



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.

Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias Biológicas Oceánicas y Recursos Naturales.

**"FACTORES FÍSICOS QUE INFLUYEN EN LA OCURRENCIA DE
CRECIDAS EXTREMAS EN EL SECTOR SOCIO VIVIENDA AL
NOROESTE DE GUAYAQUIL"**

Trabajo de titulación

Previo a la obtención del Título de:

MAGÍSTER EN CAMBIO CLIMÁTICO

Presentado por:

**HENRY MANUEL CORREA GUAICHA
JOFFRE ARTURO MENDOZA MEDRANDA**

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias Biológicas Oceánicas y Recursos Naturales
Centro de Información Bibliotecaria

Número DE INVENTARIO: D-76097
VALOR:
CLASIFICACIÓN: 551.5
FECHA DE INGRESO: 2/08/2017
PROCEDENCIA:
SOLICITADO POR:

Guayaquil – Ecuador

Año 2016



ACTIVO FIJO 148740

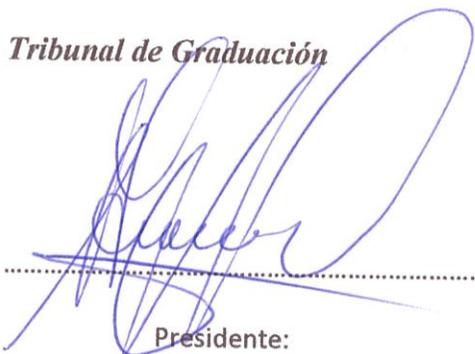
Agradecimiento y dedicatoria (Joffre)

En primer lugar agradezco a Dios, luego a mis Padres Nepalí y Josefa, a mi esposa Rocío, a mis hijos Dustin y Melanie, a mis Hermanos Luis, Rita, Mery y Carolina, a mis sobrinos, a mis amigos que me supieron ayudar en el momento justo cuando más necesitaba de su colaboración.

Agradecimiento y dedicatoria (Henry)

A Dios, por la salud y fuerza en la culminación de esta meta; a mis Padres (Elvia (+) y Polivio(+)) por mi formación tanto espiritual y profesional; a mi esposa Laurita, e hijos (Angie, Nohelia y Henry), por su apoyo incondicional cuando más lo necesite.

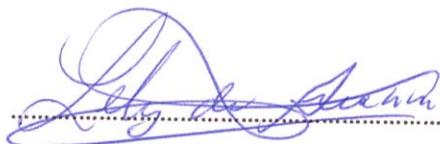
Tribunal de Graduación



.....

Presidente:

M Sc. FRANKLIN ORMAZA



.....

Director:

Sra. LELYS BRAVO (INV. PROMETEO)



.....

Evaluador:

Sra. GLADIS RINCON (INVESTIGADOR PROMETEO)

Declaración Expresa

"La responsabilidad del contenido de este trabajo de titulación, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral".



.....

HENRY MANUEL CORREA GUAICHA



.....

JOFFRE ARTURO MENDOZA MEDRANDA

Resumen

Los efectos del Cambio climático tales como: inundaciones, sequía, proliferación de enfermedades, desaparición de la capa de ozono, pérdida de biodiversidad, derretimiento glacial, etc., a causa de los procesos naturales. Sumado a la contaminación por actividades antropogénicas y el efecto invernadero, nos inducen a buscar alternativas de supervivencia y desarrollo.

Históricamente en la ciudad de Guayaquil se han producido inundaciones, cuando una gran lluvia cae en un periodo corto de tiempo causa inundaciones que producen riesgos graves además de efectos secundarios como son interrupción de los servicios básicos, impactos en la salud tales como malaria, dengue, insalubridad, etc., además de efectos terciarios como los cambios en la posición de los cauces de los ríos, erosión, etc.

El sector Nor-Oeste de la ciudad de Guayaquil, es considerado como punto de inundación extrema, por sus constantes inundaciones que allí se producen. Motivo por el que se ha tomado en consideración realizar un mapeo de inundaciones respecto a diversos periodos de retorno de lluvias extremas en el sector conocido como Socio Vivienda.

Para determinar las zonas más propensas a inundaciones se utilizaron herramientas de Sistema de Información Geográfica, Meteorológicas y Estadísticas, con las cuales se realizó un análisis basado en las curvas I-D-F (Intensidad-Duración-Frecuencia) con el fin de sintetizar los periodos más críticos registrados a lo largo de diversos eventos extremos observados en la estación Hidro-Meteorológica más cercana al sitio[1].

Según el INDC (Contribución Tentativa Nacionalmente Determinada de Ecuador, año 2015) en la Costa se ha incrementado un 33% la precipitación anual en los últimos 30 años [2]. Como solución mitigante se pudo observó que los problemas de drenaje urbano generalmente se realizan solo inmediatamente después de la ocurrencia de un evento extremo, resultando en obras cuya vida es efímera. Motivo por el cual el estudio contribuirá a una mejor prevención de inundaciones del lugar.

La principal medida de adaptación es la limpieza de los vertederos naturales previo a cada estación invernal, desde la parte alta hasta la parte baja de la cuenca, para así evitar el taponamiento de los mismos y contribuir al normal flujo de desagüe de aguas lluvias, el mantenimiento periódico de los desarenadores existentes en el lugar.

Es necesario construir los drenajes de la parte alta de la cuenca con revestimiento de hormigón afín de evitar el traslado de materiales erosionables hacia la cuenca baja, todo esto contribuirá en la mitigación de los causales mencionados.

Palabras Claves: Inundaciones extremas, mapa de inundación, cuenca de aportación.

Abstract

The effects of climate change such as floods, drought, spread of diseases, the disappearance of the ozone layer, loss of biodiversity, glacial melting, etc., because of natural processes, coupled with pollution by anthropogenic activities and the effect gases, lead us to seek alternatives for survival and development.

Historically in the city of Guayaquil, there have been floods, when heavy rain falls in a short period of time, causing floods that cause serious risks, and side effects such as: interruption of basic services, health impacts such as malaria, dengue, poor health, etc., in addition to that the tertiary effects such as changes in the position of the riverbeds, erosion, etc.

The north-west sector of the city of Guayaquil is considered as a point of extreme flood, for their constant flooding occurring there. Why is taken into consideration to map flood on various return periods of extreme rainfall in the area known as Housing Partnership.

To determine the most flood-prone areas tools GIS, Weather and Statistics data with which a system based on IDF curves (Intensity-Duration-Frequency) to synthesize periods recorded more critical analysis was performed used along various extreme events observed in the site closest to the Hydro-Meteorological Station.

According INDC (Contribution attempt Nationally Bound Ecuador, 2015), the Coast region has increased by 33% the annual precipitation. As mitigating solution it was observed that the problems of urban drainage are usually performed only immediately after the occurrence of an extreme event, resulting in works whose life is ephemeral. This study will contribute to a better place preventing floods.

Main the measurement of adaptation is the cleaning of the natural garbage dumps previous to each winter sports resort, from the high part to the low part of the river basin, thus to avoid the obstruction of such and contributing to the normal flow of water water-drainage rains, the periodic maintenance of the existing desarenadores in the place.

It is necessary to construct the drainages of the high part of the river basin with compatible concrete coating to avoid the transfer of subject to erosion materials towards the low river basin, all this will contribute in the mitigation of the causal ones mentioned.

Key words: Extreme floods, map of flood, contribution river basin.

Índice General

1.- Resumen.....	5
2.- Introducción.....	10
3.- Objetivo general.....	13
4.- Objetivos específicos.....	13
5.- Marco teórico.....	14
5.1.- Algunas definiciones de curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia).....	15
5.1.1. Duración de la lluvia.....	16
5.1.2. Período de retorno, Tr.....	16
5.2.- Propuesta para obtener los parámetros de diseño.....	16
5.2.1.- Procedimiento para cuando hay Información Pluviográfica.....	16
5.2.2.- Procedimiento para cuando se cuenta con datos de Precipitación Máxima en 24 horas.....	17
5.3.- Métodos para la obtención de curvas IDF.....	18
5.4.- Cálculo de curvas de Intensidad-Frecuencia-Duración.....	18
5.5.- Determinación de la Tormenta de Diseño.....	18
5.5.1. Procedimiento de cálculo.....	19
5.6.- Determinación de Tiempos de Concentración (tc).....	19
5.6.1. Tiempo de concentración a partir de la fórmula empírica de Kirpich.....	19
5.6.2. Tiempo de concentración a partir de la fórmula empírica del U.S. Bureau of Reclamation of California.....	20
5.7.- Métodos para el cálculo de caudales máximos.....	20
6.- Metodología.....	21
6.1.- Características morfométricas de la cuenca de estudio.....	22
6.1.1.- Calculo del Tiempo de concentración.....	23
6.2.- Modelos de distribución de probabilidad.....	24

6.2.1.- Distribución Gumbel.....	24
6.3.- Ecuación de Intensidad.....	28
6.3.1. Intensidades de lluvia a partir de Pd, según Duración de precipitación y Frecuencia de la misma.....	29
6.4.- Obtención de los Hietogramas de precipitación y Distribución de la Intensidad de precipitación, para cada periodo de retorno.....	33
6.5.- Determinación de la precipitación mediante datos pluviométricos.....	33
6.6.- Cálculo de caudales máximos utilizando el método de la Fórmula Racional...	39
6.6.1.- Determinación del Coeficiente de Escurrimiento C.....	39
7.- Resultados.....	41
7.1.- Establecimiento de zonas de riesgo a inundaciones en el sector Socio Vivienda.....	43
7.2.- Medidas de adaptación con el fin de reducir la vulnerabilidad a inundaciones.....	45
8.- Conclusiones.....	46
9.- Bibliografía.....	47
10.- Anexos.....	48

Índice de figuras

Figura 1.- Zonas propensas a inundaciones en Guayaquil. Fuente: Diario El Universo.....	12
Figura 2.- Ubicación del área de estudio. Fuente: Google Earth, elaboración propia.....	14
Figura 3.- Ubicación geográfica de la Cuenca de estudio. Fuente: Elaboración propia.....	15
Figura 4. Método seguido para el cálculo del Área inundada. Fuente: Elaboración propia.....	21
Figura 5.-Mapa de inundación. Fuente: Programa COMET. https://meted.ucar.edu	22
Figura 6.- Cuenca de estudio en modelo digital de elevación. Fuente: Elaboración propia.....	22
Figura 7. Constante de regresión (d). Fuente: HidrojING.....	31
Figura 8.- Curvas IDF. Fuente: HidrojING.....	33

Figura 9.- Ecuaciones de Intensidades Máximas. Fuente INAMHI.....	34
Figura 10.- Faja pluviométrica (18 de Abril de 1999). Fuente INAMHI.....	35
Figura 11.- Curvas IDF. Fuente: Elaboración propia.....	39
Figura 12. Área de mayor inundación en la cuenca. Fuente: Elaboración propia.....	42
Figura 13. Zonas bajas de mayor inundación. Fuente: Elaboración propia.....	42
Figura 14. Ubicación del lugar de estudio. Fuente: Elaboración propia.....	44

Índice de tablas

Tabla 1.- Parámetros morfométricos de la cuenca de estudio. Fuente: Elaboración propia.....	23
Tabla 2.- Distribución máxima mensual en 24 horas. Fuente: HidrojING.....	25
Tabla 3.-. Calculo de las Precipitaciones diarias máximas probables para diferentes frecuencias. Fuente: HidrojING.....	28
Tabla 4.- Distribución porcentual de las duraciones de lluvia de 24 horas. Fuente: D. F. Campos A., 1978.....	28
Tabla 5.- Calculo de la intensidad de lluvia en mm/h. Fuente: HidrojING.....	28
Tabla 6.- Resumen de aplicación de regresión. Fuente: HidrojING.....	29
Tabla 7.- Regresión potencial. Fuente: HidrojING.....	30
Tabla 8.- Valores de Intensidad de precipitación según duración y frecuencia. Fuente: HidrojING.....	30
Tabla 9.- Intensidades para diversos periodos de retorno. Fuente: E. Propia.....	31
Tabla 10.- Ecuaciones del INAMHI (1999). Fuente INAMHI.....	35
Tabla 11.- Registros pluviográficos. Fuente INAMHI.....	36
Tabla 12.- Intensidades Máximas de Precipitación. Fuente INAMHI.....	37
Tabla 13.- Intensidades Máximas estimadas para diversos Periodos de retorno. Fuente: (Ref. 12).....	38
Tabla 14.- Tabla de valores de coeficientes de escurrimiento C.....	40
Tabla 15.- Intensidades para diversos periodos de retorno. Fuente: E. Propia.....	41
Tabla 16.- Caudales máximos para diversos periodos de retorno. Fuente: E. Propia.....	41
Tabla 17.- Áreas de inundación de la cuenca. Fuente: E. Propia.....	43
Tabla 18.- Áreas de inundación de Socio Vivienda. Fuente: E. Propia.....	44

2. Introducción

En la literatura de la Infografía sobre el Cambio Climático del sitio web eitb.eus (España) en el año 2011, se menciona que, la Tierra a través de su historia geológica y climática ha sufrido en varias oportunidades de variaciones climáticas. Por la Paleoclimatología, se sabe que desde el nacimiento de la Tierra como planeta (4.500 millones de años) hasta nuestros días, el clima terrestre ha sufrido variaciones y alteraciones más o menos cíclicas, alternado épocas cálidas y eras glaciales [3].

De la misma manera, se señala que desde hace 200 años, a los efectos de calentamiento natural de la Tierra, el hombre por medio de su intensa actividad industrial está generando una mayor concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera de origen antropogénico (derivados de la quema masiva de combustibles fósiles). Además, de que ha provocado una intensa deforestación.

Cabe indicar que uno de los efectos del cambio climático son las inundaciones producidas por las precipitaciones extremas, particularmente en nuestro país son generadas en cada estación húmeda, así como también por la presencia del Fenómeno Océano Atmosférico conocido como El Niño (EN) en las costas del mismo, ya que en los años 1982-1983 y luego en los años 1997-1998 produjo innumerables pérdidas tanto materiales como humanas debido a la devastación causada por su magnitud (para ubicar al país en la región, ver anexo 1).

Guayaquil es el principal puerto marítimo que tiene el Ecuador, el promedio de lluvias anuales es de 791mm., (según Climate-Data.org; ver anexo 2), los meses más lluviosos están entre Diciembre y Mayo, que corresponde a la época invernal propiamente dicha, lo cual en presencia de El Niño (EN) aumenta en magnitudes difíciles de sobrellevar.

Entender el riesgo ocasionado por las grandes inundaciones es cada vez más importante y se constituye en una pieza clave para la gestión de la adaptación al clima en cualquier sitio o región, las incidencias más comunes son los cambios en los patrones de la precipitación, la ocupación de zonas inundables por diversos aspectos entre ellos el socioeconómico, la migración rural y la sobrepoblación.

Para construir una mejor estimación del riesgo de inundación tenemos que recurrir a los campos de la hidrología, la economía, las matemáticas y la adaptación al cambio climático y poder evaluarlo, incluso llegar a determinar a frecuencia de ocurrencia con el fin de determinar soluciones probables para el desarrollo de la población.

Desde mediados del siglo XX la ciudad presenta un fuerte crecimiento expansivo hacia su periferia, primero hacia el sur y luego hacia el noroeste. La conformación y consolidación de asentamientos ilegales no planificados son consecuencias de múltiples factores que responden a las desigualdades sociales existentes y a la incapacidad del sistema socioeconómico urbano para generar empleos decentes y adecuadamente remunerados. Esta extensa ocupación y el lugar donde se ubica (junto

al cordón montañoso Chongón-Colonche) hacen de la zona el lugar más propenso a eventos extremos como son los efectos del mencionado EN (Figura 1).

La ocupación desordenada de la zona de expansión en el Noroeste de la ciudad promovida en primer lugar por traficantes de tierras y luego por la falta de planificación del uso de suelo hace que los sistemas hidrológicos naturales sean fácilmente vulnerables, sumado también la actividad humana mediante la construcción de infraestructura de habitación para albergar la creciente población.

La urbanización Socio Vivienda fue creada como parte de la Fase 1 del programa nacional de desarrollo urbano como COMPONENTE DE INTERVENCIÓN URBANA INTEGRAL EN LA ZONA DE EXPANSIÓN DEL NOROESTE DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL, ECUADOR por la Subsecretaría de Hábitat y asentamientos Urbanos (SHAH-MIDUVI) [4], con el fin de atender los requerimientos de vivienda y disminuir los asentamientos informales que existen en el Noroeste de Guayaquil.

El sitio se inunda cada año una vez que se presenta la estación lluviosa, dependiendo de la intensidad de la presencia de la mencionada estación aparecen los problemas de la habitantes del lugar, esto se debe a que Socio Vivienda se encuentra en la parte baja del cerro denominado como Colinas de la Florida 2. En la llanura del mencionado cerro y hacia el oeste solo hay un estero denominado Balsamito el mismo que se forma con la estación lluviosa ya que es intermitente. En la estación húmeda este estero sirve de descarga de los caudales escurridos desde las elevaciones aledañas pertenecientes a la cooperativa Colinas de la Florida 2 y a la cooperativa El Mirador. Cabe mencionar que en el lugar se generan flujos de lodo, aguas servidas y desperdicios los mismos que taponan la salida normal del agua inundando las áreas ocupadas por los habitantes del sector.

Además para la población que habita en el lugar las inundaciones no son la única consecuencia amenazante del cambio climático. Existen otros riesgos asociados a las mismas que se pueden dividir en peligros principalmente por el contacto con el agua, los efectos secundarios como la interrupción de los servicios básicos, los impactos de salud como hambre y enfermedades, además de efectos terciarios como son los cambios físicos del terreno o las nuevas derivaciones de canales y ríos que causan pérdidas humanas y materiales.

Los procesos físicos que dan forma a una crecida no son fáciles de representar matemáticamente ya que debemos caracterizar variables como: las velocidades alcanzadas, los volúmenes de agua que escurren superficialmente, la duración de los eventos de lluvia que le dieron origen, los arrastres y depósitos de sedimentos, la distribución espacial y temporal de las tormentas, las alturas de agua alcanzadas en las distintas secciones, la humedad antecedente en las cuencas, la infiltración, etc. [1].

El problema de la inundación en Guayaquil, ha generado grandes expectativas a nivel de gobierno ya que las áreas ocupadas por la población son muy extensas y en ella viven un gran número de habitantes, como se muestra en la Figura 1:

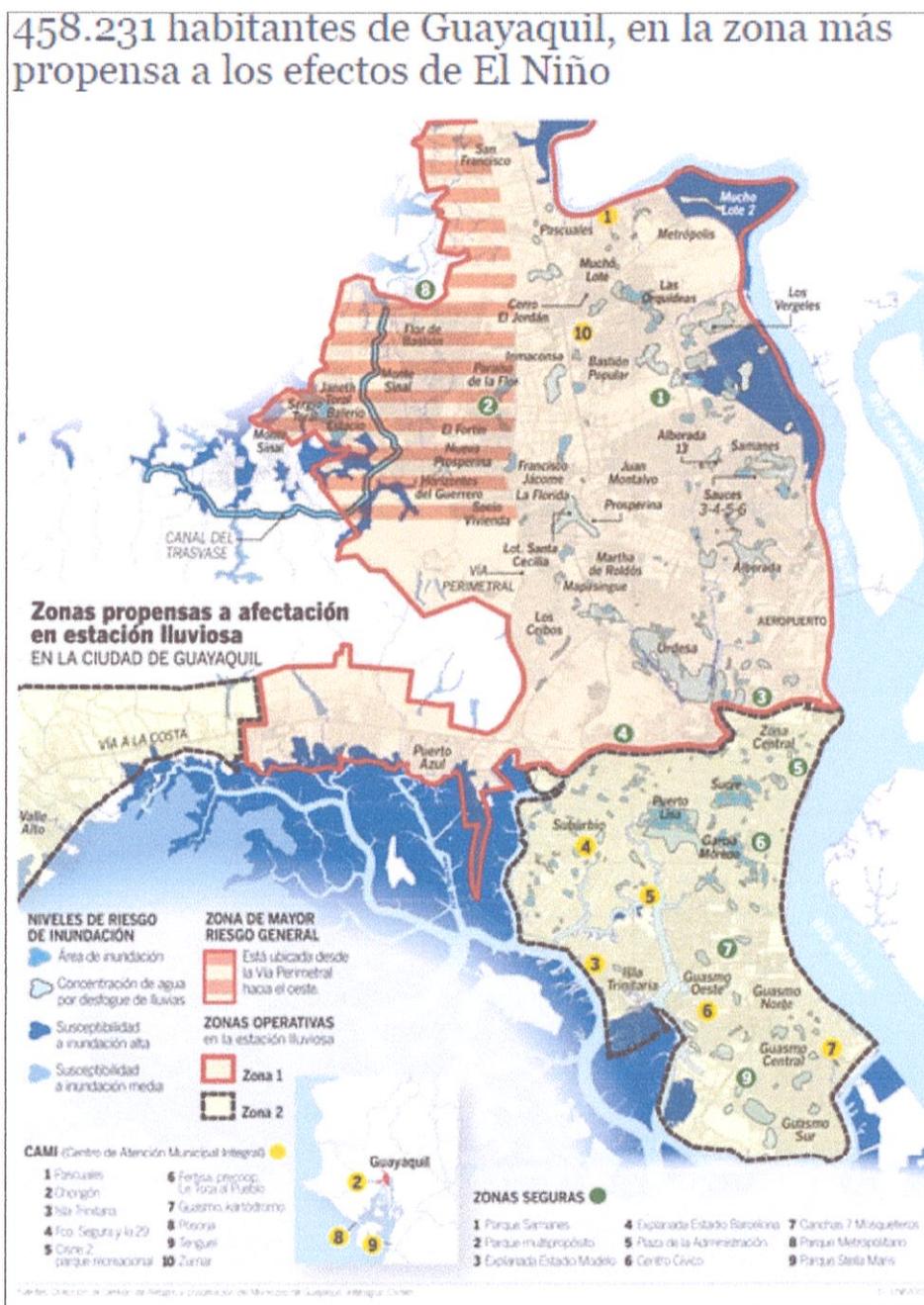


Figura 1.- Zonas propensas a inundaciones en Guayaquil. Fuente: Diario El Universo.

Con este agravante realizaremos un mapeo en el sector Socio Vivienda para determinar las zonas más propensas a inundaciones, haremos un análisis estadístico de precipitación y determinaremos medidas posibles de adaptación con el fin de reducir la vulnerabilidad a inundaciones en el sitio mencionado, cabe indicar que este análisis servirá también para los demás sectores aledaños.

3. Objetivo general

El objetivo general de este estudio es realizar un análisis de los factores físicos que influyen en la ocurrencia de inundaciones en el sector Socio Vivienda al Noroeste de Guayaquil.

4. Objetivos específicos

- Determinar la frecuencia de las inundaciones, a partir de las curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia).
- Establecer zonas de riesgo a inundaciones en el sector Socio Vivienda.
- Proponer medidas de adaptación con el fin de reducir la vulnerabilidad a inundaciones en el lugar.

