

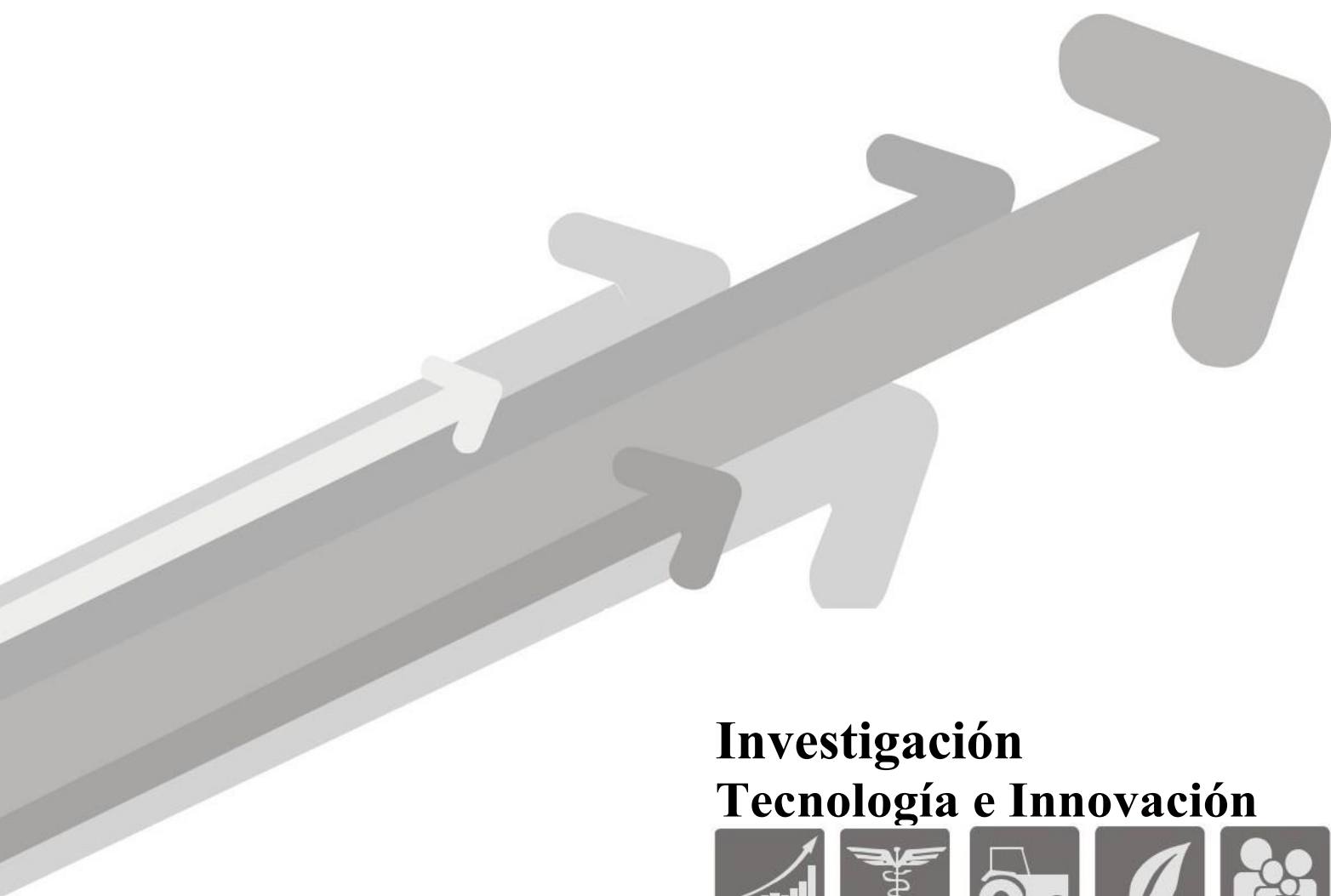
Cambio de uso de suelo y afectación al drenaje de la ciudad satélite Daule

Land use change and impact on drainage in the satellite city of Daule

Luis Eduardo Moya Chávez

Fausto Francisco Cabrera Morán

David Salomon Conforme Torres



**Investigación
Tecnología e Innovación**



Cambio de uso de suelo y afectación al drenaje de la ciudad satélite Daule

Land use change and impact on drainage in the satellite city of Daule

Luis Moya Chávez¹, Fausto Cabrera Morán², y David Conforme Torres³

Como citar: Moya-Chávez, L. (2026). Cambio de uso de suelo y afectación al drenaje de la ciudad satélite Daule. *Investigación, Tecnología e Innovación*. 18(25s1), 51-69.
DOI: <https://doi.org/10.53591/iti.v18i25s1.3308>

RESUMEN

Contexto: El presente estudio analiza el impacto del cambio de uso de suelo en el sistema de drenaje de la cuenca hidrográfica del estero Sabanilla, en el Cantón Daule, Provincia del Guayas, un área de rápido crecimiento dentro de la región del gran Guayaquil. El crecimiento urbano descontrolado y la intervención humana, que resultan en la impermeabilización del suelo, se identifican como factores clave que exacerban la vulnerabilidad a las inundaciones. **Objetivo:** El objetivo general fue evaluar la respuesta hidrológica e hidráulica de la cuenca de 115.42 km² bajo las condiciones actuales. **Método:** La metodología involucró un análisis estadístico de valores extremos de los registros de precipitación máxima diaria de la estación Guayaquil DAC (1962–2021) para definir la distribución Gumbel Tipo I, las curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF), y los hietogramas de diseño para varios períodos de retorno (Tr) hasta 100 años. Se desarrolló un modelo hidrológico utilizando HEC-HMS con un Número de Curva (CN) de 60, caracterizando la cuenca en tres subcuencas. Los hidrogramas resultantes se utilizaron luego en el modelo hidráulico HEC-RAS para simular los perfiles de la superficie del agua. **Resultados:** Los resultados indican que el cauce actual del estero Sabanilla es incapaz de conducir el agua de escorrentía de manera eficiente, incluso para los períodos de retorno de menor intensidad, principalmente debido al cambio de uso de suelo y las características naturales de la cuenca. Esta deficiencia sugiere un alto riesgo de inundación para el área. **Conclusiones:** Para mitigar este problema, el estudio propone varias intervenciones estructurales, incluyendo la mejora de la sección transversal del cauce (por ejemplo, sección compuesta o trapezoidal) y la limpieza del mismo para aumentar la capacidad de conducción. Además, se recomienda el revestimiento de la sección con hormigón para mejorar las velocidades y el área hidráulica. Una recomendación clave adicional es establecer una barrera en la confluencia con el río Daule para gestionar los efectos adversos de la pleamar (marea alta), la cual obstruye la salida normal del flujo.

Palabras clave: Cambio de uso de suelo, Hidráulica de canales, Hidrología, Inundación.

Artículo presentado en el 1er Foro Académico del Agua 2025, y seleccionado por el comité científico para su publicación en esta edición especial de la revista ITI.

