



Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
SEDE MANABÍ
CARRERA DE HIDRÁULICA**

TRABAJO DE TITULACIÓN:

**DESARROLLO DE PATRONES DE TORMENTA DE DISEÑO CON
UNA DURACIÓN DE 30 MINUTOS PARA LA ZONA PERIURBANA
DE LA CIUDAD DE PORTOVIEJO EN LA MICROCUENCA
“ZAPALLO”**

**PREVIO AL TÍTULO DE:
INGENIERA HIDRÁULICA**

**AUTORA:
MARÍA ISABEL MOREIRA POGGI**

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:
MGTR. JOHN ENRIQUE FÉLIX MERA**

JULIO 2020

PORTOVIEJO – MANABÍ – ECUADOR

Mgtr. John Enrique Félix Mera

TUTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de tutor del trabajo de integración curricular, certifico haber revisado el presente manuscrito de la investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí, cumpliendo la Normativa del Trabajo de Integración Curricular; en consecuencia, es apto para su presentación y su sustentación.

Mgtr. John Enrique Félix Mera

DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El jurado examinador aprueba el presente trabajo de integración curricular en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí.

Mgtr. John Enrique Félix Mera

PRIMER LECTOR

Mgtr. Andy Miguel Giler Ormaza

SEGUNDO LECTOR

Mgtr. José Ramón Alarcón Loor

TERCER LECTOR

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Este manuscrito no contiene ningún tipo de material que ha sido aceptado para la obtención de un título universitario en otra institución, excepto en forma de información de soporte que ha sido debidamente citada en mi trabajo. Este trabajo es de total responsabilidad de la autora, quien declara bajo juramento que ninguna sección de este trabajo de integración curricular infringe los derechos de autor de nadie.

Portoviejo, julio 2020

María Isabel Moreira Poggi

C.I: 131627393-5

Dir.: Portoviejo, av. 5 de junio y calle las piedras

e-mail: misabel131627@gmail.com

+593 981782679

DECLARACIÓN DE DERECHOS DE AUTOR Y CO AUTORÍA

Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a distribuir este manuscrito de investigación en medios físicos y electrónicos con el fin de promover la divulgación de mis resultados a la comunidad científica y a la sociedad en general. Adicionalmente autorizo el uso de los contenidos de esta investigación como bibliografía para fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, citando como fuente de información el autor de este trabajo.

María Isabel Moreira Poggi

C.I: 131627393-5

DEDICATORIA

Dedico este trabajo investigativo principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados y a mi familia, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy.

María Isabel Moreira Poggi

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí por la dedicación y esfuerzo al brindarme los conocimientos que ahora son parte de mi entorno laboral y favorecen mi crecimiento académico.

A mis tutores y docentes que hicieron posible la culminación de este Trabajo de Integración Curricular, les agradezco por su dedicación continua y apoyo en experiencia.

María Isabel Moreira Poggi

RESUMEN

Este estudio exploratorio-descriptivo tuvo como propósito proveer un hietograma de tormenta de diseño para la microcuenca El Zapallo, ubicada en Portoviejo, Manabí, considerando la importancia de apuntar hacia el diseño y dimensionamiento de sistemas de alcantarillado y drenaje eficientes que garanticen la evacuación eficaz de las avenidas de la época invernal. Consecuentemente, en esta investigación realizada entre septiembre 2019 y mayo 2020, se recolectaron datos de precipitaciones registradas durante 6 años en fajas pluviográficas, proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) obtenida de la estación Portoviejo-UTM. Se derivó un patrón de tormenta sintético para una frecuencia de diseño de 2 años a partir de la curva de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) correspondiente para la microcuenca estudiada. Los resultados revelan que el coeficiente de avance de tormenta corresponde a un valor de $r = 0.55$ indicando un pico de tormenta después de media tormenta y ajustándose a lo indicado $0 < r < 1$, se obtiene a través de las constantes $a=18$, $b=5$ y $c=0.69$ y de un análisis de la lluvia antecedente que precede del período máximo de dos duraciones seleccionadas de 15min y 30min, siendo consideradas únicamente las lluvias que produjeron una esorrentía excesiva al menos durante el tiempo estimado. Se concluye que el hietograma de tormenta de diseño es una herramienta metodológica idónea utilizada exitosamente en el diseño y análisis de sistemas de alcantarillado pluvial. Se recomienda usar este enfoque para cualquier frecuencia de diseño deseada.

Palabras claves: hietograma de diseño, patrón de tormenta, coeficiente de avance, precipitación, curvas IDF

ABSTRACT

This exploratory-descriptive research study aimed to provide a design storm hyetograph in the El Zapallo microbasin in Portoviejo, Manabí, pointing out the importance of designing and dimensioning adequate sewage and drainage systems that guarantee effective evacuation of stormwater flood during the winter rainy season. Hence, in this research carried out from September 2019 through May 2020, there were collected some data on rainfall recorded in pluviograph strip charts for 6 years, which were provided by the National Institute of Meteorology and Hydrology (INAMHI, for its initials in Spanish) and obtained from Portoviejo-UTM station. Then, a synthetic storm pattern for a two-year design frequency was derived from the corresponding Intensity-Duration-Frequency (IDF) curve for the microbasin under study. The findings reveal that the storm advance coefficient corresponds to a value of $r = 0.55$ indicating a storm peak flow after a medium intensity storm and adjusting to what $0 < r < 1$ indicates, it is obtained through the constants $a = 18$, $b = 5$ and $c = 0.69$ and an analysis of antecedent rainfall preceding the maximum period from two selected periods of time of 15min and 30min, considering only rainfalls that produce excessive runoff in the selected time range. It is concluded that the design storm hyetograph is a key methodological tool, which is successfully used for the design and analysis of storm sewer systems. It is recommended that this method should be used to any design frequency.

Keywords: design storm hyetograph, storm pattern, storm advance coefficient, rainfall, IDF curves

TABLA DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN.....	i
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	ii
DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD.....	iii
DECLARACIÓN DE DERECHOS DE AUTOR Y CO AUTORÍA	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT	viii
1 INTRODUCCIÓN	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo General.....	3
2.2 Objetivos Específicos	3
3 MATERIALES Y MÉTODOS	4
3.1 Métodos	4
3.1.1 Descripción general del área de estudio	4
3.1.2 Recolección de información hidrometeorológica y geográfica base.....	5
3.1.2.1 Fajas pluviográficas	5
3.1.2.2 Tiempo de concentración.....	6
3.1.2.3 Herramientas del sistema de información geográfica (SIG).....	7
3.1.3 Definir una expresión de la relación IDF	7
3.1.3.1 Curvas IDF.....	7
3.1.3.2 Intensidad de lluvia.....	8
3.1.4 Obtención del coeficiente de avance	9
3.1.4.1 Coeficientes a,b,c.....	9
3.1.4.2 Lluvia antecedente	9
3.1.4.3 Coeficiente de avance	10

3.1.5	Elaboración de un hietograma sintético	11
3.1.6	Diagrama de flujo	12
3.2	Materiales	13
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
4.1	Proceso para obtener el coeficiente de avance r	14
4.2	Hietograma de tormenta sintético	18
5	CONCLUSIONES	20
6	RECOMENDACIONES	21
7	BIBLIOGRAFÍA	22
8	ANEXOS	24

