	1.32	1.06	0.86	0.62	0.48	0.39	0.33	0.25	0.16
PROM.	2.67	2.21	1.96	1.79	1.53	1.21	1.03	0.79	0.64	0.55	0.48	0.38	0.26
DS.	0.56	0.42	0.37	0.43	0.39	0.31	0.27	0.22	0.21	0.21	0.19	0.16	0.13

Fuente: Elaboración propia.

4.6 AJUSTE A LA FUNCION DE DISTRIBUCION DE PROBALIDAD DE GUMBEL.

Para realizar el ajuste a la distribución de Gumbel es necesario la estimación de sus parámetros para cada duración, por medio de las ecuaciones descritas en el capítulo III basadas en el método de los momentos como se muestra en la tabla 4.19.

Tabla 4.19. Parámetros de ajuste distribución de Gumbel serie actualizada.

<i>PARAMETROS DE AJUSTE DISTRIBUCION DE GUMBEL</i>								
<i>ESTACION</i>	<i>Santiago de María</i>		<i>San Miguel UES</i>		<i>San Francisco Gotera</i>		<i>La Unión / Corsáin</i>	
<i>Duración (min)</i>	μ	A	μ	A	μ	α	μ	α
5	2.53	0.60	2.20	0.62	2.34	0.51	2.42	0.44
10	2.05	0.33	1.88	0.43	2.07	0.37	2.02	0.33
15	1.75	0.24	1.68	0.37	1.83	0.33	1.79	0.29
20	1.53	0.21	1.51	0.32	1.69	0.27	1.59	0.34
30	1.22	0.17	1.22	0.27	1.41	0.21	1.36	0.30
45	0.93	0.16	0.94	0.22	1.09	0.19	1.07	0.24
60	0.75	0.14	0.76	0.19	0.89	0.18	0.91	0.21
90	0.55	0.11	0.55	0.16	0.64	0.16	0.69	0.17
120	0.43	0.09	0.40	0.12	0.47	0.15	0.55	0.16
150	0.35	0.09	0.33	0.11	0.38	0.12	0.46	0.16
180	0.29	0.09	0.29	0.09	0.33	0.11	0.39	0.15
240	0.22	0.07	0.20	0.08	0.24	0.08	0.31	0.12
360	0.15	0.06	0.15	0.06	0.17	0.05	0.20	0.10

Fuente: Elaboración propia.

4.7 PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTE.

Con los datos de las series ya ajustados a la función de distribución de probabilidad de Gumbel, se procede a su validación a través de dos pruebas estadísticas muy utilizadas en análisis de valores extremos como el coeficiente de determinación R^2 , y es test de Kolmogorov – Smirnov, para ambas pruebas se realizó análisis de frecuencias con el fin

de obtener las frecuencia observada acumulada y la frecuencia teórica acumulada calculadas a través de la ecuación de Weibull y la ecuación de Gumbel.

4.7.1 COEFICIENTE DE DETERMINACION R^2 .

El coeficiente R^2 una vez se ha realizado el análisis de frecuencias en cada estación, fueron los siguientes.

Tabla 4.20. Prueba de bondad de Ajuste Coeficiente de Determinación R^2 , serie actualizada.

<i>PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE COEFICIENTE DE DETERMINACION R^2</i>				
<i>Estación</i>	<i>Santiago De María</i>	<i>San Miguel UES</i>	<i>San Francisco Gotera</i>	<i>La Unión/Corsáin</i>
<i>Duración</i>	R^2	R^2	R^2	R^2
<i>5</i>	0.9884	0.9679	0.8973	0.9764
<i>10</i>	0.9804	0.9778	0.9644	0.9601
<i>15</i>	0.9574	0.9750	0.9578	0.9287
<i>20</i>	0.9562	0.9848	0.9491	0.9627
<i>30</i>	0.9391	0.9887	0.9693	0.9859
<i>45</i>	0.9615	0.9909	0.9864	0.9849
<i>60</i>	0.9365	0.9912	0.9939	0.9884
<i>90</i>	0.9501	0.9891	0.9761	0.9635
<i>120</i>	0.9721	0.9932	0.9601	0.9374
<i>150</i>	0.9900	0.9943	0.9771	0.9601
<i>180</i>	0.9850	0.9801	0.9755	0.9758
<i>240</i>	0.9717	0.9704	0.9613	0.9484
<i>360</i>	0.9699	0.9558	0.9769	0.9843
<i>R² Max</i>	0.9900	0.9943	0.9939	0.9884
<i>R² Min</i>	0.9365	0.9558	0.8973	0.9287

Fuente: Elaboración propia

Puede observarse la calidad de ajuste obtenido, ya que los valores del coeficiente de determinación alcanzo valores que fluctúan entre 89.7% como mínimo en la Estación de San Francisco Gotera y un máximo de 99.43% para la estación de San Miguel UES M-24.

4.7.2 TEST DE KOLMOGOROV – SMIRNOV.

La tabla 4.21 muestra los excelentes resultados obtenidos por el test de Kolmogorov – Smirnov.

Tabla 4.21 Resultados Prueba Kolmogorov – Smirnov para cada Estación y duración.

Estación	Santiago de María		San Miguel UES		San Francisco Gotera		La Unión	
Dt	0.18338		0.18841		0.19221		0.23076	
Duración	Dc	Ajuste	Dc	Ajuste	Dc	Ajuste	Dc	Ajuste
5	0.08048	A	0.13376	A	0.19034	A	0.07732	A
10	0.08365	A	0.09087	A	0.15027	A	0.14340	A
15	0.12352	A	0.10269	A	0.10255	A	0.12435	A
20	0.10291	A	0.08032	A	0.10932	A	0.12958	A
30	0.12784	A	0.08284	A	0.08824	A	0.07008	A
45	0.13987	A	0.08156	A	0.06637	A	0.07521	A
60	0.14188	A	0.05104	A	0.04283	A	0.07231	A
90	0.14780	A	0.07179	A	0.09960	A	0.11180	A
120	0.10972	A	0.05383	A	0.10927	A	0.14857	A
150	0.05619	A	0.05790	A	0.08217	A	0.13484	A
180	0.10672	A	0.10947	A	0.09151	A	0.08847	A
240	0.10301	A	0.11518	A	0.10432	A	0.13467	A
360	0.12732	A	0.11980	A	0.09405	A	0.07159	A

Fuente: Elaboración propia.

Es importante destacar que las 4 estaciones incluidas en este estudio la ley de distribución de Gumbel se ajustó satisfactoriamente, comprobándose en este sentido lo mencionado por los diferentes autores entre ellos Mintegui y Lopez (1990), CEOTMA (1981); y Verma (1988), citado por Kothyari y Garde, (1992); quienes citan a la distribución de Gumbel como la más apropiado para los valores extremos. Lo anterior se puede afirmar en función de los resultados obtenidos de las medidas de bondad de ajuste, puede observarse como en las 4 estaciones el test mostro buenos resultados, el Dc calculado fue superado por el valor Dt crítico de la tabla de dicho test .

4.8 PRESENTACION GRAFICA DE LAS CURVAS IDF PARA CADA ESTACION

De los cálculos de parámetros de la ley de distribución de Gumbel, se determinaron los valores de la probabilidad de excedencia y de no excedencia de la intensidad de lluvia máxima, así como los de la variable reducida para periodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 25 y 50 años con sus respectivas duraciones de 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 240 y 360 minutos. Obteniendo como resultado una familia de curvas intensidad, duración y frecuencia para cada estación meteorológica, en las tablas siguientes se muestran los valores obtenidos, asimismo su respectiva representación gráfica.

Tabla 4.22. Intensidades para cada periodo de retorno y duración. Santiago de María U-6.

P=1-1/T	P=1/T	TR	YT	INTENSIDADES EN mm/min PARA CADA PERIODO DE RETORNO												
				5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180	240	360
0.50	0.50	2	0.37	2.75	2.17	1.84	1.61	1.28	0.99	0.80	0.59	0.46	0.38	0.32	0.25	0.17
0.80	0.20	5	1.50	3.43	2.55	2.11	1.85	1.48	1.17	0.96	0.72	0.57	0.49	0.43	0.33	0.24
0.90	0.10	10	2.25	3.88	2.79	2.29	2.00	1.60	1.29	1.07	0.80	0.63	0.55	0.49	0.38	0.29
0.93	0.07	15	2.67	4.13	2.93	2.39	2.09	1.67	1.36	1.12	0.84	0.67	0.59	0.53	0.41	0.31
0.96	0.04	25	3.20	4.45	3.11	2.52	2.20	1.76	1.44	1.20	0.90	0.72	0.64	0.58	0.44	0.34
0.98	0.02	50	3.90	4.87	3.34	2.69	2.35	1.88	1.55	1.30	0.98	0.78	0.70	0.64	0.49	0.38

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.23. Intensidades para cada Periodo de Retorno y Duración. San Miguel UES M-24.

P=1-1/T	P=1/T	TR	YT	INTENSIDADES EN mm/min PARA CADA PERIODO DE RETORNO												
				5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180	240	360
0.50	0.50	2	0.37	2.43	2.04	1.82	1.63	1.32	1.02	0.83	0.61	0.44	0.37	0.32	0.23	0.17
0.80	0.20	5	1.50	3.13	2.53	2.24	1.99	1.63	1.27	1.05	0.79	0.58	0.50	0.43	0.32	0.24
0.90	0.10	10	2.25	3.60	2.85	2.51	2.23	1.83	1.44	1.19	0.91	0.67	0.58	0.49	0.38	0.29
0.93	0.07	15	2.67	3.86	3.03	2.67	2.36	1.94	1.53	1.27	0.98	0.72	0.62	0.53	0.41	0.31
0.96	0.04	25	3.20	4.18	3.26	2.86	2.53	2.08	1.64	1.37	1.06	0.78	0.68	0.58	0.46	0.34
0.98	0.02	50	3.90	4.62	3.56	3.12	2.76	2.27	1.80	1.50	1.17	0.87	0.76	0.64	0.51	0.38

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.24. Intensidades para cada Periodo de Retorno y Duración. San Francisco Gotera Z-2.

P=1-1/T	P=1/T	TR	YT	INTENSIDADES EN mm/min PARA CADA PERIODO DE RETORNO												
				5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180	240	360
0.50	0.50	2	0.37	2.53	2.21	1.95	1.79	1.49	1.16	0.96	0.70	0.53	0.42	0.37	0.27	0.19
0.80	0.20	5	1.50	3.11	2.63	2.33	2.10	1.73	1.38	1.16	0.88	0.70	0.56	0.50	0.36	0.25
0.90	0.10	10	2.25	3.49	2.90	2.57	2.30	1.88	1.52	1.30	1.00	0.81	0.65	0.58	0.42	0.28
0.93	0.07	15	2.67	3.70	3.06	2.71	2.41	1.97	1.60	1.37	1.07	0.87	0.70	0.62	0.45	0.30
0.96	0.04	25	3.20	3.97	3.25	2.89	2.55	2.08	1.70	1.47	1.15	0.95	0.76	0.68	0.50	0.33
0.98	0.02	50	3.90	4.33	3.51	3.12	2.74	2.23	1.83	1.59	1.26	1.06	0.85	0.76	0.55	0.37

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.25. Intensidades para cada Periodo de Retorno y Duración. La Unión/Corsain N-2.

P=1-1/T	P=1/T	TR	YT	INTENSIDADES EN mm/min PARA CADA PERIODO DE RETORNO												
				5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180	240	360
0.50	0.50	2	0.37	2.58	2.14	1.90	1.72	1.47	1.16	0.99	0.75	0.61	0.52	0.45	0.35	0.24
0.80	0.20	5	1.50	3.08	2.52	2.23	2.10	1.81	1.43	1.23	0.95	0.79	0.70	0.62	0.49	0.35
0.90	0.10	10	2.25	3.41	2.76	2.44	2.36	2.04	1.61	1.38	1.07	0.91	0.82	0.73	0.58	0.43
0.93	0.07	15	2.67	3.59	2.90	2.56	2.50	2.16	1.71	1.47	1.14	0.98	0.89	0.79	0.63	0.47
0.96	0.04	25	3.20	3.83	3.08	2.72	2.68	2.32	1.84	1.58	1.23	1.06	0.97	0.87	0.69	0.52
0.98	0.02	50	3.90	4.14	3.31	2.92	2.92	2.53	2.01	1.73	1.35	1.17	1.08	0.98	0.78	0.59