ABSTRACT

Context: This study analyzes the impact of land-use change on the drainage system of the Sabanilla Estuary watershed in the Daule Canton, Guayas Province, a rapidly growing area within the greater Guayaquil region. Uncontrolled urban growth and human intervention, resulting in soil impermeability, are identified as key

¹ Magister en Ingeniería Civil mención Hidráulica, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. Correo electrónico: lmoya@ups.edu.ec

² Magister en Arquitectura mención Planificación Territorial y Gestión Ambiental Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. Correo electrónico: fcabreram@ups.edu.ec

³ Magister en Hidráulica mención en Gestión de Recursos Hídricos, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. Correo electrónico: dconforme@ups.edu.ec



factors exacerbating vulnerability to flooding. **Objective:** The overall objective was to evaluate the hydrological and hydraulic response of the 115.42 km² watershed under current conditions. **Method:** The methodology involved a statistical analysis of extreme values from the Guayaquil DAC station's daily maximum precipitation records (1962–2021) to define the Gumbel Type I distribution, Intensity-Duration-Frequency (IDF) curves, and design hyetographs for various return periods (Tr) up to 100 years. A hydrologic model was developed using HEC-HMS with a Curve Number (CN) of 60, characterizing the watershed into three sub-basins. The resulting hydrographs were then used in the HEC-RAS hydraulic model to simulate water surface profiles. **Results:** The results indicate that the current channel of the Sabanilla stream is unable to efficiently convey runoff, even during periods of lower intensity, primarily due to land-use change and the natural characteristics of the watershed. This deficiency suggests a high risk of flooding for the area. **Conclusions:** To mitigate this problem, the study proposes several structural interventions, including improving the channel's cross-section (e.g., a composite or trapezoidal section) and dredging it to increase its flow capacity. In addition, lining the channel with concrete is recommended to improve flow velocities and the hydraulic area. A key additional recommendation is to establish a barrier at the confluence with the Daule River to manage the adverse effects of high tide, which obstructs the normal outflow.

Keywords: Land Use Change, Hidráulic Channel, Hidrology, Flood.

Fecha de recepción: Enero 12, 2021.

Fecha de aceptación: Mayo 15, 2021.

INTRODUCCIÓN

Las inundaciones representan uno de los fenómenos naturales más comunes y devastadores que afectan a distintas regiones del mundo, especialmente a las zonas bajas. Estas áreas, por su naturaleza topográfica, se encuentran en desventaja frente a la acumulación de agua producto de lluvias intensas, desbordes de ríos, marejadas o incluso por deficiencias en los sistemas de drenaje. A lo largo del tiempo, el crecimiento urbano descontrolado y la intervención humana en los cauces naturales han agravado esta vulnerabilidad, transformando lo que antes eran eventos esporádicos en problemas recurrentes y de gran impacto (National Geographic, 2025).

Las inundaciones están directamente relacionadas con las precipitaciones intensas de carácter excepcional y de larga duración, las que aumentan de forma considerable el caudal de los ríos, produciendo desbordamiento (CONGOPE, 2016a).

Uno de los factores clave que agravan las inundaciones es la falta de planificación urbana adecuada. Muchas ciudades han crecido sin respetar las condiciones naturales del terreno, ocupando humedales, planicies de inundación y quebradas secas, que en condiciones naturales actuaban como zonas de amortiguamiento. Además, la impermeabilización del suelo por la construcción de calles, edificaciones y otras infraestructuras impide la infiltración del agua, lo que aumenta el escurrimiento superficial y contribuye a la acumulación de grandes volúmenes de agua en poco tiempo (Klippe, 2023).

Son numerosos los estudios que han evaluado de manera independiente los impactos futuros del uso del suelo, y del cambio climático sobre la hidrología fluvial, son escasas las investigaciones que han abordado de forma diferenciada y conjunta los efectos de estas variables sobre los caudales de los ríos. Esta limitación resulta especialmente evidente en los países en desarrollo donde la disponibilidad de datos hidrometeorológicos (Sempewo et al., 2024).

Según (Hernandez-Atencia et al., 2023) los cambios de uso de suelo generan variaciones en las propiedades hidráulicas de la capa superior del suelo y modifican tanto la respuesta hidrológica como el comportamiento hidráulico de los cauces. En consecuencia, la interacción entre las variaciones en dichas propiedades del suelo y la dinámica hidráulica de los ríos incide directamente en la exposición de las estructuras y en su grado de vulnerabilidad física frente a eventos de inundación, en el caso del paper de Hernandez-Atencia se plateo: análisis vasado en la variación de la capacidad de infiltración del suelo (CN), y un enfoque en la variación de



la capacidad de almacenamiento de agua en la zona radicular del suelo.

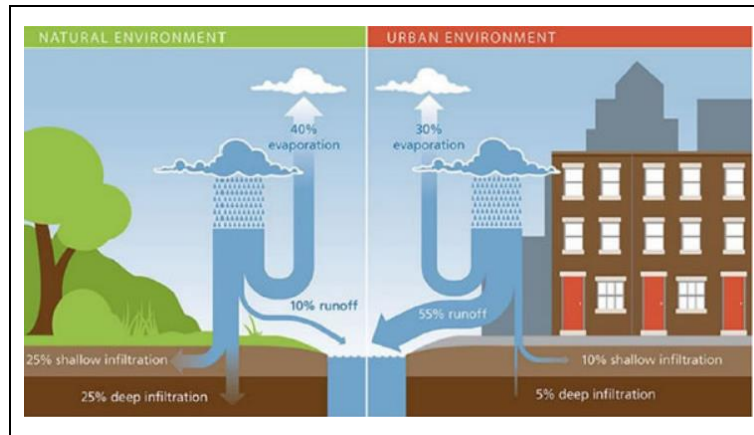


Figura 1. Diferencias entre una condición natural, y un ambiente urbano y la escorrentía.

El cambio climático al ser una respuesta a las actividades del hombre ha modificado de manera significativa al estado de los recursos hídricos. De la misma forma, el uso y la cobertura del suelo han experimentado una transformación relevante como consecuencia de la creciente demanda de recursos por parte del ser humano. Sin embargo, el impacto conjunto del cambio climático y la alteración en la cobertura del suelo (Chawanda et al., 2024).

Las inundaciones constituyen uno de los desastres naturales mas costosos y peligrosos a nivel mundial. Cada año, estos eventos generan impactos negativos sobre las personas, las comunidades, las infraestructuras y el medio ambiente. Durante las últimas décadas, el planeta ha sufrido inundaciones cada vez más frecuentes y severas como consecuencias del cambio climático. De mantenerse esta tendencia, se prevé un incremento en los costos asociados a los daños y a los esfuerzos de recuperación (Earth.org, 2023).