5. Marco Teórico

Socio Vivienda se ubica en el noroeste de Guayaquil en las coordenadas 615259m E y 9764002 m S., como vemos en la Figura 2:

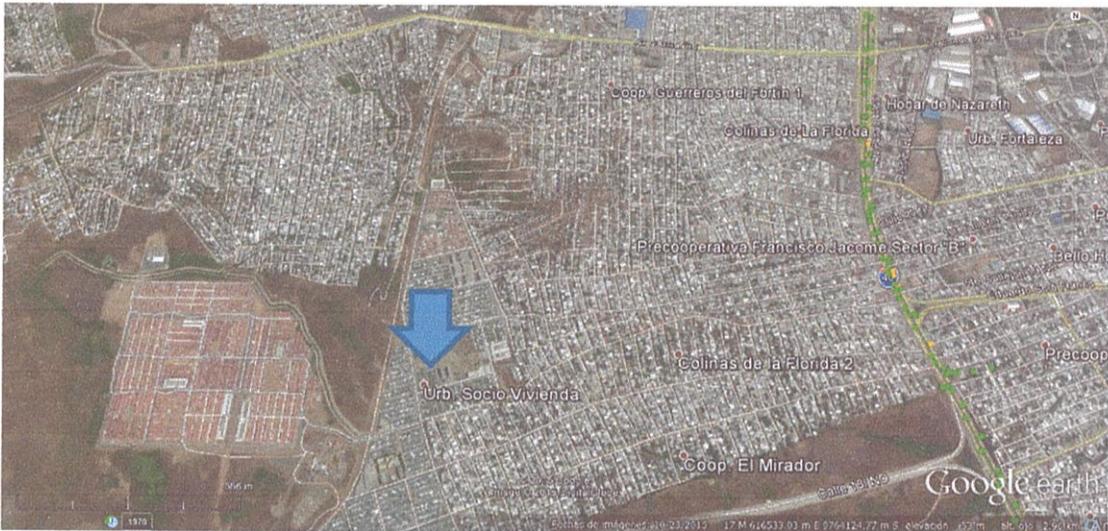


Figura 2.- Ubicación del área de estudio. Fuente: Google Earth, elaboración propia.

El presente estudio consiste en determinar la cota de inundación para diversos periodos de retorno y elaborar los correspondientes mapas de riesgo de inundación del lugar, para ello se debe tener en consideración las características hidrológicas de la zona así como también la capacidad hidráulica de las descargas que se tiene en el sector.

Para determinar la cota de inundación disponemos de los datos de lluvias máximas en 24 horas de los registros del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), las inundaciones en nuestro caso son modeladas mediante el software de tratamiento de información geográfica ArcGIS a través de un modelo digital de elevación, luego se realizan varios mapas para determinar la extensión de posibles inundaciones.

Dado que las principales causas de las inundaciones son cantidades anormales de lluvia, se procede a realizar un estudio estadístico con el fin de determinar la probabilidad y frecuencia de altas descargas de flujo que causan las inundaciones en este populoso sector.

El área actualmente ocupada por la urbanización está formada por una cuenca que tiene alrededor de 1,96 km², la misma que fue determinada mediante el software de tratamiento de información geográfica ArcGIS a través de un modelo digital de elevación, como se muestra en la Figura 3:

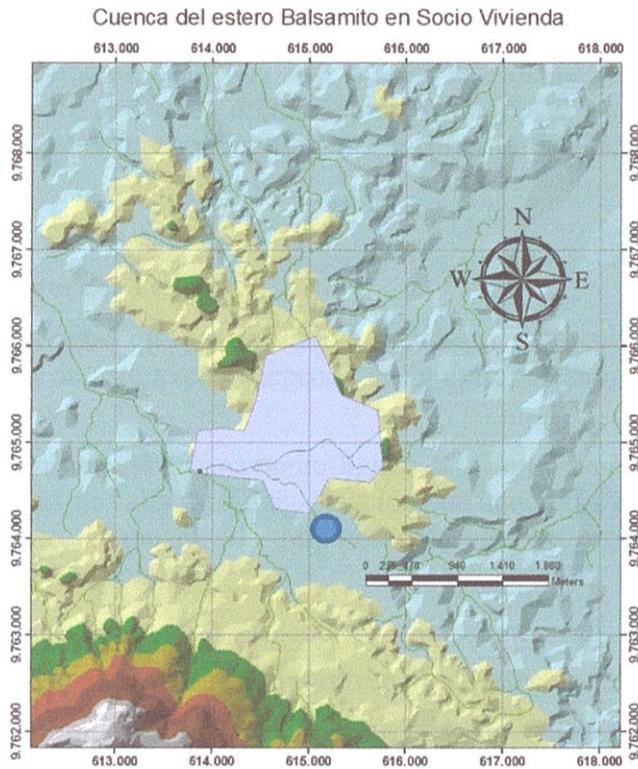


Figura 3.- Ubicación geográfica de la Cuenca de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Para el análisis hidrológico, como en muchas situaciones prácticas, no se dispone de registros de caudales extremos, o éstos no tienen la suficiente duración como para hacer los análisis estadísticos requeridos. En tales casos, se acude a la información pluviométrica para estimar las crecidas asociadas a una cierta frecuencia de ocurrencia. La forma más común de hacerlo es utilizar una tormenta de diseño o un evento que involucre una relación entre la intensidad de lluvia, la duración y la frecuencia o período de retorno. Esta relación múltiple nos conduce a las llamadas curvas intensidad-duración-frecuencia (curvas IDF).

5.1. Algunas definiciones de curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia):

1) Son curvas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno (Témez, 1978).

2) Son la representación gráfica de la relación existente entre la intensidad, la duración y la frecuencia o período de retorno de la precipitación (Benítez, 2002)

5.1.1. Duración de la lluvia

Normalmente la duración de la lluvia de diseño considerada es igual al tiempo de concentración (t_c), para el área de drenaje en estudio, debido a que al cabo de dicho tiempo la escorrentía alcanza su valor pico, al contribuir toda el área aportante al flujo en la salida.

5.1.2. Período de retorno, T_r

Es el tiempo promedio en que se vuelve a presentar un evento hidrológico. El conocimiento inicial de este evento depende de la extrapolación a una secuencia de observaciones máximas.

El período de retorno está íntimamente ligado a la importancia de la obra. Así, para efectos de diseño, el valor de T_r se selecciona de acuerdo a estándares de diseño o por juicio experto. (Tomado de <http://es.slideshare.net/mgarcianaranjo/curvas-intensidad-duracin-frecuencia>) [5].

5.2. Propuesta para obtener los parámetros de diseño.

(Tomado de <http://es.slideshare.net/mgarcianaranjo/curvas-intensidad-duracin-frecuencia>) [5].

Para obtener los parámetros de diseño de alguna obra de mitigación es necesario analizar estadísticamente los datos recabados en la zona de estudio [F. Aparicio, capítulo 6.3.7]. [6].

La determinación de las curvas IDF se enmarca en alguno de los siguientes escenarios:

- a) Contar con información pluviográfica que describa con precisión la distribución temporal de la precipitación en la zona en estudio
- b) Contar solamente con datos de precipitaciones diarias totales
- c) Enfrentar casos donde no exista información pluviométrica alguna.

5.2.1. Procedimiento para cuando hay Información Pluviográfica:

(Tomado de <http://es.slideshare.net/mgarcianaranjo/curvas-intensidad-duracin-frecuencia>) [5].

- 1) A partir de las bandas de registro de los pluviógrafos, seleccionar para cada año los valores extremos de precipitación asociados a diferentes duraciones.
- 2) Tomar los valores de cada una de las series y dividirlos por su duración (en horas), obteniéndose así las intensidades en mm/h.

3) Ajustar, para cada duración, los valores de intensidad de precipitación a una función de distribución de probabilidad (Gumbel, LPIII, normal, LNII, LNIII, Gamma2, etc.)

4) Efectuar pruebas de bondad de ajuste (Chi-cuadrado; Kolmogorov-Smirnov) con la finalidad de determinar cuál de las distribuciones probabilísticas consideradas se ajusta mejor a la serie histórica de datos. Ello permitirá seleccionar la distribución de probabilidad con la cual se efectuará las proyecciones de intensidades máximas para diferentes periodos de retorno.

5) Seleccionada la distribución probabilística de mejor ajuste, proceder a estimar, para cada duración, los valores de las intensidades máximas correspondientes a diferentes periodos de retorno (T= 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años)

6) Se procede a graficar las intensidades obtenidas en el paso anterior versus las duraciones y periodos de retorno correspondientes

7) Las distintas curvas IDF pueden quedar descritas estadísticamente mediante la siguiente ecuación compacta que relaciona simultáneamente a las tres variables involucradas, [F. Aparicio, 2001: p.165] [6].

$$I = \frac{K T^m}{t^n}$$

Ecuación de Intensidad

Dónde:

I: intensidad máxima (mm/hr).

K, m, n: factores característicos de la zona de estudio.

T: período de retorno, en años.

t: duración de la precipitación (en minutos u horas).

5.2.2. Procedimiento para cuando se cuenta con datos de Precipitación Máxima en 24 horas: (Tomado de <http://es.slideshare.net/mgarcianaranjo/curvas-intensidad-duracin-frecuencia>). [5].

En este caso, los datos de precipitaciones máximas en 24 horas deben ser sometidos a un tratamiento que permita conocer su distribución temporal, para lo cual se utiliza algún algoritmo de desagregación de los datos globales en incrementales.

Es posible hacer uso de los siguientes métodos:

1.- Método basado en los perfiles de lluvia del SCS (Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, actualmente NRCS).

2.- El modelo general de Frederick Bell (1969).

5.3. Métodos para la obtención de curvas IDF. [F. Aparicio, p.165] [6].

Existen básicamente 2 métodos con los que se puede determinar la relación entre las variables I, D y F para un sitio dado.

El primero llamado de intensidad-periodo de retorno, relaciona estas dos variables para cada duración por separado mediante algunas de las funciones de distribución de probabilidad usadas en hidrología, el segundo método relaciona simultáneamente las tres variables y se explica de la siguiente manera:

5.4. Cálculo de curvas de Intensidad-Frecuencia-Duración. [F. Aparicio, p.165] [6].

El método utilizado relaciona simultáneamente las tres variables Intensidad-frecuencia- Duración, en una familia de curvas cuya ecuación es:

$$i = \frac{kT^m}{(d + c)^n}$$

Ecuación de Intensidad

Donde k, m, n y c son constantes que se calculan mediante un análisis de correlación lineal múltiple;

T: Período de retorno en años,

d: Duración en minutos,

i: Intensidad en mm/h.

5.5. Determinación de la Tormenta de Diseño [Manual de Hidrología, hidráulica y Drenaje, p.33]. [7].

Uno de los primeros pasos en muchos proyectos de diseño es la determinación del evento de lluvia a usar. Una tormenta de diseño es un patrón de precipitación definido para utilizarse en el diseño de un sistema hidrológico. Usualmente la tormenta de diseño conforma la entrada al sistema, y los caudales resultantes a través de éste se calculan utilizando procedimientos de lluvia-escorrentía y tránsito de caudales.

Una tormenta de diseño puede definirse mediante un valor de profundidad de precipitación en un punto, mediante un hietograma de diseño que especifique la distribución temporal de la precipitación durante una tormenta.

Las tormentas de diseño pueden basarse en información histórica de precipitación de una zona o pueden construirse utilizando las características generales de la precipitación en regiones adyacentes. Su aplicación va desde el uso de valores puntuales de precipitación en el método racional para determinar los caudales picos en alcantarillados de aguas lluvias y alcantarillas de carreteras, hasta el uso de

hietogramas de tormenta como las entradas para el análisis de lluvia-escorrentía en embalses de detención de aguas urbanas.

Para determinación de la tormenta de diseño sería recomendable contar con información obtenida a través de un pluviógrafo, ya que este equipo provee información instantánea, sin embargo, la mayoría de estaciones de medición de precipitaciones solo cuentan con pluviómetros que solo proveen de valores totales.

5.5.1. Procedimiento de cálculo.

Se puede establecer como procedimiento lo siguiente:

- Seleccionar la estación pluviométrica que incide en la cuenca para recabar sus datos de pluviometría mensual de precipitación máxima total y máxima en 24h.
- Tratamiento probabilístico de los datos mediante la distribución Gumbel para obtener:
 - Las precipitaciones máximas diarias probables en función de la duración del episodio de precipitación y el periodo de retorno.
 - Las intensidades de precipitación en mm/h a partir de los anteriores.
 - Distribución de las precipitaciones máximas diarias e intensidades según la influencia de la estación asociada.
- Tratamiento matemático de las intensidades obtenidas mediante regresiones lineales múltiples para cada periodo de retorno y regresión potencial para el conjunto de ellos.
- Obtención de la ecuación que define la curva IDF para cada periodo de retorno en función de la duración del episodio de precipitación y graficado de la curva.

5.6. Determinación de Tiempos de Concentración T_c .

(Tomado de <http://portafolio.snet.gob.sv/digitalizacion/pdf/spa/doc00245/doc00245-seccion%20c.pdf>) [8].

El tiempo de concentración no es más que el tiempo que tardaría una gota de agua en recorrer la longitud desde el punto más distante de la corriente de agua de una cuenca hasta el lugar de medición. Los tiempos de concentración son calculados a partir de las características físicas de la cuenca, las cuales son: las pendientes, longitudes, elevaciones medias y el área de la cuenca. Es de notar que todas las fórmulas tienen factores de corrección que aplican según la cobertura de la cuenca. [German Monsalve, 1999: p.180]

5.6.1. Tiempo de concentración a partir de la fórmula empírica de Kirpich.

Desarrollada a partir de la información del SCS en siete cuencas rurales en Tennessee con canales bien definidos y pendientes empinadas (de 3% a 10%).

$$T_c = 0.0003245 L^{0.77} S^{-0.385} \text{ (En horas)}$$

L: Longitud máxima del canal o río desde aguas arriba hasta la salida, (en metros).

S: Pendiente del cauce o H/L (m/m) donde H es la diferencia de elevación entre el punto más elevado y el punto de interés.

5.6.2. Tiempo de concentración a partir de la fórmula empírica del U.S. Bureau of Reclamation of California.

Conocida también como la fórmula de California Culverts Practice. Esencialmente es la ecuación de Kirpich, desarrollada para pequeñas cuencas montañosas en California. [Ven Te Chow, 1994: p. 96] [9].

$$T_c = 0.94788 (L^3 / H)^{0.385} \text{ (En horas)}$$

L: Longitud de flujo superficial (en kilómetros).

H: Diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida (en metros).

5.7. Métodos para el cálculo de caudales máximos.

Las teorías hidrometeorológicas para el cálculo de caudales máximos son las siguientes:

- 1.- Método Racional, el cual comprende determinación de coeficiente de escurrimiento C,
- 2.- Curvas de Intensidad-Frecuencia-Duración y cálculos de tiempos de concentración;
- 3.- Hidrogramas Unitarios, los cuales se dividen en Sintéticos (Snyder, Triangular y SCS) y Complejos.

6.- Metodología

Esquemáticamente para determinar nuestra Área de inundación y posterior elaboración de mapas de inundación para diferentes periodos de retorno, se procederá de la siguiente manera, (ver Figura 4):

Primero delimitamos la cuenca de estudio, para ello utilizamos el sistema de información geográfica (SIG), calcularemos los datos morfométricos de la cuenca en mención, luego mediante la fórmula de California obtendremos el tiempo de concentración, seguidamente calcularemos la intensidad de lluvia para misma cuenca haciendo una transposición de los datos de la estación en la Dirección de Aviación Civil ubicada en el aeropuerto José Joaquín de Olmedo, después calculamos los caudales de desagüe utilizando el método racional y finalmente obtendremos las áreas inundables por causa de la insuficiencia hidráulica del lugar.



Figura 4. Método seguido para el cálculo del Área inundada. Fuente: Elaboración propia.

En la construcción de estos mapas, se usan fotografías aéreas e imágenes satelitales de inundaciones anteriores. Las mismas son estudiadas para ayudar a determinar las áreas que estarían cubiertas. La ilustración de abajo muestra un posible mapa de riesgo basado en las descargas estimadas o etapas fluviales para una inundación hipotética de 10 años, de 50 años de inundaciones, y 100 años de inundaciones, tal y como se muestra en la Figura 5. Estos mapas se construyen a menudo en las zonas propensas a las inundaciones.

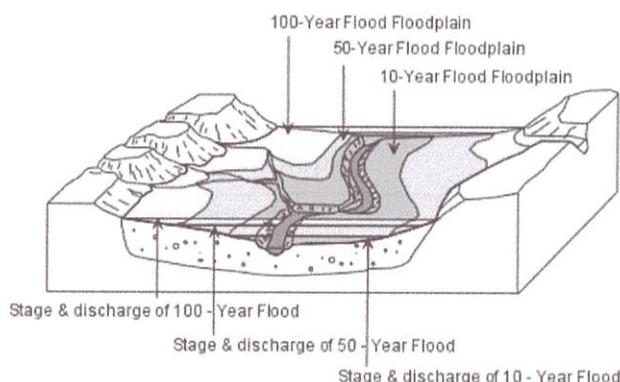


Figura 5.-Mapa de inundación. Fuente: Programa COMET. <https://meted.ucar.edu>

6.1. Características morfométricas de la cuenca de estudio

Para la definición de las diferentes variables se tuvieron en cuenta los principales elementos que determinan las características morfométricas de la cuenca mencionada. Se dispone de información cartográfica a escala 1:50000 editada por el Instituto Geográfico Militar (IGM), se puede obtener del geoportaligm en la web, la cartografía utilizada es la denominada como Pascuales y es la que contiene a nuestra cuenca tal como se muestra en la figura 3 y de la cual extraemos solo el área siguiente (Figura 6):

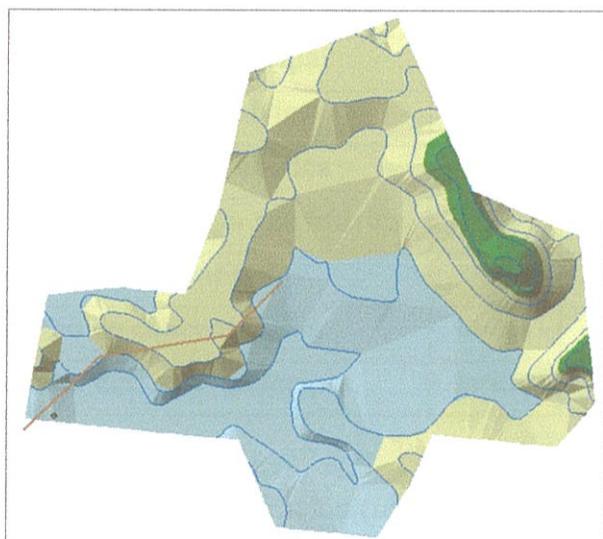


Figura 6.- Cuenca de estudio en modelo digital de elevación. Fuente: Elaboración propia.

Luego del análisis con la herramienta Hydrology del ArcGis [Manual para la delimitación de cuencas] [11], en el que se obtiene la dirección y acumulación del flujo obtenemos los valores de Área, Perímetro, Cotas mínima y máxima, etc. Los parámetros morfométricos que hemos obtenido son los siguientes (ver tabla 1), el

cálculo del tiempo de concentración se incluye en el cuadro, su elaboración se presenta seguidamente:

Tabla 1.- Parámetros morfométricos de la cuenca de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Descripción	Unidad	Valor
Área	Km2	1,96
Perímetro	Km	6,45
Cota máxima	msnm	120
Cota mínima	msnm	50
Centroide (WGS 1984 UTM zona 17S)		
x	m	614823,04
y	m	9765141,51
z	msnm	79,36
Altitud media	msnm	79,36
Altitud más frecuente	msnm	140
Pendiente promedio de la cuenca	%	19,94
Longitud del rio principal	Km	2,27
Orden de la red hídrica	u	1
Longitud de la red hídrica	Km	1,09
Pendiente promedio de la red hídrica	%	1,06
Parámetros generados		
Tiempo de concentración	horas	0,48
Pendiente del cauce principal	m/km	1,76

6.1.1.- Calculo del Tiempo de concentración (tc).

Usando la fórmula de California Culverts Practice presentada en el capítulo 5.6 anterior tenemos:

$$tc=0,94788((L^3/H) \wedge 0,385)$$

$$tc=0,94788*((2,27 \wedge 3/70) \wedge 0,385)$$

$$tc=0,48 \text{ horas.}$$

En cuanto a la característica hidrológica de la cuenca objeto de este estudio, hemos tomado en consideración los registros pluviométricos de las precipitaciones máximas mensuales en 24 horas de la estación ubicada en la Dirección de Aviación Civil (DAC) signada con el número M056 por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) correspondientes a los años 1950 al 2015, como se muestra en la tabla mostrada en el anexo 3.

6.2. Modelos de distribución de probabilidad (Tomado de Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, cap. 3.7 pág. 25). [7].

El análisis de frecuencias tiene la finalidad de estimar precipitaciones, intensidades o caudales máximos, según sea el caso, para diferentes períodos de retorno, mediante la aplicación de modelos probabilísticos, los cuales pueden ser discretos o continuos.

En la estadística existen diversas funciones de distribución de probabilidad teóricas; recomendándose utilizar las siguientes funciones:

- i. Distribución Normal
- ii. Distribución Log Normal 2 parámetros
- iii. Distribución Log Normal 3 parámetros
- iv. Distribución Gamma 2 parámetros
- v. Distribución Gamma 3 parámetros
- vi. Distribución Log Pearson tipo III
- vii. Distribución Gumbel
- viii. Distribución Log Gumbel

Aunque existe un número importante de distribuciones de probabilidad empleadas en hidrología, para la estimación de caudales máximos, en este documento se seleccionó la distribución tipo I o Gumbel, porque Las lluvias máximas horarias o diarias por lo común se ajustan bien a este tipo de distribución de valores extremos.

6.2.1. Distribución Gumbel.

La distribución de Valores Tipo I conocida como Distribución Gumbel o Doble Exponencial, tiene como función de distribución de probabilidades la siguiente expresión:

$$F_{(x)} = e^{-e^{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)}}$$

Aunque también se puede realizar el análisis estadístico mediante software como HidroEsta, optamos por seguir el procedimiento del Ing. Jordi Oliveras descrito en el portal de HidrojING [Obtención de curvas IDF]. [12].

Como proceso de cálculo, en primer lugar se obtiene la precipitación máxima probable Pd a partir de los datos pluviométricos, Para el obtener las variables necesarias se ordenan los valores de las precipitaciones máximas mensuales por año y se la denomina como xi, luego se suman estas precipitaciones, que en nuestro caso son 66, se obtiene el promedio que lo denominaremos x (resolviendo tenemos 378,57 mm) y luego obtenemos para cada año el valor de $(xi-x)^2$, tal como vemos en la figura siguiente (ver tabla 2):

Tabla 2.- Distribución máxima mensual en 24 horas. Fuente: HidrojING.