Fuente: Elaboración propia

CURVAS INTENSIDAD - DURACION - FRECUENCIA
ESTACION SANTIAGO DE MARIA U-6 PERIODO 1957-2012

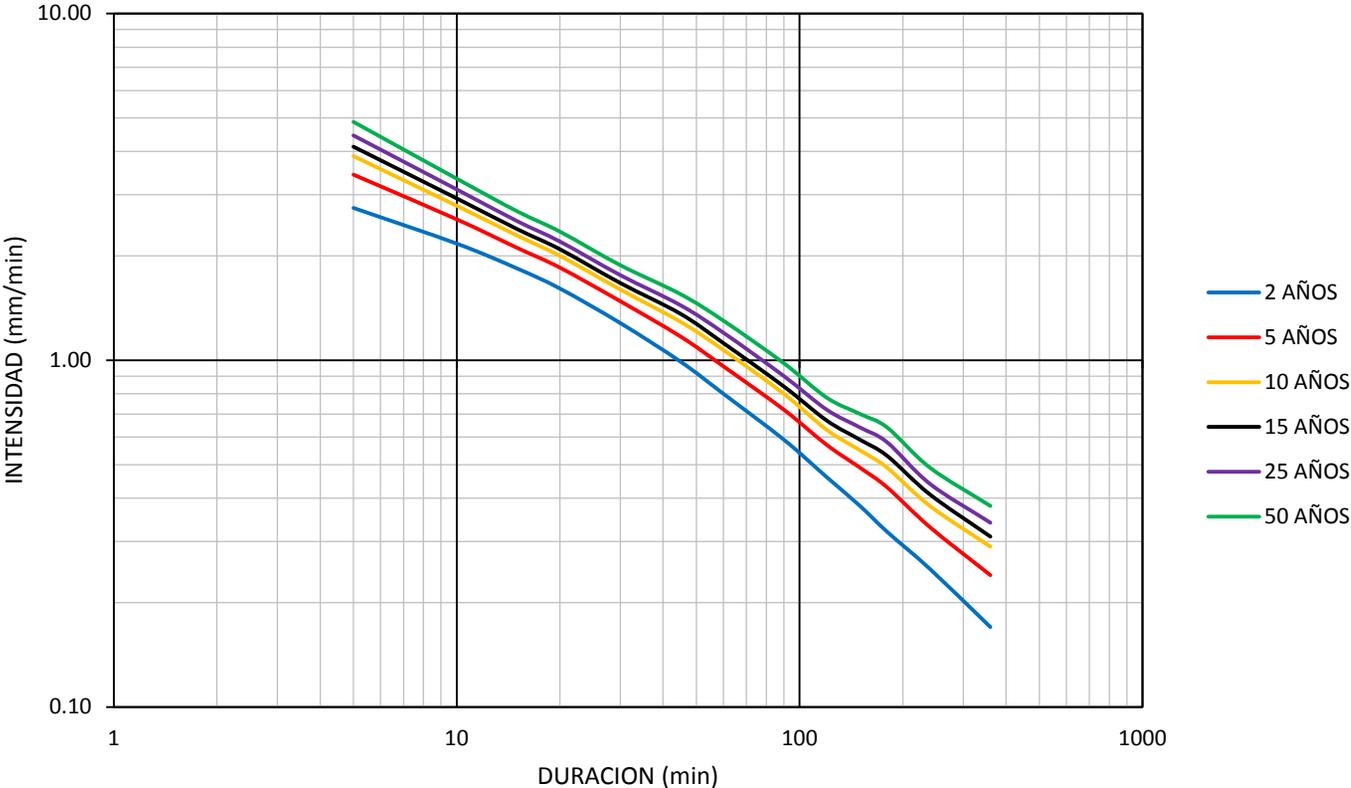


Gráfico 4.1. Curvas IDF Estación Santiago de María U-6, escala logarítmica.

Fuente: Elaboración propia.

CURVAS INTENSIDAD - DURACION - FRECUENCIA
ESTACION SANTIAGO DE MARIA U-6 PERIODO 1957-2012

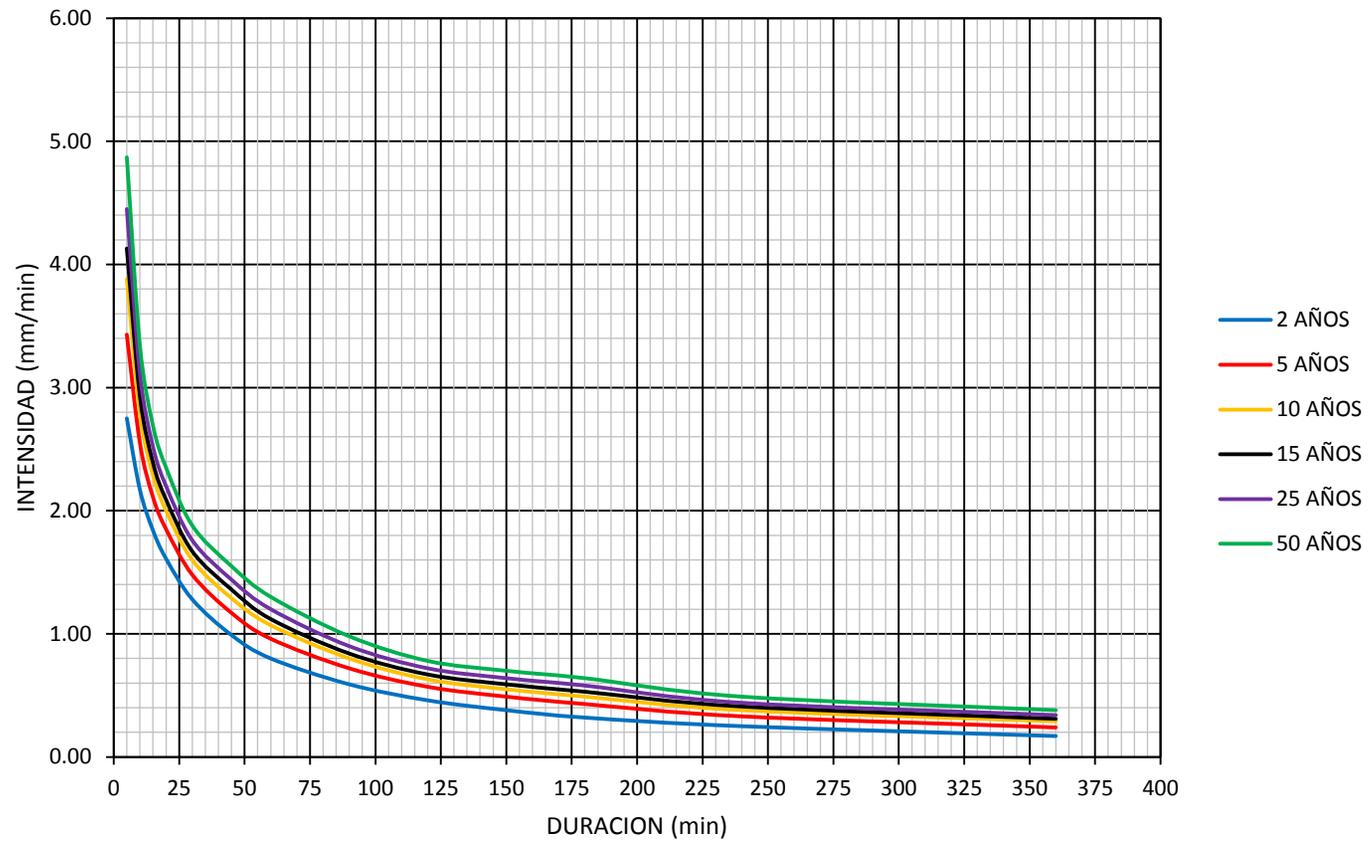


Gráfico 4.2. Curvas IDF Estación Santiago de María U-6, Escala aritmética.

Fuente: Elaboración Propia

CURVAS INTENSIDAD - DURACION - FRECUENCIA ESTACION SAN MIGUEL UES M-24 PERIODO 1961-2012

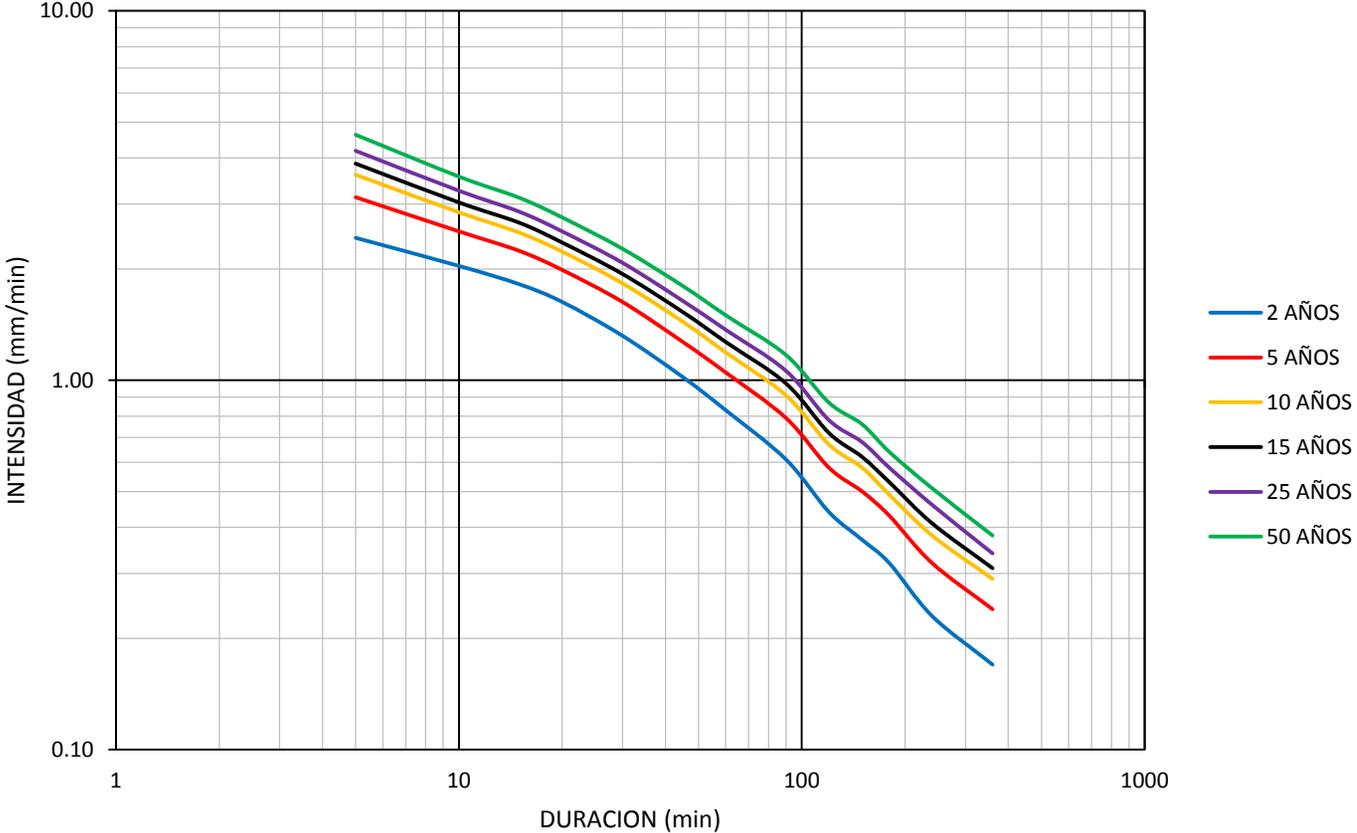


Gráfico 4.3. Curvas IDF Estación San Miguel UES M-24, escala logarítmica.
Fuente: Elaboración propia.

CURVAS INTENSIDAD - DURACION - FRECUENCIA
 ESTACION SAN MIGUEL UES M-24 PERIODO 1961-2012

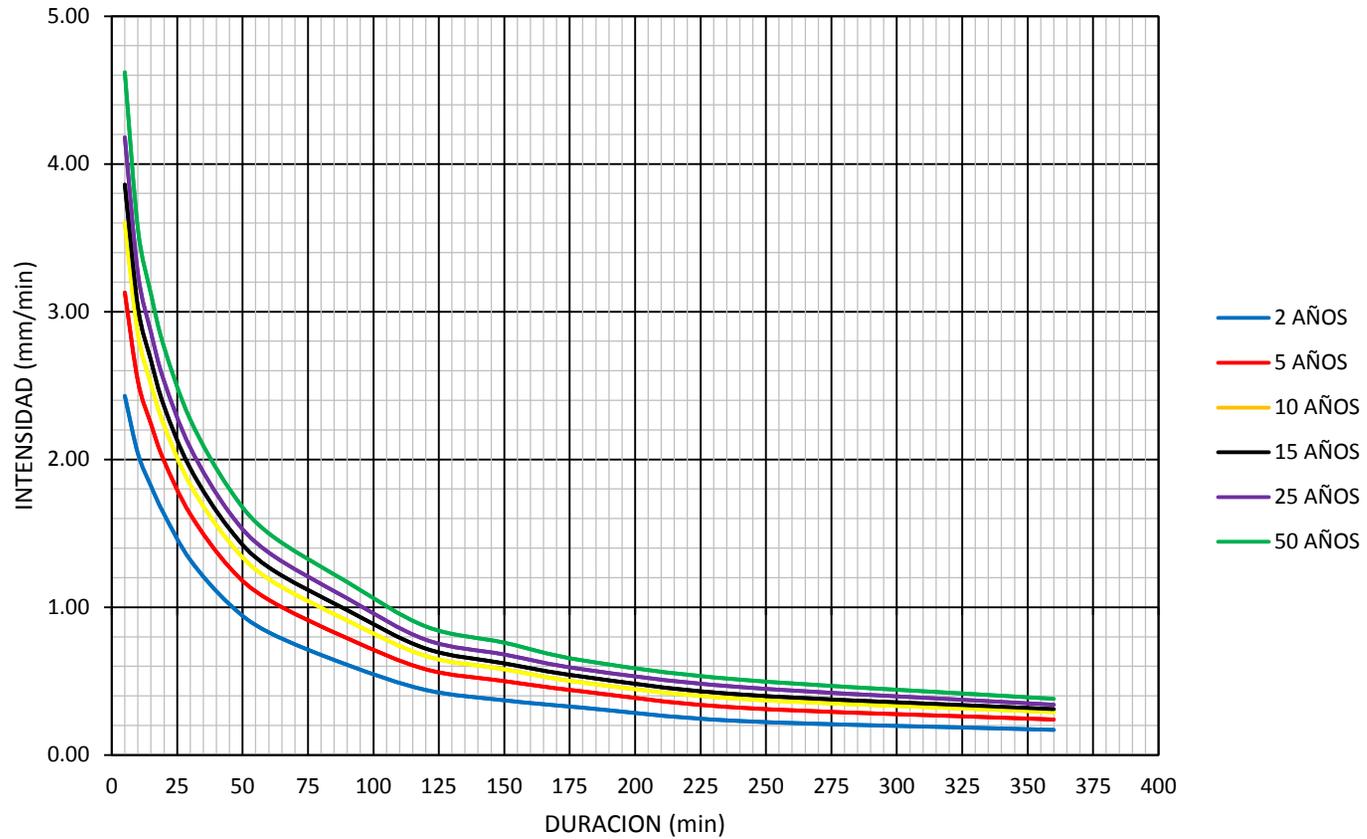


Gráfico 4.4. Curvas IDF Estación San Miguel UES M-24, escala aritmética.
 Fuente: Elaboración propia.