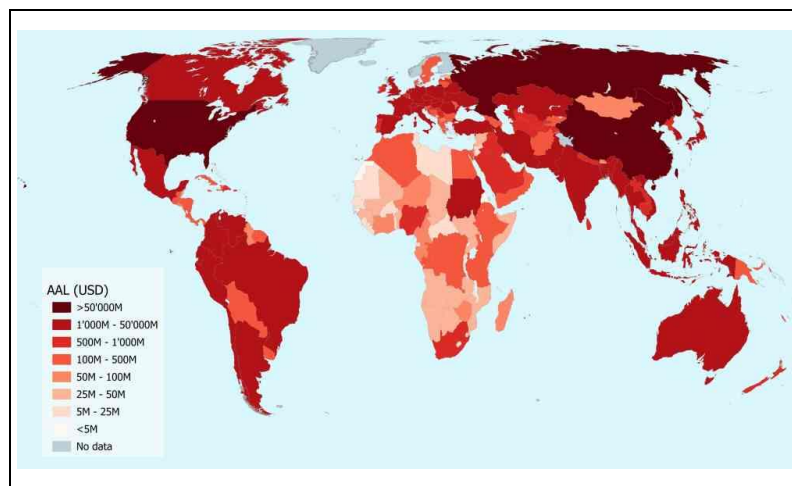


Figura 2. Pérdidas económicas anuales promedio en USD por inundaciones y ciclones para la infraestructura crítica

Las inundaciones afectan directamente a sectores económicos clave, como el turismo y los negocios locales, al generar daños recurrentes en la infraestructura crítica y provocar interrupciones en las actividades productivas. Estas pérdidas repercuten en la economía, dificultando el crecimiento sostenible de las regiones más expuestas. Frente a este escenario, los gobiernos nacionales prevalecen la inversión en infraestructura de resiliencia al clima y en estrategias de preparación ante desastres, con el fin de reducir las pérdidas económicas, garantizar la continuidad de las actividades turísticas y fortalecer el tejido empresarial. De igual forma resulta

esencial promover alianzas estratégicas entre el Estado, el sector privado y las comunidades, que permitan proteger la infraestructura, sostener la competitividad del turismo y asegurar la resiliencia socioeconómica frente a los riesgos (UNDRR, 2024).

Los enfoques probabilísticos permiten evaluar el riesgo de inundaciones en el tiempo, mas allá de las variaciones interanuales, al ofrecer una métrica consistente para comparar los daños y orientar decisiones sobre protección y uso de suelo en contextos de cambios climáticos y urbanización acelerada. Su relevancia se evidencia en que las inundaciones fluviales y por desbordamiento son el peligro más costoso a nivel global, con pérdidas anuales promedio de USD 388.4 millones, incluidos USD 74.1 mil millones en daños directos (GAR, 2025).

En un mundo que cada vez aumenta más y más la población y cuyos patrones de consumo son cambiantes, la humanidad aún puede hacer mucho para planificar y gestionar la futura evolución de los recursos hídricos y del suelo.

Frente a esta realidad, es necesario adoptar un enfoque integral para la gestión del riesgo de inundaciones. Esto incluye desde la mejora en los sistemas de drenaje urbano y la recuperación de zonas naturales como humedales y riberas, hasta la implementación de políticas de ordenamiento territorial y la concientización de la población sobre la prevención y preparación ante estos eventos. Solo a través de un trabajo coordinado entre autoridades, comunidades y especialistas se podrá reducir la exposición y vulnerabilidad de las zonas bajas, y enfrentar de manera más efectiva los crecientes desafíos que plantean las inundaciones en el contexto del cambio climático y la urbanización acelerada.

Ubicación

El análisis se establece en la provincia del Guayas, en el cantón Daule, que es parte del gran Guayaquil, y al ser una de las zonas de mayor crecimiento en los últimos tiempos, las coordenadas iniciales de la cuenca de drenaje son X: 623988.88 y en Y: 9773014.05, la cuenca de drenaje tiene una extensión de 115.42 km².

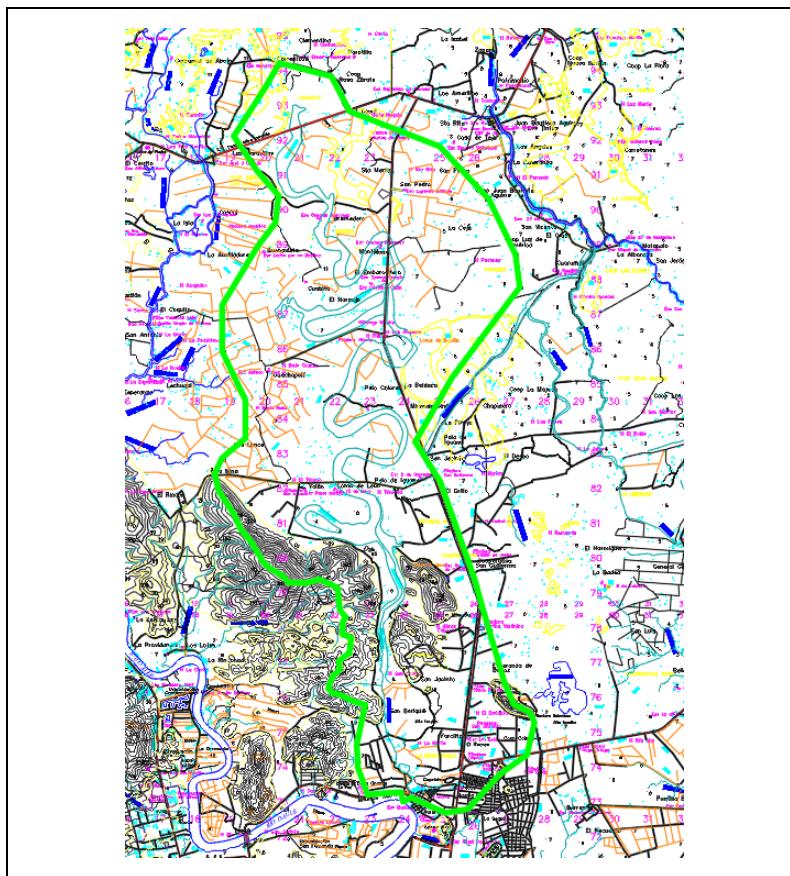


Figura 3. Demarcación de la Cuenca Hidrográfica del estero Sabanilla

Materiales y Métodos

Factor de Forma

“Es la relación entre el área de la cuenca y el cuadrado de su longitud” (Cardona, 2016).

$$F = \frac{A}{L^2} \quad (1)$$

Donde

F es el factor de forma de Horton

A es el área de la cuenca de drenaje

L es la longitud de la cuenca de drenaje

Fuente: (Ibáñez et al., 2010)

Índice de Compacidad o Índice de Gravelious.

