



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TÍTULO:
ESTUDIO DE LA VARIACIÓN TEMPORAL DE LA LLUVIA EN
UNA ESTACIÓN EN GUAYAQUIL**

**AUTOR:
IBARRA DÍAZ MARIO DAVID**

**Trabajo de Titulación
Previo a la obtención del título de:
Ingeniero Civil**

**TUTOR:
ING. MIGUEL CABRERA SANTOS**

**Guayaquil, Ecuador
2014**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por **Mario David Ibarra Díaz**, como requerimiento parcial para la obtención del Título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR

Ing. Miguel Cabrera Santos

DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. Mario Dueñas Rossi.

Guayaquil, a los 7 del mes de Octubre del año 2014



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Mario David Ibarra Díaz**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación **Estudio de la Variación Temporal de la Lluvia en una estación en Guayaquil**, previa a la obtención del Título **de Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 28 del mes de Agosto del año 2014

EL AUTOR:

Mario David Ibarra Díaz



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Yo, **Mario David Ibarra Díaz**.

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **Estudio de la Variación Temporal de la Lluvia en una estación en Guayaquil**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 28 del mes de Marzo del año 2014

EL AUTOR:

Mario David Ibarra Díaz

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por bendecirme y ayudarme a culminar con satisfacción esta etapa de mi vida.

A la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, por las enseñanzas que he recibido de este prestigioso centro educativo.

Al ingeniero Miguel Cabrera por compartir sus conocimientos y guiarme durante todo el proceso del trabajo de titulación.

Mario David Ibarra Díaz

DEDICATORIA

A la memoria de mi padre, ing. César Augusto Ibarra Morocho, por ser mi guía durante toda mi vida e inculcarme la pasión por esta profesión.

A mi madre, Guillermina Díaz Cardenas, por su amor incondicional que me inspira a salir adelante en todo momento.

A mis hermanos César y Andrés por ser mis apoyos durante toda mi vida.

A mis cuñadas Yenny y Karen por su cariño y comprensión.

A mis amigos y a cada persona maravillosa que me ha acompañado durante esta etapa de mi vida.

Mario David Ibarra Díaz



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

CALIFICACIÓN

**Ing. Miguel Cabrera Santos
TUTOR**

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	viii
RESUMEN	xiii
CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.- PRESENTACIÓN DEL TEMA.....	1
1.2.- JUSTIFICACION DEL TEMA.....	1
1.3.- ANTECEDENTES.....	2
1.4.- CONTEXTUALIZACIÓN EN TIEMPO Y ESPACIO	2
1.5.- OBJETIVO	2
CAPÍTULO 2	3
MARCO TEÓRICO	3
2.1.- CONCEPTO DE HIDROLOGÍA	3
2.2.- CICLO HIDROLOGICO	3
2.3.- PROCESOS DEL CICLO HIDROLÓGICO	3
2.4.- PRECIPITACIÓN	4
2.5.- MEDICIÓN DE LA PRECIPITACIÓN	5
2.5.1 PLUVIOMETROS	5
2.5.2 PLUVIOGRAFOS	5
2.6 INTENSIDAD	6
2.7 DURACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN.....	6
2.8 HIETOGRAMA.....	6
CAPÍTULO 3	7
METODOLOGÍA	7
3.1.- METODOLOGIA PROPUESTA.....	7
3.2 ESTACION PLUVIOGRAFICA.....	7

3.2.1 ESTACIÓN DE GUAYAQUIL (U. GUAYAQUIL)	8
3.3 OBTENCIÓN Y REGISTRO DE DATOS HISTÓRICOS.....	9
3.3.1 PROCESAMIENTO DE DATOS.....	9
3.3.2 AGRUPACIÓN DE TORMENTAS	11
3.3.3 TRAZADO DE CURVAS	15
CAPÍTULO 4	18
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	18
4.1- TORMENTAS DE 0 A 200 MIN DE DURACIÓN.....	18
Figura 11 Hietograma adimensional donde el mayor porcentaje de lluvia se produce en el primer cuartil de duración (0 a 200min).....	18
Figura 12 Hietograma adimensional donde el mayor porcentaje de lluvia se produce en el segundo cuartil (0 a 200min).....	19
4.2- TORMENTAS DE 200 A 400 MIN DE DURACIÓN.....	20
Figura 13 Hietograma adimensional donde el mayor porcentaje de lluvia se produce en el primer cuartil (200 a 400min)	20
Figura 14 Hietograma adimensional donde el mayor porcentaje de lluvia se produce en el segundo cuartil (200 a 400min)	20
Figura 15 Hietograma adimensional donde el mayor porcentaje de lluvia se produce en el tercer cuartil (200 a 400min)	21
4.3- TORMENTAS DE 400 A 600 MIN DE DURACIÓN	22
Figura 16 Hietograma adimensional de tormentas donde el mayor porcentaje de lluvia se produce en el primer cuartil (400 a 600min)	22
Figura 17 Hietograma adimensional donde el mayor porcentaje de lluvia se produce en el segundo cuartil (400 a 600min)	22
Figura 18 Hietograma adimensional donde el mayor porcentaje de lluvia se produce en el tercer cuartil (400 a 600min)	23
Figura 19 Hietograma adimensional donde el mayor porcentaje de lluvia se produce en el cuarto cuartil (400 a 600min)	23
4.4- TORMENTAS DE 600 A 800 MIN DE DURACIÓN.....	24
4.5- TORMENTAS MAYORES A 800 MIN DE DURACIÓN.....	26

CONCLUSIONES.....	28
RECOMENDACIONES.....	29
ANEXOS	30

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 El ciclo Hidrológico (Hidrología Aplicada, Ven Te Chow)	4
Figura 2 Ubicación de estación pluviográfica MA2V	8
Figura 3 Ubicación de la estación pluviográfica M056	9
Figura 4 Faja pluviográfica.....	10
Figura 5 Curva adimensional altura de lluvia – tiempo	11
Figura 6 Curvas adimensionales altura de lluvia–tiempo (0 – 200min).....	15
Figura 7 Curvas adimensionales altura de lluvia–tiempo (200 – 400min)	16
Figura 8 Curvas adimensionales altura de lluvia–tiempo (400 – 600min)	16
Figura 9 Curvas adimensionales altura de lluvia–tiempo (600 – 800min)	17
Figura 10 Curvas adimensionales altura de lluvia–tiempo (800min – max)	17
Figura 11 Hietograma adimensional donde el mayor porcentaje de lluvia se produce en el primer cuartil de duración (0 a 200min).....	18
Figura 12 Hietograma adimensional donde el mayor porcentaje de lluvia se produce en el segundo cuartil (0 a 200min).....	19
Figura 13 Hietograma adimensional donde el mayor porcentaje de lluvia se produce en el primer cuartil (200 a 400min)	20
Figura 14 Hietograma adimensional donde el mayor porcentaje de lluvia se produce en el segundo cuartil (200 a 400min)	20
Figura 15 Hietograma adimensional donde el mayor porcentaje de lluvia se produce en el tercer cuartil (200 a 400min)	21
Figura 16 Hietograma adimensional de tormentas donde el mayor porcentaje de lluvia se produce en el primer cuartil (400 a 600min)	22
Figura 17 Hietograma adimensional donde el mayor porcentaje de lluvia se produce en el segundo cuartil (400 a 600min)	22
Figura 18 Hietograma adimensional donde el mayor porcentaje de lluvia se produce en el tercer cuartil (400 a 600min)	23
Figura 19 Hietograma adimensional donde el mayor porcentaje de lluvia se produce en el cuarto cuartil (400 a 600min)	23

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Altura de lluvia en el tiempo	10
Tabla 2 Lluvias de duración de 0 a 200 min.	12
Tabla 3 Lluvias de duración de 200 a 400 min.....	13
Tabla 4 Lluvias de duración de 400 a 600 min.....	14
Tabla 5 Lluvias de duración de 600 a 800 min.....	14
Tabla 6 Lluvias de duración de 800 min en adelante	15

RESUMEN

Este trabajo que contiene el “Estudio de la Variación Temporal de la Lluvia en una Estación en la ciudad de Guayaquil” provee información acerca de la distribución temporal de la lluvia basándose en información histórica recopilada de 95 tormentas ocurridas y registradas por la estación pluviográfica.

A fin de encontrar una relación entre cada tormenta y la variación en el tiempo de la lluvia, el presente trabajo es presentado en forma de curvas porcentuales o adimensionales.

Cada curva fue levantada de la faja pluviográfica generada por la estación seleccionada para el estudio. En este caso la información histórica, en la que se basa el presente trabajo, corresponde a la estación MA2V, ubicada en los predios de la Universidad de Guayaquil y manejada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

Las tormentas registradas fueron divididas según su duración y tomando en cuenta el criterio de Huff, se consideró, que una tormenta se inicia cuando por lo menos seis horas antes no ha caído precipitación y termina cuando cesa la lluvia y no se inicia otra hasta después de seis horas.

Una vez clasificadas las tormentas por duración se las convirtió en adimensionales dividiendo el tiempo en cuartiles. Para cada cuartil se determinó el porcentaje acumulado de la lluvia.

Palabras Claves: Temporal, Tormenta, Histórica, Adimensional, Faja Pluviográfica,

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1.- PRESENTACIÓN DEL TEMA

La hidrología es una ciencia que estudia fundamentalmente al ciclo hidrológico y tiene dos objetivos fundamentales que son:

- Evaluar la disponibilidad de los recursos hídricos tanto en el tiempo como en el espacio.
- Determinar caudales máximos en puntos de interés para el diseño de las obras hidráulicas.

Este trabajo es una contribución al segundo de los objetivos antes mencionados, al estudiar la variación temporal de las lluvias y hacer una aproximación a un modelo de tormenta, que permita calcular de manera más sustentada los caudales del escurrimiento superficial.