Nº	Año	Mes Max. Precip.	Precipitación (mm)	
			<i>xi</i>	$(xi - x)^2$
1	1950	Febrero	280,00	13699,28
2	1951	Enero	243,70	23514,36
3	1952	Febrero	179,70	47238,39
4	1953	Abril	572,90	30925,35
5	1954	Febrero	168,90	52049,66
6	1955	Enero	273,60	15238,41
7	1956	Enero	259,30	18973,39
8	1957	Abril	580,30	33582,78
9	1958	Febrero	595,30	39305,47
10	1959	Marzo	277,50	14290,75
11	1960	Marzo	356,80	1619,57
12	1961	Febrero	295,20	10372,19
13	1962	Marzo	166,80	53012,27
14	1963	Febrero	253,50	20604,86
15	1964	Marzo	299,10	9593,02
16	1965	Marzo	433,10	1300,04
17	1966	Enero	319,30	6044,12
18	1967	Enero	440,30	1871,09
19	1968	Febrero	138,10	67051,96
20	1969	Marzo	420,30	540,84
21	1970	Mayo	156,10	58053,98
22	1971	Marzo	355,90	1692,82
23	1972	Marzo	406,90	97,14
24	1973	Enero	701,30	92571,75
25	1974	Enero	174,40	49570,32
26	1975	Marzo	607,20	44165,57
27	1976	Febrero	589,40	37000,85
28	1977	Febrero	278,10	14147,66
29	1978	Febrero	244,10	23391,85

30	1979	Abril	190,70	42577,82
31	1980	Abril	378,80	332,84
32	1981	Febrero	399,40	5,55
33	1982	Diciembre	255,50	20034,69
34	1983	Marzo	830,50	187884,16
35	1984	Febrero	480,50	6964,91
36	1985	Marzo	126,00	73464,82
37	1986	Enero	382,80	202,89
38	1987	Febrero	753,30	126918,38
39	1988	Enero	287,80	11934,24
40	1989	Enero	558,00	25906,85
41	1990	Febrero	226,30	29153,49
42	1991	Febrero	345,50	2656,78
43	1992	Abril	512,60	13353,20
44	1993	Febrero	489,60	8566,62
45	1994	Marzo	177,50	48199,54
46	1995	Febrero	195,80	40499,12
47	1996	Febrero	326,40	4990,57
48	1997	Diciembre	833,30	190319,35
49	1998	Abril	1137,60	548423,28
50	1999	Febrero	388,60	71,30
51	2000	Marzo	347,10	2494,40
52	2001	Marzo	580,80	33766,29
53	2002	Marzo	630,10	54315,13
54	2003	Febrero	407,10	101,12
55	2004	Febrero	215,10	33103,60
56	2005	Marzo	274,50	15017,02
57	2006	Febrero	511,10	13008,78
58	2007	Marzo	458,60	3789,15
59	2008	Marzo	607,60	44333,85
60	2009	Marzo	391,60	29,64
61	2010	Febrero	373,70	544,94
62	2011	Abril	278,50	14052,67
63	2012	Febrero	566,30	28647,61
64	2013	Marzo	556,00	25267,03
65	2014	Enero	351,10	2110,85
66	2015	Abril	312,10	7215,47
66		Suma	26204,9	2441777,72

Los parámetros estadísticos calculados son:

Media:
$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = 397,04 \text{ mm}$$

Desviación Estándar:
$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 193,82 \text{ mm}$$

Coefficientes:
$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s = 151,12 \text{ mm}$$

$$u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha = 309,82 \text{ mm}$$

Para el modelo de probabilidad:
$$F_{(x)} = e^{-e^{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)}}$$

Las precipitaciones diarias máximas probables calculadas para distintos periodos de retorno se muestran en la tabla 3. La columna correspondiente a la variable reducida YT se obtiene de aplicar logaritmo natural a cada periodo de retorno (Tr), obteniéndose para un periodo de retorno de 2 años p. ej., $YT = -\text{LN}(\text{LN}(2/(2-1))) = 0,3665$, de la misma forma para los demás Tr.

La columna de precipitación se obtiene de la ecuación $XT = \mu + \alpha * YT$, con los valores de los parámetros mostrados anteriormente:

$XT = 309,82 + (151,12 * 0,3665) = 365,20 \text{ mm}$, de igual forma se procede para los demás Tr.

La probabilidad de ocurrencia se obtiene aplicando la fórmula de $F(x)$ descrita anteriormente y aplicándola se obtiene que varía desde el 50% para los primeros dos años, el 80% en cinco años, el 90% en diez años, el 96% en veinticinco, el 98% en cincuenta, el 99% en cien años hasta el 99.8% en 500 años.

Según el estudio de miles de estaciones - año de datos de lluvia, realizado por L. L. Wels, los resultados de un análisis probabilístico llevado a cabo con lluvias máximas anuales tomadas en un único intervalo fijo de observación, al ser incrementados en un 13% conducían a magnitudes más aproximadas a las obtenidas en el análisis basado en lluvias máximas verdaderas. Por tanto el valor representativo adoptado para la cuenca será multiplicado por 1.13 para ajustarlo por intervalo fijo y único de observación, obteniendo la corrección del intervalo fijo que en definitiva es el valor a utilizar.

Tabla 3.- Cálculo de las Precipitaciones diarias máximas probables para diferentes tiempos de duración. Fuente: HidroJING.

<i>Periodo Retorno</i>	<i>Variable Reducida</i>	<i>Precip. (mm)</i>	<i>Prob. de ocurrencia</i>	<i>Corrección intervalo fijo</i>
<i>Años</i>	<i>YT</i>	<i>XT'(mm)</i>	<i>F(xT)</i>	<i>XT (mm)</i>
2	0,3665	365,20	0,5000	412,68
5	1,4999	536,48	0,8000	606,23
10	2,2504	649,89	0,9000	734,38
25	3,1985	793,18	0,9600	896,29
50	3,9019	899,48	0,9800	1016,41
100	4,6001	1004,99	0,9900	1135,64
500	6,2136	1248,82	0,9980	1411,16

6.3. Ecuación de Intensidad

Las relaciones o cocientes a la lluvia de 24 horas se emplean para duraciones de varias horas. (Campos A., 1978) propone los siguientes cocientes:

Tabla 4.- Valores concluidos para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas. Fuente: D. F. Campos A., 1978

Duraciones, en horas									
1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
0,30	0,39	0,46	0,52	0,57	0,61	0,68	0,80	0,91	1,00

Estos datos serán obtenidos como un porcentaje de los resultados de la precipitación máxima probable para 24 horas, para cada período de retorno, diferentes porcentajes de este valor según los tiempos de duración de lluvia adoptados (ver tabla 5).

Tabla 5.- Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias (tabla Pd). Fuente: HidroJING.

Tiempo de Duración	Cociente	Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración						
		2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	X24	412,68	606,23	734,38	896,29	1016,41	1135,64	1411,16
18 hr	X18 = 91%	375,54	551,67	668,29	815,63	924,94	1033,43	1284,16
12 hr	X12 = 80%	330,15	484,99	587,50	717,03	813,13	908,51	1128,93
8 hr	X8 = 68%	280,62	412,24	499,38	609,48	691,16	772,24	959,59
6 hr	X6 = 61%	251,74	369,80	447,97	546,74	620,01	692,74	860,81
5 hr	X5 = 57%	235,23	345,55	418,60	510,89	579,35	647,32	804,36
4 hr	X4 = 52%	214,59	315,24	381,88	466,07	528,53	590,53	733,81
3 hr	X3 = 46%	189,83	278,87	337,81	412,29	467,55	522,39	649,14

2 hr	X2 = 39%	160,95	236,43	286,41	349,55	396,40	442,90	550,35
1 hr	X1 = 30%	123,80	181,87	220,31	268,89	304,92	340,69	423,35

6.3.1. Intensidades de lluvia a partir de Pd, según Duración de precipitación y Frecuencia de la misma.

La intensidad es la tasa temporal de precipitación, es decir, la profundidad por unidad de tiempo (mm/h). Puede ser la intensidad instantánea o la intensidad promedio sobre la duración de la lluvia. Comúnmente se utiliza la intensidad promedio, que puede expresarse como:

$$i = \frac{P}{Td}$$

Donde P es la profundidad de lluvia (mm) y Td es la duración, dada usualmente en horas.

La frecuencia se expresa en función del período de retorno, T, que es el intervalo de tiempo promedio entre eventos de precipitación que igualan o exceden la magnitud de diseño (ver tabla 6).

Tabla 6.- Calculo de la intensidad de lluvia en mm/h. Fuente: HidrojING.

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm /hr) según el Periodo de Retorno						
Hr	min	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	1440	17,20	25,26	30,60	37,35	42,35	47,32	58,80
18 hr	1080	20,86	30,65	37,13	39,84	51,39	57,41	71,34
12 hr	720	27,51	40,42	48,96	59,75	67,76	75,71	94,08
8 hr	480	35,08	51,53	62,42	76,18	86,39	96,53	119,95
6 hr	360	41,96	61,63	74,66	91,12	103,34	115,46	143,47
5 hr	300	47,05	69,11	83,72	102,18	115,87	129,46	160,87
4 hr	240	53,65	78,81	95,47	116,52	132,13	147,63	183,45
3 hr	180	63,28	92,96	112,60	137,43	155,85	174,13	216,38
2 hr	120	80,47	118,22	143,20	174,78	198,20	221,45	275,18
1 hr	60	123,80	181,87	220,31	268,89	304,92	340,69	423,35

Con la tabla de intensidad de realizan las regresiones para los diferentes periodos de retorno, las mismas que mostramos en el anexo 4. Luego hacemos un resumen de términos en la constante de regresión, denominado (d) en la siguiente tabla (ver tabla 7), con el cual determinamos el coeficiente de regresión (n):

Tabla 7.- Resumen de aplicación de regresión. Fuente: HidrojING.

<i>Resumen de aplicación de regresión potencial</i>		
Periodo de Retorno (años)	Término cte. de regresión (d)	Coef. de regresión [n]
2	1560,15	-0,616386
5	2291,88	-0,616386
10	2776,34	-0,616386
25	3697,83	-0,633625
50	3842,57	-0,616386
100	4293,32	-0,616386
500	5334,94	-0,616386
Promedio =	3399,58	-0,618849

Realizando un cambio de variable obtenemos:

$$d = K \cdot T^m$$

$$I = \frac{K T^m}{t^n}$$

Con lo que de la expresión de la intensidad de lluvia se obtiene:

$$I = \frac{d}{t^n} \Rightarrow I = d \cdot t^{-n}$$

En función del cambio de variable realizado, se realiza otra regresión de potencia entre las columnas del periodo de retorno (T) y el término constante de regresión (d), para obtener valores de la ecuación (ver tabla 8):

Tabla 8.- Regresión potencial. Fuente: HidrojING.

<i>Regresión potencial</i>						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	2	1560,15	0,6931	7,3525	5,0964	0,4805
2	5	2291,88	1,6094	7,7371	12,4524	2,5903
3	10	2776,34	2,3026	7,9289	18,2569	5,3019
4	25	3697,83	3,2189	8,2155	26,4447	10,3612
5	50	3842,57	3,9120	8,2539	32,2894	15,3039
6	100	4293,32	4,6052	8,3648	38,5214	21,2076
7	500	5334,94	6,2146	8,5820	53,3340	38,6214
7	692	23797,03	22,5558	56,4348	186,3952	93,8667
Ln (K) = 7,3705		K = 1588,3824		m = 0,2146		

El gráfico producto de esta regresión con su respectiva ecuación lineal se muestra en la Figura 7 siguiente:

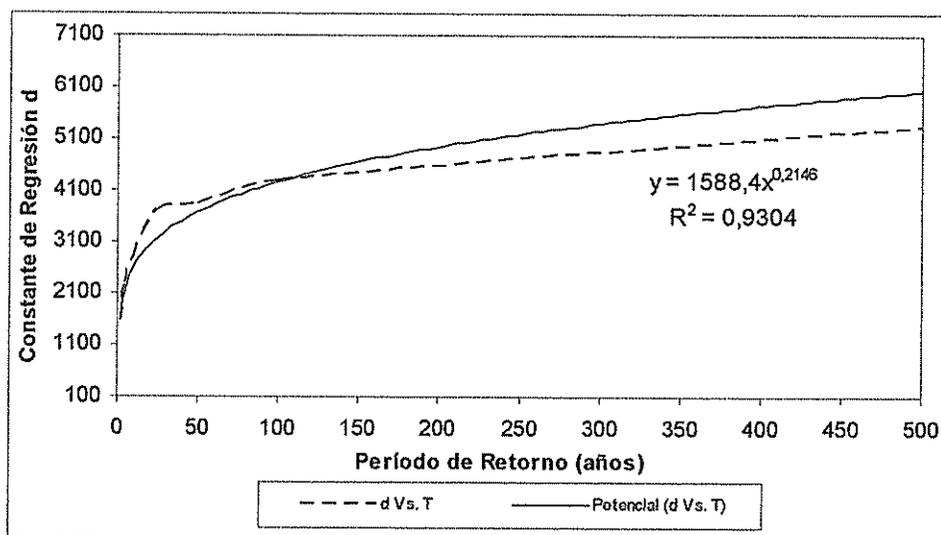


Figura 7. Constante de regresión (d). Fuente: HidrojING.

Luego de obtener los parámetros necesarios, la ecuación válida de intensidad para nuestra cuenca de estudio es la siguiente:

$$I = \frac{1588,3824 * T^{0,214645}}{0,61885 t}$$

Con esta ecuación obtenemos los valores para elaborar las curvas de intensidad-duración-frecuencia para tiempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años, las cuales se muestran en varios colores de forma ascendente en el siguiente gráfico (ver tabla 9).

Tabla 9.- Valores de Intensidad de precipitación según duración y frecuencia. Fuente: HidrojING.

Valores de Intensidad de precipitación según Duración de la misma y Frecuencia de repetición							
Duración (minutos)	Período de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
5	680,79	828,76	961,71	1170,73	1358,54	1576,48	2226,99
10	443,32	539,68	626,25	762,37	884,67	1026,59	1450,19
15	344,94	419,92	487,28	593,19	688,35	798,77	1128,37
20	288,69	351,43	407,81	496,45	576,09	668,50	944,35

25	251,45	306,10	355,21	432,41	501,78	582,28	822,55
30	224,62	273,44	317,31	386,28	448,24	520,15	734,78
35	204,18	248,56	288,44	351,13	407,46	472,82	667,93
40	187,99	228,85	265,56	323,28	375,14	435,32	614,95
45	174,77	212,76	246,89	300,56	348,77	404,72	571,72
50	163,74	199,33	231,31	281,58	326,76	379,17	535,63
55	154,36	187,92	218,06	265,46	308,04	357,46	504,95
60	146,27	178,06	206,63	251,54	291,89	338,72	478,48
65	139,20	169,46	196,64	239,38	277,79	322,35	455,36
70	132,96	161,86	187,83	228,65	265,33	307,90	434,95
75	127,41	155,10	179,98	219,10	254,24	295,03	416,77
80	122,42	149,02	172,93	210,52	244,29	283,48	400,45
85	117,91	143,54	166,56	202,77	235,29	273,04	385,70
90	113,81	138,55	160,77	195,72	227,12	263,55	372,30
95	110,07	133,99	155,48	189,28	219,64	254,88	360,05
100	106,63	129,80	150,63	183,36	212,78	246,91	348,80
105	103,46	125,94	146,15	177,91	206,45	239,57	338,43
110	100,52	122,37	142,00	172,86	200,59	232,77	328,82
115	97,79	119,05	138,15	168,17	195,15	226,46	319,90
120	95,25	115,95	134,55	163,80	190,08	220,57	311,58
125	92,87	113,06	131,20	159,71	185,34	215,07	303,81
130	90,65	110,35	128,05	155,88	180,89	209,91	296,53
135	88,55	107,80	125,10	152,29	176,72	205,06	289,68
140	86,58	105,40	122,31	148,90	172,78	200,50	283,23
145	84,72	103,14	119,68	145,70	169,07	196,19	277,15
150	82,97	101,00	117,20	142,67	165,56	192,12	271,39
155	81,30	98,97	114,85	139,81	162,23	188,26	265,94
160	79,72	97,04	112,61	137,09	159,08	184,60	260,77
165	78,21	95,21	110,49	134,50	156,08	181,12	255,85
170	76,78	93,47	108,46	132,04	153,22	177,80	251,17
175	75,42	91,81	106,54	129,69	150,50	174,64	246,70
180	74,11	90,22	104,69	127,45	147,90	171,62	242,44

El gráfico producto del análisis definido en esta tabla 8 que contiene las curvas IDF de la cuenca en estudio, se muestra en la Figura 8 siguiente:

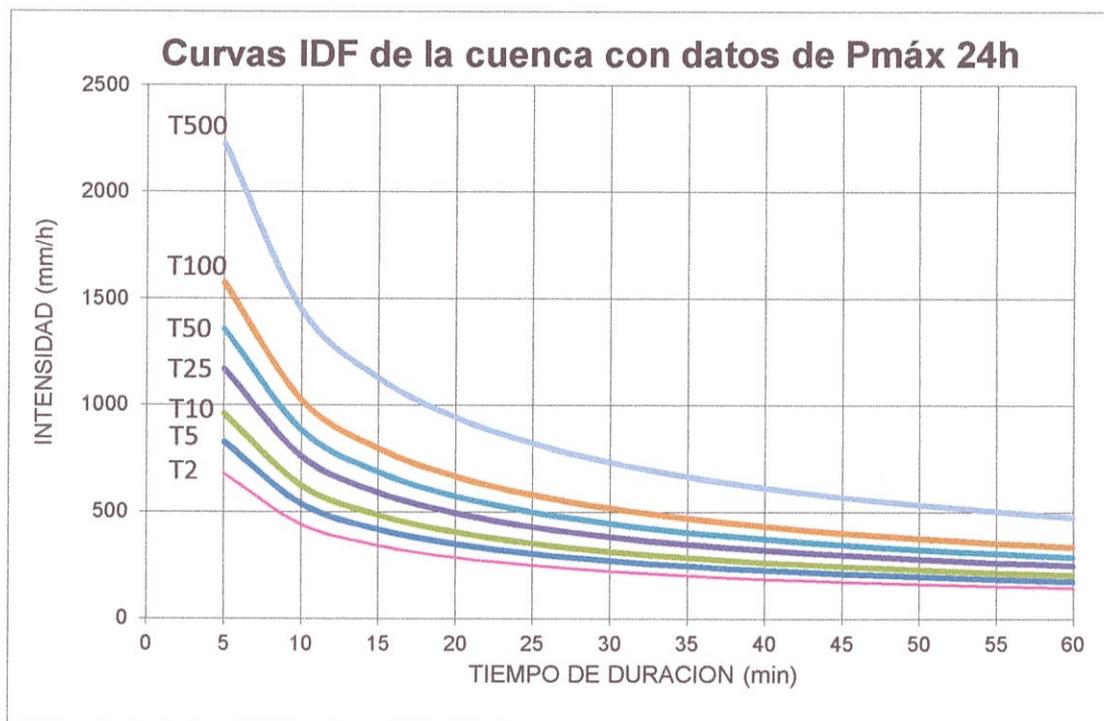


Figura 8.- Curvas IDF. Fuente: HidrojING.

6.4. Obtención de los Hietogramas de precipitación y Distribución de la Intensidad de precipitación, para cada periodo de retorno.

La construcción de los hietogramas de precipitación, la distribución de la intensidad de precipitación y previamente la curva IDF correspondiente, se efectúan con la duración de la tormenta estimada en 6 horas, para el efecto realizamos los cuadros para cada periodo de retorno estimado, que se aprecian en el anexo 5.

6.5. Determinación de la precipitación mediante datos pluviométricos.

Como se mencionó anteriormente, en otro escenario para determinar estas curvas IDF se necesita contar con registros pluviográficos de lluvia en el lugar de interés y seleccionar la lluvia más intensa de diferentes duraciones en cada año, con el fin de realizar un estudio de frecuencia con cada una de las series así formadas. Es decir, se deben examinar los hietogramas de cada una de las tormentas ocurridas en un año y de estos hietogramas elegir la lluvia correspondiente a la hora más lluviosa, a las dos horas más lluviosas, a las tres horas y así sucesivamente. Con los valores seleccionados se forman series anuales para cada una de las duraciones elegidas. Estas series anuales están formadas eligiendo, en cada año del registro, el mayor valor observado correspondiente a cada duración, obteniéndose un valor para cada año y cada duración.

Cada serie se somete a un análisis de frecuencia, asociando modelos probabilísticas según lo descrito en la distribución Gumbel. Así se consigue una asignación de probabilidad para la intensidad de lluvia correspondiente a cada duración, la cual se representa en un gráfico único de intensidad vs duración, teniendo como parámetro el período de retorno.

Cabe indicar que formar las series anuales es un proceso largo y laborioso, que involucra el examen cuidadoso de los rollos pluviográficos, la lectura de los valores, la digitación de la información, la contrastación y verificación de los valores leídos con los registros pluviométricos cercanos y el análisis de las tormentas registradas para encontrar los máximos valores registrados para cada una de las duraciones seleccionadas.

En el año de 1999 el INAMHI publicó el Estudio de Lluvias Intensas, el cual contiene las curvas I.D.F. (Intensidad – Duración – Frecuencia) para las diversas estaciones pluviográficas y pluviométricas del país, las mismas que están elaboradas con registros tomados hasta el año 1997. [Tomado de la tesis: Derivación de las curvas Intensidad -Duración - Frecuencia (I.D.F.) para la Ciudad de Guayaquil, p.2]. [12].