“Este índice expresa la relación entre el perímetro de la cuenca, y el perímetro de una circunferencia, que tiene la misma área de la cuenca”(Villón, 2004).

$$K = \frac{\text{Perímetro de la cuenca}}{\text{Perímetro de un círculo de igual área}} = \frac{P}{P_o} \quad (2)$$

Donde

K es el índice de compacidad o de Gravelious

P es el perímetro de la cuenca

P_o es el perímetro de un círculo de igual área.

$$K = \frac{P}{P_o} = \frac{P}{2\pi r}$$

Si:

$$A = r^2 \pi \rightarrow r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

Y sustituyendo:

$$K = \frac{P}{2\pi \sqrt{\frac{A}{\pi}}} = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (3)$$

Donde

K es el índice de compacidad o de Gravelious

P es el perímetro de la cuenca

A es el área de la cuenca.



Perfil Longitudinal del Curso de Agua.

Este parámetro es de suma importancia puesto que nos permite conocer una idea de las pendientes que se tiene en el cauce (Villón, 2004).

Pendiente del Cauce.

$$S = \left[\frac{n}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} + \frac{1}{\sqrt{S_3}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{S_n}}} \right]^2 \quad (4)$$

Donde

S es la pendiente media del cauce

n es el número de tramos iguales, en los cuales se subdivide el perfil

$S_1, S_2, \dots, S_n$ Pendiente de cada tramo según $S = \frac{H}{L}$

En la práctica se espera que los tramos sean de diferentes longitudes, en este caso Taylor y Schwarz recomiendan usar una variación de la ecuación 3 (Villón, 2004).

$$S = \left[\frac{\sum_{i=1}^n L_i}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{S_i^{1/2}}} \right]^2 \quad (5)$$

Donde

S es la pendiente media del cauce

L_i longitud del tramo i

S_i Pendiente del tramo i

Probabilidad Empírica.

Según (Han, 2010) “es una probabilidad no paramétrica en la que no hay una curva de distribución teórica, si n es el total de puntos o datos analizados y m es el rango de cada punto individual, la probabilidad de excedencia del m_{avo}

De las fórmulas que se usan de forma habitual se encuentran la de California y la de Weibull respectivamente y que se muestran a continuación:

$$P_m = P(X \geq x_m) = \frac{m}{n} \quad (6)$$

$$P_m = P(X \geq x_m) = \frac{m}{n+1} \quad (7)$$

Donde

P es la probabilidad

m es el número de orden

n es el número de datos



Periodo de Retorno.

Según Díaz Salas (2010) equivale al número de años que en promedio se puede presentar una variable hidrológica extrema, o mayor o igual a un valor establecido, también es conocido como tiempo de retorno o intervalo de recurrencia, lo que es representado en la ecuación (8).

$$T = \frac{1}{P(X \geq x)} \quad (8)$$

Donde

T es el periodo de retorno

P es la probabilidad

También el período de retorno se lo puede expresar en función de la vida útil de la estructura y el riesgo permisible (Posso, 2009), para este caso se usa la siguiente expresión:

$$T = \frac{1}{1 - (1 - k)^{1/n}} \quad (9)$$

Donde

T es el periodo de retorno, en años

k es el riesgo de falla permisible, adimensional

n es el número de años de vida útil de la estructura, en años

Media Aritmética.

La media es definida como la suma algebraica de una muestra de datos, entre el número de datos de la misma muestra (Villón, 2013).

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (10)$$

Donde

X es la media aritmética

X_i es el valor i-ésimo de la muestra

n es el número de datos de la muestra

Desviación Estándar.

Según (Villón, 2013, p. 105) “Esta es definida como la raíz cuadrada positiva de la varianza”.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n}} \quad (11)$$

Donde

X es la media aritmética

X_i es el valor i-ésimo de la muestra

n es el número de datos de la muestra

Método Gumbel.

Es una función de probabilidad usada para los valores máximos aleatorios sacados de poblaciones suficientemente grandes (Posso, 2009).

$$P(x \leq x_i) = e^{-e^{y_i}} \quad (12)$$

Donde

x_i es la variable aleatoria

e es la base de los logaritmos neperianos

y_i es la variable reducida.

Número de Curva (CN).

“En este método la profundidad de escorrentía es una función de la profundidad total de precipitación y de un parámetro de abstracción referido al número de curva de escorrentía, denominado Número de Curva o CN”, (CONGOPE, 2016b).

La selección del valor de CN depende fundamentalmente de las características de la cuenca de drenaje, tales como la condición antecedente de humedad del suelo (CAH), uso de la tierra o cubierta y condiciones del suelo (grupo hidrológico) (Villón, 2004).

Condición Hidrológica.

Está relacionada con la capacidad de la superficie de la cuenca hidrográfica de ayudar o entorpecer el escurrimiento (Villón, 2004).

Grupo Hidrológico del Suelo.

Describe el tipo de suelo de la cuenca este parámetro se utiliza cuando se quiere determinar el número de curva en un modelo hidrológico para establecer el escurrimiento superficial. (Posso, 2009).

Uso y Tratamiento del Suelo.

Es la cobertura de la cuenca, tipo de cultivo, condiciones del mismo (Posso, 2009).

Condición de Humedad Antecedente.

Se toma en cuenta las condiciones antecedentes previas de humedad de la cuenca, determinado por la lluvia total en el período de 5 días anterior a la tormenta de estudio (Villón, 2004), en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se puede revisar la condición de humedad precedente del suelo.

Tabla 1. Condiciones de humedad del suelo en atención a las precipitaciones previas

Condición precedente de humedad		
Lluvia total de caída durante los cinco días anteriores		
Condición	En el período húmedo	En el periodo seco
I	Menos de 12.5 mm	Menos de 35.5 mm
II	De 12.5 a 28 mm	De 35.5 a 53 mm
III	Mas de 28 mm	Mas de 53 mm

Fuente: (Ibáñez Asensio et al., 2011)

Tiempo de Concentración (tc).

Este es definido como el tiempo que se necesita, desde que empieza la precipitación, para que toda la cuenca contribuya con escurrimiento en el sitio de la estructura considerada (Posso, 2009), en otras palabras Vélez Úpegui (2010, p. 2) dice “el tiempo en el que la escorrentía superficial en el punto más alejado de la cuenca llega al punto de estudio o desagüe”.

Las diversas expresiones que se usan para determinar este tiempo son de carácter empíricas, a continuación,



se muestran las metodologías usadas.

Ecuación de Kirpich.

$$T_c = 0.06628 \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.77} \quad (13)$$

Donde

T_c es el tiempo de concentración en horas.

L es la longitud del cauce principal en km.

S es la pendiente entre las elevaciones máximas y mínimas (pendiente total), en metro por metro

Coefficiente de Almacenamiento (Storage Coefficient).

Es un índice de un almacenamiento temporal del exceso de precipitación de la cuenca a medida que drena hasta el punto de salida (Hydrologic Engineering Center, 2000).

$$SCo = T_c \times 0.6 \quad (14)$$

Donde

T_c es el tiempo de concentración en horas.

SCo es el tiempo de del almacenamiento del tramo en horas.

Hietograma.

Es un gráfico que muestra de manera escalonada como un histograma, el cual muestra la variación de la intensidad expresada en mm/hora de la tormenta (Villón, 2004) como se muestra en la **Figura 4. Hietograma de precipitación**.