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Información sobre la estación meteorológica.....	5
Tabla 2 Valores del coeficiente de avance, r, para varios lugares (Chow et al.,1994).....	10
Tabla 3 Proceso de selección para el coeficiente b	14
Tabla 4 Logaritmo de intensidad de lluvia y del coeficiente b seleccionado	15
Tabla 5 Obtención del coeficiente c	15
Tabla 6 Proceso para obtener el coeficiente a	16
Tabla 7 Determinación de “r” a partir de la precipitación antecedente para una frecuencia de diseño de 2 años	17
Tabla 8 Procedimiento para obtener los valores de “ib” de acuerdo a cada “td”	19
Tabla 9 Procedimiento para obtener los valores de “ia” de acuerdo a cada “td”	19

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de ubicación de la microcuenca “El Zapallo”.....	4
Figura 2 Banda de registro de precipitación perteneciente al 2 de marzo del 2013	6
Figura 3 Curvas IDF 2015.....	8
Figura 4 Hietograma de tormenta de diseño	11
Figura 5 Diagrama de flujo de la metodología planteada	13
Figura 6 Gráfico de selección para el coeficiente b	14
Figura 7 Registro de precipitación antecedente de la estación Portoviejo UTM	16
Figura 8 Hietograma de tormenta de diseño de dos años para la microcuenca “ El Zapallo”	18

1 INTRODUCCIÓN

Modelos matemáticos deterministas para el cálculo de hidrográficas de escorrentía de cuencas urbanas son requeridos para ingeniería hidrosanitaria. El desarrollo de una curva de intensidad-duración de lluvia para una determinada frecuencia de diseño y ubicación permite derivar el patrón de la tormenta (Preul & Papadakis, 1973). De acuerdo a (Pérez & Senent, 2017) La metodología más usada se relaciona con Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) que se usan en ingeniería hidrológica para planteamiento, diseño y operación de los proyectos hidráulicos y obras de ingeniería para la protección contra avenidas máximas.

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, o mediante un mapa de isoyetas que especifique el patrón espacial de la precipitación (Chow, Maidment, & Mays, 1994). Los hietogramas sintéticos de tormenta permiten modelar escorrentías urbanas para el diseño y análisis de sobrecargas en sistemas de alcantarillado pluvial (Preul & Papadakis, 1973).

La distribución en el tiempo de la precipitación provocada por estos sistemas tropicales es un factor determinante de la forma, magnitud y volumen de la crecida resultante. Su conocimiento es esencial para estimar tormentas sintéticas, es decir, patrones de precipitación para la utilización en el diseño de un sistema hidrológico, para proyectos de redes de aguas lluvias, sistemas de drenaje de carreteras, estudios de erosión, estimación de arrastres y socavación y otros problemas de ingeniería hidráulica (Dolling & Varas, 2006).

La determinación de patrones de distribución temporal de lluvia generada por ciclones tropicales es un elemento esencial para la prevención, desarrollo de alerta temprana y manejo de desastres con una base técnica de soporte para la toma de decisiones en territorio (Daylin & Cuellar, 2019).

Inundaciones en zonas periurbanas producidas por el colapso de alcantarillas durante tormentas generan pérdidas materiales y humanas considerables. Las intensidades de diseño utilizadas para la construcción y dimensionamiento del alcantarillado han resultado insuficientes para garantizar la evacuación eficaz de las avenidas de la época invernal. Estas tormentas condicionan el dimensionamiento de los sistemas colectores de aguas pluviales (Pérez & Senent, 2017).

Los problemas de inundación en Ecuador aún no han sido superados, especialmente en la provincia de Manabí en sus zonas periurbanas y rurales. En Manabí la cobertura de alcantarillado es apenas de un 42% (Macías, 2018). El desarrollo de patrones de tormenta de diseño para la microcuenca el “zapallo” de la ciudad de Portoviejo busca proveer una herramienta metodológica validada para el correcto diseño y dimensionamiento de sistemas de alcantarillado que pudiera utilizarse de manera preventiva (nuevas obras hidrosanitarias) o correctiva (rediseño y adaptación de infraestructura existente). En síntesis, los patrones de tormenta de diseño producidos en este trabajo son un aporte valioso para la modelación precipitación – escorrentía y contribuyen a mejorar el diseño y análisis de posibles sobrecargas en sistemas de alcantarillado pluvial.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

- Elaborar patrones de tormenta de diseño con una duración de 30 minutos para la zona periurbana de la ciudad de Portoviejo en la microcuenca “Zapallo”.

2.2 Objetivos Específicos

- Recolectar y procesar información hidrometeorológica y geográfica base para el estudio del tema planteado.
- Definir una expresión de la relación IDF para el área de estudio.
- Obtener el coeficiente de avance para la zona periurbana de la microcuenca “Zapallo” de la ciudad de Portoviejo.
- Elaborar un hietograma sintético para la selección de tormentas de diseño en la zona periurbana de la microcuenca “Zapallo” de la ciudad de Portoviejo.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Métodos

A continuación, se detallan cada uno de los métodos a utilizarse para el debido cumplimiento de los objetivos planteados.

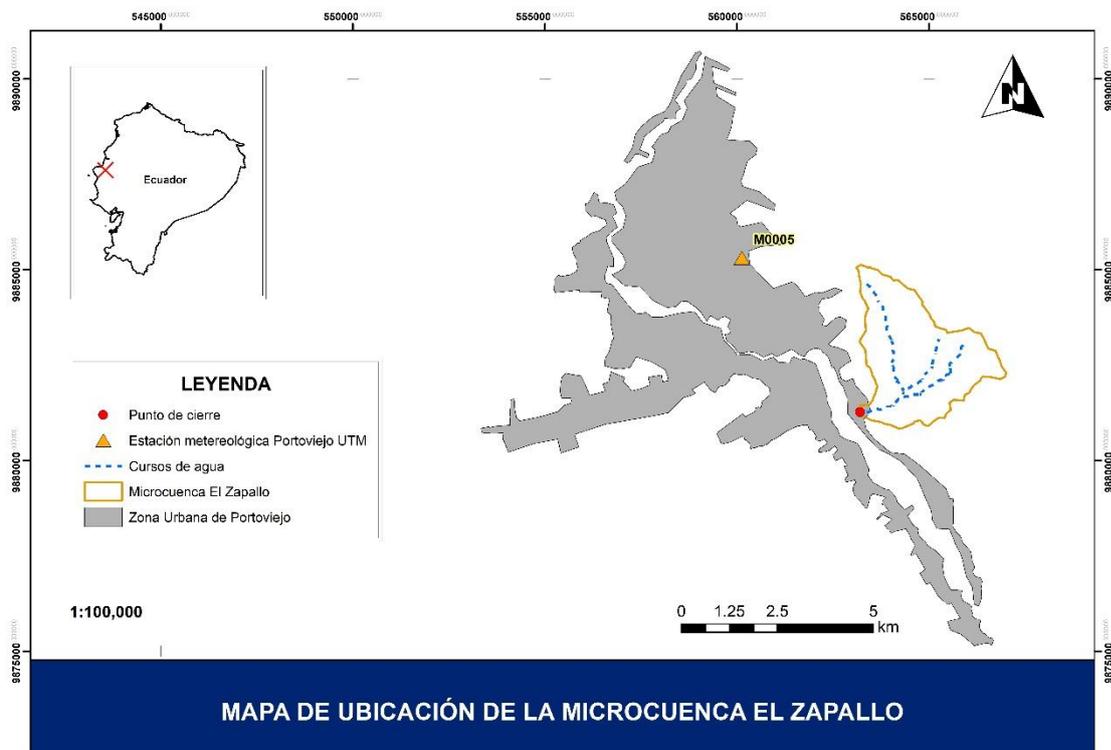
3.1.1 Descripción general del área de estudio

El océano pacífico baña 350 kilómetros de costa manabita (Loza, 2005). Corresponde a la parte central del litoral ecuatoriano. Manabí atraviesa sucesivos períodos de inundaciones y déficit hídrico. Los primeros, durante la estación lluviosa; los otros, en los últimos meses del llamado verano. En los dos casos, se ha vuelto costumbre declarar la emergencia y aplicar soluciones que se convierten en un repetido paliativo, pero no ayudan a superar en forma suficiente la contingencia (El Diario, 2019).