Para Guayaquil, es la que se muestra en la siguiente figura (ver Figura 9):

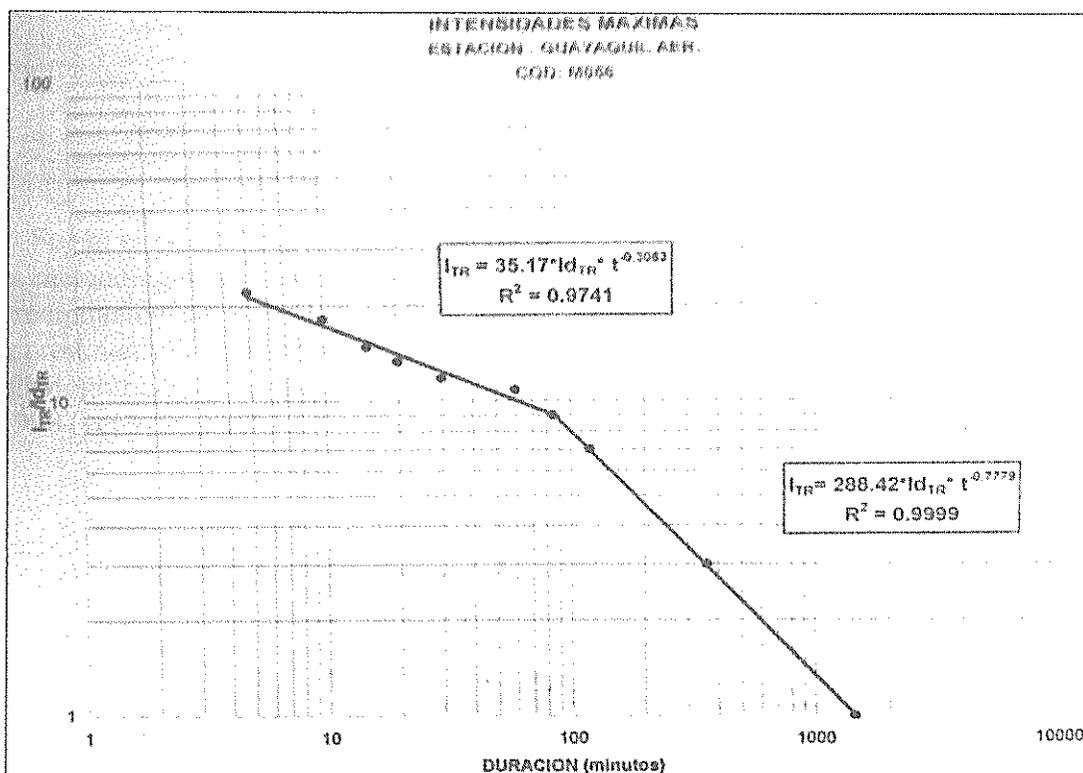


Figura 9.- Ecuaciones de Intensidades Máximas. Fuente INAMHI
La ecuación pluviográfica se define de la siguiente manera:

ECUACIÓN INAMHI - ESTUDIO DE LLUVIAS INTENSAS
ESTACIÓN M056 GUAYAQUIL

T	IDTR
100	10,20
50	9,10
10	6,50
5	5,30

Dónde:

I_{TR} = Intensidad de precipitación para cualquier periodo de retorno en mm/h

ID_{TR} = Intensidad diaria para un periodo de retorno dado en mm/h

t = Tiempo de duración de la lluvia en minutos

De la Figura 9 se deduce dos tipos de ecuaciones, la primera tiene una duración entre 5 min y 85 min, y la segunda entre 85 min y 1440 min, como se resume en el cuadro a continuación (ver Tabla 10):

Tabla 10.- Ecuaciones del INAMHI (1999). Fuente INAMHI

CÓDIGO	ESTACIÓN	DURACIÓN	ECUACIÓN
M056	GUAYAQUIL	5 min < 85 min	$I_{TR} = 35.17 t^{-0.3063} ID_{TR}$
M056	GUAYAQUIL	85 min < 1440 min	$I_{TR} = 288.42 t^{-0.7779} ID_{TR}$

Según el estudio comparativo realizado en la UCSG en el año 2013, Siguiendo con la metodología descrita anteriormente, se procedió a levantar los datos de altura de precipitación en milímetros cada 10 min, por lapsos de 6 horas de las lluvias más representativas de cada año, de los que hubiere registro, directamente de las fajas pluviográficas. En el análisis el autor utiliza la faja pluviométrica del 18 de Abril de 1998 (ver Figura 10).

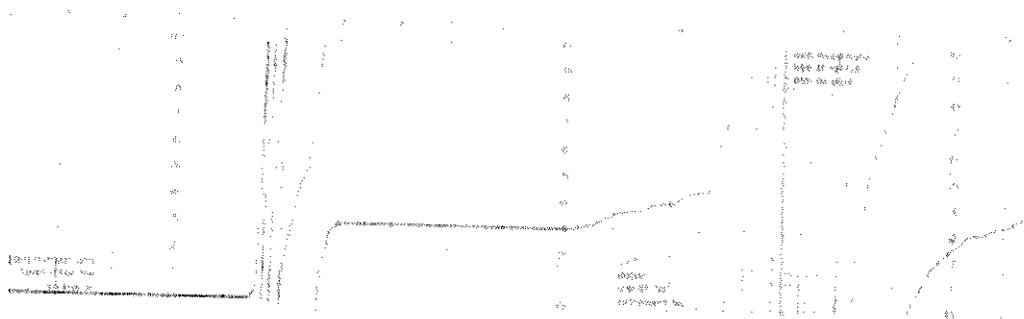


Figura 10.- Faja pluviométrica (18 de Abril de 1999). Fuente INAMHI

Obteniendo los siguientes resultados por cada una de ellas (ver Tabla 11):

Tabla 11.- Registros pluviográficos. Fuente INAMHI

T (min)	Lluvia acumulada (mm)	Δ hp (mm)	Duración (min)										
			Δ 10	Δ 20	Δ 30	Δ 40	Δ 50	Δ 60	Δ 120	Δ 180	Δ 240	Δ 300	Δ 360
0	0	0											
10	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,9	1,7	2,9	75,4	132,2	150,3	154	155,1
20	0,3	0,1	0,1	0,2	0,7	1,5	2,7	10,2	92,9	137,8	150,9	154	
30	0,4	0,1	0,1	0,6	1,4	2,6	10,1	20,1	102,5	141,7	151,4	154,2	
40	0,9	0,5	0,5	1,3	2,5	10	20	30	112,2	146,4	152,3	154,3	
50	1,7	0,8	0,8	2	9,5	19,5	29,5	39,5	121,5	147,4	152,3	153,9	
60	2,9	1,2	1,2	8,7	18,7	28,7	38,7	53,7	128,5	147,6	151,9	153,3	
70	10,4	7,5	7,5	17,5	27,5	37,5	52,5	72,5	129,3	147,4	151,1	152,2	
80	20,4	10	10	20	30	45	65	82,7	127,6	140,7	143,8		
90	30,4	10	10	20	35	55	72,7	82,4	121,6	131,3	134,1		
100	40,4	10	10	25	45	62,7	72,4	82,2	116,4	122,3	124,3		
110	55,4	15	15	35	52,7	62,4	72,2	82	107,9	112,8	114,4		
120	75,4	20	20	37,7	47,4	57,2	67	74,8	93,9	98,2	99,6		
130	93,1	17,7	17,7	27,4	37,2	47	54,8	56,8	74,9	78,6	79,7		
140	102,8	9,7	9,7	19,5	29,3	37,1	39,1	44,9	58	61,1			
150	112,6	9,8	9,8	19,6	27,4	29,4	35,2	39,2	48,9	51,7			
160	122,4	9,8	9,8	17,6	19,6	25,4	29,4	34,2	40,1	42,1			
170	130,2	7,8	7,8	9,8	15,6	19,6	24,4	25,9	30,8	32,4			
180	132,2	2	2	7,8	11,8	16,6	18,1	19,1	23,4	24,8			
190	138	5,8	5,8	9,8	14,6	16,1	17,1	18,1	21,8	22,9			
200	142	4	4	8,8	10,3	11,3	12,3	13,1	16,2				
210	146,8	4,8	4,8	6,3	7,3	8,3	9,1	9,7	12,5				
220	148,3	1,5	1,5	2,5	3,5	4,3	4,9	5,9	7,9				
230	149,3	1	1	2	2,8	3,4	4,4	4,9	6,5				
240	150,3	1	1	1,8	2,4	3,4	3,9	4,3	5,7				
250	151,1	0,8	0,8	1,4	2,4	2,9	3,3	3,7	4,8				
260	151,7	0,6	0,6	1,6	2,1	2,5	2,9	3,1					
270	152,7	1	1	1,5	1,9	2,3	2,5	2,8					
280	153,2	0,5	0,5	0,9	1,3	1,5	1,8	2					
290	153,6	0,4	0,4	0,8	1	1,3	1,5	1,6					
300	154	0,4	0,4	0,6	0,9	1,1	1,2	1,4					
310	154,2	0,2	0,2	0,5	0,7	0,8	1	1,1					

320	154,5	0,3	0,3	0,5	0,6	0,8	0,9						
330	154,7	0,2	0,2	0,3	0,5	0,6							
340	154,8	0,1	0,1	0,3	0,4								
350	155	0,2	0,2	0,3									
360	155,1	0,1	0,1										
Lectura máxima			20	37,7	52,7	62,7	72,7	82,7	129,3	147,6	152,3	154,3	155,1

Una vez digitalizadas las fajas e ingresados los registros en la tabla anterior se procedió a tabular y a seleccionar los máximos registros de precipitaciones para duraciones de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120 y 360 min de cada año para obtener los siguientes datos (ver Tabla 12):

Tabla 12.- Intensidades Máximas de Precipitación. Fuente INAMHI

INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN (mm/h)								
AÑO	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min	360 min
1	54,00	43,50	40,00	33,68	30,49	26,50	13,60	5,33
2	75,60	60,30	50,40	44,72	40,27	31,60	15,95	7,82
3	93,00	78,00	75,00	64,68	59,74	60,00	37,50	14,95
4	45,00	44,40	40,20	36,15	33,72	29,10	15,50	6,27
5	56,40	56,40	52,60	52,05	49,44	43,70	26,05	10,18
6	57,0	52,50	54,00	48,75	45,00	45,00	31,55	11,85
7	74,40	53,70	44,00	40,05	35,64	34,20	19,50	7,60
8	61,80	52,50	45,00	39,60	34,68	31,20	16,45	5,62
9	58,20	57,90	52,80	41,10	33,00	27,50	17,20	7,38
10	72,00	65,40	60,00	53,91	50,60	50,00	35,00	21,35
11	66,00	46,50	34,40	38,44	35,16	32,20	23,30	8,40
12	36,00	25,80	18,60	19,76	17,58	15,80	11,00	2,60
13	12,00	21,80	28,60	31,32	34,24	39,90	43,00	11,30
14	85,20	84,60	75,40	70,80	68,88	65,40	39,95	14,23
15	59,40	59,10	58,40	58,35	55,08	52,70	36,45	14,85
16	42,00	37,20	33,20	30,75	28,56	26,30	19,00	7,63
17	60,00	49,50	42,00	39,00	35,04	35,00	26,30	11,33
18	87,00	81,90	66,60	57,15	51,60	55,80	35,30	14,42
19	98,40	85,20	87,60	79,95	76,56	71,30	43,50	22,03
20	69,00	63,00	63,60	54,90	49,92	44,40	38,75	13,98
21	88,80	72,30	56,40	55,50	55,32	55,10	37,60	16,27

22	84,00	71,70	66,80	59,85	53,28	48,60	30,10	10,03
23	57,00	49,20	44,00	40,20	34,8	32,50	17,70	6,72
24	60,00	59,70	59,60	53,70	47,64	43,50	27,20	9,85
25	108,00	88,50	80,80	75,60	72,12	69,90	63,35	30,07
26	120,00	113,10	105,40	94,05	87,24	82,70	64,65	25,85
27	57,00	55,50	52,00	45,00	41,04	36,60	24,55	8,60
28	72,00	66,90	61,60	59,55	53,88	47,90	41,35	14,33
29	63,00	58,50	51,00	51,00	44,4	38,00	29,70	18,83
30	63,00	56,10	50,40	51,30	51,84	48,20	29,75	12,60
31	45,60	39,30	37,40	36,00	33,48	30,40	23,75	9,65
32	70,80	65,40	60,20	53,85	46,08	40,90	24,25	11,22
33	108,00	85,50	73,00	60,75	51,00	43,80	23,00	10,53
34	72,00	61,50	53,40	46,80	43,32	40,10	22,75	8,45
35	45,00	33,00	29,00	27,00	23,16	20,00	11,80	4,00

Aplicando el método propuesto, que consistía en correr estos datos en el programa Ax, el cual es un programa de ajuste probabilístico creado por el departamento de ingeniería de la UNAM de México, y aplicándolo para duraciones de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120 y 360 minutos, se obtiene las precipitaciones máximas estimadas (ver Tabla13),

Tabla13.- Intensidades Máximas estimadas para diversos Periodos de retorno.
Fuente: Derivación de las curvas Intensidad -Duración - Frecuencia (I.D.F.) para la Ciudad de Guayaquil, p.2. (Ref.12).

Tabla de Intensidades - Tiempo de Duración								
Tiempo de retorno	Duración en minutos							
	10	20	30	40	50	60	120	360
2	64,88	57,33	51,29	47,04	43,07	39,93	25,67	9,96
5	86,86	74,85	69,03	62,05	57,21	54,09	38,06	16,65
10	100,06	85,26	80,77	71,99	66,57	63,31	46,38	19,82
20	111,89	94,54	92,04	81,53	75,55	72,06	54,24	24,09
50	126,22	105,7	106,62	93,87	87,17	83,34	64,1	30,00
100	136,39	113,6	117,54	103,11	95,88	91,79	71,16	34,73

El gráfico producto de estos datos se observa en la figura 11, en el mismo se muestra las curvas para diversos periodos de retorno.

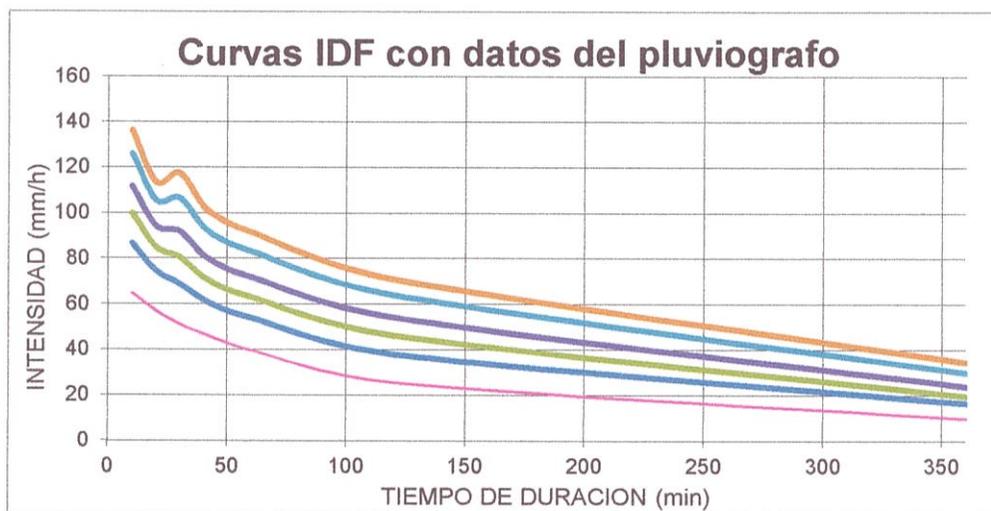


Figura 11.- Curvas IDF. Fuente: Elaboración propia.

6.6. Cálculo de caudales máximos utilizando el método de la Fórmula Racional

Este método, que la literatura inglesa atribuye a Lloyd-George en 1906, si bien los principios del mismo fueron establecidos por Mulvaney en 1850, permite determinar el caudal máximo que escurrirá por una determinada sección, bajo el supuesto que éste acontecerá para una lluvia de intensidad máxima constante y uniforme en la cuenca correspondiente a una duración D igual al tiempo de concentración de la sección.

$$Q_{\text{máx}} = CiA$$

En donde: $Q_{\text{máx}}$: Caudal máximo en la sección de cálculo,

C : Coeficiente de escorrentía medio ponderado de la cuenca,

A : Área total de la cuenca vertiente en la sección de cálculo,

i : Intensidad media máxima para una duración igual al tiempo de concentración, de la sección de cálculo.

6.6.1. Determinación del Coeficiente de Escorrimento C

(Tomado de <http://portafolio.snet.gob.sv/digitalizacion/pdf/spa/doc00245-seccion%20c.pdf>). [8].

El coeficiente de escorrimento C representa la fracción de la lluvia que escurre en forma directa y toma valores entre cero y uno, varía apreciablemente entre una cuenca y otra, de una tormenta a otra, debido a las condiciones de humedad iniciales. Sin embargo, es común tomar valores de C representativos de acuerdo con ciertas

características de las cuencas como la vegetación, pendientes del terreno y uso de suelos. [German Monsalve, 1999: p.179], (ver tabla en la Tabla14).

Tabla 14. Tabla de valores de coeficientes de escurrimiento C.

Coefficientes de escurrimiento para ser usados en el método racional							
Característica de la superficie	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Áreas desarrolladas							
Asfáltico	0,73	0,77	0,81	0,86	0,90	0,95	1,00
Concreto/techo	0,75	0,80	0,83	0,88	0,92	0,97	1,00
Zonas verdes (jardines, parques, etc.)							
Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50% del área)							
Plano, 0-2%	0,32	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,58
Promedio, 2-7%	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,53	0,61
Pendiente, superior a 7%	0,40	0,43	0,45	0,49	0,52	0,55	0,62
Condición promedio (cubierta de pasto del 50% al 75% del área)							
Plano, 0-2%	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Promedio, 2-7%	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Pendiente, superior a 7%	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75% del área)							
Plano, 0-2%	0,21	0,23	0,25	0,29	0,32	0,36	0,49
Promedio, 2-7%	0,29	0,32	0,35	0,39	0,42	0,46	0,56
Pendiente, superior a 7%	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,51	0,58
Áreas no desarrolladas							
Áreas de cultivos							
Plano, 0-2%	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,57
Promedio, 2-7%	0,35	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51	0,60
Pendiente, superior a 7%	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54	0,61
Pastizales							
Plano, 0-2%	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Promedio, 2-7%	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Pendiente, superior a 7%	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
Bosques							
Plano, 0-2%	0,22	0,25	0,28	0,31	0,35	0,39	0,48
Promedio, 2-7%	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,56
Pendiente, superior a 7%	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52	0,58

Nota: Los valores de la tabla son estándares utilizados en la ciudad de Austin, Texas.
Utilizada con Autorización.

7. Resultados

Del análisis hidrológico hemos visto que los resultados del INAMHI con respecto a la intensidad son los adecuados y podemos resumir que para la duración de una tormenta de diseño estimada en 6 horas, tenemos (ver tabla 15):

Tabla 15.- Intensidades para diversos periodos de retorno. Fuente: E. Propia

Tiempo de retorno	Precipitación 24h (mm)	Intensidad (mm/h)
2	444,68	9,96
5	541,33	16,65
10	628,17	19,82
25	764,70	25,08
50	887,37	30,00
100	1029,72	34,73
500	1454,63	40,00

Luego en el cálculo de caudales determinamos que:

Los Coeficientes de Escorrimento C para los diversos periodos de retorno que hemos estimado en nuestro caso son los de áreas desarrolladas concreto/techo.

El Área de la cuenca determinada en las condiciones morfométricas anteriores es 1,96 km² o 1'958.628 m².

La intensidad media para los diferentes periodos de retorno las mostramos anteriormente en el cuadro 9.

Con los datos de intensidad y los correspondientes del coeficiente C de la figura 16, y aplicando la formula racional para cada caso. Los caudales máximos para los diferentes periodos de retorno son (ver tabla 16):

Tabla 16.- Caudales máximos para diversos periodos de retorno. Fuente: E. Propia

Tiempo de retorno	Intensidad (mm/h)	Coeficiente C	Caudal (m ³ /s)
2	9,96	0,75	4,06
5	16,65	0,80	7,25
10	19,82	0,83	8,63
25	25,08	0,88	12,01
50	30,00	0,92	15,02
100	34,73	0,97	18,33
500	40,00	1,00	21,76

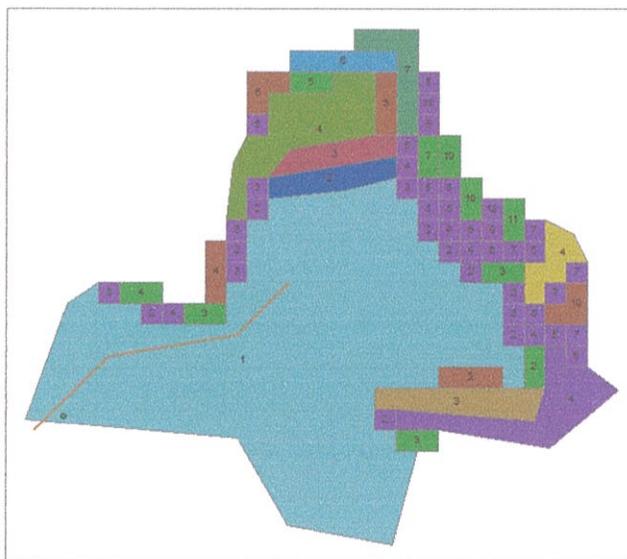


Figura 12. Área de mayor inundación en la cuenca. Fuente: Elaboración propia

Del análisis en el software de información geográfica obtenemos que el área de inundación (ver Figura 12), cubre una superficie de 1'095.041,43 m², su altitud es 60 msnm promedio. La cota de descarga de estero al final de la cuenca en el lado oeste es 30 msnm.

Para mejor análisis trasladamos esta información al programa AutoCad, aquí esa área es determinada por la línea roja dentro de nuestra cuenca (que está en línea negra), la línea verde es la cota 43, que es propiamente el área de mayor inundación por encontrarse en el lugar más llano. (Ver Figura 13).

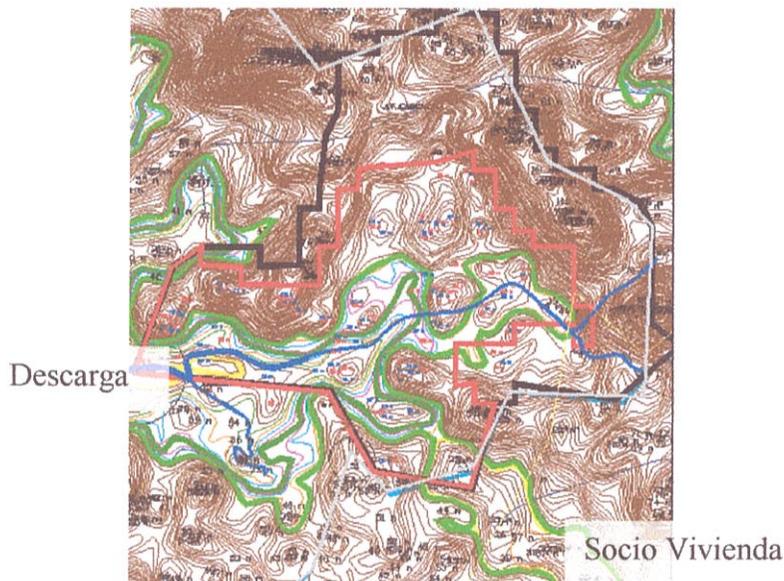


Figura 13. Zonas bajas de mayor inundación. Fuente: Elaboración propia.

Las áreas superficiales se las muestra en la tabla 17.

Tabla 17.- Áreas de inundación de la cuenca. Fuente: E. Propia

Curva No.	Superficie (m2)	Volumen espacial libre entre curvas (m3)
60	1091835	
		13856972
43	538397	
		501936
42	465475	
		760302
40	294827	
		273769
39	252711	
		231109
38	209506	
		350397
36	140891	
		240167
34	99276	
		144657
32	45381	
		64142
30	18761	

7.1. Establecimiento de zonas de riesgo a inundaciones en el sector Socio Vivienda.

Una vez georreferenciado el lugar en AutoCad, ubicamos el lugar objeto de este estudio que está en las coordenadas 615259m E y 9764002 m S, como podemos ver en la Figura 14, el mismo está entre las cotas 34 y 43.