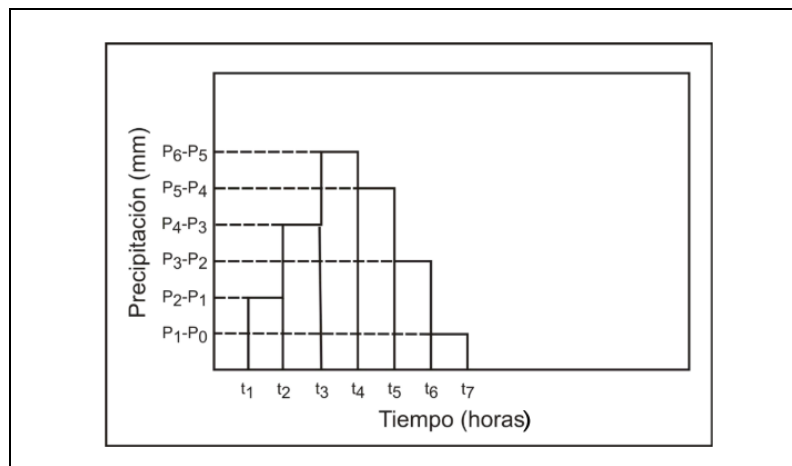


Figura 4. Hietograma de precipitación

Fuente: (Posso, 2009)

Curva Intensidad – Duración – Frecuencia.

Siempre es necesario cuantificar la lluvia que cae usando los instrumentos como los pluviómetros, con la finalidad de poder predecir la cantidad de precipitación que pueda caer a futuro, y cuál puede ser el mayor registro, esto es necesario para poder establecer de una forma adecuada el escurrimiento que llega hasta un punto de análisis, el inconveniente es que la precipitación es un evento aleatorio, y para poder realizar lo que se expresa antes es necesario realizar un análisis estadístico aplicando metodologías probabilísticas (Bateman,

2007).

Para el cálculo de una curva IDF, como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, es necesario contar con registros que vienen de una estación automática o de un pluviógrafo sin embargo, este tipo de equipo no se encuentra en las estaciones contempladas por lo que se deberá “incurrir en un análisis de la curva de intensidad para las distintas frecuencias y duraciones contempladas, aplicando relaciones que son conocidas y han sido verificadas alrededor del mundo” (Rivero, 2021)

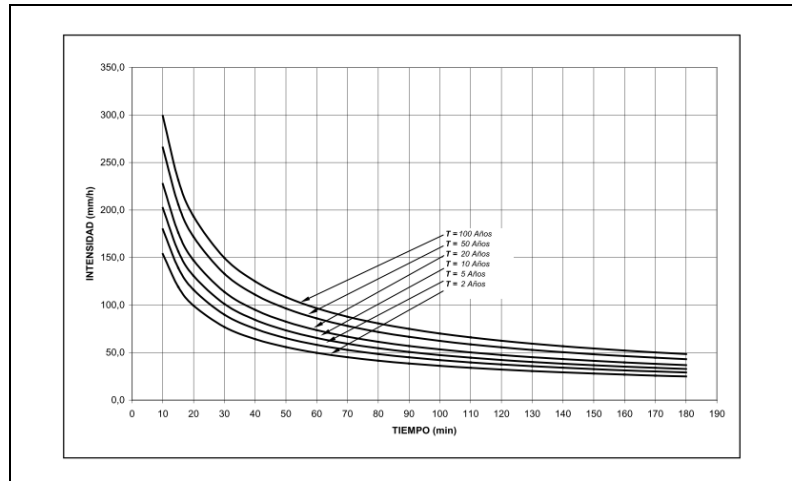


Figura 5. Curva típica Intensidad – Duración – Frecuencia IDF

Fuente: (Posso, 2009)

Hidrograma.

Según (Villón, 2004) “Es la representación gráfica de las variaciones de caudal con respecto al tiempo, arregladas en orden cronológico.” En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra un hidrograma tipo, con sus tiempos característicos.

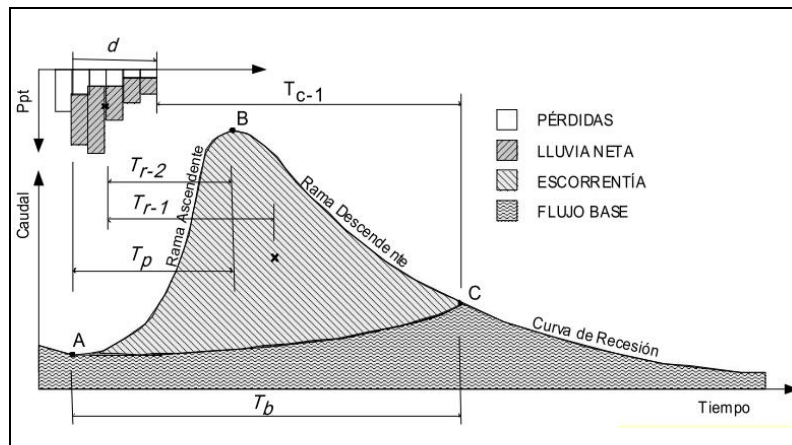


Figura 6. Forma característica de un hidrograma y sus tiempos característicos

Fuente: (Vélez & Botero, 2010)

Coefficiente de Rugosidad de Manning.

La rugosidad es una de las principales características de un plano si se requiere analizar o representar una zona impermeable o permeable (US Army Corps of Engineers, 2008). “Es un coeficiente de rugosidad que se establece usando tablas dependiendo de las condiciones físicas de los cauces” (Villón, 2004).

Tabla 2 Valores de coeficiente de rugosidad de Manning				
Superficie	Condiciones de las paredes			
	Perfectas	Buenas	Medianas	Malas
Canales y zanjas:				
En tierra, alineados y uniformes	0.017	0.02	0.0225	0.025*
En roca lisos y uniformes	0.025	0.03	0.033*	0.035
En roca, con salientes y sinuosos	0.035	0.04	0.045	
Sinuosos y de escurrimiento lento	0.0225	0.025*	0.0275	0.03
Degradados en tierra	0.025	0.0275*	0.03	0.033
Con lecho pedregoso y bordos de tierra	0.025	0.03	0.035*	0.04
Con hierba				
Plantilla de tierra, taludes ásperos	0.028	0.03*	0.033*	0.035
Corrientes Naturales				
(1) Limpios, bordos rectos, llenos, sin herraduras no charcos profundos	0.025	0.0275	0.03	0.033
(2) Igual al (1) pero con algo de hierba y piedra	0.03	0.033	0.035	0.04
(3) Sinuoso, algunos charcos y escollos, limpio	0.033	0.035	0.04	0.045
(4) Igual al (3), de poco tirante, con pendiente y sección menos eficiente	0.04	0.045	0.05	0.055
(5) Igual al (3) algo de hierba y piedras	0.035	0.04	0.045	0.05
(6) igual al (4), secciones pedregosas	0.045	0.05	0.055	0.06
(7) Ríos con tramos lentos, cauce enhierbado o con charcos profundos	0.5	0.06	0.07	0.08
(8) Playas muy enyerbadas	0.075	0.1	0.125	0.15

Fuente: (Villón, 2008)

Ecuación de Manning.

$$Q = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (15)$$

Donde:

Q caudal, en m³/s.