Las cuencas hidrográficas de la provincia de Manabí entre esas la microcuenca el zapallo (ver figura 1), tienden a tener problemas en sus alrededores en temporada invernal, situación que ha resultado inadecuada para vivir (CISPDR, 2016).

Figura 1

Mapa de ubicación de la microcuenca “El Zapallo”



Fuente:Elaboración propia

De acuerdo a lo mencionado esta investigación se basa en respuesta a los estragos causados por desbordamientos ya ocurridos, cuyas experiencias dan una pauta para aplicar conocimientos científicos y técnicos (INUNRED, 2019).

La microcuenca el zapallo, pertenece a la parroquia Francisco Pacheco del cantón Portoviejo y su punto de cierre está ubicado en la Coordenada X=563204m & Coordenada Y= 9881272m del sistema de proyección WGS 1984 UTM Zona 17S, cuenta con un área de 9.14 km² y una longitud de 5km, La altitud máxima y mínima de la cuenca corresponde a 175 y 44 m.s.n.m. con una pendiente de 0.03 y sus afluentes desembocan en el rio Portoviejo.

3.1.2 Recolección de información hidrometeorológica y geográfica base

El INAMHI es la entidad técnico - científica responsable en el Ecuador de la generación y difusión de la información hidrometeorológica que sirva de sustento para la formulación y evaluación de los planes de desarrollo nacionales y locales y la realización de investigación propia o por parte de otros actores, aplicada a la vida cotidiana de los habitantes y los sectores estratégicos de la economía; apoyado en personal especializado y en una adecuada utilización de las nuevas tecnologías de la automatización, información y comunicación (INAMHI, 2017).

Para la elaboración de patrones de tormenta en la microcuenca “El zapallo” del Cantón Portoviejo, se realizó una recolección de datos de las precipitaciones dadas en la Ciudad de Portoviejo desde el 2013 al 2018 (ver tabla 1).

Tabla 1

Información sobre la estación meteorológica

ESTACIÓN	COD	LATITUD	LONGITUD	ELEVACIÓN
PORTOVIEJO UTM	M005	1° 02' 15" S	80° 27' 35" W	46

Fuente: INAMHI (2015)

Los datos fueron recolectados en la estación meteorológica INAMHI, por medio de una visita técnica. Estos datos se utilizaron para obtener lluvias acumuladas y poder calcular la profundidad máxima de lluvia para varios intervalos de tiempo.

3.1.2.1 Fajas pluviográficas

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,

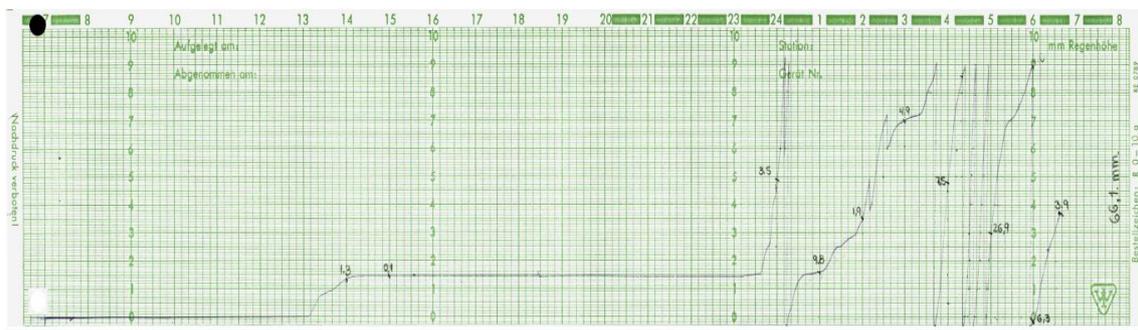
sino que pasa por un dispositivo especial y este registra automáticamente la altura instantánea de la precipitación (Ibarra, 2014).

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 (Ibarra, 2014).

La información recolectada de la estación fue entregada en imágenes de las fajas pluviográficas (ver figura 2), por lo tanto, se aplicó información básica de hidrología para la lectura de las mismas.

Figura 2

Banda de registro de precipitación perteneciente al 2 de marzo del 2013



Fuente: INAMHI

Se procedió a leer todas las fajas entregadas desde el año 2013 al 2018 obteniendo los datos de las lluvias más excesivas en periodos de 15min.

3.1.2.2 Tiempo de concentración

Para asegurar un diseño adecuado, se debe determinar la escorrentía máxima que puede ocurrir con la frecuencia de diseño. Por lo tanto, la escorrentía máxima (pico) ocurrirá cuando todas las partes de la cuenca contribuyan al flujo. El tiempo requerido para que esto suceda se llama tiempo de concentración (t_c) (Preul & Papadakis, 1973).

El tiempo de concentración también es conocido como el tiempo de respuesta o de equilibrio; la referencia (Llamas, 1993) lo define como el tiempo requerido para que, durante un aguacero uniforme, se alcance el estado estacionario; es decir, el tiempo necesario para que todo el sistema (toda la cuenca) contribuya eficazmente a la generación de flujo en el sitio de desagüe.

Se atribuye muy comúnmente el tiempo de concentración al tiempo que tarda una gota de agua caída en el punto más alejado de la cuenca hasta el sitio de desagüe (Vélez & Botero, 2011).

El tiempo de concentración se obtiene a partir del método de (Kirpich, 1940).

$$t_c = 0,02 * L^{0,77} * S^{-0,385}$$

Donde:

t_c = tiempo de concentración (min)

L = long max a la salida (m)

S = pendiente media del lecho (m/m)

3.1.2.3 Herramientas del sistema de información geográfica (SIG)

Un sistema de información geográfica (SIG) es un conjunto de herramientas que integra y relaciona diversos componentes (usuarios, hardware, software, procesos) que permiten la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelización de grandes cantidades de datos procedentes del mundo real que están vinculados a una referencia espacial, facilitando la incorporación de aspectos sociales-culturales, económicos y ambientales que conducen a la toma de decisiones de una manera más eficaz (Olaya, 2014).

Las herramientas que fueron utilizadas en conjunto para el cumplimiento de este objetivo serán: ArcGis 10.5, Google Earth, Civil 3D, M.S. Excel.