CURVAS INTENSIDAD - DURACION - FRECUENCIA
ESTACION SAN FRANCISCO GOTERA Z-2 PERIODO 1962-2012

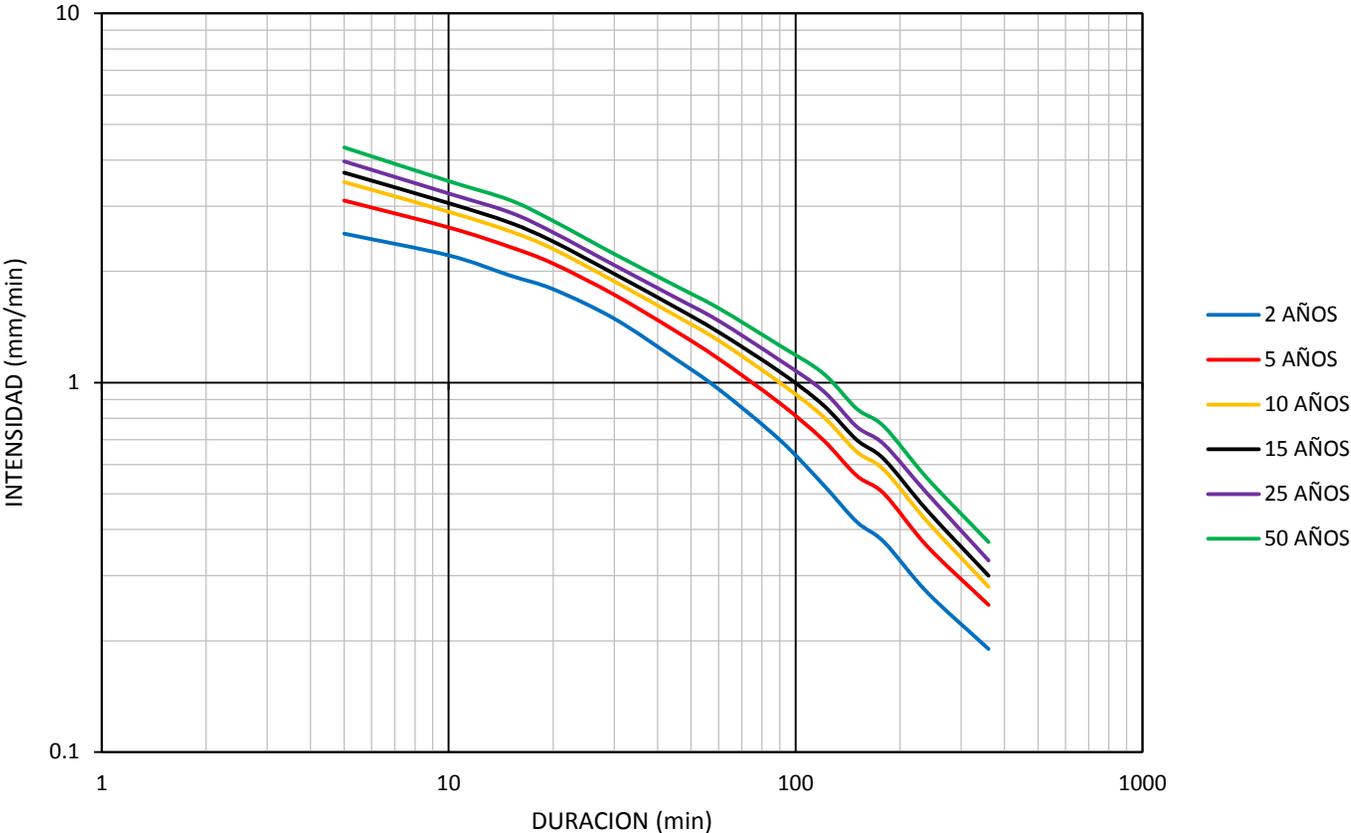


Gráfico 4.5. Curvas IDF Estación San Francisco Gotera Z-2, escala logarítmica.
Fuente: Elaboración propia.

CURVAS INTENSIDAD - DURACION - FRECUENCIA
ESTACION SAN FRANCISCO GOTERA Z-2 PERIODO 1962-2012

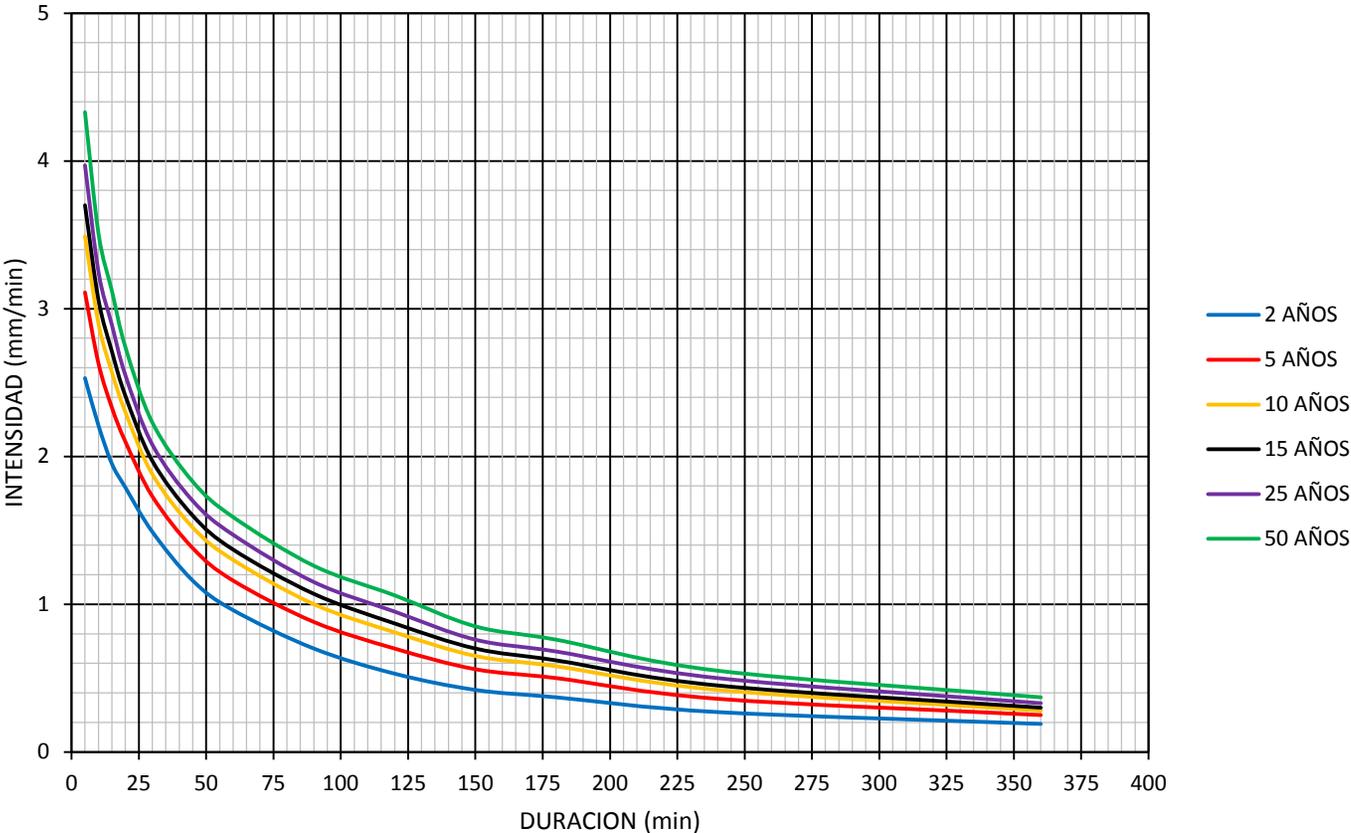


Gráfico 4.5 Curvas IDF Estación San Francisco Gotera Z-2, escala aritmética.
Fuente: Elaboración propia.

CURVAS INTENSIDAD - DURACION - FRECUENCIA
ESTACION LA UNION CORSAIN N-2 PERIODO 1970-2012

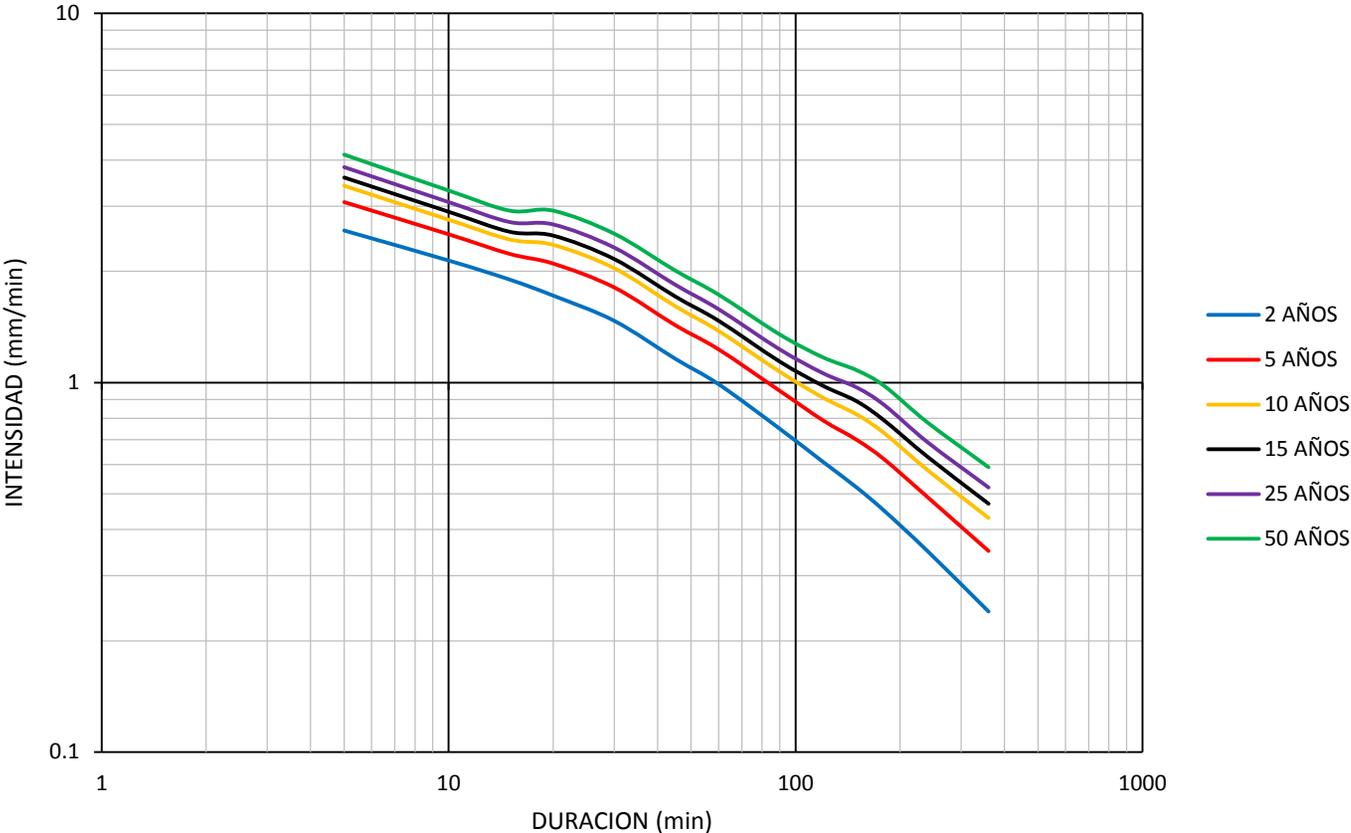


Gráfico 4.7 Curvas IDF Estación La Unión/Corsain N-2, escala logarítmica.
Fuente: Elaboración propia.