R radio hidráulico de la sección, en mm.

n es el coeficiente de rugosidad que se obtiene de la **¡Error! No se encuentra el origen de la**



referencia., adimensional.

S la pendiente longitudinal del cauce, en m/m

A área de la sección transversal, en m²

Desarrollo

Precipitación

Debido a la ubicación de la cuenca se toma en cuenta para determinar la precipitación de diseño a la estación de Guayaquil DAC, cuyos valores de precipitación máxima se presente en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Tabla 3 Registro de Precipitación máxima en 24 horas, estación Guayaquil

ESTACION GUAYAQUIL							
PRECIPITACION MAXIMA DIARIA (mm)							
AÑO	P(mm)	AÑO	P(mm)	AÑO	P(mm)	AÑO	P(mm)
1962	53.9	1977	70.00	1992	113.6	2007	73.9
1963	50.70	1978	59.50	1993	91.2	2008	107.7
1964	47.7	1979	88.60	1994	121.4	2009	113.6
1965	55.60	1980	108.50	1995	69.4	2010	91.8
1966	125.30	1981	95.70	1996	73.2	2011	92.7
1967	65.30	1982	55.8	1997	185.7	2012	113.1
1968	91.70	1983	164.4	1998	224.7	2013	98.8
1969	124.70	1984	80.50	1999	66.1	2014	80.5
1970		1985	34.70	2000	154.2	2015	101.7
1971	86.40	1986	110.10	2001	168.2	2016	103.2
1972		1987	104.00	2002	136	2017	106.4
1973		1988	117.10	2003	89.2	2018	116.9
1974		1989	120.6	2004	63	2019	42.5
1975	121.40	1990	87.9	2005	99.6	2020	96.3
1976	115.1	1991	118.2	2006	61.5	2021	85.2

Fuente: Authors (In case the authors of the article have developed such material)

A partir de estos datos se estableció mediante el uso de un papel logarítmico la distribución de valores extremos de Gumbel tipo I, que se muestra en la Figura 7.



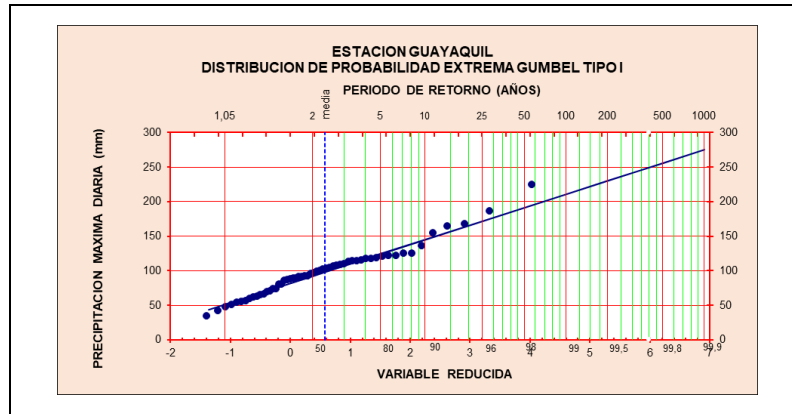


Figura 7. Distribución de Probabilidad Extrema Gumbel Tipo I, estación Guayaquil

Es a partir de este análisis estadístico que se logra determinar la curva IDF

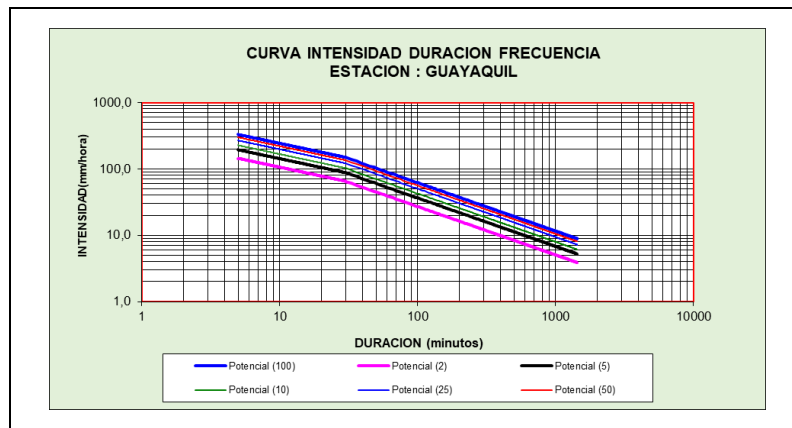


Figura 8. Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia estación Guayaquil

Y de igual forma, se pueden obtener los hietogramas de precipitación para diferentes periodos de retorno, lo que significa la lluvia de diseño para el modelo, esto se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

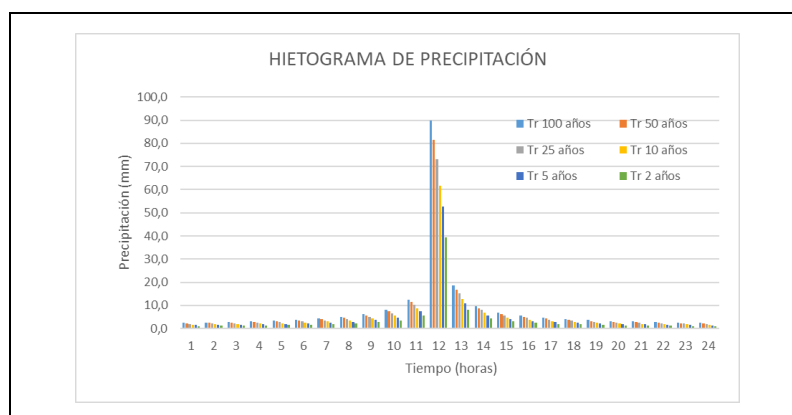


Figura 9. Hietogramas de precipitación para diferentes periodos de retorno estación Guayaquil

En base a la metodología detallada en líneas anteriores, se elaboró inicialmente el modelo de cuenca, el mismo

que se presenta en la figura mostrada a continuación. De igual manera, los datos básicos que se establecieron en base al modelo de cuenca, y se estableció un número de curva de 60, se presentan en las tablas figuras y tablas siguientes:

Tabla 4 Características de las subcuencas					
CUENCA	Área	Longitud del cauce	Desnivel	Tiempo de Concentración	Storage Co
Sub cuenca 1	45.34	11041	2	11.63	6.979
Sub cuenca 2	24.61	10889	2	11.45	6.868
Sub Cuenca 3	45.47	12330	1.5	14.76	8.857

Tabla 1 Características de los tramos del estero

	(m)	(m)	(min)	(h)		
Reachs	L	ΔH	T C	T C2	X	k
Sal-A	11041	2	697.93	11.63	0.20	5.82
A-B	10889	2	686.85	11.45	0.20	5.72

Con estos datos se crea el modelo en el software HEC – HMS como se ve en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.!**, para luego obtener los hidrogramas, que se muestran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.!**.