3.1.3 Definir una expresión de la relación IDF

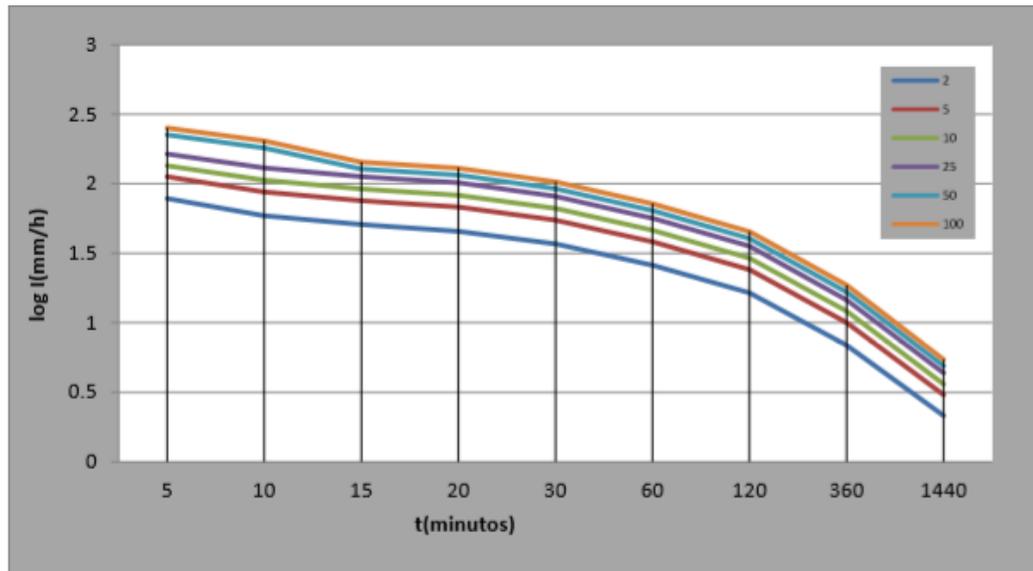
3.1.3.1 Curvas IDF

Las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) 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, 1987).

Estas curvas son obtenidas a partir del estudio de intensidades de lluvias máximas (INAMHI, 2015) para un periodo de retorno de 2 años (ver figura 3).

Figura 3

Curvas IDF 2015



Fuente: INAMHI

3.1.3.2 Intensidad de lluvia

La intensidad de lluvia según (Chow et al.,1994) es la tasa temporal de precipitación, es decir, la profundidad por unidad de tiempo en mm/h o in/h.

Según (Preul & Papadakis, 1973) se puede establecer una expresión matemática de las relaciones de intensidad de lluvia-duración para una frecuencia dada y para un tiempo de duración menor a dos horas.

La intensidad se define a partir de la siguiente fórmula (INAMHI, 2015)

$$i = 175.897 * T^{0.2692} * td^{-0.5042}$$

Donde:

i= intensidad (in/h)

T= tiempo de retorno.

td = duración (min).

3.1.4 Obtención del coeficiente de avance

3.1.4.1 Coeficientes a,b,c.

Los coeficientes a,b,c son valores adimensionales que se obtienen a partir de los valores de intensidad, duración y tiempo de retorno. La secuencia de estos valores va primero con la constante b en la cual se procede a realizar un gráfico estadístico trazando varios puntos supuesto de b hasta que se establezca una línea que tienda a ser recta, a continuación, la constante c se consigue estableciendo la pendiente de la línea de recta fruto de la constante b y la constante a se establece como el número entero inmediato mayor del promediando de todos los valores provenientes de la ecuación logarítmica que se muestra más adelante:

$$\log a = \log i_{av} + c \log(t_d + b)$$

Donde:

td= Tiempo de duración (min)

a, b, c= Constantes que se calcularán para una frecuencia de dos años (adimensionales)

3.1.4.2 Lluvia antecedente

Para el cálculo de la profundidad máxima de lluvia se aplicó el método de acuerdo a (Chow et al.,1994), con los datos obtenidos de las lecturas de las bandas de registro de precipitación.

La cantidad de lluvia antecedente A en pulgadas que precede a la duración td, se puede indicar como:

$$A = \frac{r a t_c}{60(t_c + b)^c} - \frac{r a t_d}{60(t_d + b)^c}$$

Donde:

A: masa antecedente (in)

tc: tiempo de concentración (min)

r: coeficiente de avance (adimensional)

td: duración de la lluvia máxima (min)

a, b, c: constantes a calcular para cada frecuencia seleccionada N (adimensionales)

Para un cierto tiempo de duración t_d , la relación A / r se obtiene de esta ecuación. Por lo tanto, para encontrar r , la masa A de la lluvia antecedente que precede a t_d debe estimarse primero (Preul & Papadakis, 1973).

3.1.4.3 Coeficiente de avance

Según (Chow et al.,1994), define un coeficiente de avance de tormenta como la relación del tiempo antes del pico (t_a) con respecto al tiempo total (t_d). Para obtener un valor adecuado de r se recomienda seleccionar una serie de tormentas de duraciones distintas y calcular la media ponderada de los coeficientes de avance de acuerdo con cada duración de evento (Soldevilla,2018).

Tabla 2

Valores del coeficiente de avance, r , para varios lugares (Chow et al.,1994)

Lugar	r
Baltimore	0,399
Chicago	0,375
Chicago	0,294
Cincinnati	0,325
Cleveland	0,375
Gauhati, India	0,416
Ontario	0,480
Filadelfia	0,414

Para el desarrollo de este objetivo se aplicó la fórmula de acuerdo a (Preul & Papadakis, 1973):

$$r = \frac{Ar}{\text{mean } A}$$

Donde:

r = coeficiente de avance (adimensional)

Ar = t_a (in)

mean A = t_d (in)