Como podemos ver, la causa de las inundaciones en el sector Socio Vivienda, se debe a la ocupación por la urbanización de la parte baja de las elevaciones aledañas, en el sector se forma una pequeña cuenca que tiene 300.000 m2 aproximadamente, esto influye en el recorrido del drenaje natural, sumado a esto la acumulación de lodos, basura y otros materiales obstruye el sistema construido en la ciudadela haciéndolo obsoleto en el momento de la precipitación máxima.

		121675	8,32	4,66	3,92	2,81	2,25	1,84	1,55
38	108322								
		95620	6,54	3,66	3,08	2,21	1,77	1,45	1,22
37	82918								
		71123	4,87	2,73	2,29	1,64	1,32	1,08	0,91
36	59328								
		39177	2,68	1,50	1,26	0,91	0,72	0,59	0,50
35	19025								
		11521	0,79	0,44	0,37	0,27	0,21	0,17	0,15
34	4017								

Capacidad Total (m3)	1233141	84,37	47,25	39,69	28,52	22,81	18,69	15,74
----------------------	---------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Duración en días de llenado total	3,52	1,97	1,65	1,19	0,95	0,78	0,66
-----------------------------------	------	------	------	------	------	------	------

En la tabla 18 se muestra las duraciones que se darían en condiciones de estancamiento del caudal para la superficie donde se ubica la urbanización Socio Vivienda y que se han venido suscitando relativamente al drenaje de evacuación del mismo.

7.2.- Medidas de adaptación con el fin de reducir la vulnerabilidad a inundaciones.

La principal medida de adaptación es la limpieza de los vertederos naturales previo a cada estación invernal, desde la parte alta hasta la parte baja de la cuenca, limpieza de los drenajes construidos en la ciudadela en la parte baja de la cuenca, para así evitar el taponamiento de los mismos y contribuir al normal flujo de desagüe de aguas lluvias.

Otra de las soluciones posibles es construir los desagües de la parte baja con pendientes más fuertes con el fin de evitar la acumulación de flujo en la cuenca baja.

En el lugar se encuentran construidos unos desarenadores, esta iniciativa es buena pero hay que incrementar el número y el mantenimiento periódico de los mismos. Por otro lado es necesario construir los drenajes de la parte alta de la cuenca revestidos de hormigón con el fin de evitar el traslado de materiales erosionables hacia la cuenca.

8. Conclusiones

El calentamiento global tiene una atribución humana que, por más ligera que sea, termina comprometiendo al hombre ética y moralmente. Este compromiso moral lo obliga a radicar acciones para hacer más eficiente su accionar en la tierra con la finalidad de garantizarles a aquellas generaciones humanas de los siglos XXII y XXIII un equilibrio climatológico lo suficientemente sostenible para su bienestar.

Un mejoramiento de la planificación urbana: Regular la creación de zonas habitables y crear un sistema que prevenga la ocurrencia de eventos extremos el cual permita la desocupación ocasional de las áreas potencialmente inundables como la de socio vivienda y erosionables como la de los sectores aledaños, además de que aún no cuentan con los respectivos servicios básicos y de drenaje, con el fin de evitar las consecuentes pérdidas tanto humanas como materiales.

El uso del primer análisis solo nos da una apreciación de las precipitaciones que se podrían venir con el paso del tiempo, lo cual entra en probabilidades de ocurrir, en cambio el segundo análisis basado en datos del pluviógrafo nos da un acercamiento a la realidad, las soluciones probables entran más en cuestiones de desarrollo de la población, de su capacidad de percibir el riesgo.

Cabe mencionar que el desarrollo de la ciudad en su parte urbanística es lento, debido tanto a los procesos de contratación como al estatus económico para el desarrollo de las obras, pero depende también de la priorización de las mismas por parte de la administración principal, pero todo depende de la correcta gestión que realice la población que habita en Socio Vivienda para solicitar las mencionadas obras.

9. Bibliografía

[1] Paoli Carlos & Malinow Guillermo, Criterios para la determinación de crecidas de diseño en sistemas climáticos cambiantes, Santa Fe, Argentina, Julio del 2010.p.34.

[2] Contribución Tentativa Nacionalmente Determinada de Ecuador (INDC), Gobierno Nacional del Ecuador. Octubre del 2015. p.10.

[3] eitb.eus. Infografía sobre el Cambio Climático. 2011.
<http://www.eitb.eus/multimedia/infografias/infografia-multimedia/cambio-climatico/definicion.html>

[4] Subsecretaría de Hábitat y asentamientos Urbanos (SHAH-MIDUVI), Componente de Intervención Urbana Integral en la Zona de Expansión del Noroeste de la Ciudad de Guayaquil, Ecuador, Agosto del 2011.p.8.

[5] XVII Congreso Nacional de Ingeniería Civil (CONIC). Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia. Chiclayo-Perú 2009.

(<http://es.slideshare.net/mgarcianaranjo/curvas-intensidad-duracin-frecuencia>)

[6] Francisco J. Aparicio Mijares, Fundamentos de Hidrología de Superficie, Mayo de 1992. p.165, 166, 169.

[7] Ministerio de transportes y comunicaciones de Perú. Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje. 2008. p.33.

[8] Fundamentos teóricos para el cálculo de caudales máximos.
<http://portafolio.snet.gob.sv/digitalizacion/pdf/spa/doc00245/doc00245-seccion%20c.pdf>

[9] Ven Te Chow PhD, Hidrología Aplicada, Marzo de 2004. P.96.

[10] Víctor E. Villalta García. Manual para la delimitación de cuencas hidrográficas.

[11] Jordi Oliveras Ing. HidrojING. Portal: <http://www.hidrojing.com>

[12] Víctor Manuel Acosta Arcos. “Derivación de las curvas Intensidad -Duración - Frecuencia (I.D.F.) para la Ciudad de Guayaquil”. UCSG-Mayo de 2013.

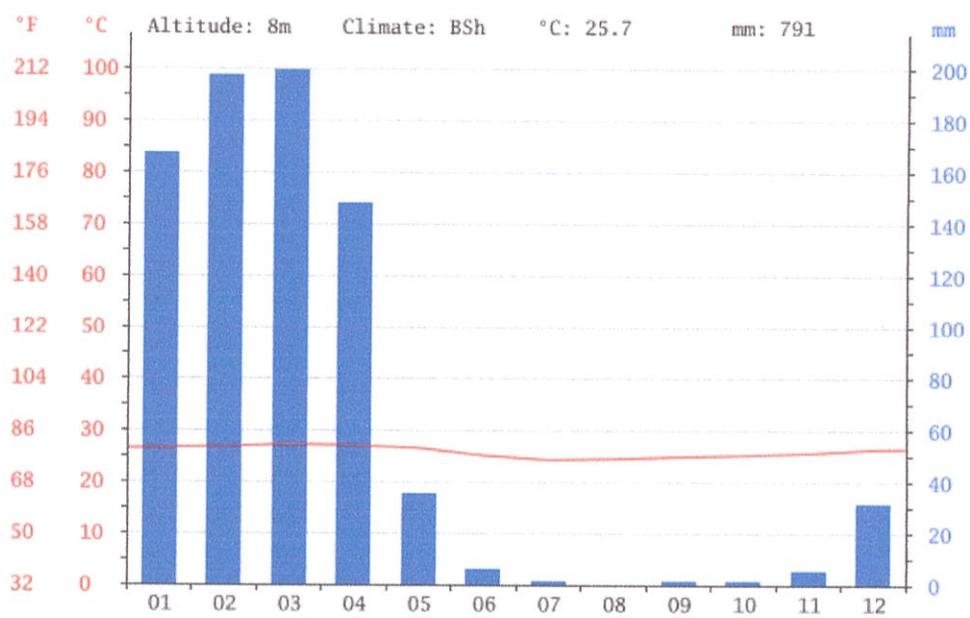
10. Anexos

Anexo 1.-Ubicación de Ecuador en la Costa Oeste del Pacífico.



Fuente: http://estadisticas.comunidadandina.org/eportal/contenidos/imagenes/file/mapas/ambientales/MAP_AB2.pdf

Anexo 2.- CLIMOGRAMA DE GUAYAQUIL



Fuente: <http://es.climate-data.org/location/2962/>

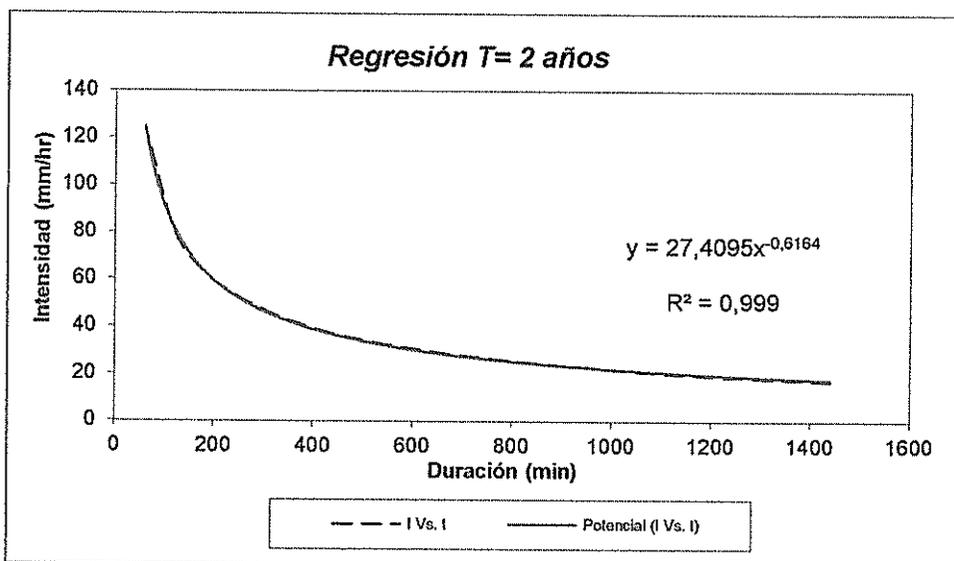
Anexo 3.- Registro de lluvias máximas en 24 horas. Fuente: INAMHI.

REGISTRO HISTORICO DE PLUVIOSIDAD EN mm																
AEROPUERTO " JOSE JOAQUIN DE OLMEDO "																
GUAYAQUIL																
LATITUD 02°09.2' S					LONGITUD 79°53.0' W					ELEVACION: 5m						
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	S.T	Promedio	Mx.Ab	Mn.Ab
1950	174,4	280,0	119,0	23,7	0,5	1,0	0,0	0,0	0,8	0,2	0,8	77,0	677,4	56,5	280,0	0,0
1951	243,7	51,4	55,2	100,0	71,0	43,2	92,4	5,0	0,0	7,0	7,5	66,4	742,8	61,9	243,7	0,0
1952	162,4	179,7	111,3	83,0	9,3	9,8	0,0	0,0	0,0	3,5	1,1	0,1	560,2	46,7	179,7	0,0
1953	155,5	517,2	387,5	572,9	131,5	3,8	2,0	0,0	0,4	0,0	2,9	0,0	1773,7	147,8	572,9	0,0
1954	75,2	168,9	132,4	61,2	0,0	0,9	0,1	0,8	0,0	1,8	0,0	11,2	451,6	37,6	168,9	0,0
1955	273,6	215,0	236,9	48,4	1,8	1,9	0,0	0,0	0,0	0,3	0,5	30,8	809,2	67,4	273,6	0,0
1956	259,3	192,6	176,5	82,8	16,6	0,2	0,2	0,0	0,0	0,9	0,0	1,7	730,8	60,9	259,3	0,0
1957	148,0	337,1	427,2	580,3	107,8	31,1	2,4	0,0	0,0	0,0	0,3	20,5	1654,7	137,9	580,3	0,0
1958	202,2	595,3	319,6	224,0	114,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	1457,7	121,5	595,3	0,0
1959	210,4	194,9	277,5	237,5	41,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	63,8	1025,3	85,4	277,5	0,0
1960	198,2	89,6	356,8	72,3	33,9	0,0	0,0	0,5	0,0	0,5	0,0	11,0	762,8	63,6	356,8	0,0
1961	161,8	295,2	111,2	130,9	1,0	2,4	2,0	0,0	1,7	0,0	0,0	0,4	706,6	58,9	295,2	0,0
1962	17,6	163,9	166,8	50,5	46,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	445,5	37,1	166,8	0,0
1963	51,8	253,5	186,0	68,2	8,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	567,6	47,3	253,5	0,0
1964	266,9	95,3	299,1	177,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	838,4	69,9	299,1	0,0
1965	122,8	126,6	433,1	385,9	207,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1275,9	106,3	433,1	0,0
1966	319,3	175,7	173,9	49,8	12,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	731,1	60,9	319,3	0,0
1967	440,3	366,6	116,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	923,6	77,0	440,3	0,0
1968	91,3	138,1	130,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	359,7	39,0	138,1	0,0
1969	87,7	56,3	420,3	245,6	25,9	124,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	960,7	80,1	420,3	0,0
1970	118,5	87,3	104,4	132,2	156,1	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,8	610,5	50,9	156,1	0,0
1971	120,1	80,8	355,9	108,5	7,6	3,7	0,0	0,0	1,6	0,0	0,6	1,4	680,2	56,7	355,9	0,0
1972	226,4	330,4	406,9	142,7	34,6	151,6	0,0	0,0	0,0	0,7	0,6	103,0	1396,9	116,4	406,9	0,0
1973	701,3	210,2	491,6	180,7	135,7	2,9	0,0	0,0	5,5	2,7	0,0	16,3	1746,9	145,6	701,3	0,0
1974	174,4	123,7	81,3	84,3	69,3	0,3	0,2	0,0	4,3	3,4	2,3	24,4	567,9	47,3	174,4	0,0
1975	221,2	487,0	607,2	201,9	1,4	4,0	1,5	0,9	13,0	9,4	1,4	2,8	1551,7	129,3	607,2	0,9
1976	403,8	589,4	451,0	183,7	141,2	9,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	72,6	1851,2	154,3	589,4	0,0
1977	168,4	278,1	214,4	58,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	718,9	59,9	278,1	0,0
1978	96,9	244,1	182,1	68,9	39,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	631,6	52,6	244,1	0,0

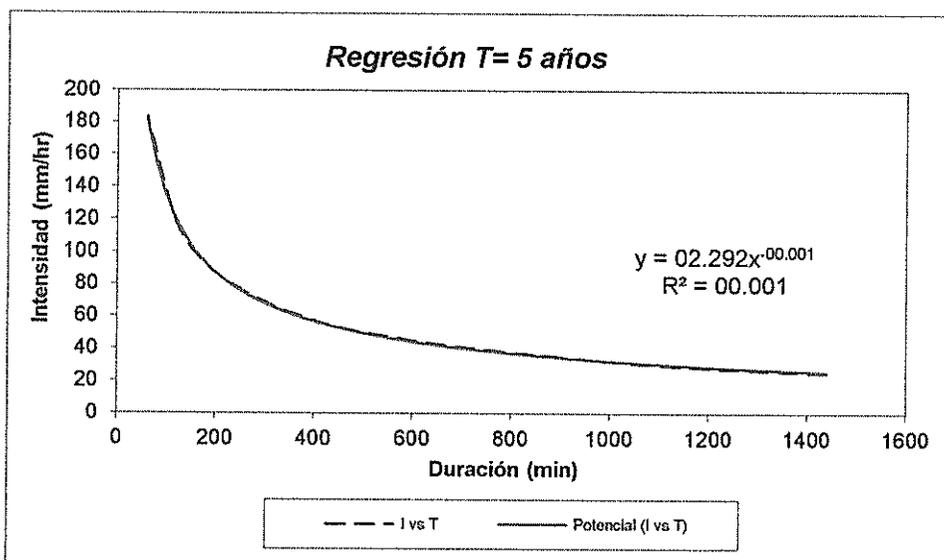
1979	65,7	64,0	78,2	190,7	14,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	412,8	34,4	190,7	0,0
1980	93,2	68,4	175,6	378,8	29,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,2	2,6	749,0	62,4	378,8	0,0	
1981	117,6	399,4	230,4	95,8	0,2	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	44,2	887,8	74,0	399,4	0,0	
1982	126,8	89,8	6,7	16,0	14,1	0,0	0,0	0,0	0,6	6,3	152,3	255,5	668,1	55,7	255,5	0,0	
1983	601,7	539,4	830,5	606,4	621,7	629,9	292,5	18,2	18,9	4,0	1,1	66,4	4230,7	352,6	830,5	1,1	
1984	14,7	480,5	213,8	156,3	34,0	3,3	0,1	0,0	0,7	0,7	0,0	42,1	946,2	70,9	480,5	0,0	
1985	88,4	95,8	126,0	28,2	7,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0	369,7	30,1	126,0	0,0	
1986	382,8	68,1	40,8	195,4	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9	0,3	80,4	775,2	64,6	382,8	0,0	
1987	364,9	753,3	489,7	371,9	45,2	3,0	0,4	2,9	0,4	0,9	0,0	40,3	2072,9	172,7	753,3	0,0	
1988	287,8	217,6	7,0	261,9	25,7	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	1,1	45,1	846,5	70,5	287,8	0,0	
1989	558,0	418,9	313,6	115,8	1,1	4,1	0,0	0,0	0,0	1,4	1,0	0,0	1413,9	117,8	558,0	0,0	
1990	67,3	226,3	182,5	81,4	4,1	13,5	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	14,5	592,1	49,3	226,3	0,0	
1991	119,2	345,5	276,8	10,9	49,6	1,9	0,3	0,0	0,0	0,0	1,6	28,3	834,1	69,5	345,5	0,0	
1992	182,5	269,5	398,6	512,6	185,6	42,7	2,2	0,2	0,0	0,0	0,1	6,4	1600,4	133,4	512,6	0,0	
1993	175,0	489,6	223,4	352,5	135,6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	67,1	1443,6	120,3	489,6	0,0	
1994	157,6	131,4	177,5	111,3	14,4	4,5	0,0	0,0	0,0	0,3	0,4	157,0	754,4	62,9	177,5	0,0	
1995	112,5	195,8	138,2	46,8	5,8	0,9	3,1	0,0	0,4	0,2	2,2	1,8	507,7	42,3	195,8	0,0	
1996	111,7	326,4	198,1	62,8	0,4	0,0	0,0	0,0	0,5	0,4	0,6	14,9	715,8	59,7	326,4	0,0	
1997	99,4	289,8	545,4	249,0	198,7	28,1	81,9	4,7	11,7	99,6	556,2	833,3	2997,8	249,8	833,3	4,7	
1998	392,2	721,1	911,3	1137,6	201,7	68,7	7,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	3441,6	286,8	1137,6	0,0	
1999	85,3	388,6	318,9	157,7	14,4	1,9	0,0	0,0	1,7	0,2	0,3	52,1	1021,1	85,1	388,6	0,0	
2000	158,9	198,6	347,1	244,7	156,1	8,5	0,0	0,0	0,5	0,0	5,2	1,4	1121,0	93,4	347,1	0,0	
2001	215,6	436,0	580,8	186,6	14,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	1433,9	119,5	580,8	0,0	
2002	62,9	469,9	630,1	352,9	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,5	13,9	1535,7	128,0	630,1	0,0	
2003	84,6	407,1	103,9	158,2	17,8	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,5	789,5	65,8	407,1	0,0	
2004	101,9	215,1	146,7	144,8	28,5	0,5	0,2	0,0	0,4	0,1	0,1	4,7	643,0	53,6	215,1	0,0	
2005	37,6	72,0	274,5	136,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	31,3	552,1	46,0	274,5	0,0	
2006	174,5	511,1	196,0	7,5	10,4	0,5	0,0	0,1	0,0	0,0	1,7	34,8	936,6	78,1	511,1	0,0	
2007	193,4	80,4	458,6	64,0	7,6	1,3	0,0	0,3	0,0	2,0	0,5	0,9	809,0	67,4	458,6	0,0	
2008	425,5	393,1	607,6	111,2	0,9	0,8	0,0	0,9	2,7	7,6	0,0	0,7	1551,0	129,3	607,6	0,0	
2009	370,2	361,1	391,6	52,2	56,7	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1233,6	102,8	391,6	0,0	
2010	137,6	373,7	108,2	186,9	19,7	0,0	1,9	0,0	0,0	0,0	1,1	101,2	930,3	77,5	373,7	0,0	
2011	134,7	170,7	31,3	278,5	7,5	4,1	10,4	0,0	0,0	0,0	0,0	20,3	657,5	54,8	278,5	0,0	
2012	262,9	566,3	372,6	152,0	59,2	8,2	0,0	0,0	0,0	3,1	3,0	2,9	1430,2	119,2	566,3	0,0	
2013	180,3	236,6	556,0	127,4	1,8	0,1	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	4,0	1106,5	92,2	556,0	0,0	
2014	351,1	201,2	84,8	113,6	226,2	8,1	0,7	0,0	0,5	1,8	0,0	1,0	989,0	82,4	351,1	0,0	
2015	96,7	126,1	295,2	312,1	86,9	36,2	0,5	0,0	0,0	0	0	0	953,7	79,5	312,1	0,0	

Anexo 4.- Regresiones por el método de distribución Gumbel para diversos periodos de retorno, con el respectivo gráfico:

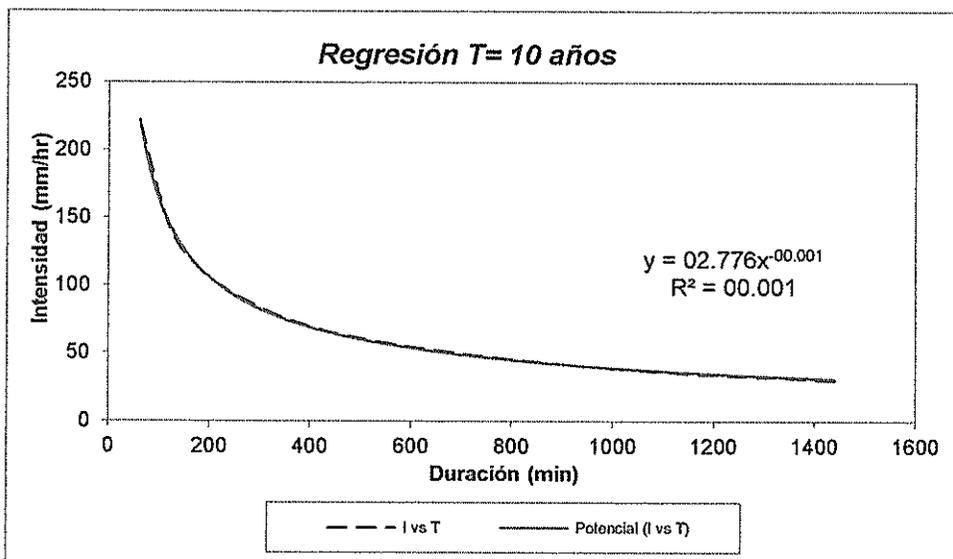
<i>Periodo de retorno para T = 2 años</i>						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	17,1951	7,2724	2,8446	20,6872	52,8878
2	1080	20,8633	6,9847	3,0380	21,2195	48,7863
3	720	27,5121	6,5793	3,3146	21,8078	43,2865
4	480	35,0779	6,1738	3,5576	21,9637	38,1156
5	360	41,9560	5,8861	3,7366	21,9941	34,6462
6	300	47,0457	5,7038	3,8511	21,9659	32,5331
7	240	53,6486	5,4806	3,9825	21,8264	30,0374
8	180	63,2778	5,1930	4,1475	21,5380	26,9668
9	120	80,4729	4,7875	4,3879	21,0071	22,9201
10	60	123,8045	4,0943	4,8187	19,7294	16,7637
10	4980	510,8539	58,1555	37,6792	213,7392	346,9435
$Ln(d) = 7,3525$		$d = 1560,1529$		$n = -0,6164$		