1.2.- JUSTIFICACION DEL TEMA

Una parte de la ciudad de Guayaquil se ve afectada por el problema de inundaciones debido principalmente al déficit de capacidad de los colectores. Esta falta de capacidad, más que por el tamaño de los colectores, es producto del bajo gradiente hidráulico, ya que el desnivel entre el suelo y las altas mareas es muy pequeño. Lo anterior significa que el incremento de los diámetros en los colectores no va a resolver el problema, siendo necesario implementar otras soluciones las que, entre otros elementos pueden considerar embalses o estructuras de regulación tendiente a reducir el pico de los hidrogramas. Para la generación de hidrogramas es necesario contar con los hietogramas que representen, con cierta probabilidad de ocurrencia, la forma de la tormenta.

1.3.- ANTECEDENTES

Desde que se crearon softwares para facilitar las modelaciones de escorrentías, nuevos retos y demandas también fueron creadas en la ingeniería civil. Por ejemplo, los programas de modelación requieren que se defina las características de la distribución temporal de las lluvias que ocurren.

1.4.- CONTEXTUALIZACIÓN EN TIEMPO Y ESPACIO

En este estudio se considerará como objeto de estudio a la ciudad de Guayaquil. El tiempo considerado para generar los resultados en este estudio están considerados a partir del año de 1957, año a partir del cual se considerarán los registros de lluvias que se obtienen de las distintas estaciones pluviográficas.

1.5.- OBJETIVO

Determinar hietogramas de tormentas, basados en registros históricos a partir de la información pluviográfica proporcionada por el INAMHI y que corresponde a la estación MA2V, ubicada en los predios de la Universidad de Guayaquil.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1.- CONCEPTO DE HIDROLOGÍA

La hidrología es la ciencia que se dedica al estudio del agua y a la generación de esta, así como al transporte y distribución, tanto espacial como temporal en la superficie terrestre y bajo esta, además del estudio de sus propiedades tanto físicas como químicas y su relación con el ambiente y el impacto que tiene en este.

2.2.- CICLO HIDROLOGICO

Se denomina como ciclo hidrológico al proceso relacionado con la circulación y recirculación del agua en la atmosfera, en la superficie de la tierra y bajo esta.

2.3.- PROCESOS DEL CICLO HIDROLÓGICO

El ciclo hidrológico está formado por varios fenómenos o procesos en los que el agua cumple un papel de suma importancia. Estos procesos son:

- Evaporación: El agua que se encuentra en la superficie terrestre y oceánica se evapora y sube a la atmósfera.
- Transpiración: proceso a través del cual las plantas toman el agua del subsuelo, para el transporte de los nutrientes y luego lo expelen a la atmósfera.
- Condensación: El agua en forma de vapor forma las nubes, constituidas por aguas en pequeñas gotas.
- Precipitación: Las gotas que están formando las nubes se enfrían y se juntan a otras y por su peso caen a la superficie.
- Infiltración: El agua que ha caído a la superficie la penetra y se convierte en agua subterránea.

- Escorrentía: El agua que no pasa a ser subterránea, se desliza por la superficie hacia los puntos más bajos.
- Circulación subterránea: Se produce por la gravedad y el agua se desplaza en el subsuelo a través de los acuíferos descargando en los ríos y el mar.

En la figura 2, se puede observar un esquema cualitativo del ciclo hidrológico y sus procesos.

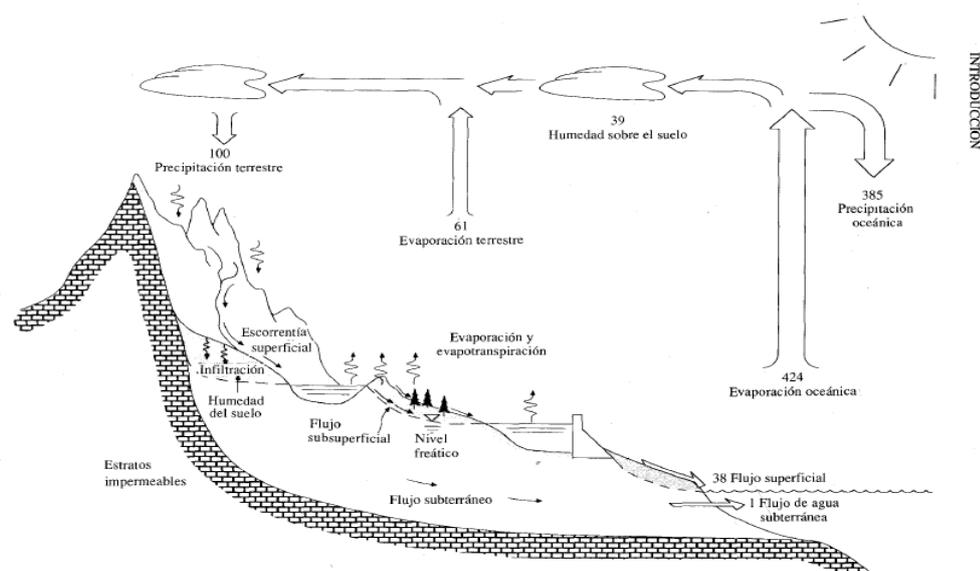


Figura 1 El ciclo Hidrológico (Hidrología Aplicada, Ven Te Chow)

2.4.- PRECIPITACIÓN

La precipitación es un fenómeno natural parte del ciclo hidrológico en el que se produce un enfriamiento de masas de aire caliente saturadas de vapor de agua, el que al perder temperatura se condensa en finas gotas que al juntarse aumentan su peso y caen a la superficie terrestre.

La precipitación sólo ocurre si es que existe la suficiente condensación. Las gotas que se forman de entre 100 y 500 μ que por gravedad caen se juntan con otras y llegan a alcanzar diámetros entre 5 y 7mm.

El concepto de precipitación abarca todo tipo de hidrometeoro, es decir, a partículas acuosas que caen a la tierra, tales como lluvia, granizo, nieve.

En la hidrología, las precipitaciones son un aspecto indispensable de analizar, debido a que según estas se podría cuantificar los recursos hídricos con los que cuenta una cuenca determinada y tomar en cuenta estos para

prevención de avenidas en varios diseños de obras como de alcantarillado, de erosión de un suelo, obras hidráulicas, etc.

2.5.- MEDICIÓN DE LA PRECIPITACIÓN

La medición de precipitación es la determinación de la cantidad de agua lluvia que ha caído en la superficie durante una tormenta en un tiempo dado.

Para la medición de la precipitación se determina la altura de la capa de agua que se acumularía en la superficie si no consideráramos el movimiento del agua en la superficie debido a las infiltraciones, evaporaciones y escurrimientos que se dan en la realidad.

Para la medición de la precipitación se emplean varios equipos y mecanismos para calcularla.

2.5.1 PLUVIOMETROS

Es el instrumento que mayormente se usa para medir las precipitaciones y corresponde a un recipiente cilíndrico de 20 cm de ancho y 60 cm de altura que se comunica con una probeta, cuya área transversal es un décimo de la del embudo receptor.

Para obtener la medición se retira la probeta y se introduce una regla graduada con la que se toma lectura. Cada centímetro que se mida en la probeta equivale a un milímetro de altura de lluvia.

Dependiendo de la frecuencia de lecturas se pueden obtener precipitaciones horarias, diarias, semanales. Pero generalmente se acostumbra a realizar una medida diaria.

2.5.2 PLUVIOGRAFOS

En el pluviógrafo, el agua lluvia originada por la tormenta es captada de igual manera que en el pluviómetro. Se diferencia del pluviómetro en que no escurre la precipitación a otro recipiente, sino que pasa por un dispositivo especial y este registra automáticamente la altura instantánea de la precipitación.

2.6 INTENSIDAD

La intensidad de lluvia es una medida de la cantidad de lluvia que cae durante un cierto período. Es expresada como una altura de lluvia sobre el tiempo

Los pluviógrafos no solo miden la altura de la precipitación sino también la intensidad (i).

$$i = \frac{\Delta h}{\Delta t} = \frac{\text{mm}}{\text{hora}}$$

En donde:

Δh es la altura de lluvia que se expresa generalmente en mm.

Δt es el tiempo en el que se produce la precipitación, generalmente se expresa en horas.

2.7 DURACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN.

La duración de la precipitación es el tiempo que transcurre entre el inicio de una tormenta hasta el cese de la misma. La duración de la precipitación se expresa generalmente en minutos.

2.8 HIETOGRAMA.

Los pluviógrafos generan registros conocidos como fajas pluviográficas, a partir de las cuales se pueden obtener Hietogramas para las diversas tormentas que se tomen en cuenta al momento de realizar un estudio.

El hietograma es un gráfico que indica como varía la altura de precipitación (mm) o la intensidad (mm/h) de una tormenta con respecto a un intervalo de tiempo que se seleccione arbitrariamente.

CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA

3.1.- METODOLOGIA PROPUESTA

Se establece la ciudad en la cual se va a realizar el estudio y se elige una estación pluviográfica ubicada dentro del área de la ciudad que contenga los registros de tormentas necesarios para una buena elaboración del estudio.

Para la realización de este trabajo se determinó que la ciudad en la que se llevará a cabo el estudio es la ciudad de Guayaquil y la estación escogida de la cual se recopilarán datos para el estudio es la estación pluviográfica que se ubica actualmente en la Universidad de Guayaquil.

En el transcurso del año ocurren varias tormentas que quedan registrada en la estación, algunas de estas tormentas no tienen una intensidad considerable, por lo que se escogerá las fajas pluviográficas que contengan las lluvias más representativas, debido a que estas son las que hay que tener en cuenta al momento de realizar estudios y diseños de estructuras por ser las más peligrosas para la vida útil de las mismas.