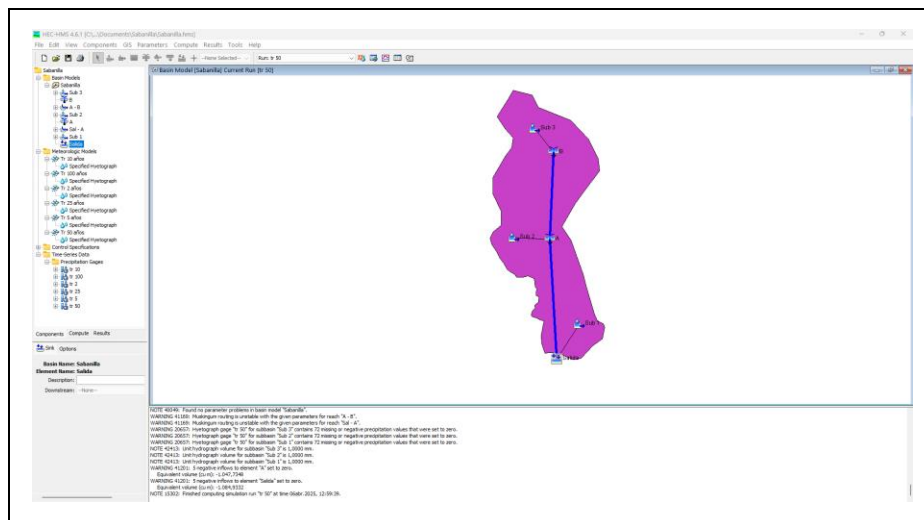


Figura 10. Subcuencas estero Sabanilla, Modelo de Cuenca HEC – HMS

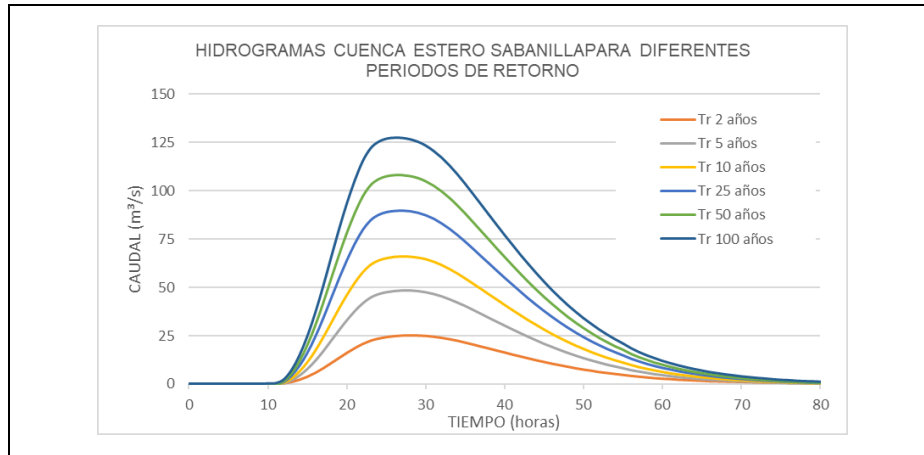
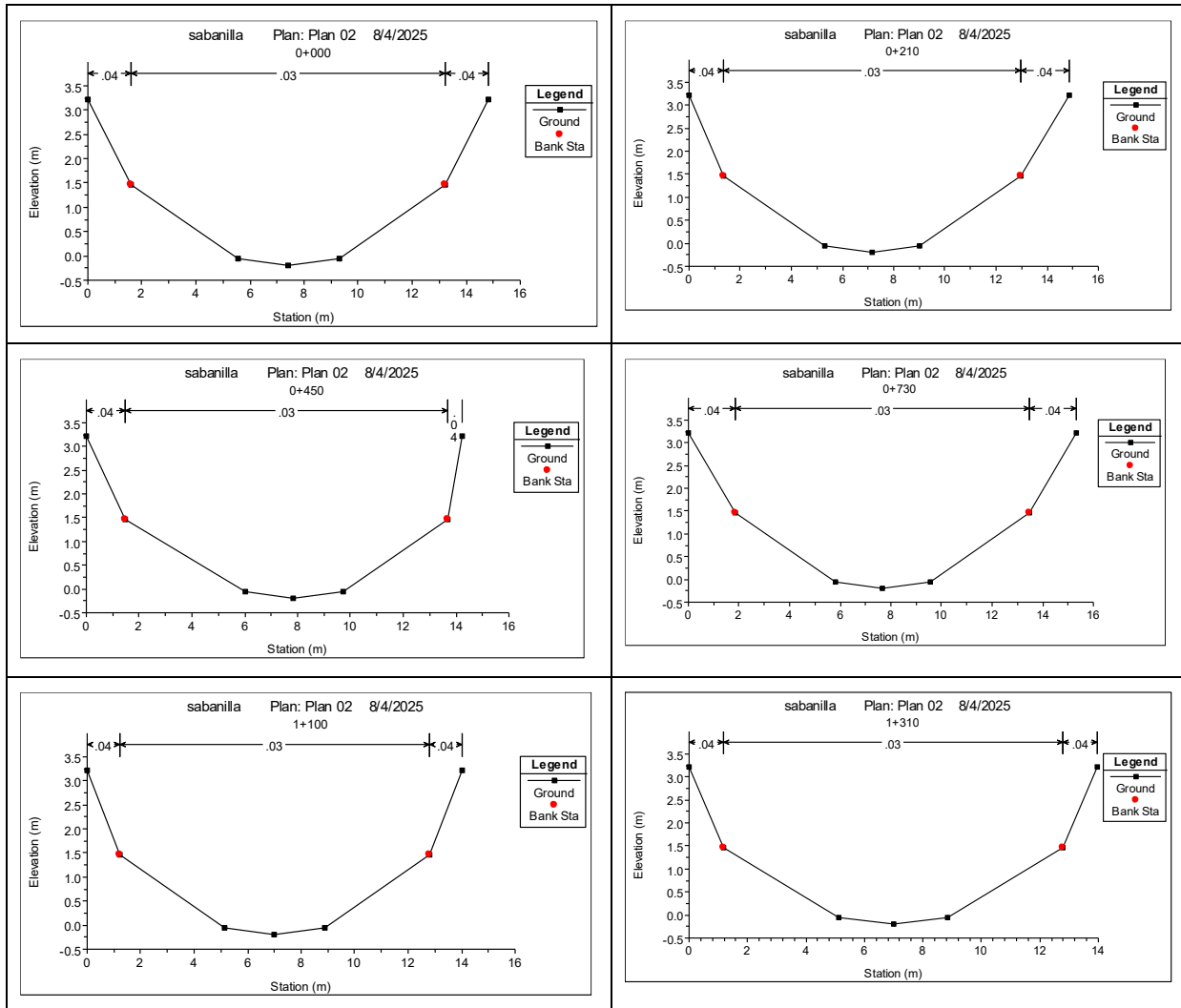


Figura 11. Hidrogramas de la cuenca de drenaje

Ahora es tu turno de desarrollar el modelo Hidráulico, usando el modelo del software HEC – RAS, para ello es necesario obtener las secciones típicas del estero Sabanilla. El coeficiente de rugosidad empleado fue de: $n = 0.030$, para la sección central y 0.040 , para las bermas de inundación, en el caso presente.