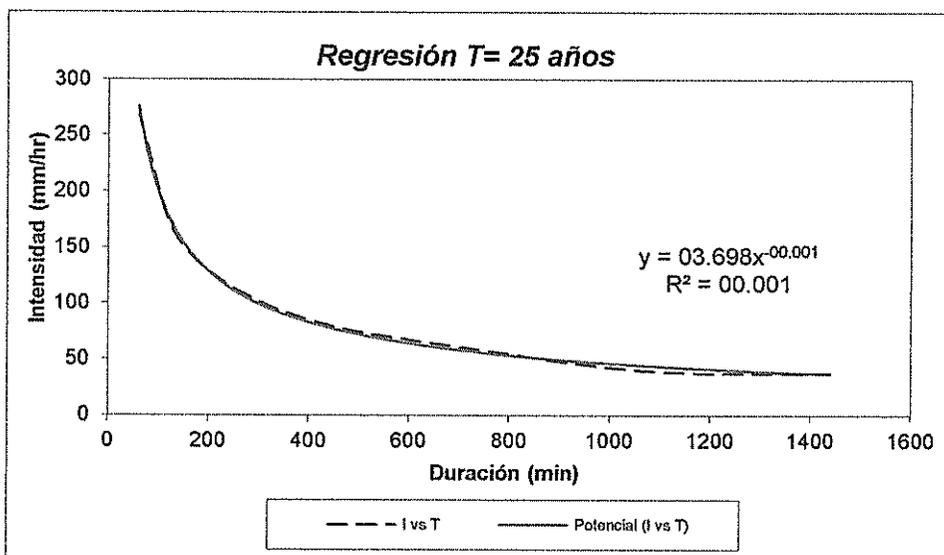
<i>Periodo de retorno para T = 5 años</i>						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	25,2597	7,2724	3,2292	23,4841	52,8878
2	1080	30,6484	6,9847	3,4226	23,9058	48,7863
3	720	40,4155	6,5793	3,6992	24,3380	43,2865
4	480	51,5297	6,1738	3,9422	24,3380	38,1156
5	360	61,6336	5,8861	4,1212	24,2579	34,6462
6	300	69,1104	5,7038	4,2357	24,1595	32,5331
7	240	78,8102	5,4806	4,3670	23,9342	30,0374
8	180	92,9556	5,1930	4,5321	23,5351	26,9668
9	120	118,2152	4,7875	4,7725	22,8483	22,9201
10	60	181,8696	4,0943	5,2033	21,3041	16,7637
10	4980	750,4478	58,1555	41,5250	236,1050	346,9435
<i>Ln (d) = 7,7371</i>		<i>d = 2291,8753</i>		<i>n = -0,6164</i>		



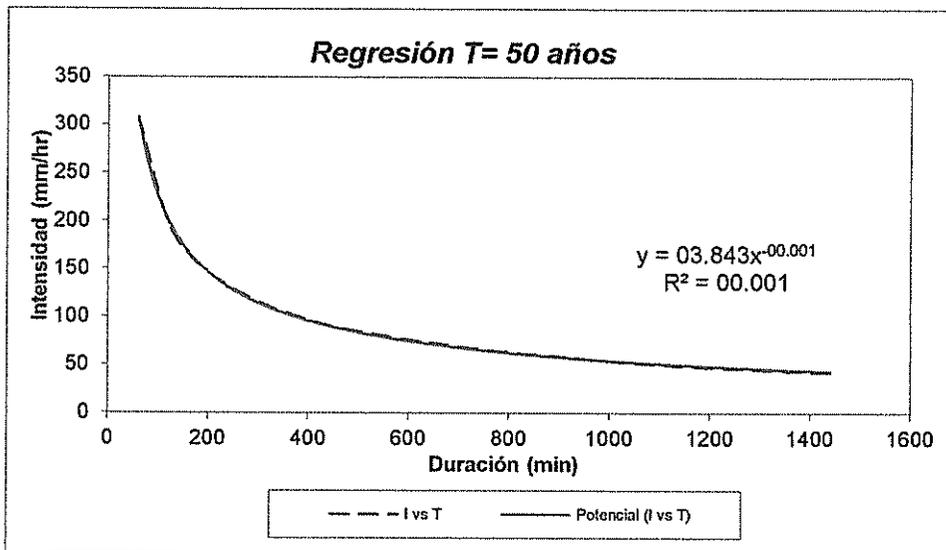
<i>Periodo de retorno para T = 10 años</i>						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	30,5991	7,2724	3,4210	24,8787	52,8878
2	1080	37,1269	6,9847	3,6143	25,2452	48,7863
3	720	48,9586	6,5793	3,8910	25,5997	43,2865
4	480	62,4222	6,1738	4,1339	25,5219	38,1156
5	360	74,6619	5,8861	4,3130	25,3866	34,6462
6	300	83,7192	5,7038	4,4275	25,2533	32,5331
7	240	95,4693	5,4806	4,5588	24,9852	30,0374
8	180	112,6048	5,1930	4,7239	24,5309	26,9668
9	120	143,2039	4,7875	4,9643	23,7664	22,9201
10	60	220,3138	4,0943	5,3951	22,0892	16,7637
10	4980	909,0799	58,1555	43,4427	247,2571	346,9435
$Ln(d) = 7,9289$		$d = 2776,3391$		$n = -0,6164$		



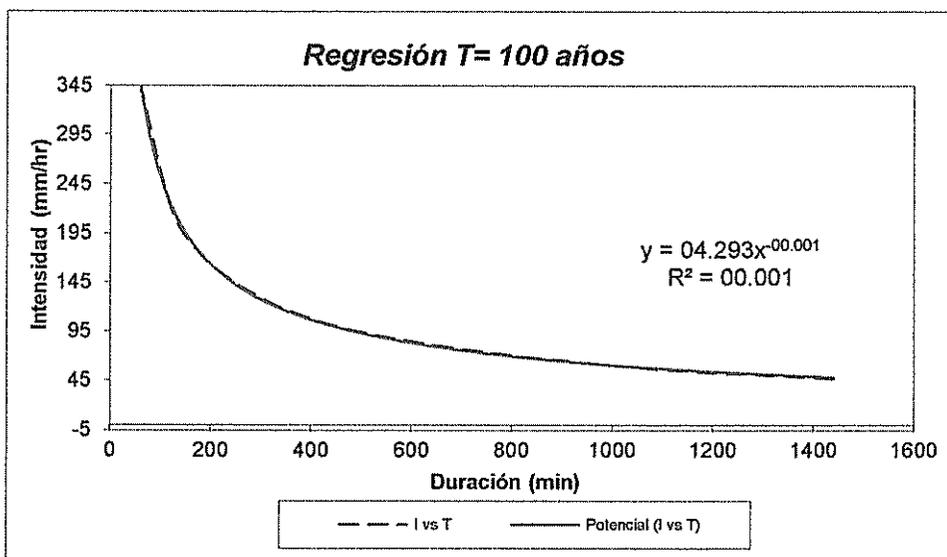
<i>Periodo de retorno para T = 25 años</i>						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	37,3456	7,2724	3,6202	26,3276	52,8878
2	1080	39,8353	6,9847	3,6848	25,7370	48,7863
3	720	59,7529	6,5793	4,0902	26,9106	43,2865
4	480	76,1850	6,1738	4,3332	26,7520	38,1156
5	360	91,1232	5,8861	4,5122	26,5594	34,6462
6	300	102,1775	5,7038	4,6267	26,3898	32,5331
7	240	116,5182	5,4806	4,7580	26,0771	30,0374
8	180	137,4317	5,1930	4,9231	25,5656	26,9668
9	120	174,7772	4,7875	5,1635	24,7203	22,9201
10	60	268,8881	4,0943	5,5943	22,9050	16,7637
10	4980	1104,0345	58,1555	45,3063	257,9443	346,9435
<i>Ln (d) = 8,2155</i>		<i>d = 3697,8298</i>		<i>n = -0,6336</i>		



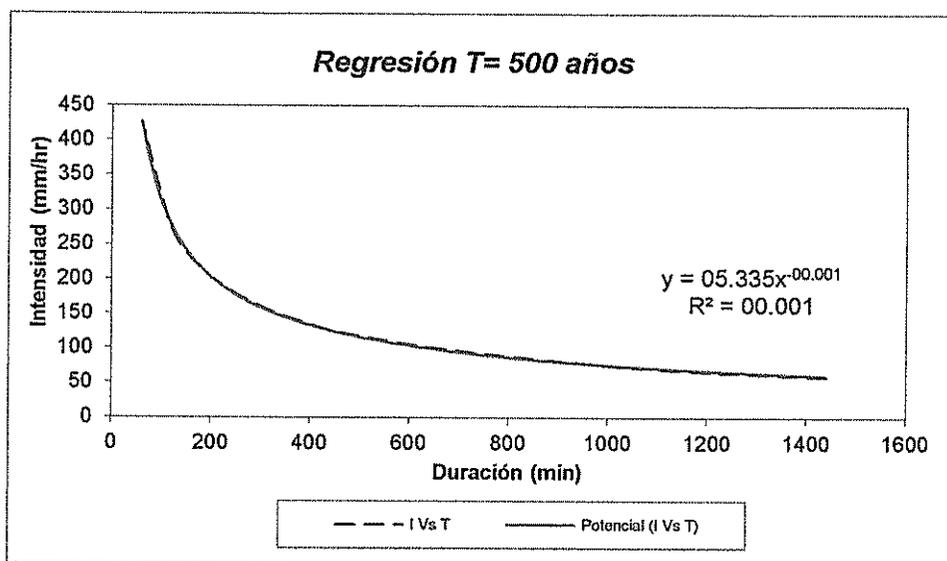
Periodo de retorno para $T = 50$ años						
N°	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	42,3505	7,2724	3,7460	27,2423	52,8878
2	1080	51,3852	6,9847	3,9394	27,5152	48,7863
3	720	67,7607	6,5793	4,2160	27,7380	43,2865
4	480	86,3949	6,1738	4,4589	27,5285	38,1156
5	360	103,3351	5,8861	4,6380	27,2996	34,6462
6	300	115,8708	5,7038	4,7525	27,1071	32,5331
7	240	132,1334	5,4806	4,8838	26,7664	30,0374
8	180	155,8497	5,1930	5,0489	26,2187	26,9668
9	120	198,2001	4,7875	5,2893	25,3224	22,9201
10	60	304,9233	4,0943	5,7201	23,4199	16,7637
10	4980	1258,2038	58,1555	46,6927	266,1580	346,9435
$Ln(d) = 8,2539$		$d = 3842,5670$		$n = -0,6164$		



<i>Periodo de retorno para T = 100 años</i>						
N°	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	47,3184	7,2724	3,8569	28,0489	52,8878
2	1080	57,4130	6,9847	4,0503	28,2900	48,7863
3	720	75,7094	6,5793	4,3269	28,4678	43,2865
4	480	96,5295	6,1738	4,5698	28,2133	38,1156
5	360	115,4569	5,8861	4,7489	27,9525	34,6462
6	300	129,4631	5,7038	4,8634	27,7398	32,5331
7	240	147,6334	5,4806	4,9947	27,3743	30,0374
8	180	174,1317	5,1930	5,1598	26,7947	26,9668
9	120	221,4501	4,7875	5,4002	25,8534	22,9201
10	60	340,6924	4,0943	5,8310	23,8740	16,7637
10	4980	1405,7977	58,1555	47,8019	272,6086	346,9435
<i>Ln (d) = 8,3648</i>		<i>d = 4293,3206</i>		<i>n = -0,6164</i>		



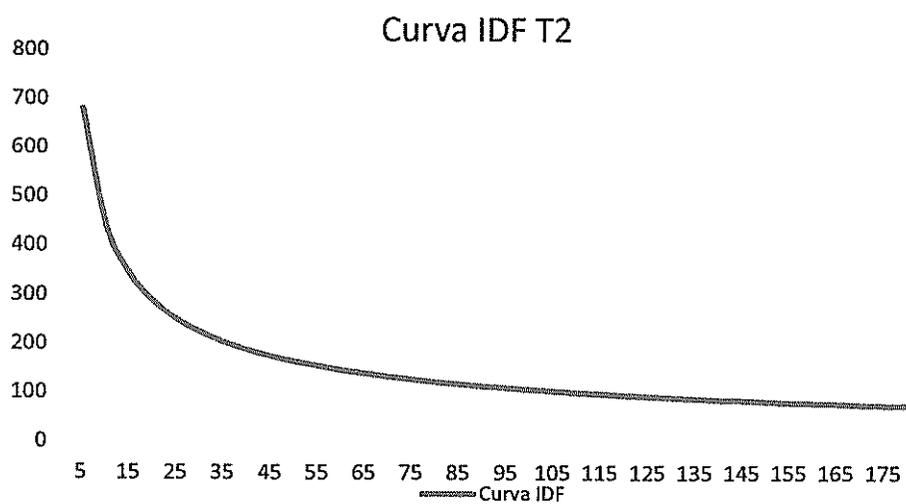
<i>Periodo de retorno para T = 500 años</i>						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	58,7985	7,2724	4,0741	29,6286	52,8878
2	1080	71,3422	6,9847	4,2675	29,8072	48,7863
3	720	94,0776	6,5793	4,5441	29,8969	43,2865
4	480	119,9490	6,1738	4,7871	29,5543	38,1156
5	360	143,4684	5,8861	4,9661	29,2311	34,6462
6	300	160,8728	5,7038	5,0806	28,9787	32,5331
7	240	183,4514	5,4806	5,2119	28,5648	30,0374
8	180	216,3786	5,1930	5,3770	27,9227	26,9668
9	120	275,1771	4,7875	5,6174	26,8933	22,9201
10	60	423,3494	4,0943	6,0482	24,7634	16,7637
10	4980	1746,8649	58,1555	49,9741	285,2410	346,9435
<i>Ln (d) = 8,5820</i>		<i>d = 5334,9432</i>		<i>n = -0,6164</i>		



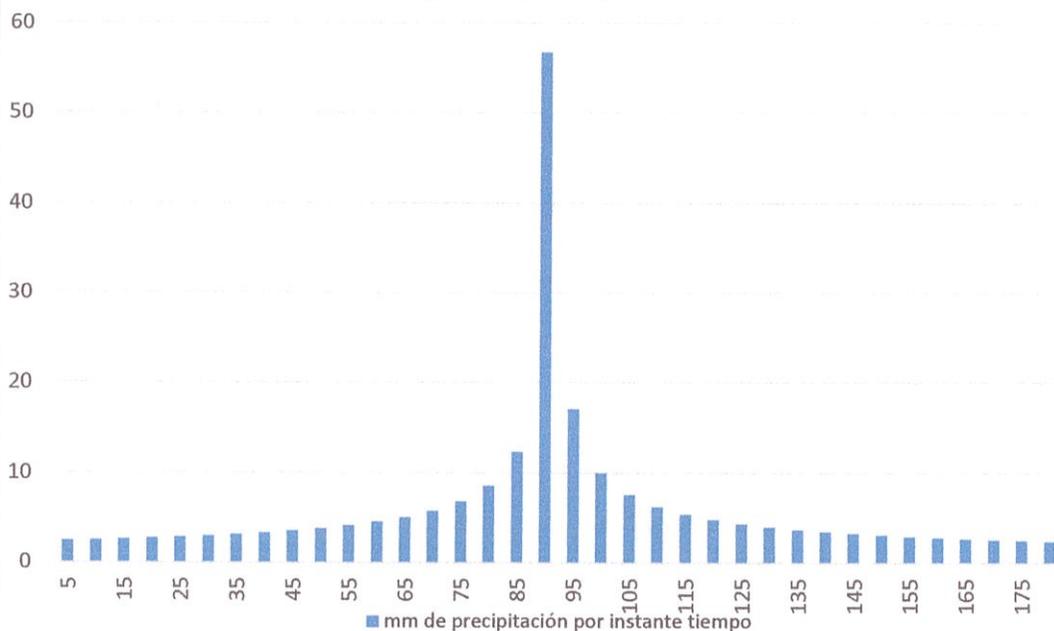
Anexo 5.- Calculo de Hietogramas de precipitación y distribución de la precipitación.

HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 2 AÑOS						
Duración de la tormenta (h)		6				
Intensidad de lluvia (mm/h)		74,11				
Precipitación en 24 horas (mm)		444,68				
Intervalos de tiempo (min)		5				
Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
5	680,79	56,73	56,73	680,79	2,42	29,00
10	443,32	73,89	17,15	205,86	2,51	30,10
15	344,94	86,24	12,35	148,18	2,61	31,30
20	288,69	96,23	9,99	119,92	2,72	32,64
25	251,45	104,77	8,54	102,51	2,85	34,15
30	224,62	112,31	7,54	90,48	2,99	35,85
35	204,18	119,11	6,80	81,56	3,15	37,79
40	187,99	125,33	6,22	74,63	3,34	40,03
45	174,77	131,08	5,75	69,05	3,55	42,66
50	163,74	136,45	5,37	64,45	3,82	45,79
55	154,36	141,50	5,05	60,58	4,13	49,60
60	146,27	146,27	4,77	57,26	4,53	54,38
65	139,20	150,80	4,53	54,38	5,05	60,58
70	132,96	155,12	4,32	51,84	5,75	69,05
75	127,41	159,26	4,13	49,60	6,80	81,56
80	122,42	163,22	3,97	47,59	8,54	102,51
85	117,91	167,04	3,82	45,79	12,35	148,18
90	113,81	170,72	3,68	44,15	56,73	680,79
95	110,07	174,27	3,55	42,66	17,15	205,86
100	106,63	177,71	3,44	41,29	9,99	119,92
105	103,46	181,05	3,34	40,03	7,54	90,48
110	100,52	184,29	3,24	38,87	6,22	74,63
115	97,79	187,44	3,15	37,79	5,37	64,45
120	95,25	190,50	3,07	36,78	4,77	57,26
125	92,87	193,49	2,99	35,85	4,32	51,84
130	90,65	196,40	2,91	34,97	3,97	47,59
135	88,55	199,25	2,85	34,15	3,68	44,15
140	86,58	202,03	2,78	33,37	3,44	41,29
145	84,72	204,75	2,72	32,64	3,24	38,87

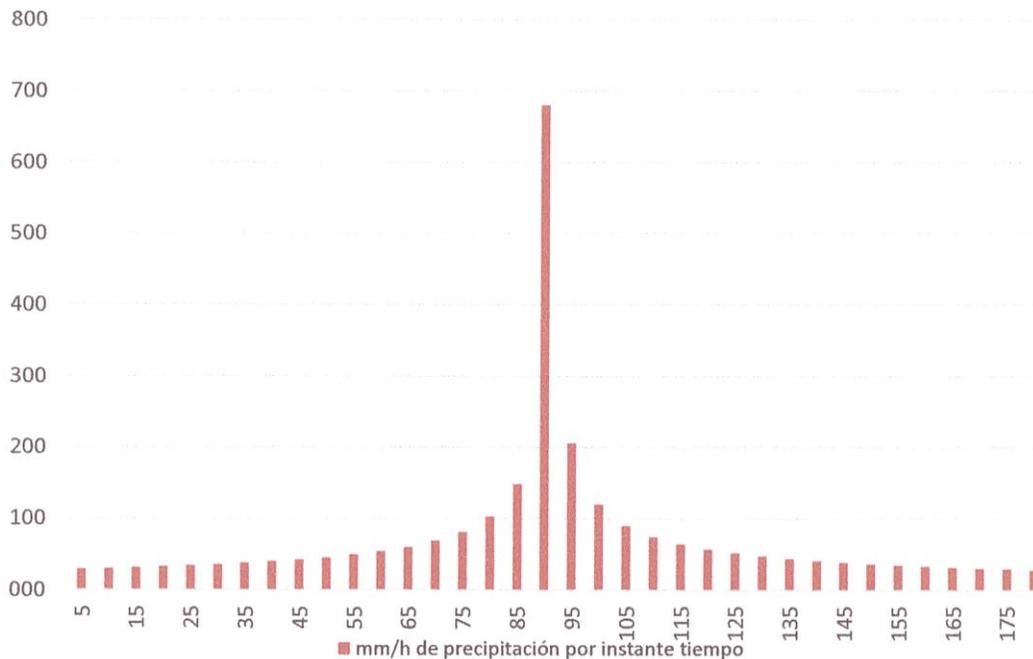
150	82,97	207,41	2,66	31,95	3,07	36,78
155	81,30	210,02	2,61	31,30	2,91	34,97
160	79,72	212,58	2,56	30,68	2,78	33,37
165	78,21	215,09	2,51	30,10	2,66	31,95
170	76,78	217,55	2,46	29,54	2,56	30,68
175	75,42	219,96	2,42	29,00	2,46	29,54
180	74,11	222,34	2,37	28,49	2,37	28,49