En cada faja pluviográfica se observa lluvias de diferentes duraciones que pueden variar entre minutos y varias horas. Por este motivo se establecerá la lectura de tormentas máximo de hasta seis horas con intervalos de 20 minutos.

3.2 ESTACION PLUVIOGRAFICA

Para la recolección de datos se han considerado que a partir de Octubre del año 2001 se tomarán los valores registrados en la estación pluviográfica de la Universidad de Guayaquil (MA2V), y para los valores previos a Octubre del 2001 se usarán los valores registrados en la estación pluviográfica del aeropuerto (M056).

En el presente trabajo considera que no existe ningún inconveniente en mezclar datos de ambas estaciones. Para esto se basa en la premisa de que ambas estaciones se encuentran separadas aproximadamente 3 km entre sí, por lo que los valores de tormentas obtenidos entre una estación y otra no presentan demasiada diferencia.

3.2.1 ESTACIÓN DE GUAYAQUIL (U. GUAYAQUIL)

La estación pluviográfica seleccionada se encuentra en servicio y es manejada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Inicialmente la estación estaba localizada en la ciudadela FAE al norte de Guayaquil y fue reubicada en octubre del año 2001.

El nombre con el que se conoce a la estación es Guayaquil (U. Guayaquil), se encuentra a 6 msnm y el código con el que se la reconoce es MA2V. Sus coordenadas son:

Al sur: 021200

Al oeste: 795300

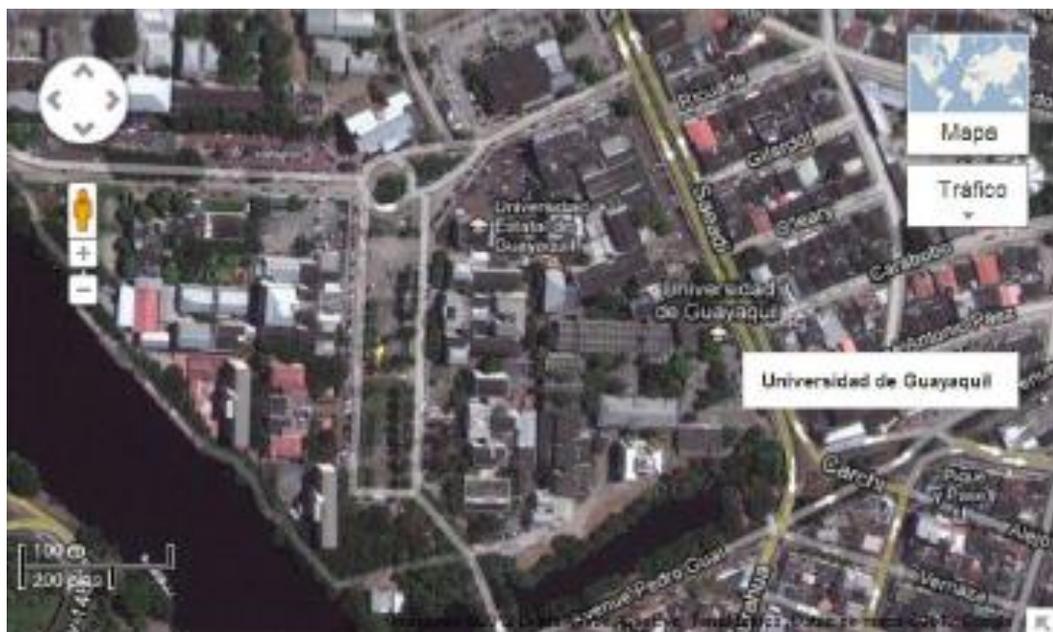


Figura 2 Ubicación de estación pluviográfica MA2V

3.2.2 ESTACIÓN DE GUAYAQUIL (AEROPUERTO)

La estación de Guayaquil en el aeropuerto fue instalada en el año de 1950 y se encuentra a 4 msnm. El código con el que se la reconoce es M056. Sus coordenadas son:

Al sur: 022669

Al oeste: 799008



Figura 3 Ubicación de la estación pluviográfica M056

3.3 OBTENCIÓN Y REGISTRO DE DATOS HISTÓRICOS.

3.3.1 PROCESAMIENTO DE DATOS

De los datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) se obtuvieron las tormentas más representativas y se consiguió las fajas pluviográficas. Directamente de las fajas se hizo el levantamiento de la información y se procedió a elaborar un registro en donde se obtenía la altura de lluvia que se producía durante el tiempo que duraba la tormenta.

Un parámetro fue tomado en cuenta en la realización del trabajo es el criterio de Huff, que indica que al momento de seleccionar las tormentas debe haber un período de por los menos seis horas antes y después de la misma, en que la estación no haya recogido datos, es decir no haya existido precipitación.

En total fueron analizadas 95 tormentas que oscilan desde enero del año de 1957 hasta Enero del año 2011

Ejemplo:

Tormenta de 30 de Julio de 1997

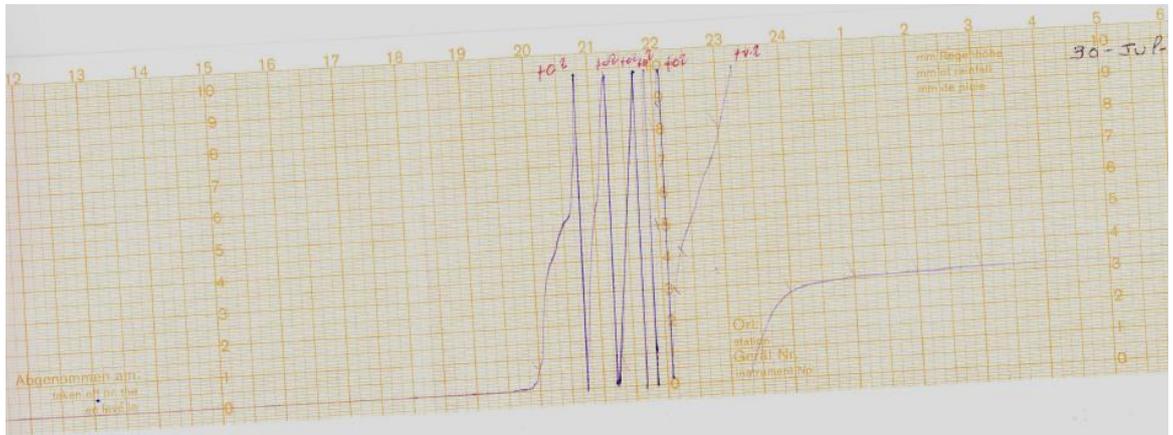


Figura 4 Faja pluviográfica

Se procedió a hacer el levantamiento de datos de cada faja pluviográfica de las 95 tormentas seleccionadas, en este caso se tiene la faja del día 30 de Julio de 1997. Con intervalos de 20 minutos se hizo el levantamiento de toda la faja. Los resultados obtenidos son los siguientes.

En los anexos se presentan las curvas adimensionales obtenidas de cada lluvia elegida de los registros de la estación. Además de las fajas pluviográficas del día en donde se encuentra la lluvia seleccionada

t (min)	Lluvia (mm)		Relación (tiempo/total)	Relación (altura/total)
	Δh	acumulada		
0	0	0	0	0
20	0.8	0.8	0.07	0.01
40	3.7	4.5	0.13	0.07
60	3.3	7.8	0.20	0.12
80	7.8	15.6	0.27	0.25
100	4.4	20	0.33	0.32
120	10	30	0.40	0.48
140	20	50	0.47	0.79
160	4.2	54.2	0.53	0.86
180	2.1	56.3	0.60	0.89
200	1.6	57.9	0.67	0.92
220	2.1	60	0.73	0.95
240	2.3	62.3	0.80	0.99
260	0.3	62.6	0.87	0.99
280	0.3	62.9	0.93	1.00
300	0.1	63	1.00	1.00

Tabla 1 Altura de lluvia en el tiempo

La tabla 1 se obtiene haciendo lecturas de las fajas que se han obtenido. En la primera columna se encuentran los valores de lluvia tomados cada 20 minutos hasta el final de la tormenta.

En la segunda columna se registran los Δh que son las variaciones que hay en el intervalo de 20 minutos.

En la tercera columna se registran los valores acumulados de altura de lluvia que la estación va registrando a medida que la lluvia se produce.

Con los valores de la primera columna se hace una relación del $\Delta t/t$ para obtener los valores adimensionales en porcentajes del tiempo. Lo mismo se hace con los valores de la tercera columna para obtener la relación $\Delta h/h$

Una vez obtenidas la relación $\Delta t/t$ y $\Delta h/h$ se las graficaron en una curva siendo los valores $\Delta t/t$ ubicados en el eje X y los valores de $\Delta h/h$ en el eje Y.