**CURVAS INTENSIDAD - DURACION - FRECUENCIA
ESTACION LA UNION/ CORSAIN N-2 PERIODO 1970-2012**

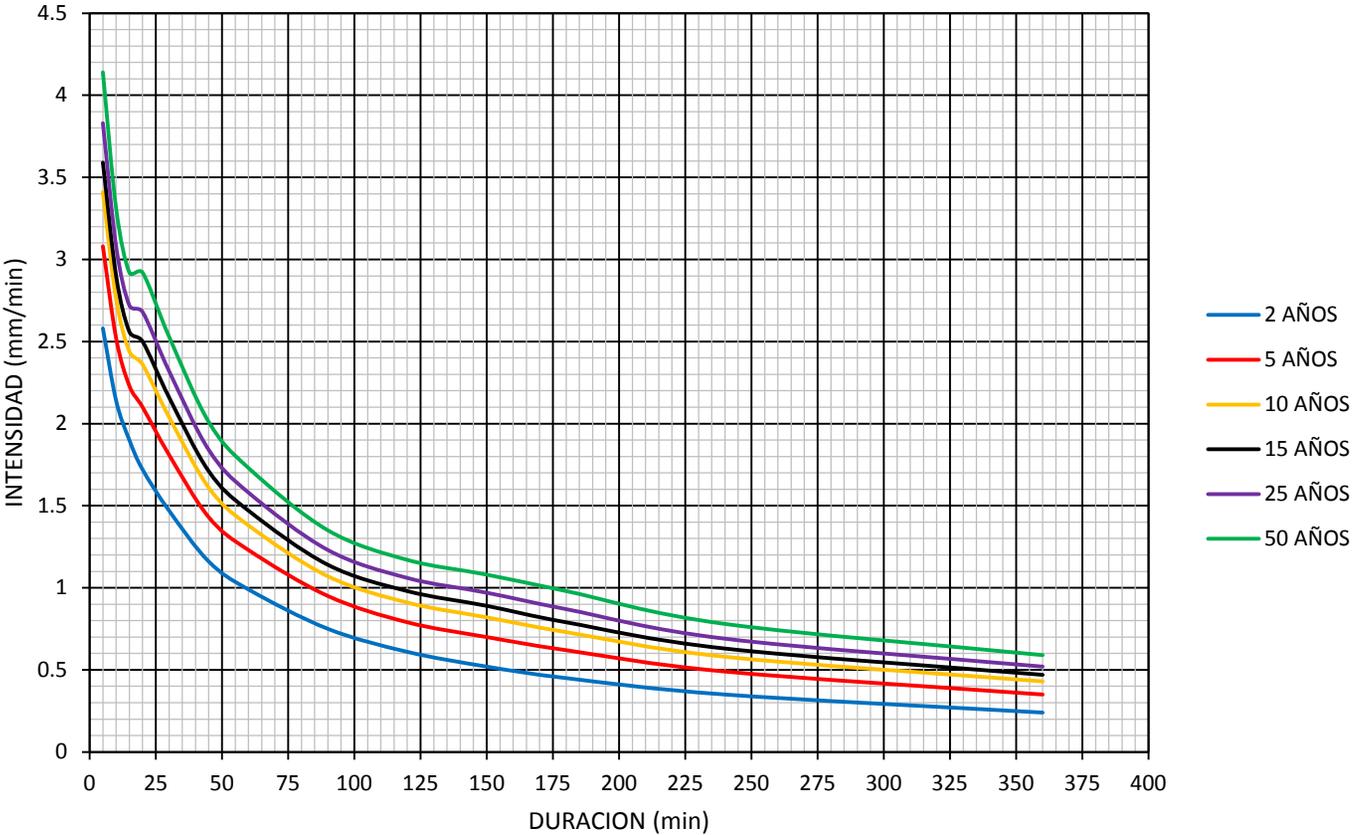


Gráfico Curvas IDF Estación La Unión/Corsain N-2, escala aritmética.
Fuente: Elaboración propia.

4.9 COMPARACIÓN, PARA CADA DURACIÓN Y PERIODO DE RETORNO DE LAS CURVAS IDF Y SU VARIACIÓN PORCENTUAL.

En las tablas 4.26, 4.27, 4.28 y 4.29, se hace una comparación de la diferencia y variación porcentual de la magnitud de las intensidades para cada periodo de retorno entre la serie anterior (véase tablas de anexos VII, VIII, IX y X) con la serie actualizada (véase tablas 4.22, 4.23, 4.24 y 4.25), la magnitud de la intensidad para distintitos periodos de retorno en la 4 estaciones meteorológicas es la disminución con respecto a la serie actualizada.

Puede observarse que para periodos de retorno de 50 años y duraciones de 5 minutos hay tendencia a la disminución en las intensidades para las estaciones de Santiago de María con porcentaje de 8.63%, San Miguel UES 6.85%, La Unión/Corsaín con porcentaje de 0.95%, sin embargo en la estación de San Francisco Gotera se ve un incremento de la intensidad de 3.34%.

Para duraciones de 10 minutos y periodo de retorno de 50 años una disminución para Santiago de María de 4.30%, San Francisco Gotera 4.10%, La Unión 2.65% y para San Miguel UES un aumento de 1.42%.

Tabla 4.26. Comparación de la variación porcentual de serie periodo 1957-1983 y serie actualizada 1957-2012. Estación Santiago de María

ESTACION SANTIAGO DE MARIA U-6								
Duración	PERIODO DE RETORNO				PERIODO DE RETORNO			
	2 AÑOS				5 AÑOS			
[minutos]	1957-1983	1957-2012	Diferencia	Porcentaje	1957-1983	1957-2012	Diferencia	Porcentaje
	[mm/min]	[mm/min]	[mm/min]	[%]	[mm/min]	[mm/min]	[mm/min]	[%]
5	2.82	2.75	-0.07	-2.48%	3.63	3.43	-0.20	-5.51%
10	2.19	2.17	-0.02	-0.91%	2.61	2.55	-0.06	-2.30%
15	1.86	1.84	-0.02	-1.08%	2.15	2.11	-0.04	-1.86%
20	1.64	1.61	-0.03	-1.83%	1.88	1.85	-0.03	-1.60%
30	1.32	1.28	-0.04	-3.03%	1.54	1.48	-0.06	-3.90%
45	1.05	0.99	-0.06	-5.71%	1.25	1.17	-0.08	-6.40%
60	0.84	0.80	-0.04	-4.76%	1.01	0.96	-0.05	-4.95%
90	0.60	0.59	-0.01	-1.67%	0.75	0.72	-0.03	-4.00%
120	0.48	0.46	-0.02	-4.17%	0.61	0.57	-0.04	-6.56%
150	0.39	0.38	-0.01	-2.56%	0.50	0.49	-0.01	-2.00%
180	0.33	0.32	-0.01	-3.03%	0.44	0.43	-0.01	-2.27%
240	0.24	0.25	0.01	4.17%	0.35	0.33	-0.02	-5.71%
360	0.16	0.17	0.01	6.25%	0.24	0.24	0.00	0.00%
Duración	10 AÑOS				15 AÑOS			
[minutos]	1957-1983	1957-2012	Diferencia	Porcentaje	1957-1983	1957-2012	Diferencia	Porcentaje
	[mm/min]	[mm/min]	[mm/min]	[%]	[mm/min]	[mm/min]	[mm/min]	[%]
5	4.16	3.88	-0.28	-6.73%	4.46	4.13	-0.33	-7.40%
10	2.88	2.79	-0.09	-3.13%	3.04	2.93	-0.11	-3.62%
15	2.35	2.29	-0.06	-2.55%	2.45	2.39	-0.06	-2.45%
20	2.03	2.00	-0.03	-1.48%	2.12	2.09	-0.03	-1.42%
30	1.68	1.60	-0.08	-4.76%	1.76	1.67	-0.09	-5.11%
45	1.39	1.29	-0.10	-7.19%	1.46	1.36	-0.10	-6.85%
60	1.12	1.07	-0.05	-4.46%	1.18	1.12	-0.06	-5.08%
90	0.84	0.80	-0.04	-4.76%	0.90	0.84	-0.06	-6.67%
120	0.69	0.63	-0.06	-8.70%	0.73	0.67	-0.06	-8.22%
150	0.58	0.55	-0.03	-5.17%	0.62	0.59	-0.03	-4.84%
180	0.52	0.49	-0.03	-5.77%	0.56	0.53	-0.03	-5.36%
240	0.41	0.38	-0.03	-7.32%	0.45	0.41	-0.04	-8.89%
360	0.29	0.29	0.00	0.00%	0.32	0.31	-0.01	-3.13%
Duración	25 AÑOS				50 AÑOS			
[minutos]	1957-1983	1957-2012	Diferencia	Porcentaje	1957-1983	1957-2012	Diferencia	Porcentaje
	[mm/min]	[mm/min]	[mm/min]	[%]	[mm/min]	[mm/min]	[mm/min]	[%]
5	4.83	4.45	-0.38	-7.87%	5.33	4.87	-0.46	-8.63%
10	3.23	3.11	-0.12	-3.72%	3.49	3.34	-0.15	-4.30%
15	2.59	2.52	-0.07	-2.70%	2.77	2.69	-0.08	-2.89%
20	2.23	2.20	-0.03	-1.35%	2.38	2.35	-0.03	-1.26%
30	1.86	1.76	-0.10	-5.38%	1.99	1.88	-0.11	-5.53%
45	1.56	1.44	-0.12	-7.69%	1.68	1.55	-0.13	-7.74%
60	1.26	1.20	-0.06	-4.76%	1.37	1.30	-0.07	-5.11%
90	0.97	0.90	-0.07	-7.22%	1.06	0.98	-0.08	-7.55%
120	0.79	0.72	-0.07	-8.86%	0.87	0.78	-0.09	-10.34%
150	0.67	0.64	-0.03	-4.48%	0.74	0.70	-0.04	-5.41%
180	0.61	0.58	-0.03	-4.92%	0.68	0.64	-0.04	-5.88%
240	0.50	0.44	-0.06	-12.00%	0.56	0.49	-0.07	-12.50%
360	0.35	0.34	-0.01	-2.86%	0.40	0.38	-0.02	-5.00%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.27. Comparación de la variación porcentual de serie periodo 1961-1984 y serie actualizada 1961-2012. Estación San Miguel UES.

ESTACION SAN MIGUEL UES M-24								
Duración	PERIODO DE RETORNO				PERIODO DE RETORNO			
	2 AÑOS				5 AÑOS			
[minutos]	1961-1983	1961-2012	Diferencia	Porcentaje	1961-1983	1961-2012	Diferencia	Porcentaje
	[mm/min]	[mm/min]	[mm/min]	[%]	[mm/min]	[mm/min]	[mm/min]	[%]
5	2.66	2.43	-0.23	-8.65%	3.40	3.13	-0.27	-7.94%
10	2.17	2.04	-0.13	-5.99%	2.60	2.53	-0.07	-2.69%
15	1.92	1.82	-0.10	-5.21%	2.30	2.24	-0.06	-2.61%
20	1.72	1.63	-0.09	-5.23%	2.04	1.99	-0.05	-2.45%
30	1.39	1.32	-0.07	-5.04%	1.63	1.63	0.00	0.00%
45	1.08	1.02	-0.06	-5.56%	1.31	1.27	-0.04	-3.05%
60	0.84	0.83	-0.01	-1.19%	1.11	1.05	-0.06	-5.41%
90	0.66	0.61	-0.05	-7.58%	0.84	0.79	-0.05	-5.95%
120	0.45	0.44	-0.01	-2.22%	0.60	0.58	-0.02	-3.33%
150	0.36	0.37	0.01	2.78%	0.50	0.50	0.00	0.00%
180	0.31	0.32	0.01	3.23%	0.44	0.43	-0.01	-2.27%
240	0.22	0.23	0.01	4.55%	0.33	0.32	-0.01	-3.03%
360	0.16	0.17	0.01	6.25%	0.23	0.24	0.01	4.35%
Duración	10 AÑOS				15 AÑOS			
[minutos]	1961-1983	1961-2012	Diferencia	Porcentaje	1961-1983	1961-2012	Diferencia	Porcentaje
	[mm/min]	[mm/min]	[mm/min]	[%]	[mm/min]	[mm/min]	[mm/min]	[%]
5	3.88	3.60	-0.28	-7.22%	4.16	3.86	-0.30	-7.21%
10	2.89	2.85	-0.04	-1.38%	3.04	3.03	-0.01	-0.33%
15	2.54	2.51	-0.03	-1.18%	2.68	2.67	-0.01	-0.37%
20	2.25	2.23	-0.02	-0.89%	2.37	2.36	-0.01	-0.42%
30	1.78	1.83	0.05	2.81%	1.87	1.94	0.07	3.74%
45	1.46	1.44	-0.02	-1.37%	1.54	1.53	-0.01	-0.65%
60	1.29	1.19	-0.10	-7.75%	1.39	1.27	-0.12	-8.63%
90	0.96	0.91	-0.05	-5.21%	1.03	0.98	-0.05	-4.85%
120	0.69	0.67	-0.02	-2.90%	0.75	0.72	-0.03	-4.00%
150	0.59	0.58	-0.01	-1.69%	0.64	0.62	-0.02	-3.13%
180	0.52	0.49	-0.03	-5.77%	0.56	0.53	-0.03	-5.36%
240	0.39	0.38	-0.01	-2.56%	0.43	0.41	-0.02	-4.65%
360	0.28	0.29	0.01	3.57%	0.30	0.31	0.01	3.33%
Duración	25 AÑOS				50 AÑOS			
[minutos]	1961-1983	1961-2012	Diferencia	Porcentaje	1961-1983	1961-2012	Diferencia	Porcentaje
	[mm/min]	[mm/min]	[mm/min]	[%]	[mm/min]	[mm/min]	[mm/min]	[%]
5	4.50	4.18	-0.32	-7.11%	4.96	4.62	-0.34	-6.85%
10	3.25	3.26	0.01	0.31%	3.51	3.56	0.05	1.42%
15	2.86	2.86	0.00	0.00%	3.09	3.12	0.03	0.97%
20	2.52	2.53	0.01	0.40%	2.71	2.76	0.05	1.85%
30	1.98	2.08	0.10	5.05%	2.13	2.27	0.14	6.57%
45	1.65	1.64	-0.01	-0.61%	1.79	1.80	0.01	0.56%
60	1.52	1.37	-0.15	-9.87%	1.69	1.50	-0.19	-11.24%
90	1.11	1.06	-0.05	-4.50%	1.22	1.17	-0.05	-4.10%
120	0.82	0.78	-0.04	-4.88%	0.91	0.87	-0.04	-4.40%
150	0.70	0.68	-0.02	-2.86%	0.79	0.76	-0.03	-3.80%
180	0.62	0.58	-0.04	-6.45%	0.70	0.64	-0.06	-8.57%
240	0.48	0.46	-0.02	-4.17%	0.54	0.51	-0.03	-5.56%
360	0.33	0.34	0.01	3.03%	0.37	0.38	0.01	2.70%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.28. Comparación de la variación porcentual de serie periodo 1962-1983 y serie actualizada 1962-2012. Estación San Francisco Gotera