3.1.5 Elaboración de un hietograma sintético

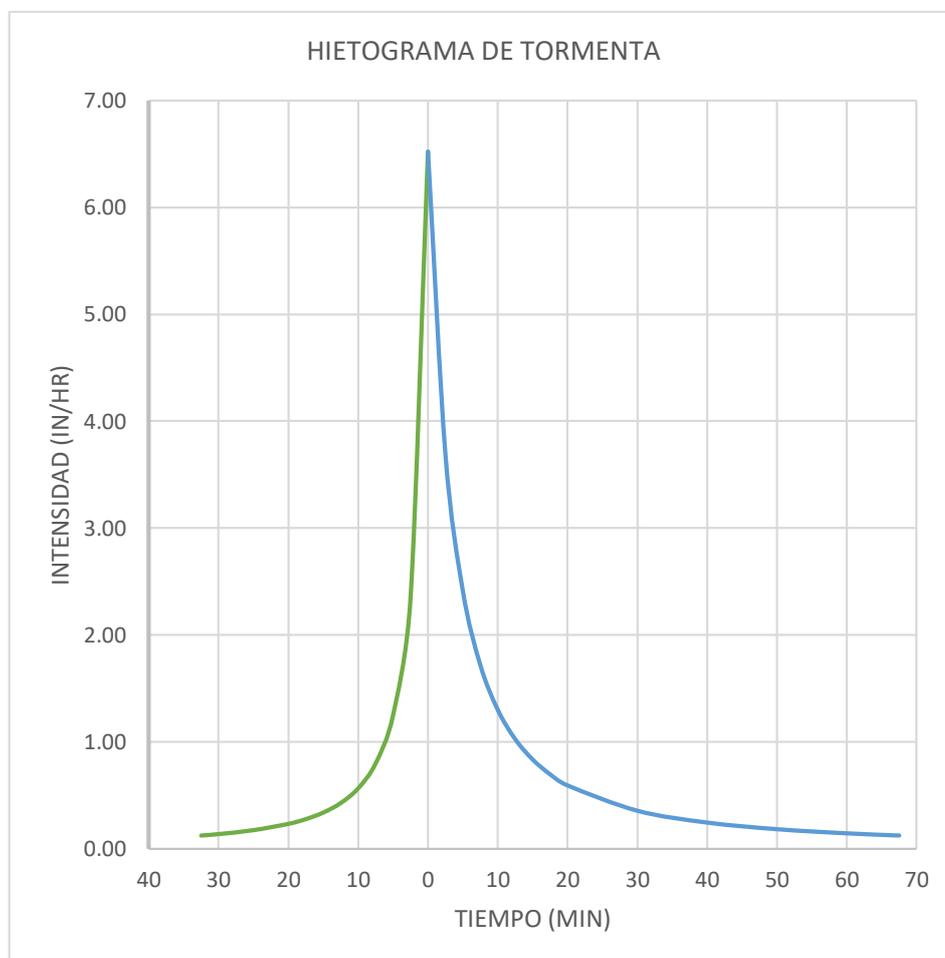
Una tormenta de diseño es un patrón de precipitación definido para utilizarse en el diseño de un sistema hidrológico (Chow et al.,1994).

Según (Chow et al.,1994), Si se conoce la ecuación que define la curva intensidad-duración-frecuencia, pueden desarrollarse ecuaciones que describan la variación de la intensidad con el tiempo en el hietograma de diseño.

El método para obtener el hietograma de tormenta sintético es denominado como el método de la intensidad instantánea (ver figura 4), el principio de este método es similar al empleado en el método del bloque alterno, es decir, la profundidad de precipitación para un periodo de duración t_d alrededor del pico de la tormenta es igual al valor dado por la curva o ecuación de IDF.

Figura 4

Hietograma de tormenta de diseño



Fuente: Preul & Papadakis, (1973)

La diferencia entre este nuevo método y el método del bloque alterno es que se considera que la intensidad de precipitación varía en forma continua a través de la tormenta.

La representación gráfica se realizó con los datos obtenidos de los patrones de tormenta de diseño para la zona periurbana de Portoviejo mediante gráficos estadísticos.

A continuación, se demuestran las fórmulas a aplicar (Preul & Papadakis, 1973):

$$i_b = \frac{a \left[(1 - c) \frac{t_b}{r} + b \right]}{\left[\frac{t_b}{r} + b \right]^{1+c}}$$

Donde:

i_b : antes del pico (in/h).

a, b, c: constantes a calcular para cada frecuencia seleccionada N (adimensionales)

t_b : duración de la lluvia máxima (min)

r: coeficiente de avance (adimensional)

$$i_a = \frac{a \left[(1 - c) \frac{t_a}{1-r} + b \right]}{\left[\frac{t_a}{1-r} + b \right]^{1+c}}$$

Donde:

i_a : después del pico (in/h)

a, b, c: constantes a calcular para cada frecuencia seleccionada N (adimensionales)

t_a : duración de la lluvia máxima (min)

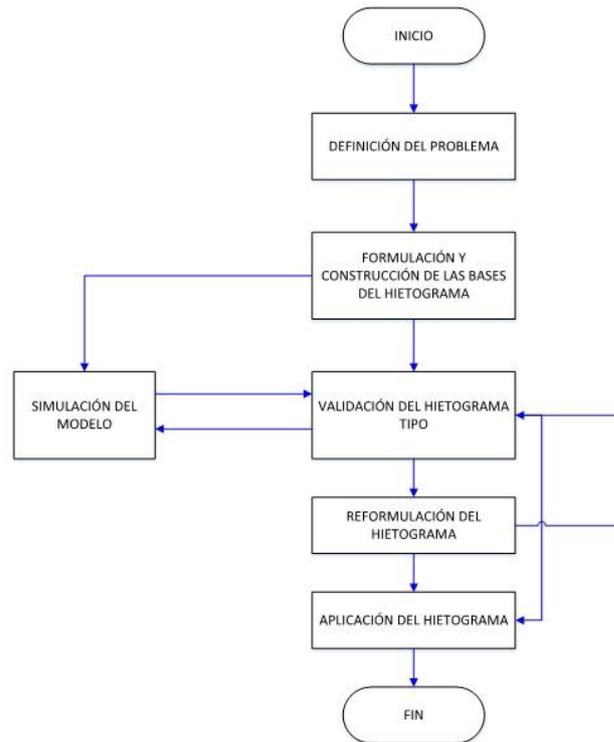
r: coeficiente de avance (adimensional)

3.1.6 Diagrama de flujo

En el siguiente diagrama de flujo (ver figura 5) se describe el procedimiento que se realizó para el cumplimiento de los objetivos planteados en esta investigación.

Figura 5

Diagrama de flujo de la metodología planteada



Fuente: Elaboración propia

3.2 Materiales

- Laptop (SIG (Sistema de información geográfica))
- Herramientas y equipos de trabajo.
- Recursos humanos.
- Suministro de oficina.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Proceso para obtener el coeficiente de avance r

El tiempo de concentración (t_c) dio como resultado 60min de acuerdo a el método de (Kirpich, 1940) y se obtuvo la intensidad para cada duración (t_d) y un tiempo de retorno (T) de 2 años aplicando la ecuación según (INAMHI, 2015) siendo estos los valores a aplicar para obtener el coeficiente b (ver tabla 3).

Tabla 3

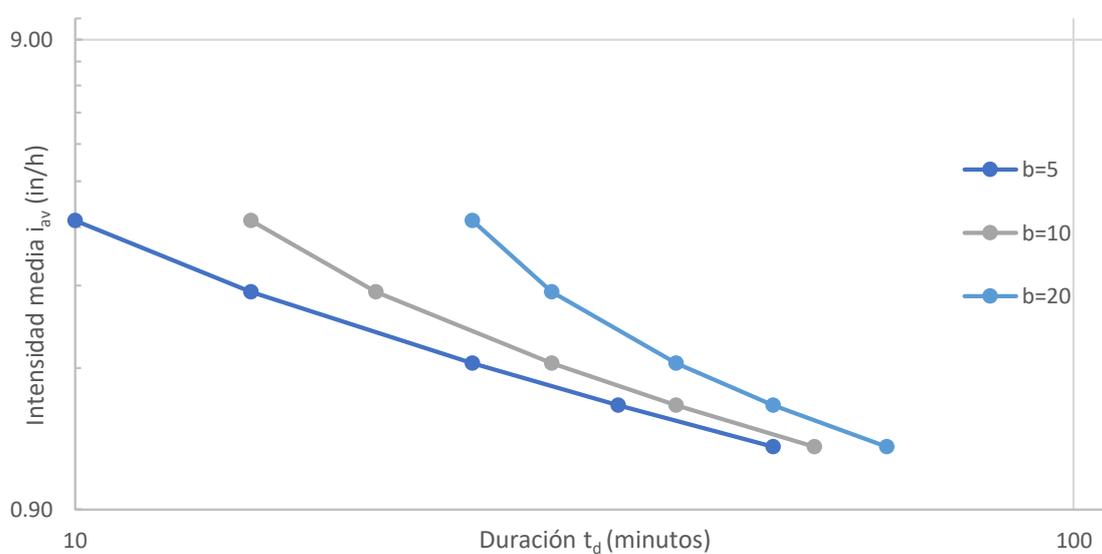
Proceso de selección para el coeficiente b