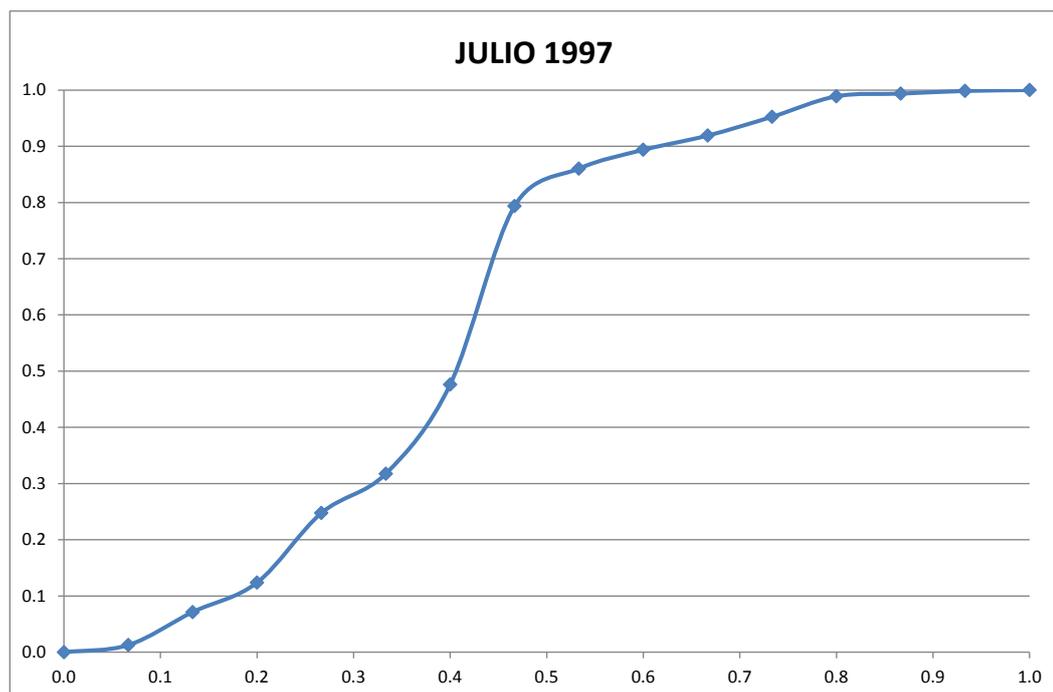


Figura 5 Curva adimensional altura de lluvia – tiempo

3.3.2 AGRUPACIÓN DE TORMENTAS

Luego de haber obtenido los datos y de haber graficado la curva adimensional de Altura de Lluvia – Tiempo, los datos de las tormentas fueron agrupados, según la duración de cada una. Así se forman los siguientes grupos:

Tormentas de duración de 0 a 200 minutos:

MES	AÑO	ALTURA MAXIMA (mm)	DURACIÓN (minutos)
MAYO	1957	58.7	140
FEBRERO	1975	97.7	200
MARZO	1976	61.0	160
ABRIL	2009	38.0	140
MAYO	2009	20.5	160
ENERO	2011	29.2	200

Tabla 2 Lluvias de duración de 0 a 200 min.

Tormentas de duración de 200 a 400 minutos:

MES	AÑO	ALTURA MAXIMA (mm)	DURACIÓN (minutos)
ENERO	1961	64.9	320
FEBRERO	1962	34.2	400
MARZO	1962	31.1	280
FEBRERO	1963	42.0	240
FEBRERO	1968	93.0	340
MARZO	1968	65.3	300
MARZO	1973	75.5	400
ABRIL	1973	61.5	380
ENERO	1976	90.0	340
ABRIL	1978	38.0	280
DICIEMBRE	1978	27.2	400
ABRIL	1979	59.5	380
ENERO	1997	35.6	360
MARZO	1997	73.8	400
JULIO	1997	63.0	300
DICIEMBRE	1997	185.7	400
FEBRERO	1998	84.9	380
MARZO	1999	54.1	300
ABRIL	2000	68.0	300
ENERO	2001	50.0	260
ABRIL	2006	40.5	280
DICIEMBRE	2006	24.7	320

ENERO	2007	36.5	380
FEBRERO	2007	20.8	220
ABRIL	2007	41.9	220
FEBRERO	2009	47.3	380
MARZO	2009	56.6	340

Tabla 3 Lluvias de duración de 200 a 400 min.

Tormentas de duración de 400 a 600 minutos:

MES	AÑO	ALTURA MAXIMA (mm)	DURACIÓN (MINUTOS)
FEBRERO	1960	17.8	540
MARZO	1960	80.0	500
MARZO	1961	33.5	420
ABRIL	1961	26.5	500
ENERO	1962	39.0	420
ABRIL	1962	40.1	460
ABRIL	1963	35.3	540
MARZO	1969	101.5	480
ABRIL	1969	40.3	500
MARZO	1970	50.6	580
MAYO	1970	58.0	500
ENERO	1971	26.9	520
FEBRERO	1971	35.2	420
MARZO	1971	78.8	420
ENERO	1972	86.0	440
FEBRERO	1972	99.6	460
ABRIL	1972	34.6	600
MAYO	1973	32.9	600
ENERO	1975	89.5	480
MARZO	1977	41.5	420
OCTUBRE	1997	46.9	480
ENERO	2000	23.7	420
FEBRERO	2000	63.5	420
MARZO	2001	57.6	540
MARZO	2005	92.6	520
MARZO	2006	34.4	500
ENERO	2010	30.0	460
FEBRERO	2010	65.7	540

MARZO	2010	51.3	560
DICIEMBRE	2010	24.3	460

Tabla 4 Lluvias de duración de 400 a 600 min

Tormentas de duración de 600 a 800 minutos:

MES	AÑO	ALTURA MAXIMA	DURACIÓN
ENERO	1960	103.7	800
FEBRERO	1961	62.8	760
ENERO	1963	16.8	640
ENERO	1969	30.0	760
ENERO	1970	48.0	620
ABRIL	1970	43.4	740
FEBRERO	1973	55.0	660
MARZO	1975	89.5	480
MAYO	1976	115.5	620
DICIEMBRE	1976	67.8	640
FEBRERO	1997	75.2	660
ABRIL	1997	50.8	660
MAYO	1997	76.5	640
NOVIEMBRE	1997	156.8	760
ENERO	1999	25.4	660
MAYO	2000	101.3	780
ABRIL	2005	44.6	740
ENERO	2009	82.3	740
ABRIL	2010	64.9	700

Tabla 5 Lluvias de duración de 600 a 800 min

Tormentas de duración de 800 minutos en adelante:

MES	AÑO	ALTURA MAXIMA	DURACIÓN
MARZO	1957	49.6	840
ABRIL	1957	90.7	860
MARZO	1963	45.2	820
MARZO	1972	88.0	820
ENERO	1973	216.0	880

FEBRERO	1976	92.8	880
ENERO	1998	79.0	960
ABRIL	1998	213.3	820
MAYO	1998	80.8	840
MARZO	2000	132.0	960
FEBRERO	2001	130.0	840
ABRIL	2001	72.5	840
MARZO	2007	84.5	780

Tabla 6 Lluvias de duración de 800 min en adelante

3.3.3 TRAZADO DE CURVAS

Una vez que se han agrupado las curvas adimensionales de altura de lluvia vs tiempo, se realizó el trazado de las curvas que componen cada grupo a para poder evaluarlas como un grupo que tienen en común la duración de cada lluvia.

A continuación se presentan los siguientes gráficos.

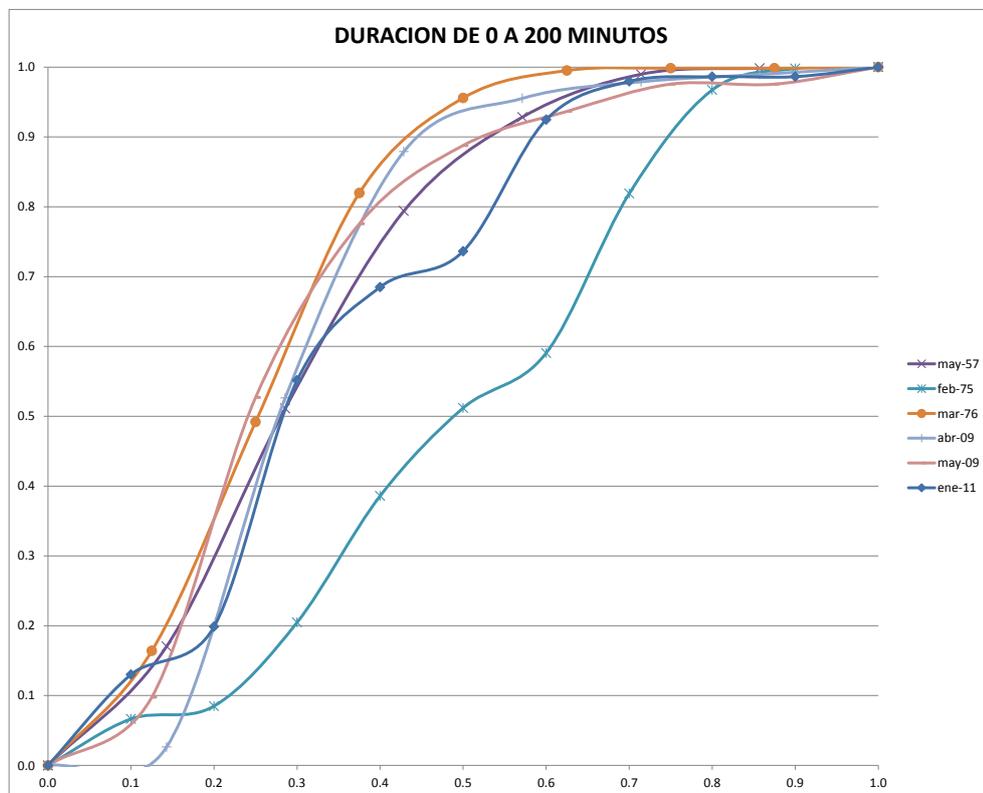


Figura 6 Curvas adimensionales altura de lluvia-tiempo (0 – 200min)