ESTACION SAN FRANCISCO GOTERA Z-2								
	PERIODO DE RETORNO				PERIODO DE RETORNO			
Duración	2 AÑOS				5 AÑOS			
[minutos]	1962-1983	1962-2012	Diferencia	Porcentaje	1962-1983	1962-2012	Diferencia	Porcentaje
	[mm/min]	[mm/min]	[mm/min]	[%]	[mm/min]	[mm/min]	[mm/min]	[%]
5	2.71	2.53	-0.18	-6.64%	3.18	3.11	-0.07	-2.20%
10	2.36	2.21	-0.15	-6.36%	2.78	2.63	-0.15	-5.40%
15	2.01	1.95	-0.06	-2.99%	2.42	2.33	-0.09	-3.72%
20	1.81	1.79	-0.02	-1.10%	2.12	2.10	-0.02	-0.94%
30	1.52	1.49	-0.03	-1.97%	1.76	1.73	-0.03	-1.70%
45	1.17	1.16	-0.01	-0.85%	1.37	1.38	0.01	0.73%
60	0.94	0.96	0.02	2.13%	1.12	1.16	0.04	3.57%
90	0.69	0.70	0.01	1.45%	0.84	0.88	0.04	4.76%
120	0.50	0.53	0.03	6.00%	0.66	0.70	0.04	6.06%
150	0.41	0.42	0.01	2.44%	0.55	0.56	0.01	1.82%
180	0.36	0.37	0.01	2.78%	0.47	0.50	0.03	6.38%
240	0.26	0.27	0.01	3.85%	0.32	0.36	0.04	12.50%
360	0.18	0.19	0.01	5.56%	0.24	0.25	0.01	4.17%
Duración	10 AÑOS				15 AÑOS			
[minutos]	1962-1983	1962-2012	Diferencia	Porcentaje	1962-1983	1962-2012	Diferencia	Porcentaje
	[mm/min]	[mm/min]	[mm/min]	[%]	[mm/min]	[mm/min]	[mm/min]	[%]
5	3.50	3.49	-0.01	-0.29%	3.67	3.70	0.03	0.82%
10	3.05	2.90	-0.15	-4.92%	3.21	3.06	-0.15	-4.67%
15	2.69	2.57	-0.12	-4.46%	2.84	2.71	-0.13	-4.58%
20	2.32	2.30	-0.02	-0.86%	2.43	2.41	-0.02	-0.82%
30	1.91	1.88	-0.03	-1.57%	2.00	1.97	-0.03	-1.50%
45	1.51	1.52	0.01	0.66%	1.58	1.60	0.02	1.27%
60	1.24	1.30	0.06	4.84%	1.31	1.37	0.06	4.58%
90	0.93	1.00	0.07	7.53%	0.99	1.07	0.08	8.08%
120	0.77	0.81	0.04	5.19%	0.82	0.87	0.05	6.10%
150	0.64	0.65	0.01	1.56%	0.69	0.70	0.01	1.45%
180	0.55	0.58	0.03	5.45%	0.59	0.62	0.03	5.08%
240	0.35	0.42	0.07	20.00%	0.37	0.45	0.08	21.62%
360	0.27	0.28	0.01	3.70%	0.29	0.30	0.01	3.45%
Duración	25 AÑOS				50 AÑOS			
[minutos]	1962-1983	1962-2012	Diferencia	Porcentaje	1962-1983	1962-2012	Diferencia	Porcentaje
	[mm/min]	[mm/min]	[mm/min]	[%]	[mm/min]	[mm/min]	[mm/min]	[%]
5	3.89	3.97	0.08	2.06%	4.19	4.33	0.14	3.34%
10	3.40	3.25	-0.15	-4.41%	3.66	3.51	-0.15	-4.10%
15	3.03	2.89	-0.14	-4.62%	3.28	3.12	-0.16	-4.88%
20	2.57	2.55	-0.02	-0.78%	2.76	2.74	-0.02	-0.72%
30	2.11	2.08	-0.03	-1.42%	2.26	2.23	-0.03	-1.33%
45	1.68	1.70	0.02	1.19%	1.80	1.83	0.03	1.67%
60	1.39	1.47	0.08	5.76%	1.50	1.59	0.09	6.00%
90	1.06	1.15	0.09	8.49%	1.15	1.26	0.11	9.57%
120	0.90	0.95	0.05	5.56%	1.00	1.06	0.06	6.00%
150	0.75	0.76	0.01	1.33%	0.84	0.85	0.01	1.19%
180	0.64	0.68	0.04	6.25%	0.71	0.76	0.05	7.04%
240	0.40	0.50	0.10	25.00%	0.44	0.55	0.11	25.00%
360	0.32	0.33	0.01	3.13%	0.36	0.37	0.01	2.78%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.29. Comparación de la variación porcentual de serie periodo 1970-1983 y serie actualizada 1970-2012. Estación La Unión/Corsain

ESTACION LA UNION N-2								
Duración	PERIODO DE RETORNO				PERIODO DE RETORNO			
	2 AÑOS				5 AÑOS			
[minutos]	1970-1983	1970-2012	Diferencia	Porcentaje	1970-1983	1970-2012	Diferencia	Porcentaje
	[mm/min]	[mm/min]	[mm/min]	[%]	[mm/min]	[mm/min]	[mm/min]	[%]
5	2.73	2.58	-0.15	-5.49%	3.20	3.08	-0.12	-3.75%
10	2.23	2.14	-0.09	-4.04%	2.61	2.52	-0.09	-3.45%
15	1.95	1.90	-0.05	-2.56%	2.28	2.23	-0.05	-2.19%
20	1.76	1.72	-0.04	-2.27%	2.17	2.10	-0.07	-3.23%
30	1.45	1.47	0.02	1.38%	1.76	1.81	0.05	2.84%
45	1.15	1.16	0.01	0.87%	1.39	1.43	0.04	2.88%
60	0.98	0.99	0.01	1.02%	1.16	1.23	0.07	6.03%
90	0.79	0.75	-0.04	-5.06%	0.96	0.95	-0.01	-1.04%
120	0.62	0.61	-0.01	-1.61%	0.82	0.79	-0.03	-3.66%
150	0.53	0.52	-0.01	-1.89%	0.71	0.70	-0.01	-1.41%
180	0.45	0.45	0.00	0.00%	0.62	0.62	0.00	0.00%
240	0.33	0.35	0.02	6.06%	0.47	0.49	0.02	4.26%
360	0.22	0.24	0.02	9.09%	0.33	0.35	0.02	6.06%
Duración	10 AÑOS				15 AÑOS			
[minutos]	1970-1983	1970-2012	Diferencia	Porcentaje	1970-1983	1970-2012	Diferencia	Porcentaje
	[mm/min]	[mm/min]	[mm/min]	[%]	[mm/min]	[mm/min]	[mm/min]	[%]
5	3.50	3.41	-0.09	-2.57%	3.67	3.59	-0.08	-2.18%
10	2.85	2.76	-0.09	-3.16%	2.99	2.90	-0.09	-3.01%
15	2.49	2.44	-0.05	-2.01%	2.61	2.56	-0.05	-1.92%
20	2.44	2.36	-0.08	-3.28%	2.59	2.50	-0.09	-3.47%
30	1.96	2.04	0.08	4.08%	2.07	2.16	0.09	4.35%
45	1.54	1.61	0.07	4.55%	1.63	1.71	0.08	4.91%
60	1.28	1.38	0.10	7.81%	1.35	1.47	0.12	8.89%
90	1.07	1.07	0.00	0.00%	1.13	1.14	0.01	0.88%
120	0.94	0.91	-0.03	-3.19%	1.01	0.98	-0.03	-2.97%
150	0.83	0.82	-0.01	-1.20%	0.90	0.89	-0.01	-1.11%
180	0.73	0.73	0.00	0.00%	0.79	0.79	0.00	0.00%
240	0.56	0.58	0.02	3.57%	0.61	0.63	0.02	3.28%
360	0.39	0.43	0.04	10.26%	0.43	0.47	0.04	9.30%
Duración	25 AÑOS				50 AÑOS			
[minutos]	1970-1983	1970-2012	Diferencia	Porcentaje	1970-1983	1970-2012	Diferencia	Porcentaje
	[mm/min]	[mm/min]	[mm/min]	[%]	[mm/min]	[mm/min]	[mm/min]	[%]
5	3.89	3.83	-0.06	-1.54%	4.18	4.14	-0.04	-0.96%
10	3.17	3.08	-0.09	-2.84%	3.40	3.31	-0.09	-2.65%
15	2.77	2.72	-0.05	-1.81%	2.97	2.92	-0.05	-1.68%
20	2.78	2.68	-0.10	-3.60%	3.03	2.92	-0.11	-3.63%
30	2.21	2.32	0.11	4.98%	2.40	2.53	0.13	5.42%
45	1.74	1.84	0.10	5.75%	1.89	2.01	0.12	6.35%
60	1.43	1.58	0.15	10.49%	1.54	1.73	0.19	12.34%
90	1.21	1.23	0.02	1.65%	1.32	1.35	0.03	2.27%
120	1.10	1.06	-0.04	-3.64%	1.22	1.17	-0.05	-4.10%
150	0.98	0.97	-0.01	-1.02%	1.09	1.08	-0.01	-0.92%
180	0.87	0.87	0.00	0.00%	0.98	0.98	0.00	0.00%
240	0.67	0.69	0.02	2.99%	0.76	0.78	0.02	2.63%
360	0.48	0.52	0.04	8.33%	0.54	0.59	0.05	9.26%

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en la actualización de las curvas – intensidad – duración- frecuencia (IDF), en las 4 estaciones meteorológicas de la zona oriental del El Salvador, es posible establecer las siguientes conclusiones:

- ✓ La distribución de Gumbel se ajustó satisfactoriamente a la nueva serie de máximos anuales, validado por los resultados de las pruebas de bondad de ajuste.
- ✓ Los saltos de la gráfica de la curva de la Estación de La Unión/ Corsain se deben a la características propias de los eventos analizados que puede observarse en los valores de la desviación estándar que para duraciones mayores la intensidad debería disminuir.
- ✓ Que según la comparación de la variación porcentual de la serie de periodos anteriores con la serie actualizada muestra variaciones no superan el 10% se puede concluir que las series de intensidades de máximos anuales calculadas en la presente investigación reducen la incertidumbre del diseño ya que cuenta con una mayor cantidad de datos.

- ✓ Que la falta de registros en algunos años en la estación de La Unión/Corsaín no influyo en la estadística de la serie dato que es demostrado por la pruebas de bondad de ajuste.

5.2 RECOMENDACIONES.

Para la realización de futuras investigaciones las recomendaciones son las siguientes:

- ✓ Se recomienda repetir el estudio en el tiempo, en un plazo no menor a 10 años, para asegurar un modelo más confiable en los registros de lluvias.
- ✓ Para el diseño de curvas intensidad duración frecuencia, con valores de intensidades máximas de lluvia es conveniente el empleo de la función de distribución tipo I o de Gumbel.
- ✓ Es necesario que la institución encargada de la red de estaciones meteorológicas, realice periódicamente actividades de: operación, mantenimiento y calibración del instrumental utilizado con el fin de garantizar la adquisición de datos representativos, completos y confiables.
- ✓ Llevar a cabo más estudios sobre curvas intensidad duración frecuencia empleando otras distribuciones de probabilidad y modelos matemáticos.

- ✓ Finalmente, sería interesante ampliar el estudio a otras variables como la temperatura, presión, radiación y otras que den cuenta de posibles cambios climáticos en el país.

GLOSARIO

C

Cambio Climático. - Variación estadísticamente significativa, ya sea de las condiciones climáticas medias o de su variabilidad, que se mantiene durante un período prolongado (generalmente durante decenios o por más tiempo). El cambio climático puede deberse a procesos naturales internos o a un forzamiento externo, o a cambios antropógenos duraderos en la composición de la atmósfera o en el uso de la tierra.

Caudal.- Volumen de agua que fluye a través de una sección transversal de un río o canal en una unidad de tiempo.

Crecida. - Elevación, generalmente rápida, del nivel de agua de un curso, hasta un máximo a partir del cual dicho nivel desciende a una velocidad menor.

Control de crecidas.- Protección de zonas de terreno contra caudales extraordinarios para reducir al mínimo los daños por inundación.

Curva intensidad – duración – frecuencia.- Curva que muestra la probabilidad de diversas intensidades de lluvia en períodos cortos para diversas duraciones de precipitación en un determinado lugar. A menudo se trata de un conjunto de curvas, cada una indicando una determinada frecuencia de ocurrencia o un período de retorno expresado en años.

D

Distribución de probabilidad.- Distribución que expresa la probabilidad de un valor de una variable en función de dicha variable.

Distribución de Valores Extremos.- Ley de distribución de probabilidad de los máximos o mínimos de una muestra.

Distribución de Gumbel.- Distribución de probabilidad doblemente exponencial utilizada para los valores extremos de una variable aleatoria.

Duración.- Es el tiempo comprendido entre el comienzo y el final de la tormenta considerado como evento.

E

Estación meteorológica.- Lugar donde se realizan mediciones y observaciones puntuales de los diferentes parámetros meteorológicos, utilizando los instrumentos adecuados para así poder establecer el comportamiento atmosférico.