Duración t_d (min)	t. de retorno T(año)	Intensidad i_{av} (mm/h)	Intensidad i_{av} (in/h)	t_d+b (min)		
				b=5	b=10	b=20
5	2	94.16	3.71	10	15	25
10	2	66.39	2.61	15	20	30
20	2	46.81	1.84	25	30	40
30	2	38.15	1.50	35	40	50
45	2	31.10	1.22	50	55	65

si b se selecciona correctamente, los logaritmos de i_{av} y ($t_d + b$) deben trazarse como una línea recta con una pendiente igual a $-c$ (ver figura 6).

Figura 6

Gráfico de selección para el coeficiente b



Fuente: Elaboración propia

El valor de b se determina trazando puntos con varios valores supuestos de b hasta que se establezca una línea recta, después de lo cual se puede encontrar gráficamente la intersección y la pendiente $-C$.

De acuerdo al gráfico se establece que la línea que tiende a estar más recta es $b=5$.

Se muestra a continuación el procedimiento para obtener el coeficiente c (ver tabla 4 y tabla 5).

Tabla 4

Logaritmo de intensidad de lluvia y del coeficiente b seleccionado

log iav(in/h)	log(td+b)
0.57	1.00
0.42	1.18
0.27	1.40
0.18	1.54
0.09	1.70

Estos datos son obtenidos a partir del logaritmo de los valores de la intensidad de lluvia y del coeficiente $b=5$ ($td+b$).

Tabla 5

Obtención del coeficiente c

Δy	Δx	$-c$	c
0.48	-0.70	-0.69	0.69

El valor de Δy proviene de la resta del primer valor y último valor del logaritmo de la intensidad de lluvia y el valor de Δx proviene de la resta del primer valor y último valor de $(td+b)$, llegando así a obtener el coeficiente c al dividir $\Delta y / \Delta x$.

El último de los coeficientes es el a , su procedimiento a continuación (ver tabla 6).

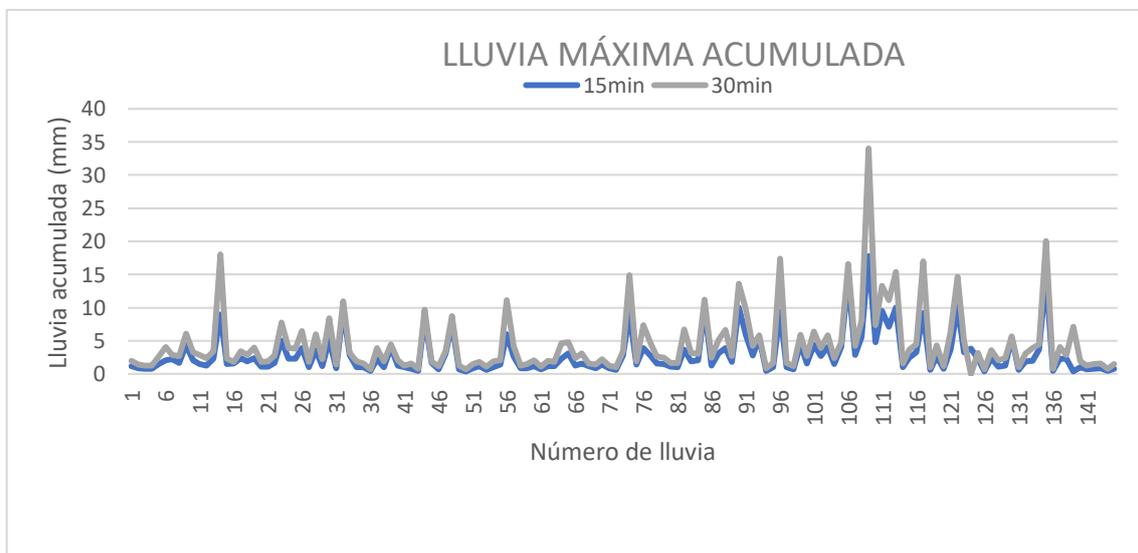
Tabla 6*Proceso para obtener el coeficiente a*

log iav	C	Log(td+b)	log a	a
0.57	0.69	1.00	1.26	18.09
0.42	0.69	1.18	1.23	16.86
0.27	0.69	1.40	1.23	16.89
0.18	0.69	1.54	1.24	17.36
0.09	0.69	1.70	1.26	18.09
Promedio				17.5
Número entero inmediato superior				18

El valor de la constante $a=18$ se establece del promediando de todos los valores provenientes de la ecuación logarítmica a.

En esta parte de la investigación se llegó a obtener la profundidad de lluvias acumuladas realizando la lectura de las fajas pluviográficas desde el 2013 al 2018 de acuerdo al método aplicado según (Chow et al.,1994).

Se han seleccionado períodos de 15 y 30 minutos como tiempos de duración y la figura 7 es una tabulación de la masa antecedente precipitada antes de cada duración. Solo se registraron las precipitaciones que produjeron una escorrentía excesiva al menos durante una duración definida debido a que estas generaron el mayor impacto.

Figura 7*Registro de precipitación antecedente de la estación Portoviejo UTM*

Fuente: Elaboración propia

De la figura 7 se obtiene un valor medio estadístico de A para cada tiempo de duración. Estos valores se utilizan para obtener los valores correspondientes de r para las dos duraciones consideradas.

En todas las duraciones, r debe ser constante. Por lo tanto, los valores de r obtenidos de diferentes duraciones deben ponderarse en proporción a A para obtener el valor promedio de r (Preul & Papadakis, 1973).

Se muestra a continuación el procedimiento para obtener el valor de r (ver tabla 7).

Tabla 7

Determinación de “r” a partir de la precipitación antecedente para una frecuencia de diseño de 2 años