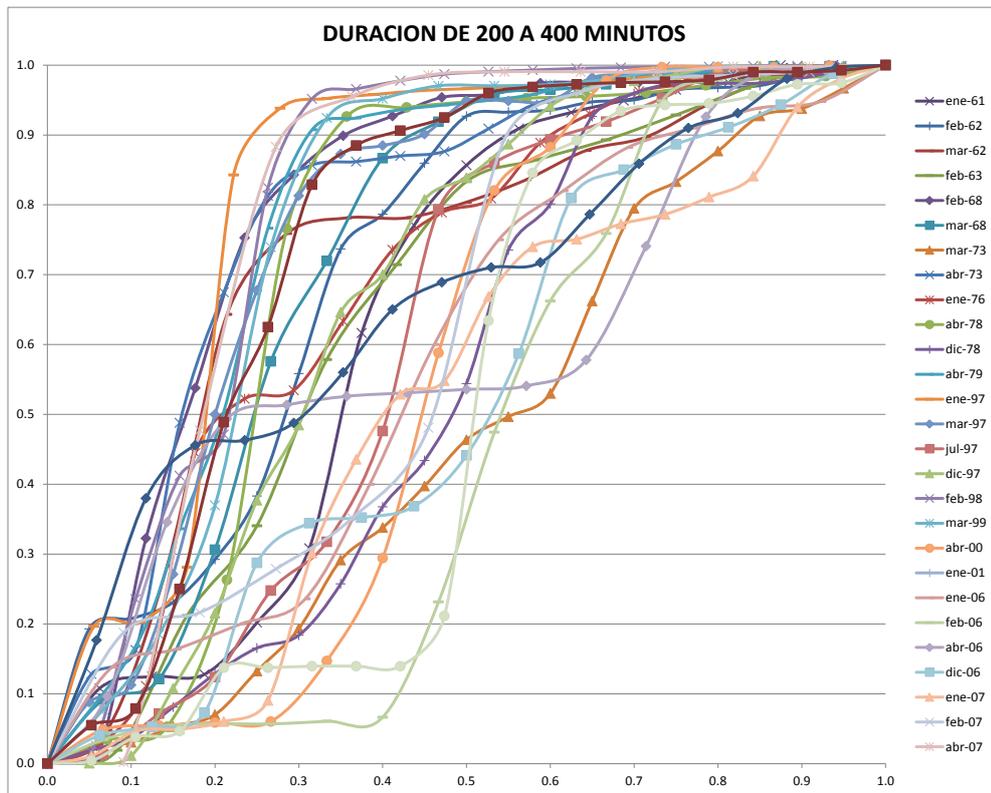


Figura 7 Curvas adimensionales altura de lluvia-tiempo (200 – 400min)

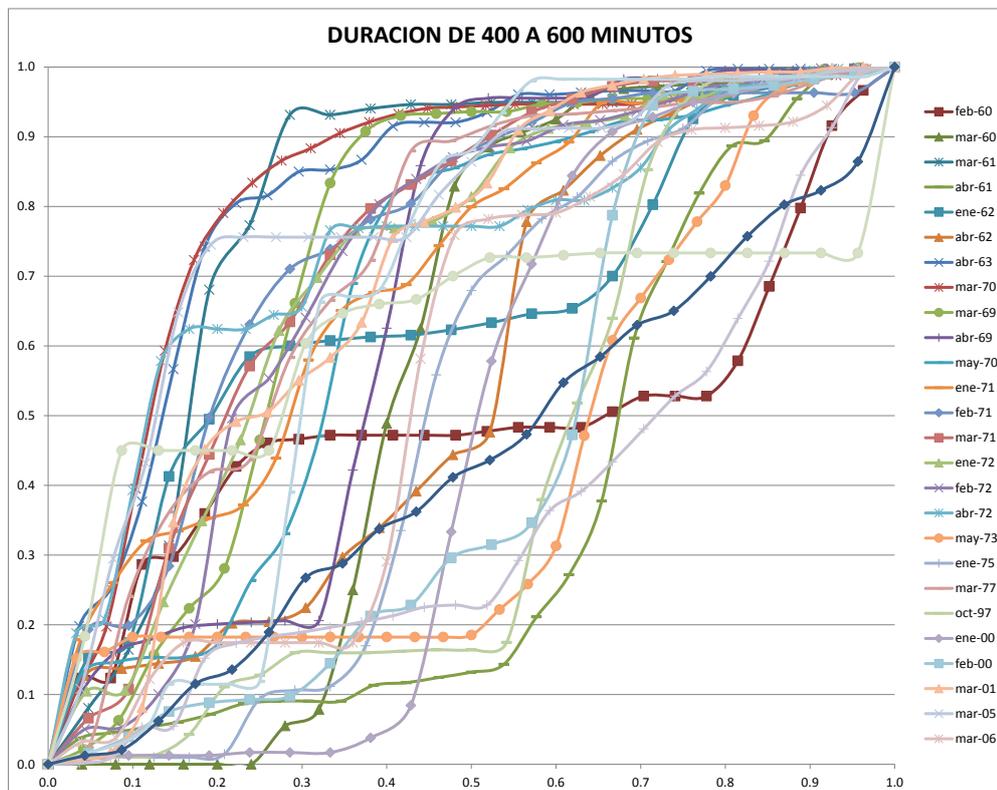


Figura 8 Curvas adimensionales altura de lluvia-tiempo (400 – 600min)

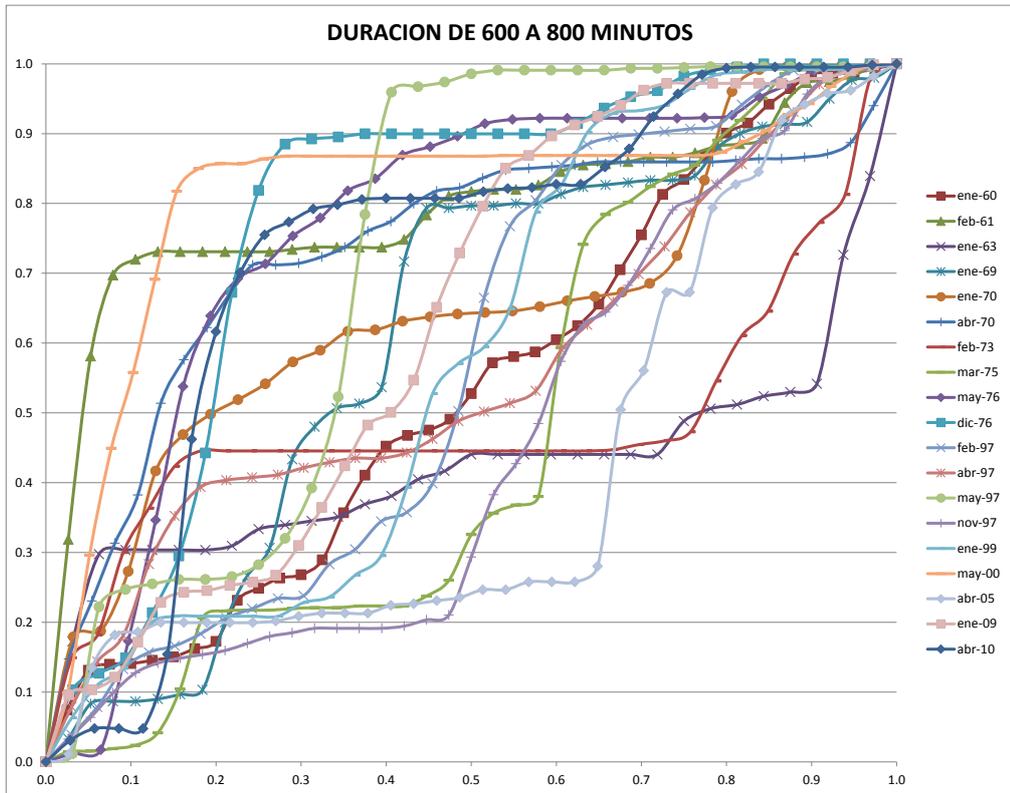


Figura 9 Curvas adimensionales altura de lluvia-tiempo (600 – 800min)

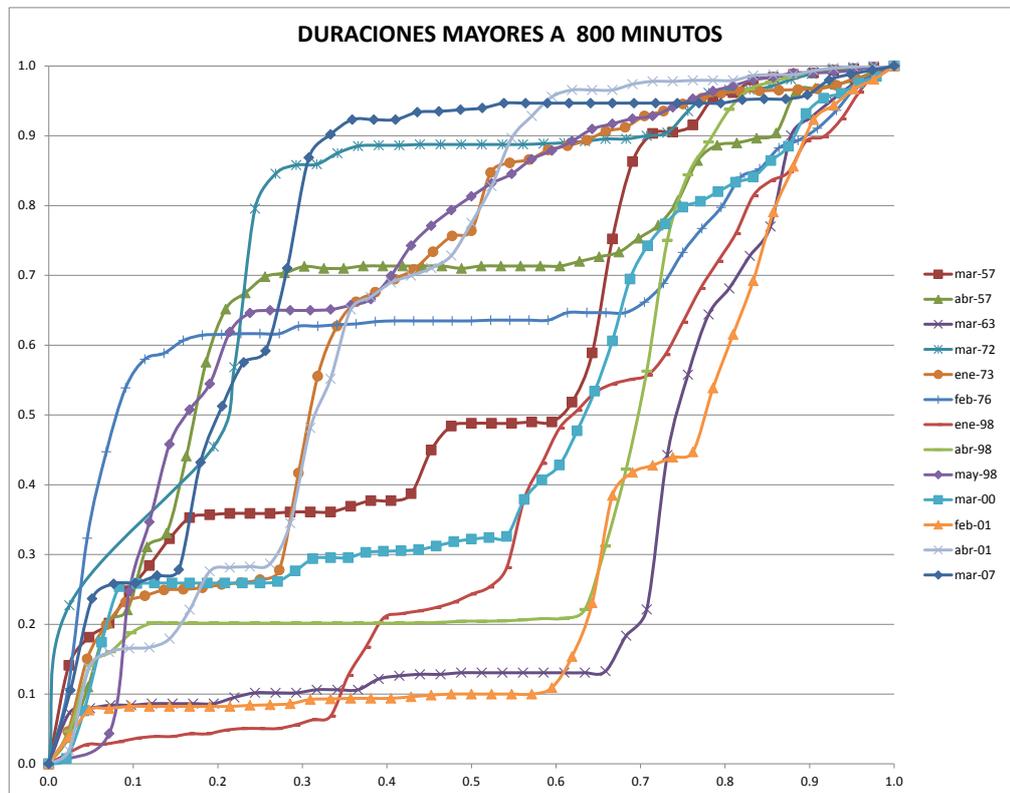


Figura 10 Curvas adimensionales altura de lluvia-tiempo (800min – max)

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Luego de obtener las curvas adimensionales de altura de lluvia y tiempo y de agruparlas según su duración, se pueden observar los siguientes patrones acerca de la variación temporal de la lluvia según la estación analizada.