Evento Extremo.- Evento que es raro en un determinado lugar y estación (un evento extremo puede salir del percentil 10 o 90). Los extremos varían de un lugar a otro. Un extremo en un área específica puede ser común en otra. Los eventos extremos no pueden ser atribuidos a ser causados por el cambio climático, ya que estos se pueden dar de manera natural, sin embargo se espera que el cambio climático pueda incrementar la ocurrencia de eventos extremos. Ejemplos incluyen inundaciones, sequías, tormentas tropicales y olas de calores.

F

Frecuencia.- Es la repetición de eventos de características similares en intensidad y duración.

I

Intensidad.- Tasa temporal de precipitación, es decir, la profundidad por unidad de tiempo

O

Obras Hidráulicas.- Instalaciones técnicas construidas para la explotación y utilización de los recursos hídricos o para la protección contra los efectos perjudiciales del agua.

P

Periodo de Retorno.- El que se define como el número de años promedio que transcurre para que un evento sea igualado o excedido.

Precipitación.- En meteorología, la precipitación es cualquier forma de agua que cae del cielo. Esto incluye lluvia, nieve, neblina y rocío.

Probabilidad de excedencia.- Probabilidad de que un cierto valor a asumir por la variable aleatoria sea superado.

Probabilidad de no excedencia.- Probabilidad de que un evento no ocurra en un año cualquiera

S

Sistemas de Alerta Temprana.- Son un conjunto de procedimientos e instrumentos, a través de los cuales se monitorea una amenaza o evento adverso (*natural o antrópico*) de carácter previsible, se recolectan y procesan datos e información, ofreciendo pronósticos o predicciones temporales sobre su acción y posibles efectos.

Serie de máximos anuales.- Es aquella serie que está conformada por cada uno de los valores máximos de precipitación observados en cada uno de los años de registro.

T

Tormenta de Diseño.-

- 1) Precipitación, ya sea observada o hipotética, que se adopta como base para el proyecto de una construcción hidráulica.
- 2) Cuantía y distribución de la precipitación, adoptada en una cuenca utilizada para la determinación de la crecida de diseño.

V

Variable Aleatoria.- Cantidad con una probabilidad o una frecuencia relativa dada que puede tomar cualquiera de los valores de un conjunto determinado

BIBLIOGRAFIA.

ÁLVAREZ, M. (2000). **Análisis Regional de la Frecuencia aplicado a las precipitaciones máximas y avenidas.** (Tesis Doctoral). Universidad de Santiago de Compostela. Galicia. España

APARICIO MIJARES, F. (1992). *Fundamentos de Hidrología de Superficie.* Balderas, México: Editorial Limusa

ARAYA, R. (Agosto 2010). *Pluviógrafo de Sifón.* [Archivo de video] recuperado de: <http://www.youtube.com/watch?v=zCOxAI0erhA>

BENDIENT, P.; HUBER, W. (2002). *Hydrology and floodplain analysis.* 3a. ed. New York. USA: Adisson-Wesley Pub. Co.

CHOW, V.; MAIDMENT, D.; MAYS, L. 1994. *Manual de Hidrología Aplicada.* Santafé de Bogotá, Colombia: Mc Graw-Hill.

DE FRAJA, E. (1993). *Saneamiento de la cuenca hidrológica del río Bío-Bío y del área adyacente.* Estudio de prefactibilidad. Universidad de Concepción. Concepción. Chile.

ESCALANTE, C.; REYES, L. (2002). *Técnicas estadísticas en hidrología*. Mexico: UNAM.

HERNANDEZ SAMPIERI, R., FERNANDEZ COLLADO, C. Y BAPTISTA LUCIO, P. (2010). *Metodología de la Investigación*. México DF: McGraw-Hill /Interamericana Editores.

LINSLEY, R.; KOHLER, M.; PAULHUS, P. (1988). *Hidrología para Ingenieros*. Segunda Edición. D.F. México: Mc Graw-Hill. Latinoamericana. 386 p.

LÓPEZ CADENAS, F. (1998). *Restauración Hidrológica Forestal de Cuencas y Control de la Erosión*. Tragsa, Tragsatec y Ministerio de Medio Ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España.

MAIDMENT, D. (1993). *Handbook of Hydrology*. New York. USA: Editorial Mc Graw-Hill.

MINTEGUI, J.; LOPEZ, F. (1990). *La ordenación agrohidrológica en la Planificación*. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. Vitoria – Gasteiz. España. 306p

MINTEGUI, J; ROBREDO, J. (1993). *Métodos para la estimación de los efectos torrenciales en una cuenca hidrográfica*. Editorial Prentice – Hall. Madrid, España. 88p.

MONSALVE, G. 1999. *Hidrología en la Ingeniería*. Segunda Edición. Editorial Alfa Omega

PIZARRO, R.; NOVOA, O. (1986). Instructivos Técnicos, *Elementos Técnicos de Hidrología*. Corporación Nacional Forestal (CONAF). La Serena. Chile. 56 p.

ROMAN, L. (2003). *Análisis comparativo de las curvas intensidad duración frecuencia (curvas IDF) en cinco estaciones pluviográficas de la Región Metropolitana*. Tesis para optar al título de Ingeniero Forestal. Universidad de Talca. Talca. Chile.

ULRIKSEN, P.; PARADA, M.; ACEITUNO, P. 1979. *Perspectivas de Desarrollo de los recursos de la VII Región*. Instituto Nacional de Investigación de Recursos Naturales. Iren- Corfo, para el Gobierno de la Región de Maule. Santiago. Chile.

VISSMAN, W.; LEWIS, G. (2003). *Introduction to Hydrology*. Fifth Edition. New Jersey, USA: 612 p.

VILLÓN, M. (2004). *Hidrología*. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

ANEXOS

ANEXO I: TABLA DE VALORES CRITICOS TEST KOLMOGOROV-SMIRNOV

n	Test de Kolmogorov-Smirnov							
	Nivel de significación α							
	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.005	0.002	0.001
1	0.90000	0.95000	0.97500	0.99000	0.99500	0.99750	0.99900	0.99950
2	0.68337	0.77639	0.84189	0.90000	0.92929	0.95000	0.96838	0.97764
3	0.56481	0.63604	0.70760	0.78456	0.82900	0.86428	0.90000	0.92065
4	0.49265	0.56522	0.62394	0.68887	0.73424	0.77639	0.82217	0.85047
5	0.44698	0.50945	0.56328	0.62718	0.66853	0.70543	0.75000	0.78137
6	0.41037	0.46799	0.51926	0.57741	0.61661	0.65287	0.69571	0.72479
7	0.38148	0.43607	0.48342	0.53844	0.57581	0.60975	0.65071	0.67930
8	0.35831	0.40962	0.45427	0.50654	0.54179	0.57429	0.61368	0.64098
9	0.33910	0.38746	0.43001	0.47960	0.51332	0.54443	0.58210	0.60846
10	0.32260	0.36866	0.40925	0.45562	0.48893	0.51872	0.55500	0.58042
11	0.30829	0.35242	0.39122	0.43670	0.46770	0.49539	0.53135	0.55588
12	0.29577	0.33815	0.37543	0.41918	0.44905	0.47672	0.51047	0.53422
13	0.28470	0.32549	0.36143	0.40362	0.43247	0.45921	0.49189	0.51490
14	0.27481	0.31417	0.34890	0.38970	0.41762	0.44352	0.47520	0.49753
15	0.26589	0.30397	0.33750	0.37713	0.40420	0.42934	0.45611	0.48182
16	0.25778	0.29472	0.32733	0.36571	0.39201	0.41644	0.44637	0.46750
17	0.25039	0.28627	0.31796	0.35528	0.38086	0.40464	0.43380	0.45540
18	0.24360	0.27851	0.30936	0.34569	0.37062	0.39380	0.42224	0.44234
19	0.23735	0.27136	0.30143	0.33685	0.36117	0.38379	0.41156	0.43119
20	0.23156	0.26473	0.29408	0.32866	0.35241	0.37451	0.40165	0.42085
21	0.22517	0.25858	0.28724	0.32104	0.34426	0.36588	0.39243	0.41122
22	0.22115	0.25283	0.28087	0.31394	0.33666	0.35782	0.38382	0.40223
23	0.21646	0.24746	0.27491	0.30728	0.32954	0.35027	0.37575	0.39380
24	0.21205	0.24242	0.26931	0.30104	0.32286	0.34318	0.36787	0.38588
25	0.20790	0.23768	0.26404	0.29518	0.31657	0.33651	0.36104	0.37743
26	0.20399	0.23320	0.25908	0.28962	0.30963	0.33022	0.35431	0.37139
27	0.20030	0.22898	0.25438	0.28438	0.30502	0.32425	0.34794	0.36473
28	0.19680	0.22497	0.24993	0.27942	0.29971	0.31862	0.34190	0.35842
29	0.19348	0.22117	0.24571	0.27471	0.29466	0.31327	0.33617	0.35242
30	0.19032	0.21756	0.24170	0.27023	0.28986	0.30818	0.33072	0.34672
31	0.18732	0.21412	0.23788	0.26596	0.28529	0.30333	0.32553	0.34129
32	0.18445	0.21085	0.23424	0.26189	0.28094	0.29870	0.32058	0.33611
33	0.18171	0.20771	0.23076	0.25801	0.27577	0.29428	0.31584	0.33115
34	0.17909	0.21472	0.22743	0.25429	0.27271	0.29005	0.31131	0.32641
35	0.17659	0.20185	0.22425	0.25073	0.26897	0.28600	0.30597	0.32187
36	0.17418	0.19910	0.22119	0.24732	0.26532	0.28211	0.30281	0.31751
37	0.17188	0.19646	0.21826	0.24404	0.26180	0.27838	0.29882	0.31333
38	0.16966	0.19392	0.21544	0.24089	0.25843	0.27483	0.29498	0.30931
39	0.16753	0.19148	0.21273	0.23785	0.25518	0.27135	0.29125	0.30544
40	0.16547	0.18913	0.21012	0.23494	0.25205	0.26803	0.28772	0.30171
41	0.16349	0.18687	0.20760	0.23213	0.24904	0.26482	0.28429	0.29811
42	0.16158	0.18468	0.20517	0.22941	0.24613	0.26173	0.28097	0.29465
43	0.15974	0.18257	0.20283	0.22679	0.24332	0.25875	0.27778	0.29130
44	0.15795	0.18051	0.20056	0.22426	0.24060	0.25587	0.27468	0.28806
45	0.15623	0.17856	0.19837	0.22181	0.23798	0.25308	0.27169	0.28493
46	0.15457	0.17665	0.19625	0.21944	0.23544	0.25038	0.26880	0.28190
47	0.15295	0.17481	0.19420	0.21715	0.23298	0.24776	0.26600	0.27896
48	0.15139	0.17301	0.19221	0.21493	0.23059	0.24523	0.26328	0.27611
49	0.14987	0.17128	0.19028	0.21281	0.22832	0.24281	0.26069	0.27339
50	0.14840	0.16959	0.18841	0.21068	0.22604	0.24039	0.25809	0.27067
n>50	1.07	1.22	1.36	1.52	1.63	1.73	1.85	1.95
	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}

**ANEXO II : FUNCIONES DE DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD
UTILIZADAS PARA LA DETERMINACION DE CURVAS IDF.**

Las variables hidrológicas, entre ellas, las intensidades máximas de precipitación, pueden ser descritas por diversas distribuciones de probabilidad, tales como Valor extremo generalizada (GEV), Valor extremo tipo I o Gumbel, Log-normal, Pearson III, etc.

Función de Distribución de Valor Extremo Generalizada:

La función de Valor Extremo Generalizada (GEV por sus siglas en ingles), se encuentra definida por la siguiente expresión:

$$F(x) = \exp \left[- \left(1 - k \frac{x - \mu}{\alpha} \right)^{\frac{1}{k}} \right]$$

donde k , μ y α son parámetros que deben determinarse.

Esta función posee tres limitantes:

- a) Para $k=0$, la distribución GEV se transforma en la Distribución de Valor Extremo tipo I conocida generalmente como Gumbel.
- b) Para $k<0$, la distribución GEV se transforma en la distribución de Valor Extremo Tipo II.
- c) Para $k>0$, la distribución GEV se transforma en la distribución de Valor Extremo Tipo III.

Función de distribución de Gumbel o tipo I:

Esta función posee una adecuada capacidad de ajuste a valores máximos de intensidades de precipitación, y está definida mediante la siguiente expresión:

$$F(x) = e^{-e^{-\left(\frac{x-\mu}{\alpha}\right)}} \text{ Para } -\infty \leq x \leq \infty \text{ Ec. 3.1}$$

Donde:

χ : Representa el valor asumir por la variable aleatoria

μ, α : Parámetros a estimar en función de la muestra.

e : Base de logaritmos neperianos.

Los parámetros de la función de una muestra de tamaño finito tienden a los siguientes valores, en base a la media aritmética y a la desviación estándar de la muestra:

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} S \quad \mu = \bar{x} - 0.5772 \times S$$

Función de distribución Log- Normal:

Esta distribución tiene la desventaja sobre la distribución normal de que está limitada a ($X > 0$) y también que la transformación Log tiende a reducir la asimetría positiva comúnmente encontrada en la información hidrológica; debido a que al tomar los logaritmos, se reduce una proporción mayor de los números grandes en relación a los

pequeños (Chow et. al., 1994). Presenta la siguiente función de distribución de probabilidad:

$$f(x) = \frac{1}{2\pi x(\beta)} \int_0^x e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \alpha}{\beta}\right)^2} dx$$

Donde los parámetros de la función son α y β , que son la media y la desviación estándar de los logaritmos de la variable aleatoria, y están definidos como sigue:

$$\alpha = \sum_{i=1}^n \frac{\ln x_i}{n} \quad \beta = \left[\sum_{i=1}^n \frac{(\ln x_i - \alpha)^2}{n} \right]^{1/2}$$

Donde:

X : Representa el valor a asumir por la variable aleatoria

α, β : Parámetros

e : Constante de Neper.