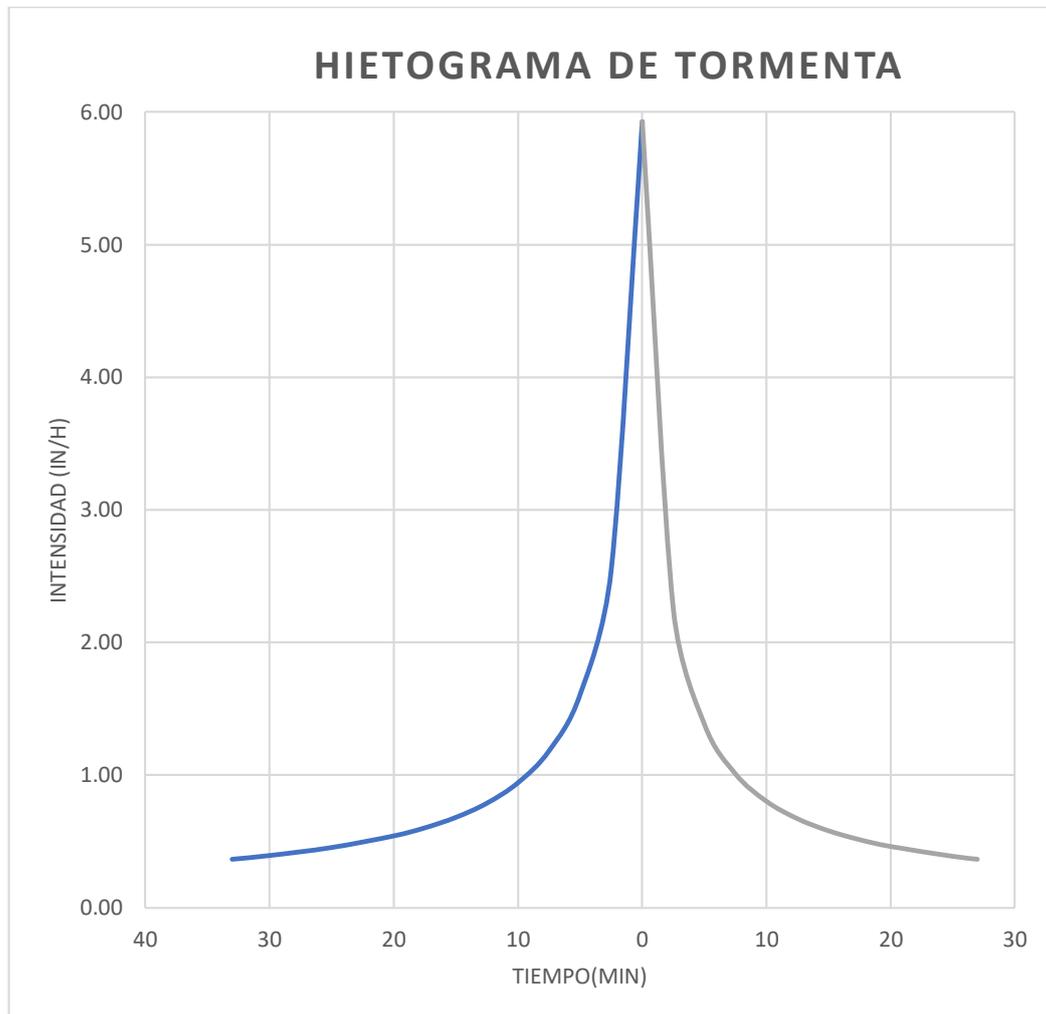
<i>td</i>	<i>td+5</i>	$(td + 5)^{0.69}$	$\frac{18t_d}{60(td + 5)^{0.69}}$	$\frac{A^*}{r}$	<i>mean A</i>	<i>r</i>	<i>Ar</i>
15	20	7.9	0.57	0.441	0.115	0.261	0.0300
30	35	11.6	0.774	0.236	0.176	0.746	0.1313
						0.291	0.1613
<i>valor ponderado de r = 0.1613/ 0.291 = 0.55</i>							

4.2 Hietograma de tormenta sintético

En la figura 8, este patrón arbitrario de intensidad de tiempo se representa de manera tal que se ajuste mejor al patrón de lluvia sintética correspondiente a dos años.

Figura 8

Hietograma de tormenta de diseño de dos años para la microcuenca “El Zapallo”



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a lo indicado por (Preul & Papadakis, 1973) el valor de r va de $0 < r < 1$ siendo 0 a 0.5 cuando el pico de la tormenta se da antes de media lluvia y 0.5 a 1 cuando el pico de la tormenta se da después de media lluvia. En la figura 8 se observa que el coeficiente de avance siendo mayor a 0.5 resulta que el pico de la tormenta se da después de media lluvia.

las tablas 8 y 9 corresponden al procedimiento para obtener la figura 8, siendo estos los valores de i_a e i_b .

Tabla 8

Procedimiento para obtener los valores de “ib” de acuerdo a cada “td”

Td(min)	ib(in/h)
0	5.93
2.5	2.55
5	1.61
7.5	1.18
10	0.94
12.5	0.79
15	0.68
17.5	0.60
20	0.54
25	0.46
30	0.39
33	0.37

Tabla 9

Procedimiento para obtener los valores de “ia” de acuerdo a cada “td”

Td(min)	ia(in/h)
0	5.93
2.5	2.25
5	1.39
7.5	1.01
10	0.80
12.5	0.67
15	0.58
17.5	0.51
20	0.46
25	0.39
27	0.37

5 CONCLUSIONES

- En la recolección y procesamiento de datos del periodo seleccionado se tomó las lluvias de mayor intensidad y se obtuvieron datos de las lluvias acumuladas para cada periodo de duración, siendo la media de A para 15min=2.9mm y 30min=4,5mm.
- La ecuación de la relación idf para el área de estudio fue seleccionada de acuerdo a lo más apropiado para la frecuencia de diseño y tiempo de duración deseado siendo en base a los datos proporcionados por el INAMHI.
- Se determinó el coeficiente de avance r dando un patrón de tormenta intermedio $0 < r < 1$ obteniéndose de las constantes a,b,c que preceden de la duración, tiempo de retorno e intensidad seleccionada.
- Se obtuvieron resultados favorables consiguiéndose de forma eficaz el hietograma de tormenta sintético con sus respectivos cálculos claros y concisos, siendo positiva la selección del área de estudio con un tiempo de retorno de 2 años y tiempo de concentración de 60min.

6 RECOMENDACIONES

- Es importante obtener información clara y concisa de las precipitaciones para obtener así datos precisos de las lluvias excesivas.
- Se debe de relacionar toda la información que se obtenga para así llegar a seleccionar los datos más apropiados para el estudio.
- Es recomendable jugar con las constante a,b,c para así obtener un coeficiente r más conveniente y un hietograma de tormenta sintético bien definido.

7 BIBLIOGRAFÍA

Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología aplicada*. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill .

CISPDR. (Febrero de 2016). *Plan hidráulico regional de demarcación hidrográfica Manabí*.

Daylin, L., & Cuellar, P. (2019). Patrones de distribución temporal de lluvia ciclónica en Cuba estimada por el modelo WRF Temporal distribution patterns of cyclonic rainfall in Cuba estimated by WRF model. *Ingeniería hidráulica y ambiental*, XL(1), 17-31.

Dolling, O., & Varas, E. (2006). Tormenta de diseño usando redes neuronales artificiales. *Ingeniería hidráulica en México*, 21(4), 103-113.

El Diario. (25 de Junio de 2019). Obtenido de <http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/505339-el-agua-una-de-las-grandes-necesidades-de-manabi/>

Ibarra, M. (7 de Octubre de 2014). *Estudio de la variación temporal de la lluvia en Guayaquil*. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/2866/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-97.pdf>

INAMHI. (2015). *Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación, actualización del estudio de lluvias intensas*. QUITO-ECUADOR.

INAMHI. (01 de septiembre de 2017). Obtenido de Servicio meteorológico: http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/06/Informe_tecnico_uath.pdf

INUNRED. (5 de Julio de 2019). *Previniendo los riesgos que suponen las inundaciones del Río Portoviejo*. Obtenido de Revista de Manabí: <https://revistademanabi.com/2019/07/05/previniendo-los-riesgos-que-suponen-las-inundaciones-del-rio-portoviejo/>

Kirpich, Z. (1940). Time of concentration of small agricultural watersheds. *Civil Eng*, 10(6), 362.