En un principio se evaluaron las curvas por esta simple agrupación y se puede observar que a medida que las lluvias aumentan en duración, la tendencia se hace más variable.

Por este motivo se realiza una segunda agrupación de tormentas, para poder analizar de manera más detallada el comportamiento de la lluvia y su variación en el tiempo.

La siguiente agrupación que se realizó se la hizo en función del cuartil dentro del cual se presentó la mayor altura de lluvia.

4.1- TORMENTAS DE 0 A 200 MIN DE DURACIÓN.

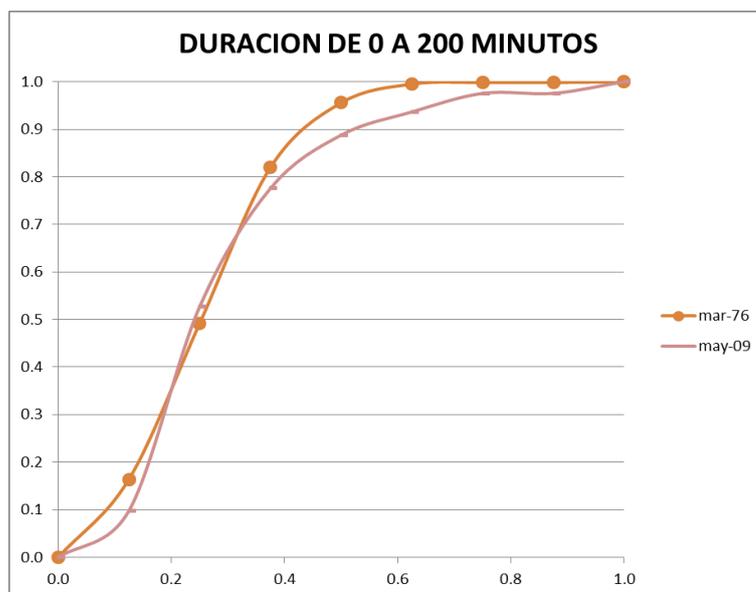


Figura 11 Hietograma adimensional donde el mayor porcentaje de lluvia se produce en el primer cuartil de duración (0 a 200min)

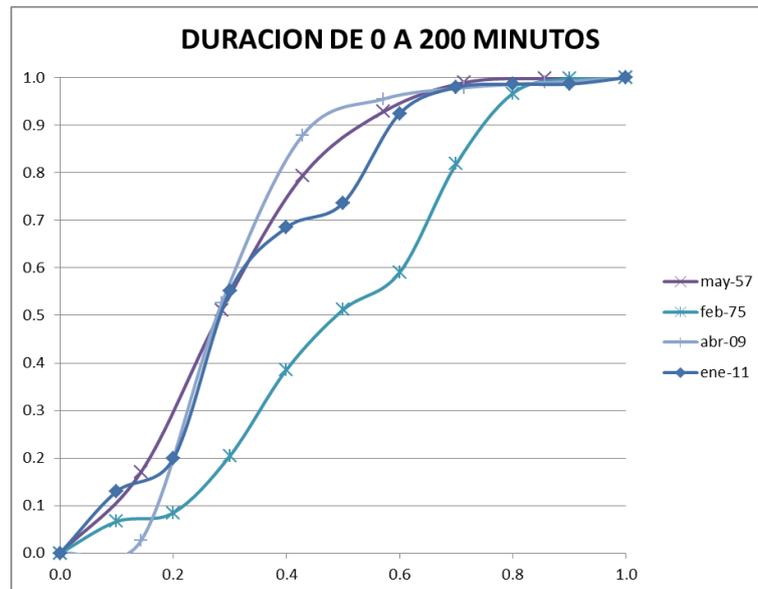


Figura 12 Hietograma adimensional donde el mayor porcentaje de lluvia se produce en el segundo cuartil (0 a 200min)

En los gráficos 11 y 12 se presentan las tormentas separadas en función del tiempo hasta donde se produce la mayor altura de lluvia. En el grafico 11 están graficadas las tormentas en las que su mayor altura se produce dentro del primer cuartil (33% de las tormentas) y en la figura 12 se observan las tormentas en las que la mayor parte de la altura de la lluvia se alcanza en el segundo cuartil (67% de las tormentas).

4.2- TORMENTAS DE 200 A 400 MIN DE DURACIÓN.

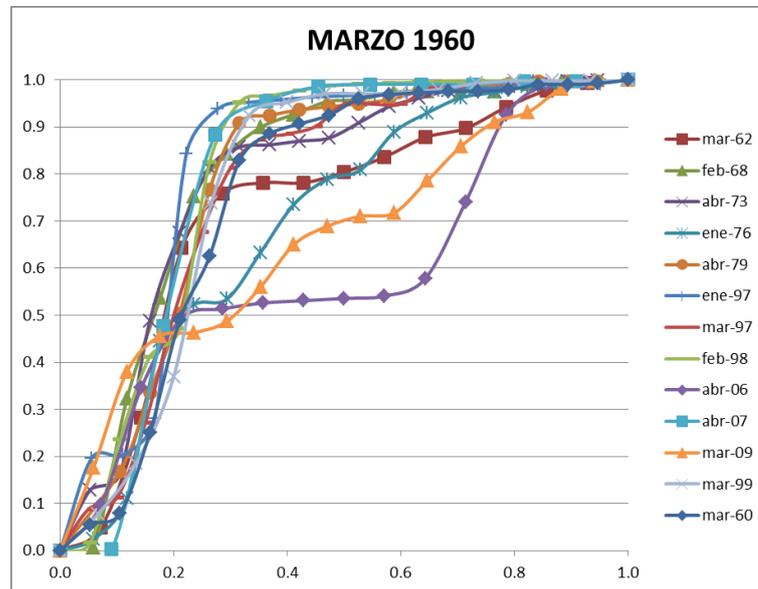


Figura 13 Hietograma adimensional donde el mayor porcentaje de lluvia se produce en el primer cuartil (200 a 400min)

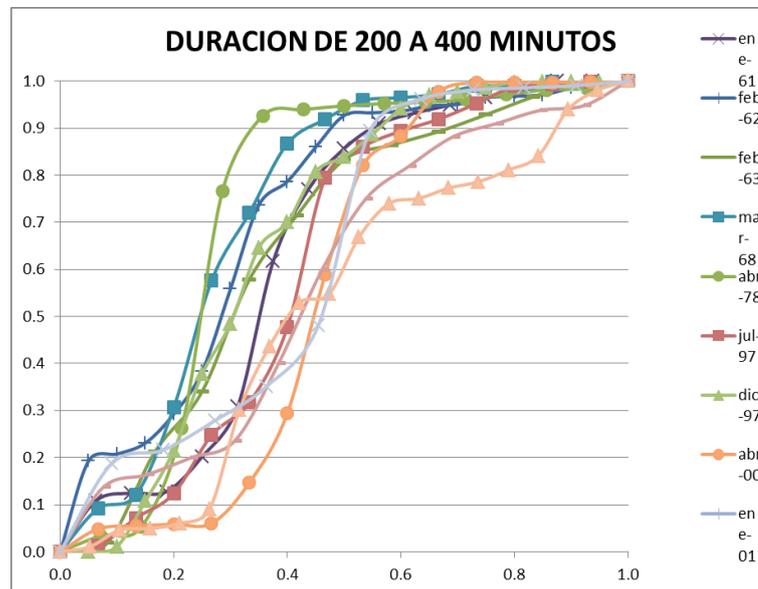


Figura 14 Hietograma adimensional donde el mayor porcentaje de lluvia se produce en el segundo cuartil (200 a 400min)

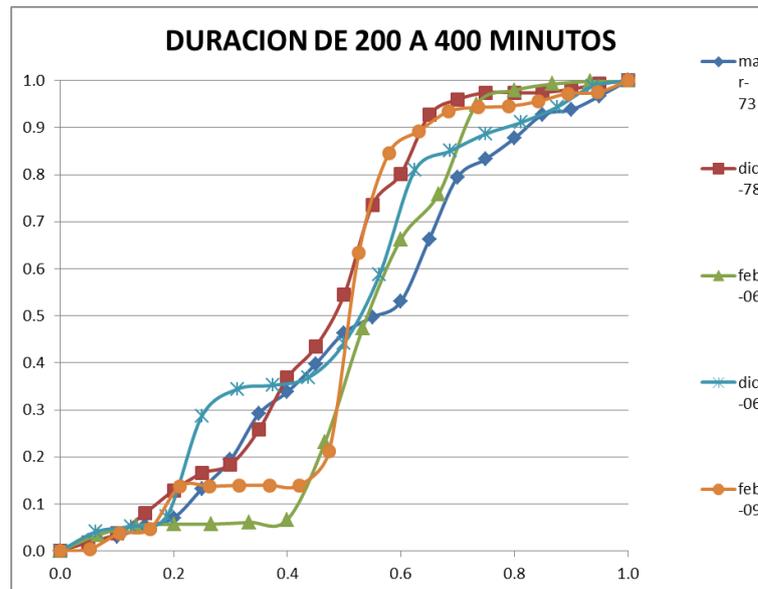


Figura 15 Hietograma adimensional donde el mayor porcentaje de lluvia se produce en el tercer cuartil (200 a 400min)

En la figura 13, 14 y 15 están graficados los hietogramas adimensionales de tormentas que tienen una duración entre 200 y 400 minutos. En la figura 13 se observa el grupo de tormentas que alcanzan su mayor porcentaje de altura de lluvia en el primer cuartil de duración (43% de las tormentas). La figura 14 indica las lluvias que alcanzan su máxima variación de altura de lluvia en el segundo cuartil de la duración de la tormenta (40% de las tormentas). La figura 15 muestra el grupo de lluvias que tienen su mayor porcentaje de altura en el tercer cuartil (17% de las tormentas).