En el mismo caso que la distribución normal, se asigna z como una variable estandarizada:

$$z = \frac{\ln x - \alpha}{\beta}$$

Función de distribución Pearson Tipo III:

Esta función fue aplicada por primera vez en la hidrología por Foster (1924), para poder describir la probabilidad de caudales máximos anuales. Cuando la información es

muy asimétrica positivamente, se utiliza una transformación Log para reducir su asimetría, que se presenta de la siguiente forma (Chow et. al., 1994):

$$F(x) = \frac{1}{2\Gamma(\beta)} \int_0^x e^{-\left(\frac{x-\delta}{\delta}\right)\left(\frac{x-\delta}{\delta}\right)} dx$$

Donde los parámetros de la distribución pueden ser estimados en función del promedio \bar{X} y la desviación estándar S de la muestra, por medio de las siguientes expresiones:

$$\alpha = \frac{S}{\sqrt{\beta}} \quad \beta = \left(\frac{2}{\gamma}\right)^2 \quad ; \quad \delta = \bar{x} - \alpha\beta \quad ; \quad \gamma = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^3}{S^3} / n$$

donde:

γ : Coeficiente de Sesgo.

e : Constante de Neper.

α, β, δ : Parámetros

S : Desviación Típica.

\bar{x} : Media Aritmética.

Asimismo, la variable estandarizada y se presenta a continuación:

$$y = \frac{x - \delta}{a}$$

Posteriormente, el ajuste se realiza a través de la tabla chi-cuadrado, donde:

$$x^2 = 2y \quad ; \quad \mu = 2\beta$$

por lo tanto, el valor que asume la variable aleatoria x a partir de lo anteriormente señalado, se define como:

$$x = ya + \delta$$

y la probabilidad es obtenida a través de los valores presentes en la tabla de percentiles de la distribución χ^2 , con n grados de libertad.

**ANEXO V: INTENSIDADES MAXIMAS ANUALES 1962-1983.
SAN FRANCISCO GOTERA Z-2.**



**Dirección General del Observatorio Ambiental
Servicio Meteorológico Nacional
Centro de Información y Agrometeorología**

**INTENSIDAD DE PRECIPITACION MAXIMA ANUAL (ABSOLUTA)
En mm/minuto para diferentes períodos.**

ESTACION: SAN FRANCISCO GOTERA INDICE: Z- 2
LATITUD: 13° 41.8'
LONGITUD: 88° 06.4'
ELEVACION: 250 m.s.n.m.

AÑO	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180	240	360
1962	2.80	2.60	2.33	2.10	1.60	1.19	0.93	0.78	0.66	0.47	0.40	0.31	0.21
1963	2.88	2.69	2.31	2.08	1.80	1.63	1.42	1.17	1.08	0.88	0.74	0.18	0.07
1964	2.56	2.05	1.81	1.76	1.47	1.11	0.86	0.58	0.46	0.26	0.23	0.20	0.12
1965	3.16	2.26	2.06	1.89	1.61	1.23	1.00	0.77	0.48	0.40	0.34	0.26	0.06
1966	3.40	3.14	2.63	2.14	1.52	1.02	0.84	0.61	0.53	0.51	0.41	0.21	0.18
1967	3.04	2.22	1.95	1.76	1.44	1.12	0.97	0.81	0.43	0.27	0.24	0.19	0.13
1968	2.68	2.59	2.43	2.32	1.92	1.33	0.84	0.67	0.27	0.22	0.19	0.16	0.08
1969	3.80	3.80	2.95	2.49	2.14	1.68	1.45	1.00	0.76	0.63	0.53	0.41	0.28
1970	3.32	2.41	2.00	2.00	1.95	1.44	1.10	0.75	0.40	0.33	0.28	0.22	0.19
1971	1.98	1.96	1.67	1.50	1.33	0.97	0.97	0.77	0.60	0.50	0.45	0.33	0.23
1972	2.01	1.96	1.17	1.12	1.00	0.90	0.76	0.53	0.40	0.34	0.29	0.22	0.17
1973	3.36	2.57	2.43	2.05	1.61	1.33	1.13	0.85	0.67	0.56	0.49	0.38	0.28
1974	2.00	1.96	1.96	1.75	1.31	0.95	0.71	0.48	0.36	0.28	0.30	0.28	0.20
1975	2.80	1.90	1.57	1.45	1.23	0.96	0.77	0.62	0.48	0.39	0.33	0.26	0.18
1976	2.58	2.39	1.96	1.87	1.60	1.28	1.06	0.73	0.55	0.44	0.40	0.32	0.21
1977	3.22	2.82	2.82	1.88	1.55	1.08	0.83	0.62	0.41	0.34	0.29	0.22	0.20
1978	3.24	3.09	2.71	2.52	1.87	1.55	1.22	0.83	0.63	0.50	0.42	0.32	0.19
1979	2.00	2.00	1.87	1.60	1.50	1.34	1.16	0.81	0.65	0.55	0.49	0.29	0.24
1980	2.60	2.20	1.93	1.78	1.40	1.01	0.81	0.58	0.50	0.60	0.52	0.29	0.29
1981	2.06	2.06	1.90	1.82	1.58	1.09	0.67	0.45	0.34	0.28	0.19	0.21	0.16
1982	3.04	2.33	1.40	1.36	1.23	1.03	0.92	0.69	0.56	0.47	0.47	0.39	0.28

Fuente: SMN/CIAGRO

ANEXO VI: INTENSIDADES MAXIMAS ANUALES 1970-1983

LA UNION N-15



Dirección General del Observatorio Ambiental
Servicio Meteorológico Nacional
Centro de Información y Agrometeorología

INTENSIDAD DE PRECIPITACION MAXIMA ANUAL (ABSOLUTA) En mm/minuto para diferentes períodos.

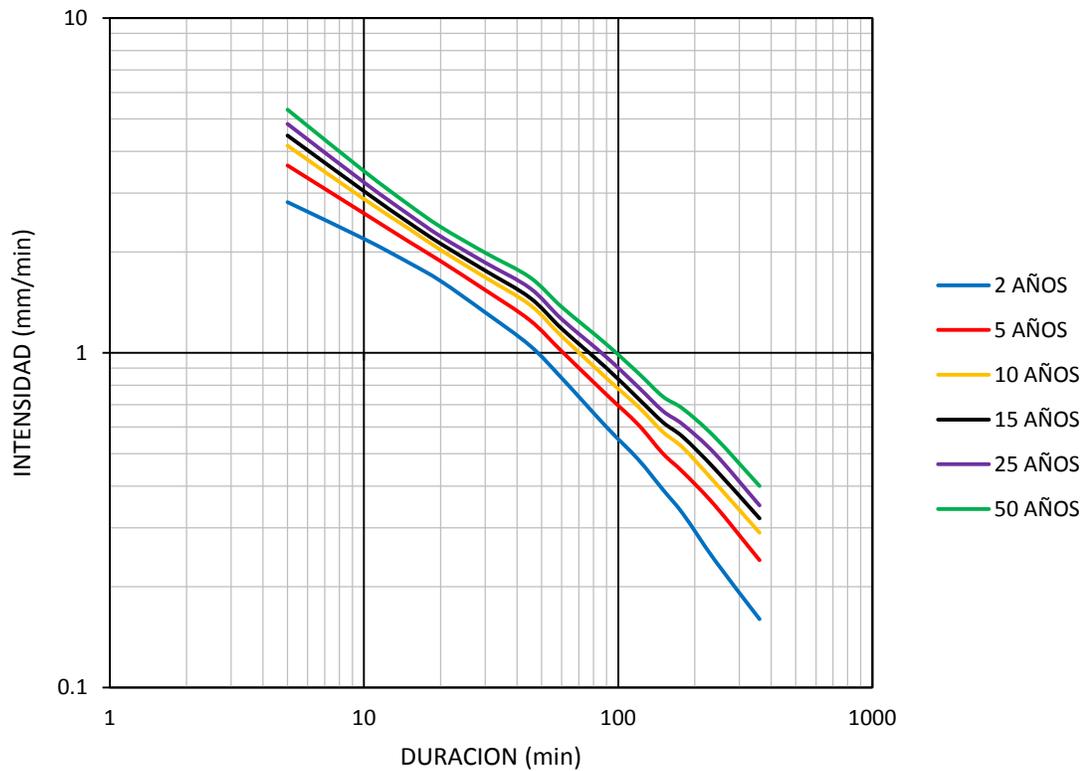
ESTACION: LA UNION
 LATITUD: 13° 19.9'
 LONGITUD: 87° 52.9'
 ELEVACION: 95m.s.n.m.

INDICE: N - 15

AÑO	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180	240	360
1970	2.24	1.98	1.78	1.58	1.24	1.12	0.88	0.59	0.38	0.3	0.26	0.2	0.18
1971	2.88	2.20	2.00	1.79	1.47	1.07	0.89	0.62	0.48	0.40	0.27	0.21	0.12
1972	3.38	2.52	2.03	1.67	1.29	1.08	1.02	0.88	0.69	0.56	0.47	0.37	0.07
1973	2.56	2.23	1.95	1.82	1.44	1.07	0.94	0.92	0.87	0.75	0.64	0.50	0.35
1974	2.78	2.25	1.99	1.69	1.24	0.96	1.07	0.98	0.74	0.60	0.50	0.38	0.28
1975	4.00	3.59	3.20	3.33	2.43	1.80	1.40	0.95	0.73	0.59	0.50	0.38	0.26
1976	2.74	2.22	1.94	1.76	1.55	1.23	0.97	0.69	0.52	0.42	0.36	0.27	0.24
1977	2.42	2.28	1.86	1.58	1.29	1.02	0.87	0.69	0.53	0.44	0.41	0.24	0.21
1978	2.80	2.30	1.87	1.65	1.20	0.89	0.81	0.61	0.45	0.39	0.33	0.31	0.21
1979	2.90	2.24	1.80	1.62	1.28	1.01	0.97	0.82	0.68	0.55	0.47	0.37	0.27
1980	3.28	2.10	1.83	1.67	1.55	1.32	1.17	1.15	1.03	0.95	0.85	0.64	0.43
1981	2.60	2.00	1.83	1.77	1.85	1.62	1.42	1.10	1.01	0.91	0.81	0.63	0.42
1982													
1983	2.02	1.97	1.99	1.98	1.81	1.34	0.78	0.70	0.44	0.37	0.31	0.23	0.12

Fuente: SMN/CIAGRO

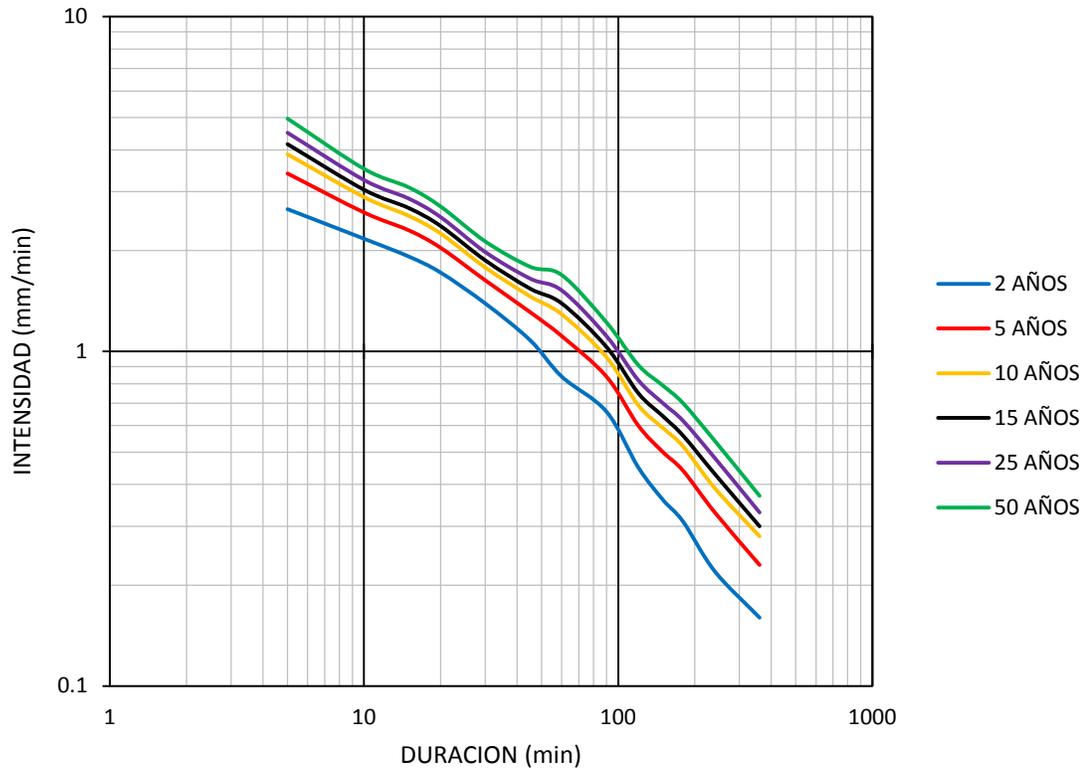
ANEXO VII: VALORES Y GRAFICAS DE INTENSIDAD DURACION FRECUENCIA. ESTACION SANTIAGO DE MARIA PERIODO 1957-1983.