Hietograma precipitación T2

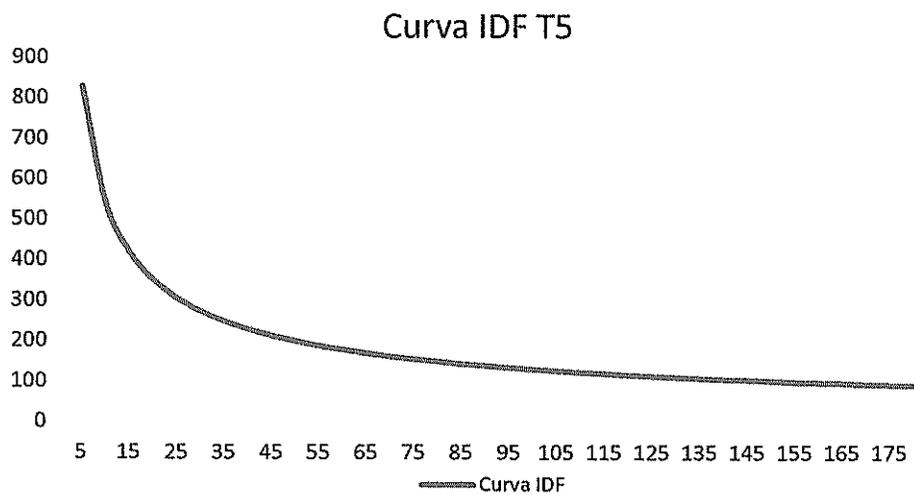


Distribución intensidades precipitación T2

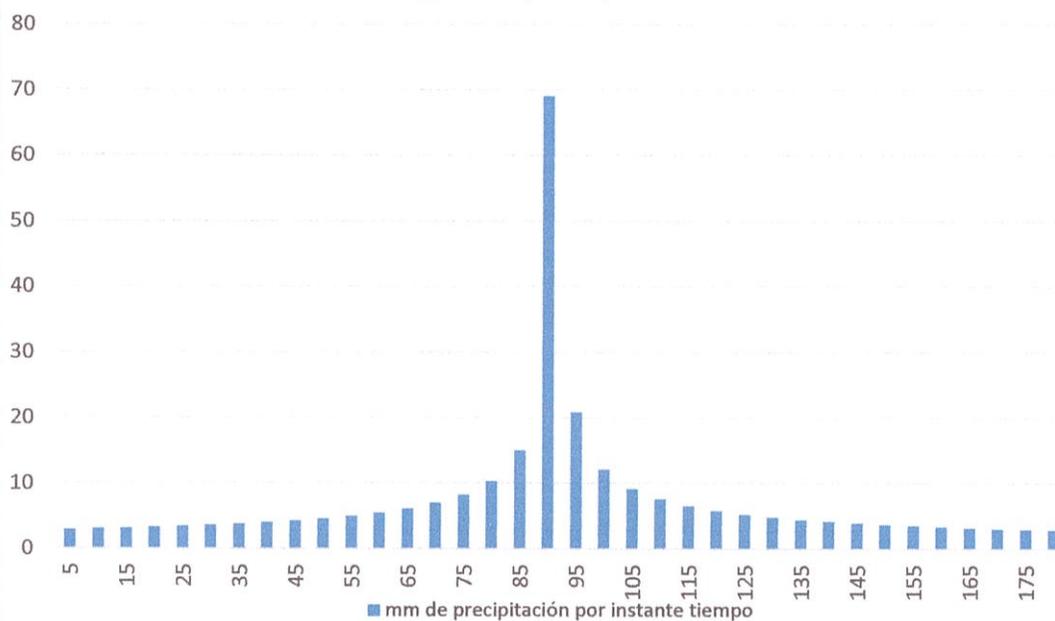


HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 5 AÑOS						
Duración de la tormenta (h)		6				
Intensidad de lluvia (mm/h)		90,22				
Precipitación en 24 horas (mm)		541,33				
Intervalos de tiempo (min)		5				
Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
5	828,76	69,06	69,06	828,76	2,94	35,31
10	539,68	89,95	20,88	250,60	3,05	36,64
15	419,92	104,98	15,03	180,39	3,18	38,11
20	351,43	117,14	12,17	145,99	3,31	39,74
25	306,10	127,54	10,40	124,79	3,46	41,57
30	273,44	136,72	9,18	110,14	3,64	43,64
35	248,56	145,00	8,27	99,28	3,83	46,00
40	228,85	152,57	7,57	90,85	4,06	48,73
45	212,76	159,57	7,01	84,06	4,33	51,93
50	199,33	166,11	6,54	78,46	4,64	55,74
55	187,92	172,26	6,15	73,74	5,03	60,38
60	178,06	178,06	5,81	69,70	5,52	66,19
65	169,46	183,58	5,52	66,19	6,15	73,74
70	161,86	188,84	5,26	63,11	7,01	84,06
75	155,10	193,87	5,03	60,38	8,27	99,28
80	149,02	198,70	4,83	57,94	10,40	124,79
85	143,54	203,34	4,64	55,74	15,03	180,39
90	138,55	207,82	4,48	53,74	69,06	828,76
95	133,99	212,15	4,33	51,93	20,88	250,60
100	129,80	216,34	4,19	50,26	12,17	145,99
105	125,94	220,40	4,06	48,73	9,18	110,14
110	122,37	224,34	3,94	47,31	7,57	90,85
115	119,05	228,18	3,83	46,00	6,54	78,46
120	115,95	231,91	3,73	44,78	5,81	69,70
125	113,06	235,54	3,64	43,64	5,26	63,11
130	110,35	239,09	3,55	42,57	4,83	57,94
135	107,80	242,56	3,46	41,57	4,48	53,74
140	105,40	245,94	3,39	40,63	4,19	50,26
145	103,14	249,25	3,31	39,74	3,94	47,31
150	101,00	252,49	3,24	38,90	3,73	44,78

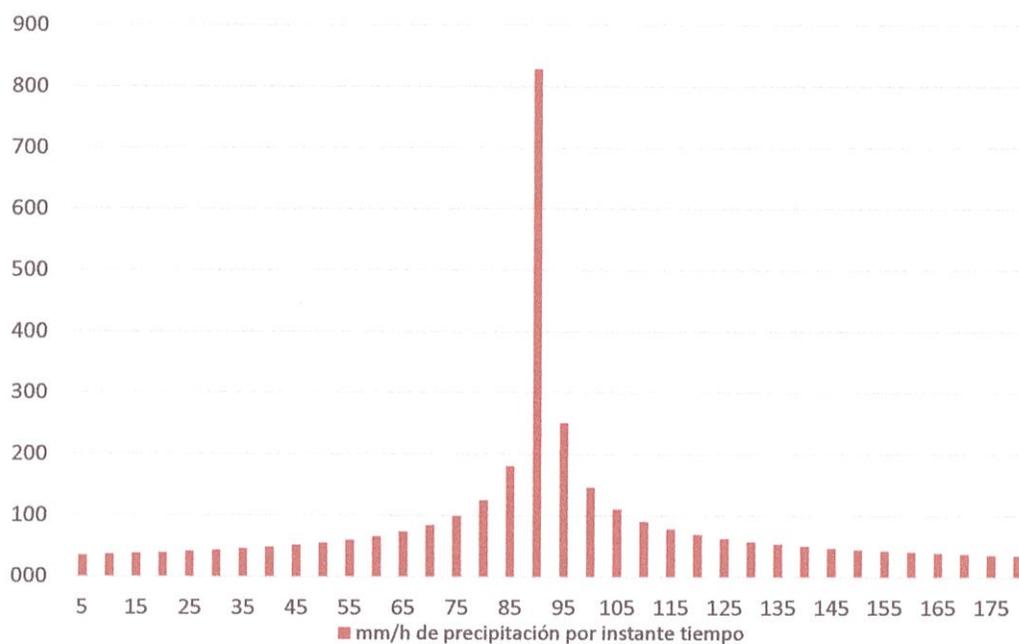
155	98,97	255,67	3,18	38,11	3,55	42,57
160	97,04	258,78	3,11	37,35	3,39	40,63
165	95,21	261,84	3,05	36,64	3,24	38,90
170	93,47	264,83	3,00	35,96	3,11	37,35
175	91,81	267,77	2,94	35,31	3,00	35,96
180	90,22	270,66	2,89	34,69	2,89	34,69



Hietograma precipitación T5

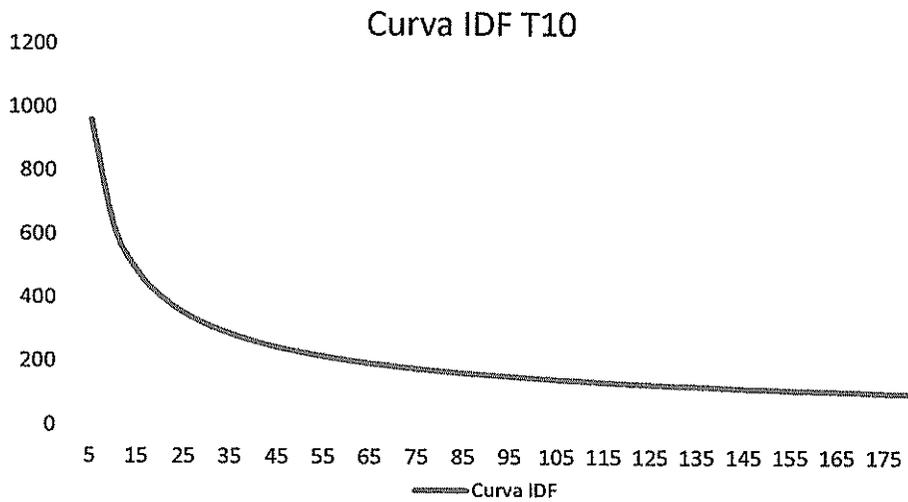


Distribución intensidades precipitación T5

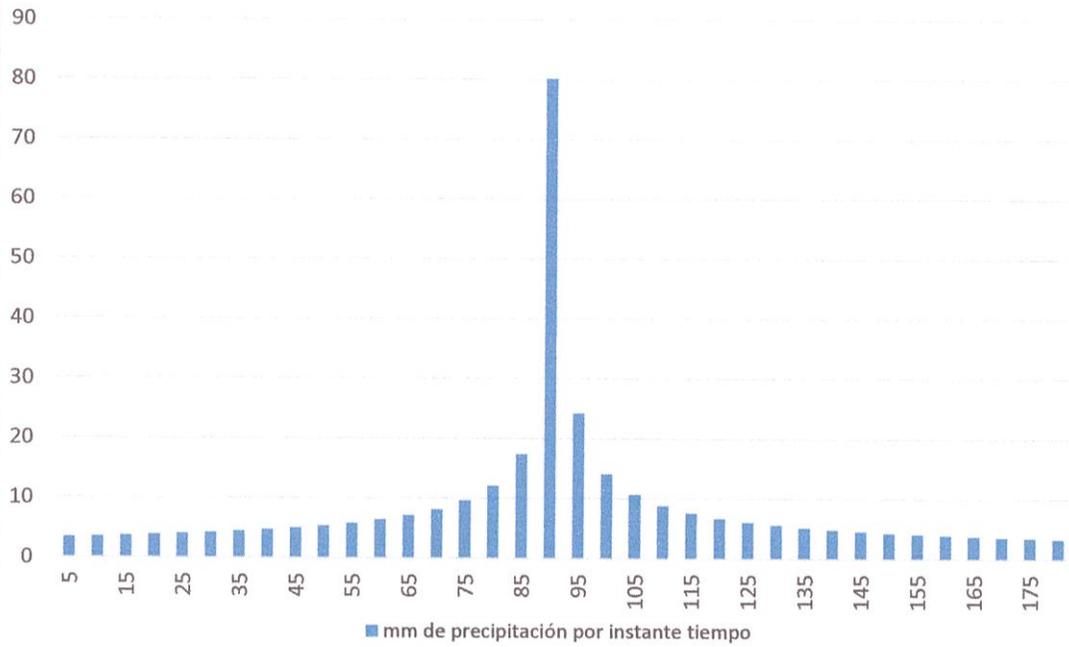


HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 10 AÑOS						
Duración de la tormenta (h)		6				
Intensidad de lluvia (mm/h)		104,69				
Precipitación en 24 horas (mm)		628,17				
Intervalos de tiempo (min)		5				
Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
5	961,71	80,14	80,14	961,71	3,41	40,97
10	626,25	104,38	24,23	290,80	3,54	42,51
15	487,28	121,82	17,44	209,32	3,68	44,22
20	407,81	135,94	14,12	169,41	3,84	46,11
25	355,21	148,00	12,07	144,81	4,02	48,24
30	317,31	158,65	10,65	127,81	4,22	50,64
35	288,44	168,26	9,60	115,21	4,45	53,38
40	265,56	177,04	8,79	105,42	4,71	56,55
45	246,89	185,17	8,13	97,55	5,02	60,26
50	231,31	192,76	7,59	91,05	5,39	64,68
55	218,06	199,89	7,13	85,57	5,84	70,07
60	206,63	206,63	6,74	80,88	6,40	76,81
65	196,64	213,03	6,40	76,81	7,13	85,57
70	187,83	219,13	6,10	73,24	8,13	97,55
75	179,98	224,97	5,84	70,07	9,60	115,21
80	172,93	230,57	5,60	67,23	12,07	144,81
85	166,56	235,96	5,39	64,68	17,44	209,32
90	160,77	241,16	5,20	62,37	80,14	961,71
95	155,48	246,18	5,02	60,26	24,23	290,80
100	150,63	251,04	4,86	58,32	14,12	169,41
105	146,15	255,76	4,71	56,55	10,65	127,81
110	142,00	260,33	4,58	54,90	8,79	105,42
115	138,15	264,78	4,45	53,38	7,59	91,05
120	134,55	269,11	4,33	51,96	6,74	80,88
125	131,20	273,33	4,22	50,64	6,10	73,24
130	128,05	277,45	4,12	49,40	5,60	67,23
135	125,10	281,47	4,02	48,24	5,20	62,37
140	122,31	285,39	3,93	47,14	4,86	58,32
145	119,68	289,24	3,84	46,11	4,58	54,90
150	117,20	293,00	3,76	45,14	4,33	51,96
155	114,85	296,68	3,68	44,22	4,12	49,40

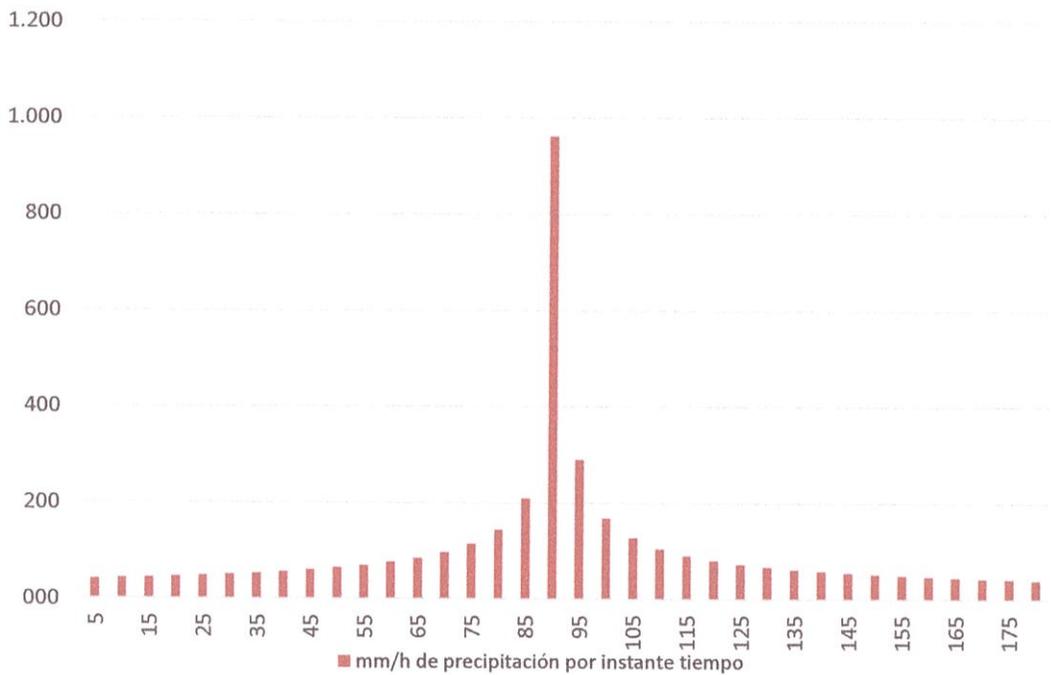
160	112,61	300,30	3,61	43,34	3,93	47,14
165	110,49	303,84	3,54	42,51	3,76	45,14
170	108,46	307,32	3,48	41,72	3,61	43,34
175	106,54	310,73	3,41	40,97	3,48	41,72
180	104,69	314,08	3,35	40,25	3,35	40,25



Hietograma precipitación T10

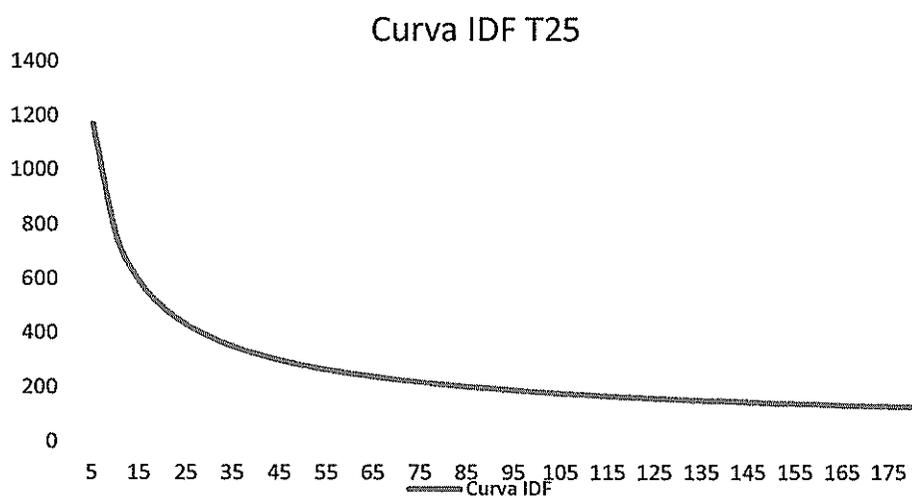


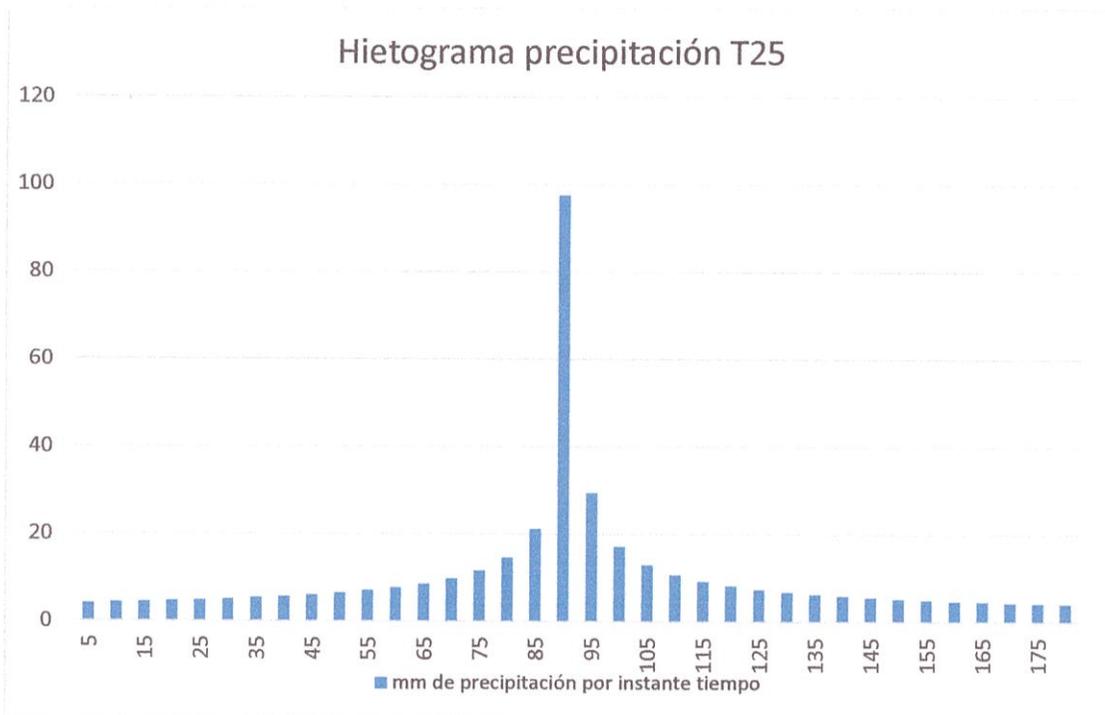
Distribución intensidades precipitación T10



HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 25 AÑOS						
Duración de la tormenta (h)		6				
Intensidad de lluvia (mm/h)		127,45				
Precipitación en 24 horas (mm)		764,70				
Intervalos de tiempo (min)		5				
Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
5	1170,73	97,56	97,56	1170,73	4,16	49,88
10	762,37	127,06	29,50	354,01	4,31	51,75
15	593,19	148,30	21,24	254,82	4,49	53,83
20	496,45	165,48	17,19	206,23	4,68	56,14
25	432,41	180,17	14,69	176,28	4,89	58,72
30	386,28	193,14	12,97	155,59	5,14	61,65
35	351,13	204,83	11,69	140,25	5,42	64,98
40	323,28	215,52	10,69	128,34	5,74	68,84
45	300,56	225,42	9,90	118,75	6,11	73,35
50	281,58	234,65	9,24	110,84	6,56	78,74
55	265,46	243,33	8,68	104,17	7,11	85,30
60	251,54	251,54	8,21	98,46	7,79	93,51
65	239,38	259,33	7,79	93,51	8,68	104,17
70	228,65	266,76	7,43	89,16	9,90	118,75
75	219,10	273,87	7,11	85,30	11,69	140,25
80	210,52	280,69	6,82	81,85	14,69	176,28
85	202,77	287,25	6,56	78,74	21,24	254,82
90	195,72	293,58	6,33	75,92	97,56	1170,73
95	189,28	299,69	6,11	73,35	29,50	354,01
100	183,36	305,61	5,92	71,00	17,19	206,23
105	177,91	311,34	5,74	68,84	12,97	155,59
110	172,86	316,91	5,57	66,84	10,69	128,34
115	168,17	322,33	5,42	64,98	9,24	110,84
120	163,80	327,60	5,27	63,26	8,21	98,46
125	159,71	332,74	5,14	61,65	7,43	89,16
130	155,88	337,75	5,01	60,14	6,82	81,85
135	152,29	342,64	4,89	58,72	6,33	75,92
140	148,90	347,43	4,78	57,39	5,92	71,00
145	145,70	352,10	4,68	56,14	5,57	66,84
150	142,67	356,68	4,58	54,95	5,27	63,26
155	139,81	361,17	4,49	53,83	5,01	60,14

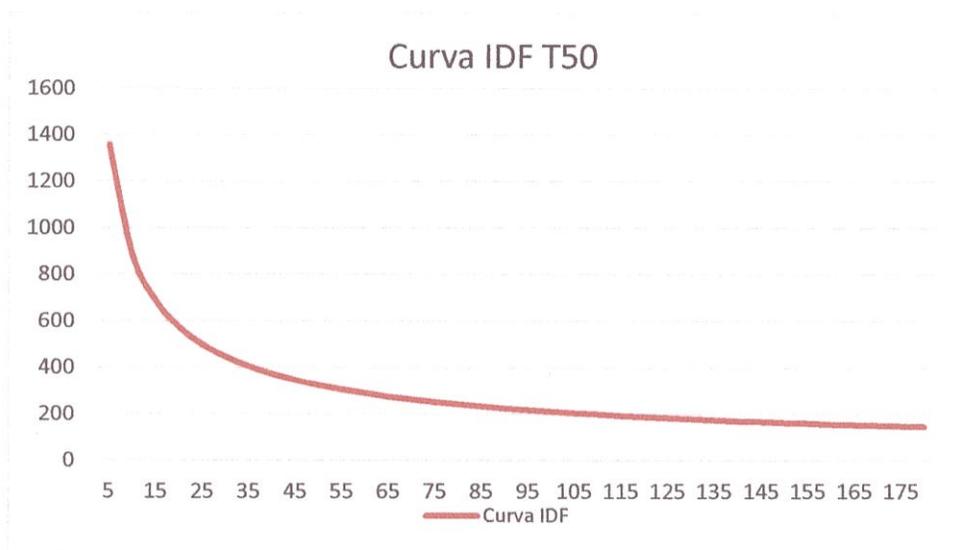
160	137,09	365,57	4,40	52,76	4,78	57,39
165	134,50	369,88	4,31	51,75	4,58	54,95
170	132,04	374,11	4,23	50,79	4,40	52,76
175	129,69	378,27	4,16	49,88	4,23	50,79
180	127,45	382,35	4,08	49,00	4,08	49,00