Analizando la gráfica se puede concluir que el 83% de tormentas alcanzan su mayor altura de lluvia antes de la mitad de su duración, lo que quiere decir que son tormentas intensas al inicio que bajan su intensidad considerablemente en la segunda mitad de su duración.

4.3- TORMENTAS DE 400 A 600 MIN DE DURACIÓN

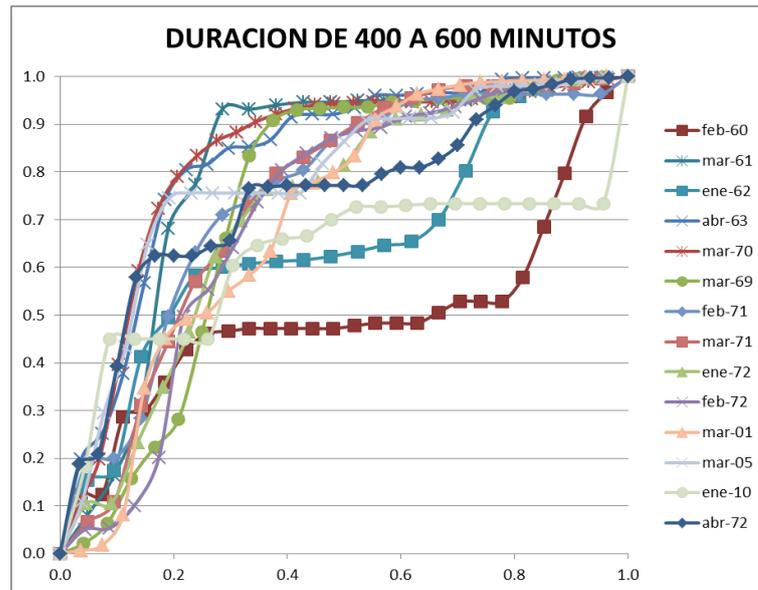


Figura 16 Hietograma adimensional de tormentas donde el mayor porcentaje de lluvia se produce en el primer cuartil (400 a 600min)

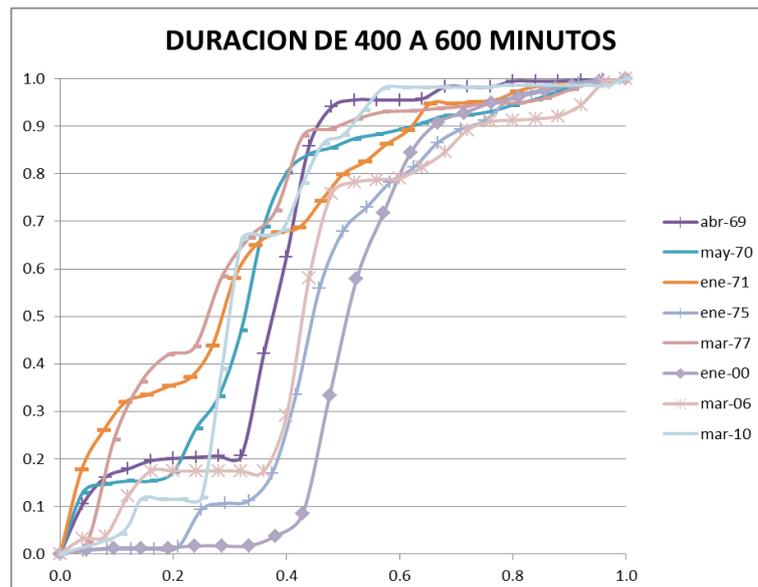


Figura 17 Hietograma adimensional de tormentas donde el mayor porcentaje de lluvia se produce en el segundo cuartil (400 a 600min)

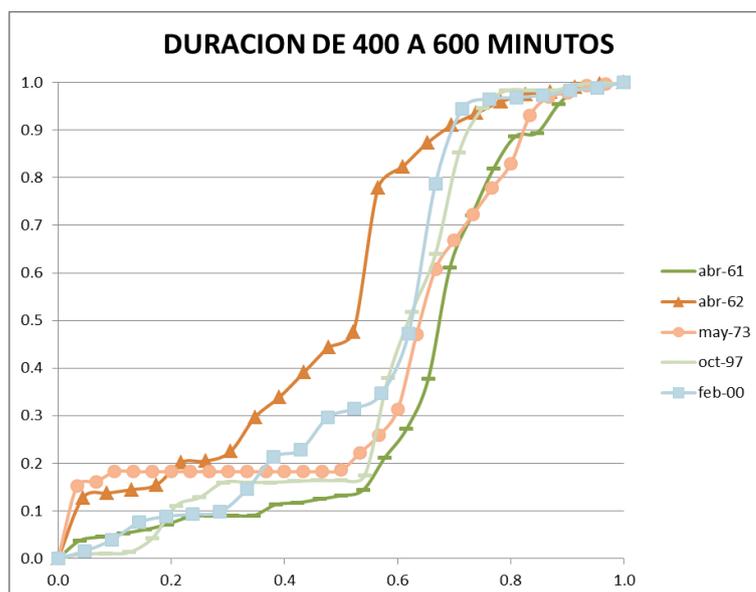


Figura 18 Hietograma adimensional donde el mayor porcentaje de lluvia se produce en el tercer cuartil (400 a 600min)

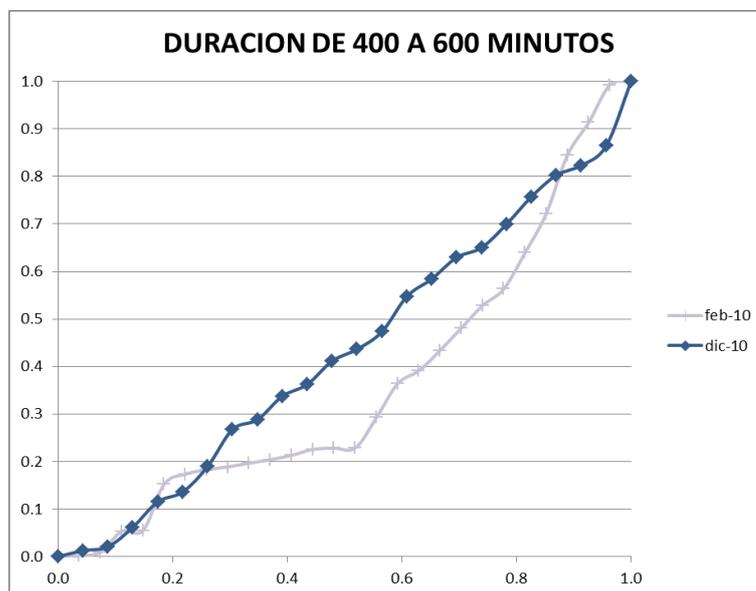


Figura 19 Hietograma adimensional donde el mayor porcentaje de lluvia se produce en el cuarto cuartil (400 a 600min)

La figura 16, 17, 18 y 19 muestran las curvas que pertenecen a las lluvias que cuya duración varía entre 400 y 600 minutos. Lo primero que se puede notar de esta agrupación de tormentas es el hecho de que es el único grupo que

posee tormentas en donde el mayor porcentaje de lluvia está en el último cuartil.

En la figura 16 se puede observar que el 48% de las lluvias agrupadas son tormentas que generan su mayor altura de lluvia en el primer cuarto de hora de su duración. En la figura 17 están graficadas las lluvias que presentan su máximo porcentaje de altura en el segundo cuartil (28% de las tormentas). La figura 18 muestra que el 17% de las tormentas presenta su máxima altura de lluvia en el tercer cuartil. El 7% son tormentas que se vuelven más intensas en el último cuarto de su duración.

4.4- TORMENTAS DE 600 A 800 MIN DE DURACIÓN.

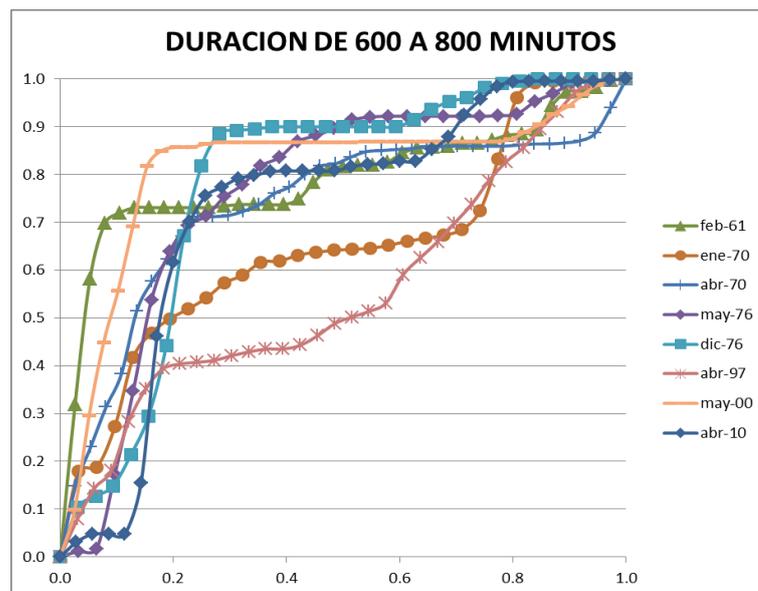


Figura 20 Hietograma adimensional donde el mayor porcentaje de lluvia se produce en el primer cuartil (600 a 800min)