Llamas, J. (1993). *Hidrología general: Principios y Aplicaciones*. Universidad del País Vasco.

Loza, M. P. (Mayo de 2005). *Provincia de Manabí*. Obtenido de https://www.academia.edu/29982233/PROVINCIA_DE_MANABI

Macías, M. G. (2018). *repositorio.unesum.edu.ec*. Obtenido de <http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/1405/1/UNESUM-ECUADOR-ING.CIVIL-2018-51.pdf>

Olaya, V. (2014). *Sistemas de información geográfica*. Obtenido de https://www.icog.es/TyT/files/Libro_SIG.pdf

Pérez, J., & Senent, J. (2017). Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia de tormentas de corta duración en la cuenca del río segura, España. *Agrociencia*, 1405-3195.

Preul, H., & Papadakis, C. (1973). Development of desing strom hyetographs for Cincinnati, Ohio. *American water resources association*, 9(2), 291-300.

Soldevilla, R. B. (s.f.). Análisis comparativo de metodologías de cálculo de tormentas de diseño para su aplicación en hidrología urbana. (*Trabajo fin de Máster*). Universitat Politècnica de València, València.

Témez, J. (1987). *Cálculo Hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. Madrid: Alanmer.

Vélez, J. J., & Botero, A. (2011). Estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago en la cuenca experimental urbana de la quebrada San Luis, Manizales. *DYNA*, 58-71.

8 ANEXOS

Anexo No. 1: Registro de precipitación antecedente de la estación Portoviejo UTM

Fecha	Lluvia antecedente A (milímetros) antes del máximo:	
	15 min. Duración	30 min. Duración
03/01/2013	1.2	2.0
06/01/2013	0.9	1.4
18/01/2013	0.8	1.3
20/01/2013	0.8	1.3
22/01/2013	1.5	2.6
23/01/2013	2.1	4.1
26/01/2013	2.2	2.9
30/01/2013	1.7	2.7
01/02/2013	4.4	6.1
03/02/2013	2.1	3.3
04/02/2013	1.5	2.9
20/02/2013	1.3	2.4
27/02/2013	2.3	3.4
27/02/2013	9.0	18.0
02/03/2013	1.5	2.3
03/03/2013	1.6	1.8
04/03/2013	2.4	3.4
05/03/2013	1.9	2.9
06/03/2013	2.4	4.0
09/03/2013	1.1	1.8
13/03/2013	1.1	1.9
15/03/2013	1.7	2.8
01/04/2013	5.0	7.8
08/04/2013	2.3	3.9
18/04/2013	2.3	3.8
22/05/2013	3.9	6.5
12/02/2014	0.9	1.4
20/02/2014	5.1	8.4
21/02/2014	1.2	2.2
24/02/2014	3.6	6.0
26/02/2014	1.0	1.8
01/03/2014	9.6	11.0
03/03/2014	2.9	3.2
22/03/2014	1.0	1.9
23/03/2014	1.0	1.6
25/03/2014	0.5	0.7
27/03/2014	2.2	3.9
28/03/2014	1.0	1.9
01/04/2014	4.0	4.5
06/04/2014	1.3	2.1

22/04/2014	1.0	1.3
24/04/2014	0.8	1.6
26/04/2014	0.5	0.8
01/05/2014	8.5	9.7
08/05/2014	1.7	1.8
12/05/2014	0.7	1.2
26/05/2014	3.0	3.4
28/05/2014	7.7	8.7
29/05/2014	0.7	1.3
23/06/2014	0.4	0.7
22/12/2014	0.9	1.5
27/03/2015	1.2	1.8
01/04/2015	0.6	1.1
03/04/2015	1.0	1.9
04/04/2015	1.4	2.1
05/04/2015	6.0	11.1
27/04/2015	2.6	4.2
29/04/2015	0.9	1.3
14/05/2015	0.9	1.5
30/05/2015	1.2	2.1
01/06/2015	0.7	1.1
03/06/2015	1.2	2.0
06/06/2015	1.2	1.8
08/06/2015	2.3	4.6
20/07/2015	3.1	4.8
26/10/2015	1.3	2.4
25/11/2015	1.2	1.6
27/11/2015	1.6	3.1
01/12/2015	0.6	1.0
02/12/2015	0.9	1.3
10/12/2015	1.4	2.2
17/12/2015	0.9	1.4
11/01/2016	2.8	3.4
18/11/2016	9.1	14.9
22/01/2016	1.4	1.9
24/01/2016	3.9	7.4
25/01/2016	2.8	4.7
06/02/2016	1.6	2.6
08/02/2016	1.5	2.5
09/02/2016	1.1	1.7
11/02/2016	1.0	1.7
16/02/2016	3.7	6.7
17/02/2016	1.9	3.2
20/02/2016	2.1	3.0
21/02/2016	10.0	11.2
22/02/2016	1.3	2.5

23/02/2016	3.1	5.1
29/02/2016	3.9	6.6
02/03/2016	1.8	2.7
04/03/2016	10.0	13.6
08/03/2016	5.9	9.8
16/03/2016	2.8	4.2
21/03/2016	5.4	5.8
08/04/2016	1.0	1.7
10/04/2016	9.4	17.4
18/04/2016	1.0	1.7
27/04/2016	0.5	0.9
11/05/2016	0.7	1.2
08/01/2017	4.5	5.9
20/01/2017	1.6	2.7
21/01/2017	4.4	6.4
21/01/2017	2.7	3.9
29/01/2017	4.1	5.8
30/01/2017	1.5	2.4
01/02/2017	10.0	15.4
02/02/2017	7.1	11.1
03/02/2017	9.5	13.3
04/02/2017	4.8	7.4
07/02/2017	17.8	34.0
10/02/2017	5.6	8.1
12/02/2017	2.9	4.2
24/02/2017	14.2	16.6
28/02/2017	4.1	4.8
01/03/2017	0.8	1.2
06/03/2017	2.6	4.3
07/03/2017	0.6	1.0
09/03/2017	9.2	17.0
18/03/2017	3.3	4.5
19/03/2017	2.5	3.7
21/03/2017	1.0	1.6
01/04/2017	3.3	5.0
07/04/2017	10.2	14.7
08/04/2017	3.7	6.4
11/05/2017	3.8	0.0
19/12/2017	2.3	3.2
25/01/2018	2.4	3.6
29/01/2018	0.4	0.7
01/02/2018	0.8	1.5
04/02/2018	0.7	1.3
05/02/2018	1.0	1.9
06/02/2018	0.4	7.1
08/02/2018	2.3	2.9

09/02/2018	2.3	4.1
12/02/2018	0.5	0.8
13/02/2018	14.5	20.0
14/02/2018	3.7	4.5
15/02/2018	2.0	3.9
16/02/2018	1.9	3.1
17/02/2018	0.6	1.0
18/02/2018	5.4	5.7
19/02/2018	1.3	2.4
20/02/2018	1.1	2.1
03/03/2018	0.8	1.5
17/03/2018	0.5	0.8
19/03/2018	0.9	1.6
Número de lluvias excesivas		145
Media de A (mm)	2.9	4.5
Media de A (in)	0.1150	0.1758