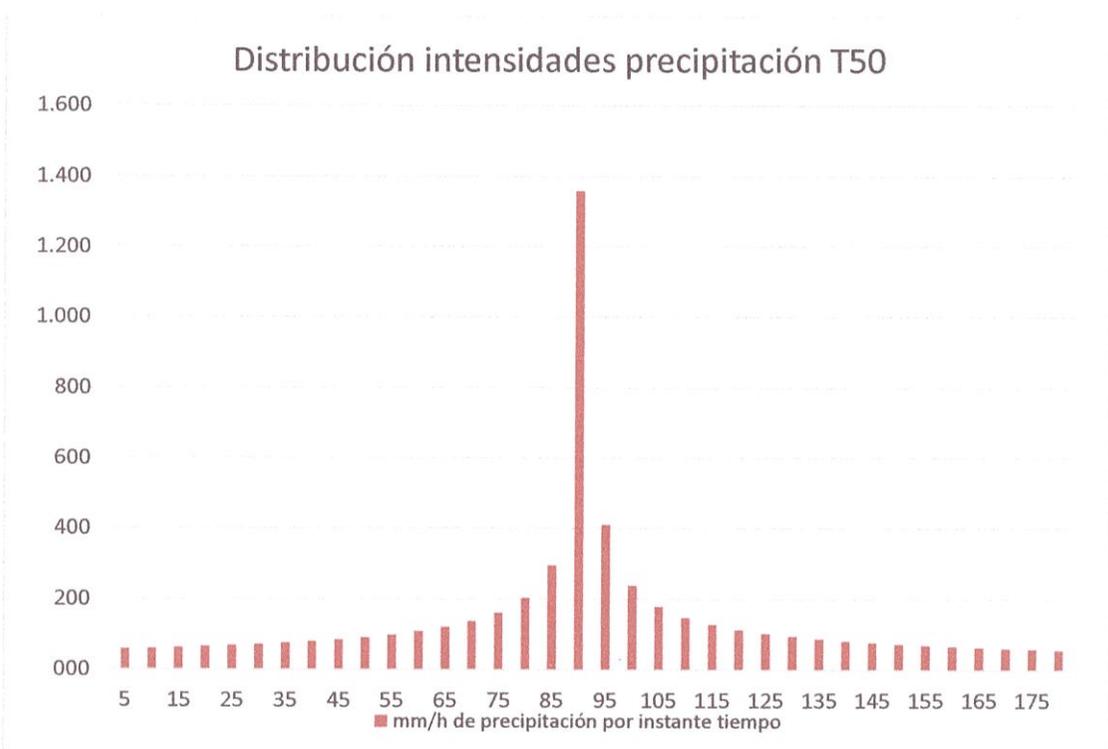
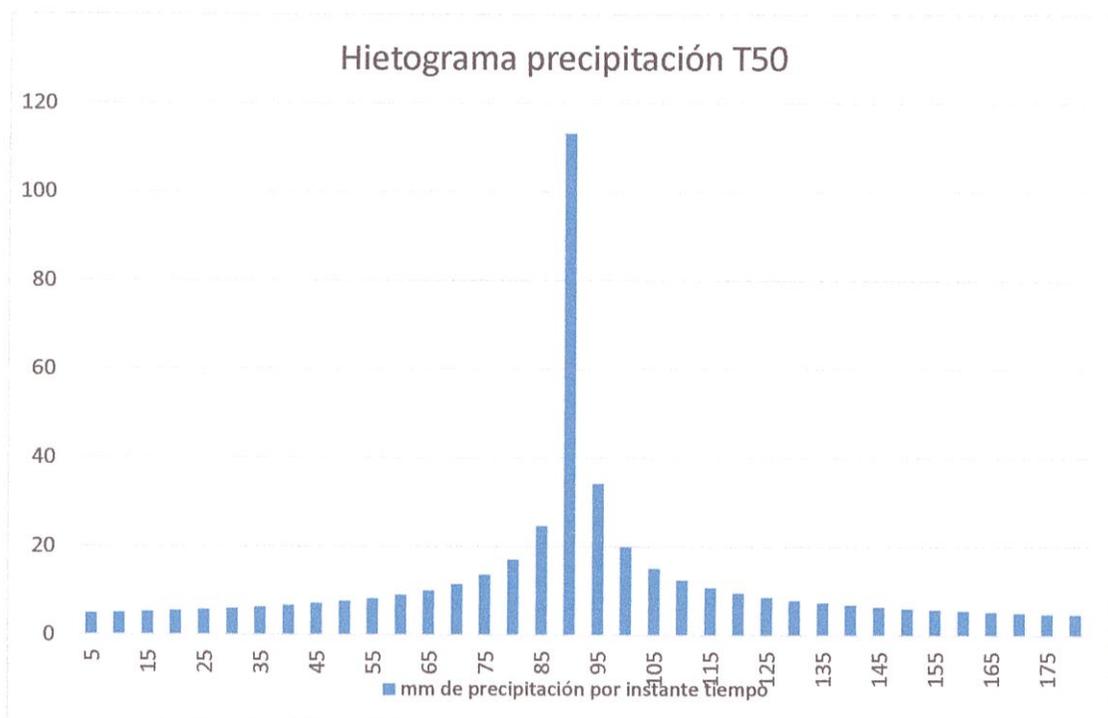




HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 50 AÑOS						
Duración de la tormenta (h)		6				
Intensidad de lluvia (mm/h)		147,90				
Precipitación en 24 horas (mm)		887,37				
Intervalos de tiempo (min)		5				
Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
5	1358,54	113,21	113,21	1358,54	4,82	57,88
10	884,67	147,44	34,23	410,80	5,00	60,06
15	688,35	172,09	24,64	295,70	5,21	62,46
20	576,09	192,03	19,94	239,31	5,43	65,14
25	501,78	209,08	17,05	204,56	5,68	68,14
30	448,24	224,12	15,05	180,55	5,96	71,53
35	407,46	237,68	13,56	162,75	6,28	75,41
40	375,14	250,09	12,41	148,92	6,66	79,88
45	348,77	261,58	11,48	137,80	7,09	85,12
50	326,76	272,30	10,72	128,62	7,61	91,37
55	308,04	282,37	10,07	120,88	8,25	98,98
60	291,89	291,89	9,52	114,26	9,04	108,51
65	277,79	300,93	9,04	108,51	10,07	120,88
70	265,33	309,56	8,62	103,46	11,48	137,80
75	254,24	317,80	8,25	98,98	13,56	162,75
80	244,29	325,72	7,91	94,97	17,05	204,56
85	235,29	333,33	7,61	91,37	24,64	295,70
90	227,12	340,67	7,34	88,10	113,21	1358,54
95	219,64	347,77	7,09	85,12	34,23	410,80
100	212,78	354,63	6,87	82,39	19,94	239,31
105	206,45	361,29	6,66	79,88	15,05	180,55
110	200,59	367,75	6,46	77,56	12,41	148,92
115	195,15	374,04	6,28	75,41	10,72	128,62
120	190,08	380,15	6,12	73,40	9,52	114,26
125	185,34	386,11	5,96	71,53	8,62	103,46
130	180,89	391,93	5,82	69,78	7,91	94,97
135	176,72	397,61	5,68	68,14	7,34	88,10
140	172,78	403,16	5,55	66,60	6,87	82,39
145	169,07	408,59	5,43	65,14	6,46	77,56
150	165,56	413,90	5,31	63,77	6,12	73,40
155	162,23	419,11	5,21	62,46	5,82	69,78

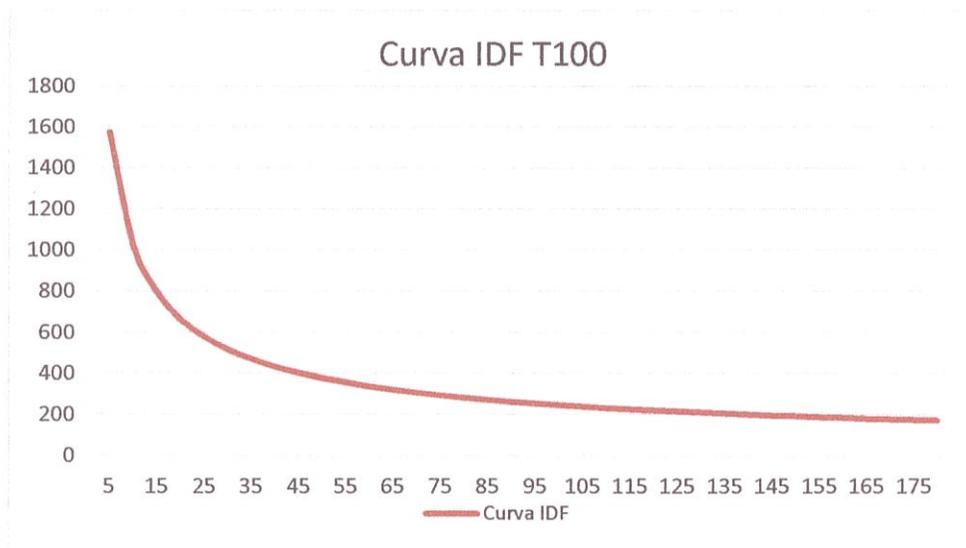
160	159,08	424,21	5,10	61,23	5,55	66,60
165	156,08	429,21	5,00	60,06	5,31	63,77
170	153,22	434,13	4,91	58,94	5,10	61,23
175	150,50	438,95	4,82	57,88	4,91	58,94
180	147,90	443,69	4,74	56,86	4,74	56,86



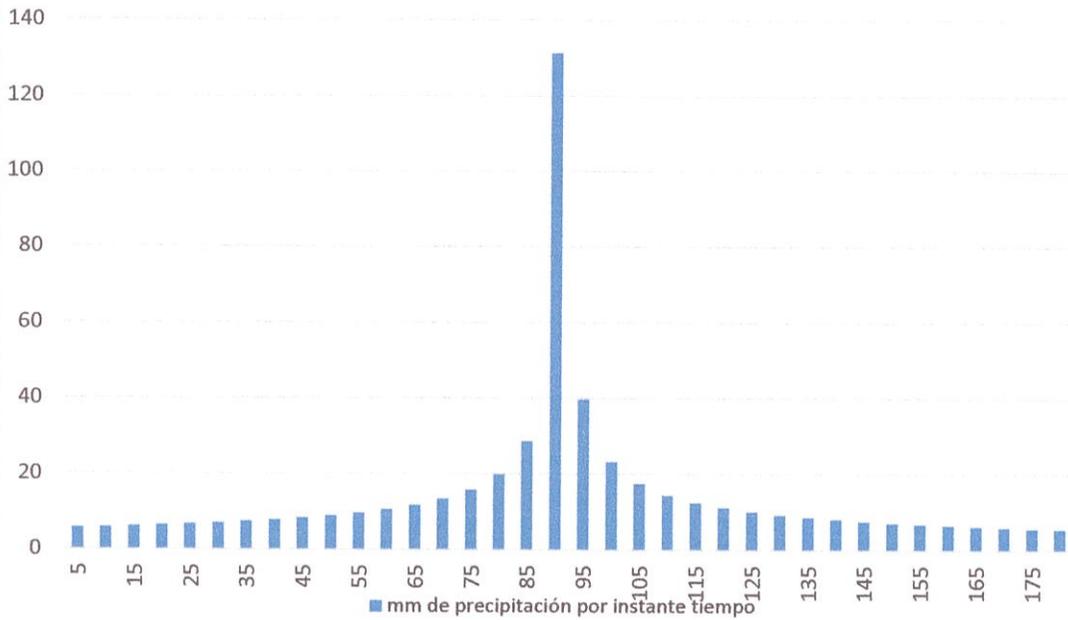


HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 100 AÑOS						
Duración de la tormenta (h)		6				
Intensidad de lluvia (mm/h)		171,62				
Precipitación en 24 horas (mm)		1029,72				
Intervalos de tiempo (min)		5				
Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
5	1576,48	131,37	131,37	1576,48	5,60	67,16
10	1026,59	171,10	39,72	476,69	5,81	69,69
15	798,77	199,69	28,59	343,14	6,04	72,48
20	668,50	222,83	23,14	277,70	6,30	75,59
25	582,28	242,62	19,78	237,38	6,59	79,07
30	520,15	260,07	17,46	209,51	6,92	83,01
35	472,82	275,81	15,74	188,86	7,29	87,50
40	435,32	290,21	14,40	172,81	7,72	92,69
45	404,72	303,54	13,33	159,91	8,23	98,78
50	379,17	315,98	12,44	149,25	8,84	106,03
55	357,46	327,67	11,69	140,28	9,57	114,86
60	338,72	338,72	11,05	132,59	10,49	125,91
65	322,35	349,21	10,49	125,91	11,69	140,28
70	307,90	359,21	10,00	120,05	13,33	159,91
75	295,03	368,79	9,57	114,86	15,74	188,86
80	283,48	377,97	9,18	110,21	19,78	237,38
85	273,04	386,80	8,84	106,03	28,59	343,14
90	263,55	395,32	8,52	102,23	131,37	1576,48
95	254,88	403,56	8,23	98,78	39,72	476,69
100	246,91	411,52	7,97	95,61	23,14	277,70
105	239,57	419,25	7,72	92,69	17,46	209,51
110	232,77	426,75	7,50	90,00	14,40	172,81
115	226,46	434,04	7,29	87,50	12,44	149,25
120	220,57	441,14	7,10	85,18	11,05	132,59
125	215,07	448,05	6,92	83,01	10,00	120,05
130	209,91	454,80	6,75	80,98	9,18	110,21
135	205,06	461,39	6,59	79,07	8,52	102,23
140	200,50	467,83	6,44	77,28	7,97	95,61
145	196,19	474,13	6,30	75,59	7,50	90,00
150	192,12	480,30	6,17	74,00	7,10	85,18
155	188,26	486,34	6,04	72,48	6,75	80,98

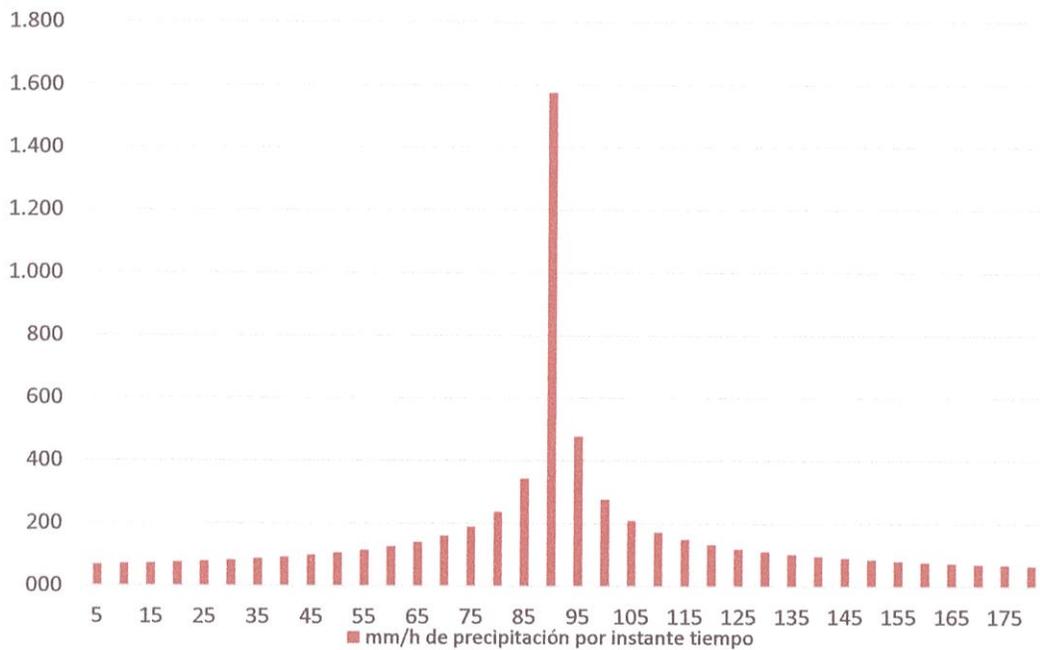
160	184,60	492,26	5,92	71,05	6,44	77,28
165	181,12	498,07	5,81	69,69	6,17	74,00
170	177,80	503,77	5,70	68,40	5,92	71,05
175	174,64	509,36	5,60	67,16	5,70	68,40
180	171,62	514,86	5,50	65,98	5,50	65,98



Hietograma precipitación T100

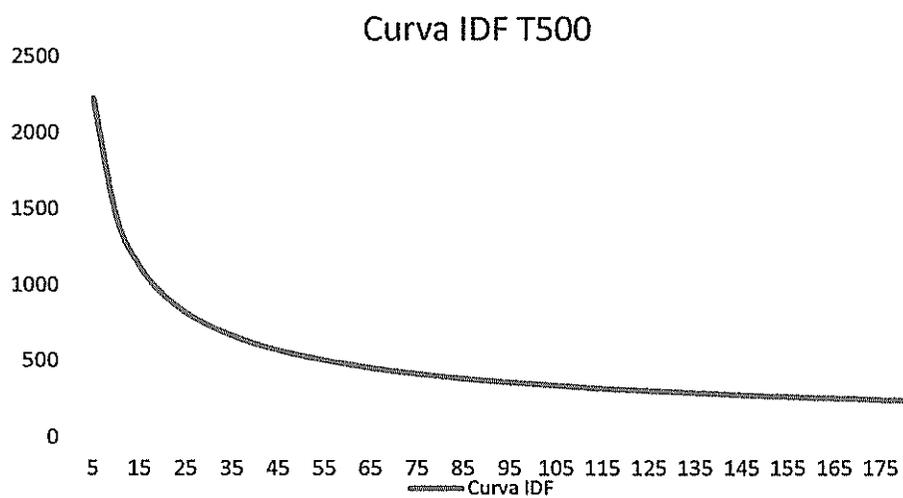


Distribución intensidades precipitación T100

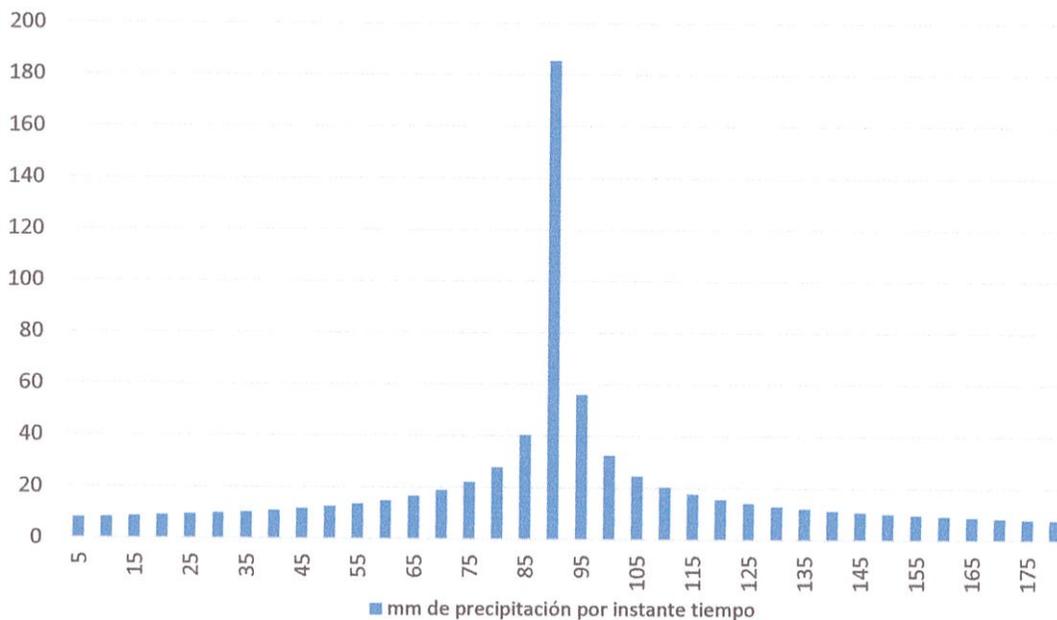


HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 500 AÑOS						
Duración de la tormenta (h)		6				
Intensidad de lluvia (mm/h)		242,44				
Precipitación en 24 horas (mm)		1454,63				
Intervalos de tiempo (min)		5				
Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
5	2226,99	185,58	185,58	2226,99	7,91	94,87
10	1450,19	241,70	56,12	673,40	8,20	98,45
15	1128,37	282,09	40,39	484,73	8,53	102,39
20	944,35	314,78	32,69	392,29	8,90	106,78
25	822,55	342,73	27,94	335,33	9,31	111,70
30	734,78	367,39	24,66	295,97	9,77	117,26
35	667,93	389,62	22,23	266,79	10,30	123,61
40	614,95	409,97	20,34	244,12	10,91	130,94
45	571,72	428,79	18,82	225,89	11,63	139,53
50	535,63	446,36	17,57	210,84	12,48	149,78
55	504,95	462,87	16,51	198,16	13,52	162,25
60	478,48	478,48	15,61	187,30	14,82	177,87
65	455,36	493,31	14,82	177,87	16,51	198,16
70	434,95	507,44	14,13	169,59	18,82	225,89
75	416,77	520,96	13,52	162,25	22,23	266,79
80	400,45	533,93	12,97	155,69	27,94	335,33
85	385,70	546,41	12,48	149,78	40,39	484,73
90	372,30	558,45	12,03	144,42	185,58	2226,99
95	360,05	570,08	11,63	139,53	56,12	673,40
100	348,80	581,33	11,25	135,06	32,69	392,29
105	338,43	592,24	10,91	130,94	24,66	295,97
110	328,82	602,84	10,59	127,14	20,34	244,12
115	319,90	613,14	10,30	123,61	17,57	210,84
120	311,58	623,17	10,03	120,33	15,61	187,30
125	303,81	632,94	9,77	117,26	14,13	169,59
130	296,53	642,47	9,53	114,39	12,97	155,69
135	289,68	651,78	9,31	111,70	12,03	144,42
140	283,23	660,88	9,10	109,17	11,25	135,06
145	277,15	669,78	8,90	106,78	10,59	127,14
150	271,39	678,49	8,71	104,53	10,03	120,33
155	265,94	687,02	8,53	102,39	9,53	114,39

160	260,77	695,38	8,36	100,37	9,10	109,17
165	255,85	703,59	8,20	98,45	8,71	104,53
170	251,17	711,64	8,05	96,62	8,36	100,37
175	246,70	719,55	7,91	94,87	8,05	96,62
180	242,44	727,31	7,77	93,21	7,77	93,21



Hietograma precipitación T500



Distribución intensidades precipitación T500