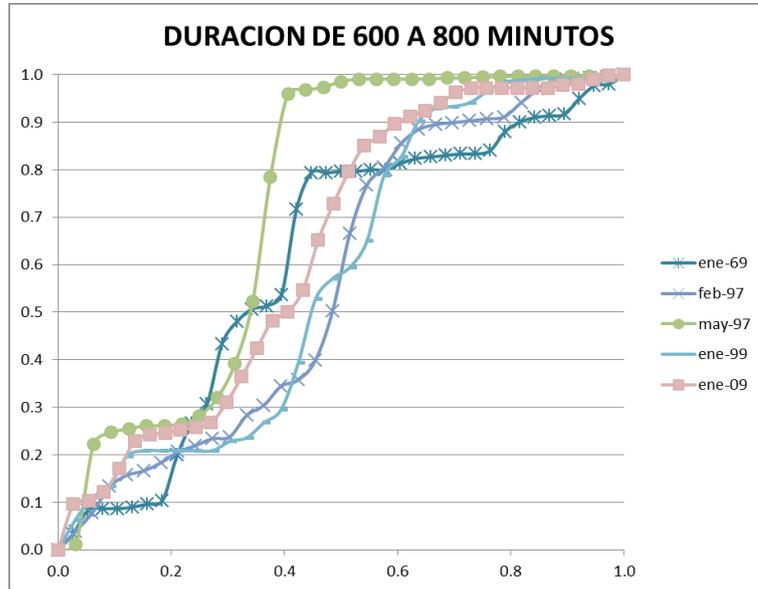


Figura 21 Hietograma adimensional donde el mayor porcentaje de lluvia se produce en el segundo cuartil (600 a 800min)

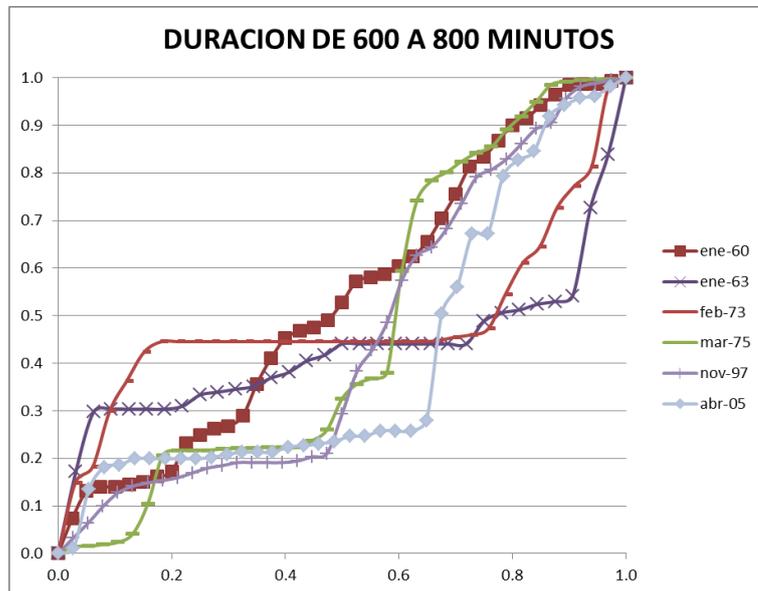


Figura 22 Hietograma adimensional donde el mayor porcentaje de lluvia se produce en el tercer cuartil (600 a 800min)

Las figuras 20, 21 y 22 representan las tormentas que tienen una duración entre 600 y 800 minutos.

En la figura 20 se muestran las tormentas que presentan su mayor altura en el primer cuartil (42% de las tormentas). En la figura 21 están las tormentas que generan su mayor altura en el segundo cuartil (32% de las tormentas) y en la figura 22 están las que presentan su mayor altura durante el primer cuartil (26% de las tormentas).

4.5- TORMENTAS MAYORES A 800 MIN DE DURACIÓN.

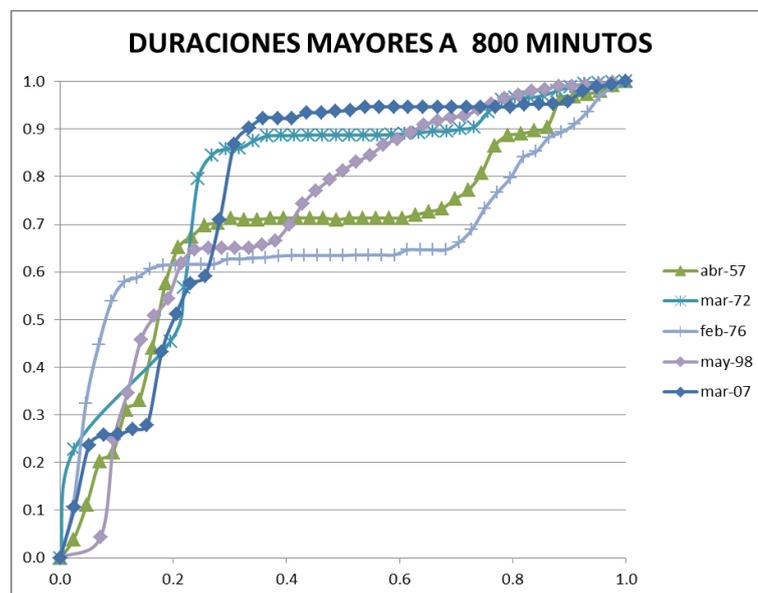


Figura 23 Hietograma adimensional donde el mayor porcentaje de lluvia se produce en el primer cuartil (mayores a 800min)

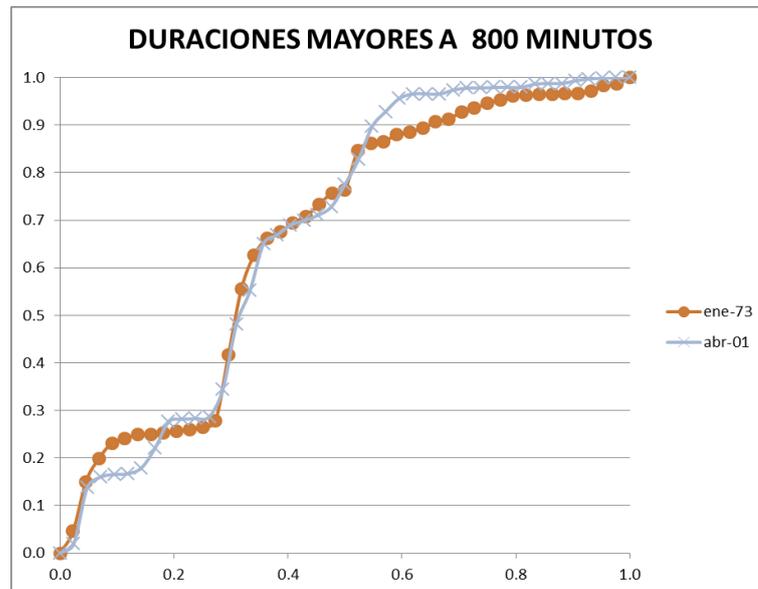


Figura 24 Hietograma adimensional donde el mayor porcentaje de lluvia se produce en el segundo cuartil (mayores a 800min)

Las figuras 23 y 24 corresponden al último grupo de lluvias analizadas, es decir, las que tienen una duración mayor a los 800 minutos. La figura 23 muestra el grupo de lluvias donde su mayor altura se genera en el primer cuartil (71% de las tormentas), mientras que en la figura 24 se muestran las lluvias que generan mayor altura en el segundo cuartil (29% de las tormentas).

CONCLUSIONES

Según las tormentas registradas, obtenidas y analizadas en este estudio es posible determinar que en la ciudad de Guayaquil las tormentas tienden, en un gran porcentaje, a llegar a su máxima altura hasta la mitad de su duración, pasado este tiempo la altura de lluvia que se registra es considerablemente menor.

La máxima variación de altura de lluvia que ocurre en las tormentas se da en el primer cuartil, y a medida que las tormentas son de menor duración, lo que es más frecuente en las tormentas de menor duración.

Es un gran beneficio para los sistemas de drenaje de la ciudad el hecho de que la mayor cantidad de lluvia ocurra durante la primera mitad de duración de la tormenta, pues si fuera de manera contraria y la intensidad aumentara en la segunda mitad de la duración y específicamente en el último cuarto de la duración de esta, la ciudad se vería en mayores problemas de inundación debido a que los sistemas ya estarían trabajando para cuando empiece la mayor cantidad de lluvia, lo que podría generar el colapso de estos.

RECOMENDACIONES

La elaboración de los hietogramas de 95 tormentas intensas en Guayaquil es una información valiosa que debería ser utilizada para trabajos posteriores que incluyan análisis probabilístico. Se recomienda se seleccione este estudio como un trabajo de titulación.

BIBLIOGRAFIA

- APARICIO (1992), Fundamentos de Hidrología de Superficie Limusa S.A. México.
- SPRINGALL ROLLAND, Hidrología.
- MONSALVE, Hidrología en la Ingeniería. Departamento de Publicaciones de Escuela Colombiana de Ingeniería
- INAMHI, Registros pluviográficos de las estaciones ma2v y m056 de la ciudad de Guayaquil
- VENTE CHOW and MAIDMENT, David and MAYS, Larry (1994). Hidrología Aplicada. McGraw-Hill Interamericana S.A., Bogotá, Colombia.
- JIMENEZ, Hidrología Básica 1, Universidad del Valle, Colombia.
- SERVICIO DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA (2008), Guía de Hidrometría de Aguas Superficiales. Lima, Perú

ANEXOS

(Los anexos de las Fajas Pluviográficas se encuentran en el CD adjunto)