Periodo de Retorno (Años)	INTENSIDADES EN mm/min PARA CADA PERIODO DE RETORNO												
	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180	240	360
2	2.96	2.24	1.87	1.64	1.34	1.08	0.86	0.62	0.48	0.40	0.33	0.24	0.17
5	3.86	2.73	2.20	1.89	1.56	1.28	1.04	0.77	0.62	0.53	0.46	0.33	0.23
10	4.46	3.05	2.41	2.06	1.70	1.42	1.16	0.86	0.71	0.61	0.54	0.39	0.26
15	4.80	3.23	2.53	2.15	1.78	1.49	1.23	0.92	0.76	0.65	0.58	0.42	0.28
25	5.22	3.46	2.69	2.26	1.88	1.59	1.31	0.99	0.82	0.71	0.64	0.47	0.31
50	5.78	3.76	2.89	2.42	2.01	1.71	1.42	1.08	0.91	0.79	0.72	0.52	0.35

Fuente: DGOA-SMN- CIAGRO

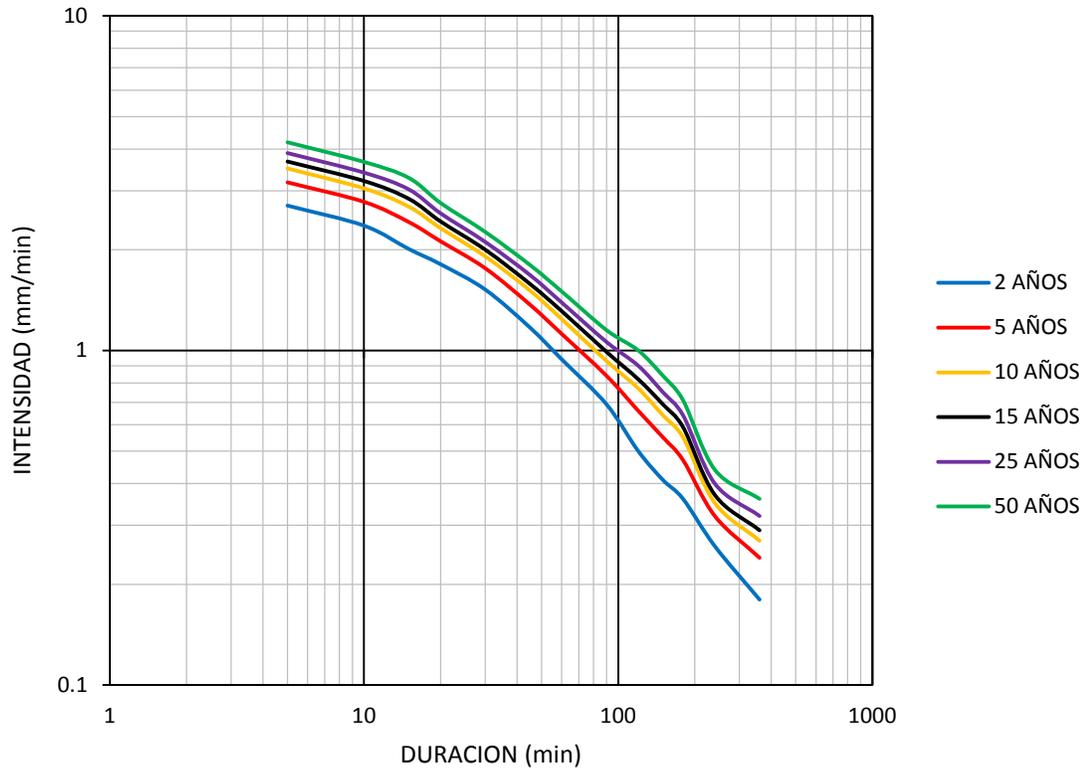
**ANEXO VIII: VALORES Y GRAFICAS DE INTENSIDAD DURACION
FRECUENCIA, ESTACION EL PAPALON PERIODO 1961-1983.**



Periodo de Retorno	INTENSIDADES EN mm/min PARA CADA PERIODO DE RETORNO												
(Años)	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180	240	360
2	2.66	2.17	1.92	1.72	1.39	1.08	0.84	0.66	0.45	0.36	0.31	0.22	0.16
5	3.40	2.60	2.30	2.04	1.63	1.31	1.11	0.84	0.60	0.50	0.44	0.33	0.23
10	3.88	2.89	2.54	2.25	1.78	1.46	1.29	0.96	0.69	0.59	0.52	0.39	0.28
15	4.16	3.04	2.68	2.37	1.87	1.54	1.39	1.03	0.75	0.64	0.56	0.43	0.30
25	4.50	3.25	2.86	2.52	1.98	1.65	1.52	1.11	0.82	0.70	0.62	0.48	0.33
50	4.96	3.51	3.09	2.71	2.13	1.79	1.69	1.22	0.91	0.79	0.70	0.54	0.37

Fuente: DGOA-SMN- CIAGRO

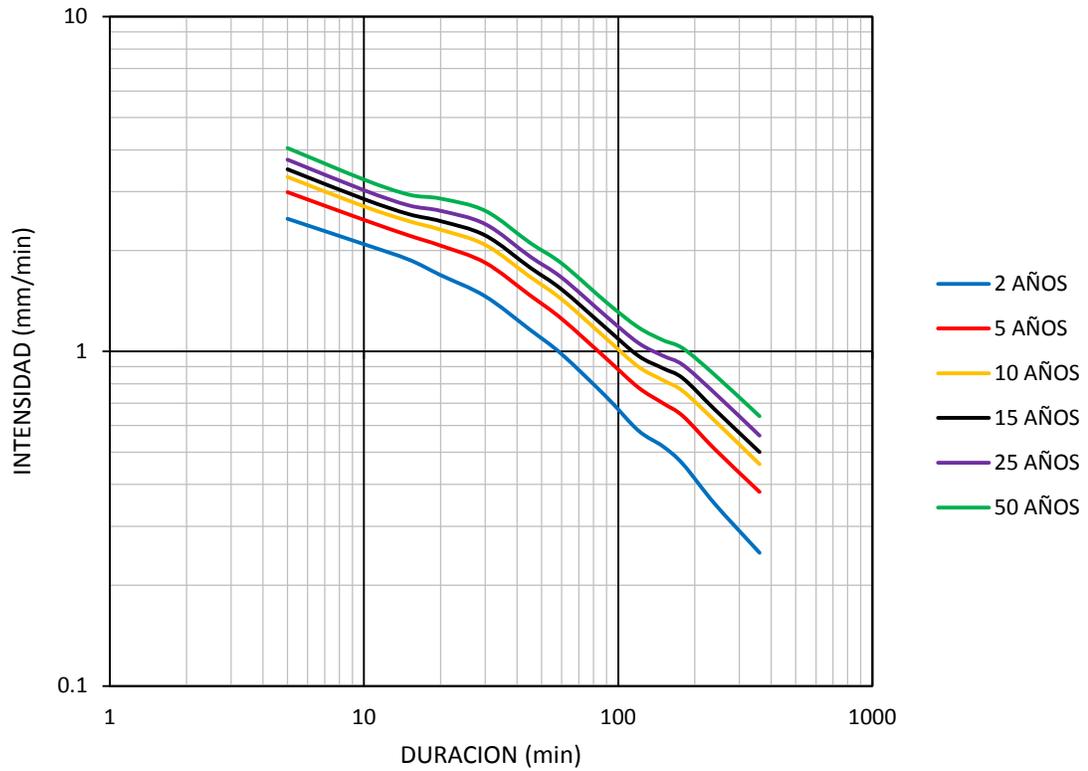
ANEXO IX: VALORES Y GRAFICAS DE INTENSIDAD DURACION FRECUENCIA. ESTACION SAN FRANCISCO GOTERA PERIODO 1962-1983.



Periodo de Retorno	INTENSIDADES EN mm/min PARA CADA PERIODO DE RETORNO												
(Años)	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180	240	360
2	2.71	2.36	2.01	1.81	1.52	1.17	0.94	0.69	0.50	0.41	0.36	0.26	0.18
5	3.18	2.78	2.42	2.12	1.76	1.37	1.12	0.84	0.66	0.55	0.47	0.32	0.24
10	3.50	3.05	2.69	2.32	1.91	1.51	1.24	0.93	0.77	0.64	0.55	0.35	0.27
15	3.67	3.21	2.84	2.43	2.00	1.58	1.31	0.99	0.82	0.69	0.59	0.37	0.29
25	3.89	3.40	3.03	2.57	2.11	1.68	1.39	1.06	0.90	0.75	0.64	0.40	0.32
50	4.19	3.66	3.28	2.76	2.26	1.80	1.50	1.15	1.00	0.84	0.71	0.44	0.36

Fuente: DGOA-SMN- CIAGRO

ANEXO X: VALORES Y GRAFICAS DE INTENSIDAD DURACION FRECUENCIA, ESTACION LA UNION PERIODO 1970-1983.



Periodo de Retorno	INTENSIDADES EN mm/min PARA CADA PERIODO DE RETORNO												
(Años)	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180	240	360
2	2.73	2.23	1.95	1.76	1.45	1.15	0.98	0.79	0.62	0.53	0.45	0.33	0.22
5	3.20	2.61	2.28	2.17	1.76	1.39	1.16	0.96	0.82	0.71	0.62	0.47	0.33
10	3.50	2.85	2.49	2.44	1.96	1.54	1.28	1.07	0.94	0.83	0.73	0.56	0.39
15	3.67	2.99	2.61	2.59	2.07	1.63	1.35	1.13	1.01	0.90	0.79	0.61	0.43
25	3.89	3.17	2.77	2.78	2.21	1.74	1.43	1.21	1.10	0.98	0.87	0.67	0.48
50	4.18	3.40	2.97	3.03	2.40	1.89	1.54	1.32	1.22	1.09	0.98	0.76	0.54

Fuente: DGOA-SMN- CIAGRO

ANEXO XI: ESTACIONES METEOROLOGICAS DE LA ZONA ORIENTAL DE EL SALVADOR

ESTACION SANTIAGO DE MARIA.

Estación de Tipo CP3 "A", ubicada en el Municipio de Santiago de María departamento de Usulután, con una elevación sobre el nivel del mar de 917 metros y con coordenadas de latitud 13° 28' 46.6" N y longitud 88° 28' 17.6", con nombre Santiago de María su índice nacional U-6, e índice internacional 461106, el tipo de suelo de la zona es Regosol, color pardo arcilloso, cultivo generalizado café.

Comenzó a operar el 24 de mayo de 1957, interrumpiendo su funcionamiento el 24 de mayo al 4 de septiembre de 2003, debido al traslado del Hospital al Centro Escolar Santiago de María. Es controlada por el Servicio Meteorológico Nacional del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).



Instalaciones hasta Junio 2003



Instalaciones Centro Escolar Septiembre 2003

Fuente: Registros de Servicio Meteorológico Nacional, (MARN)

ESTACION METEOROLOGICA SAN MIGUEL UES M-24.

Estación tipo Sinóptica climatológica principal, ubicada en el Departamento de San Miguel en la Facultad Multidisciplinaria Oriental de la Universidad de El Salvador, a una elevación 117 metros sobre el nivel del mar y coordenadas $13^{\circ} 26' 20.1''$ latitud norte y $88^{\circ} 09' 32.7''$ de longitud, esta estación comenzó a operar el 7 de abril de 2003. Anteriormente era conocida como El PAPALON M-6 la cual operó de 1960 hasta finales de abril de 2003. La estación es controlada por el Servicio Meteorológico Nacional, del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), el tipo de suelo de la zona es arcilloso y el cultivo generalizado pastizales.



El Papalón 1960-2003



UES Desde Mayo 2003

Fuente: Registros de Servicio Meteorológico Nacional, (MARN)

ESTACION SAN FRANCISCO GOTERA.

Estación ubicada en el municipio de San Francisco Gotera, Departamento de Morazán en el Lugar Posta Zootécnica (Extensión agrícola), con nombre San Francisco Gotera e índice Nacional Z-2, de tipo Climatológica Principal, con una elevación sobre el nivel del mar de 250 metros con coordenadas de latitud 13° 41' 32.1" y longitud 88° 06' 30.6", el tipo de suelo de la zona es arenoso y cultivo más generalizado maíz, maicillo y frijol. Comenzó a operar el 8 de octubre 1968 y controlada por el Servicio Meteorológico Nacional del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).



Fuente: Registros de Servicio Meteorológico Nacional, (MARN)

ESTACION LA UNION.

Estación de tipo Sinóptica climatológica principal, ubicada en el municipio de la Unión, departamento de la Unión en el Centro Pesquero Industrial CORSAIN, conocida como La Unión\CORSAIN con índice nacional N-2 e índice Internacional 481415, con una elevación de 5 metros sobre el nivel del mar con coordenadas de latitud $13^{\circ} 19' 29.7''$ y longitud $87^{\circ} 48' 53.2''$. Es controlada por el Servicio Meteorológico Nacional del Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), comenzó a operar el 27 de Julio de 1970. Fue reubicada en noviembre de 2004, anteriormente era conocida como La Unión con índice nacional N-15.



Sitio N-15 Clausurada en Noviembre 2004



Sitio N-2 CORSAIN Noviembre 2004

Fuente: Registros de Servicio Meteorológico Nacional, (MARN)

ESTACION PERQUIN

Ubicada en el Municipio de Perquín, Departamento de Morazán en el terreno propiedad de José Rosa Argueta, con nombre **PERQUIN** e índice nacional **Z-3**, de tipo climatológica Ordinaria con elevación de 1155 metros sobre el nivel del mar y coordenadas de latitud $13^{\circ} 57' 39.7''$ y longitud $88^{\circ} 09' 29.9''$, el tipo de suelo de la zona es arcillosos y cultivo generalizado café. Es controlada por el Servicio Meteorológico Nacional del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), comenzó a operar el 8 de Diciembre de 1970.



Fuente: Registros de Servicio Meteorológico Nacional, (MARN)