CONCLUSIONES

Tal como se puede observar en las modelaciones hidráulicas, el cauce no es capaz de conducir el agua que es curre en la cuenca de forma eficiente, esto incluso para los períodos de retorno de menor intensidad, esto principalmente por el cambio de uso de suelo que se le ha dado a algunas de las áreas que escurren, además de las condiciones y características naturales de la misma cuenca hidrográfica, por esta razón se deben buscar algunas formas de solucionar o mitigar los inconvenientes ocasionados por los niveles altos en el cauce.

Una opción es darle una sección trapezoidal al cauce, y limpiar el mismo con la idea de aumentar un poco la capacidad de conducción del mismo.

La opción de una sección compuesta será mejor a la de una de una sección principal trapezoidal.

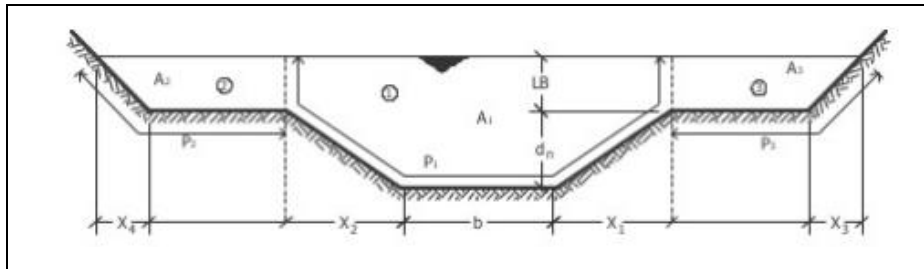


Figura 15. Sección compuesta típica para un control de inundaciones

La opción de una sección revestida es mejor en cuanto a las velocidades permitidas y el aumento del área de sección hidráulica, vale la pena mencionar que esta obra deberá ser de hormigón, existen muchas opciones que se deben adecuar a las estructuras ya existentes como puentes o alcantarillas, se podría usar estructuras con adecuaciones urbanísticas como son arborización en las márgenes o canalización de las secciones del cauce.



Figura 16. Canalización de hormigón (río Seco, Castellón)

Fuente: El Mundo



Figura 17. Canalización con muros de gaviones

Fuente: El Mundo

Otra recomendación importante, es establecer una barrera para atender el asunto de la barrera a la salida del estero y su entrada al río Daule, puesto que como se sabe, el segundo esta influido por la marea, y esto constituye una pared que impide la salida normal del flujo si la marea se encuentra en pleamar, y se debe esperar que la misma baje para que los escurrimientos bajen con ella.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bateman, A. (2007). Hidrologia Basica Y Aplicada. *Brazilian Journal of Biology*, 71(1 SUPPL.), 40.
- Cardona, B. L. (2016). *Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas*.
- Chawanda, C. J., Nkwasa, A., Thiery, W., & van Griensven, A. (2024). Combined impacts of climate and land-use change on future water resources in Africa. *HYDROLOGY AND EARTH SYSTEM SCIENCES*, 28(1), 117–138. <https://doi.org/10.5194/hess-28-117-2024>
- CONGOPE. (2016a). *Hablemos de riego*.
- CONGOPE. (2016b). *Hablemos de riego*.
- Díaz, A. (2010). *ESTADÍSTICA Y PROBABILIDAD (Diseño Hidrológico)*.
- Earth.org. (2023, February 14). *4 Negative Impacts of Flooding on the Planet* |. Earth.Org. https://earth-org.translate.goog/impacts-of-flooding/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc
- GAR. (2025). *GAR 2025 Hazard explorations: Floods*. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction (GAR). https://www.undrr.org/gar/gar2025/hazard-exploration/floods?utm_source=chatgpt.com
- Han, D. (2010). *Concise Hydrology*.
- Hernandez-Atencia, Y., Pena, L. E., Munoz-Ramos, J., Rojas, I., & Alvarez, A. (2023). Use of Soil Infiltration Capacity and Stream Flow Velocity to Estimate Physical Flood Vulnerability under Land-Use Change Scenarios. *WATER*, 15(6). <https://doi.org/10.3390/w15061214>
- Hydrologic Engineering Center. (2000). Hydrologic Modeling System Technical Reference Manual. *Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual*, March, 148.
- Ibáñez Asensio, S., Moreno Ramón, H., & Gisbert Blanquer, J. M. (2011). *Valores del no de curva (cálculo de la escorrentía)*. 11.

- Ibáñez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2010). Morfología de las cuencas hidrográficas. *Universidad Politécnica de Valencia*, 12.
- Klippe, A. (2023, February 15). *The Impact of Urbanization on Flood Risk*. Flood Control Asia. https://rsfloodcontrol-com.translate.google/blog/urbanization-flood-risk/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc
- National Geographic. (2025). *¿Qué causa las inundaciones repentinas?* https://www-nationalgeographic-com.translate.google/environment/article/floods/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc
- Posso, H. (2009). *Manual de Drenaje para carreteras*. 538.
- Rivero, J. (2021). *Estudio de Fase II para el control de Inundaciones en el valle del río Javita, Santa Elena*.
- Sempewo, J. I., Kyeyune, J., Nyenje, P. M., Nkwasa, A., Mugume, S. N., Tsegaye, S., & Eckart, J. (2024). Distinct and combined impacts of future climate and land use change on the flow of River Rwizi in Uganda, East Africa. *JOURNAL OF WATER AND CLIMATE CHANGE*, 15(4), 1667–1692. <https://doi.org/10.2166/wcc.2024.542>
- UNDRR. (2024, September 11). *Jamaica floods, 2021- Forensic analysis*. United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). <https://www.undrr.org/resource/jamaica-floods-2021-forensic-analysis>
- US Army Corps of Engineers. (2008). Hydrologic Modeling System User ' s Manual. *Transform, September*, 290.
- Vélez, J., & Botero, A. (2010). Estimacion Del Tiempo Concentracion Y De Rezago En La Cuenca Experimental Urbana De La Quebrada San Luis , Manizales. *Dyna*, 165, 58–71.
- Villón, M. (2004). HIDROLOGÍA. In *Máximo Villón Bejar*.
- Villón, M. (2008). *HIDRÁULICA de CANALES*.
- Villón, M. (2013). *Hidrología Estadística*. 435.

