



DOI: <https://doi.org/10.46296/yc.v6i11edespsep.0220>

## METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE UN SISTEMA URBANO DE DRENAJE SOSTENIBLE EN VÍAS DE ESMERALDAS

## EVALUATION OF A SUSTAINABLE URBAN DRAINAGE SYSTEM ON ROADS WITH NATURAL SLOPES IN ESMERALDAS

Montaño-Cañola Sabdy Alejandra <sup>1</sup>; Espinoza-Correa Jesús Enrique <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de la Maestría en Ingeniería Civil Mención Vialidad. Instituto de Posgrado, Universidad Técnica de Manabí (UTM). Portoviejo, Ecuador. Correo: smontano7960@gmail.com. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9058-4676>.

<sup>2</sup>Docente del Instituto de Posgrado, Universidad Técnica de Manabí (UTM). Portoviejo, Ecuador. Correo: [jesus.espinoza@utm.edu.ec](mailto:jesus.espinoza@utm.edu.ec). ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4140-2618>.

### Resumen

Por efecto de la problemática ocasionada a raíz de la urbanización inadecuada de múltiples lugares y el diseño ineficiente de sistemas de drenaje, las grandes zonas urbanizadas se enfrentan a retos de índole técnico en la gestión del agua de lluvia que se genera principalmente en las estaciones invernales. En ese sentido, el objetivo de esta investigación radica en determinar la viabilidad de implementar una alternativa para el control y regulación de las inundaciones en vías de Esmeraldas, Ecuador a través de un sistema urbano de drenaje sostenible. Para ello, esta investigación pretende evaluar un sistema urbano de drenaje sostenible como alternativa para la gestión de inundaciones en vías de Esmeraldas, Ecuador. En este contexto, en primera instancia se establece una revisión del marco teórico y referencial de estudios relacionados con los sistemas de drenaje sostenibles. Por otro lado, se analiza la modelación del comportamiento hidráulico del sistema de drenaje en vías de Esmeraldas, Ecuador; en última instancia, se propone una alternativa de gestión de aguas lluvia en vías a partir de un sistema de drenaje sostenible. Los principales resultados sugieren que el sistema de drenaje sostenible planteado es una alternativa factible para la gestión de escorrentías de aguas lluvias en vías.

**Palabras claves:** sistema de drenaje, comportamiento hidráulico.

### Abstract

Due to the problems caused by the inadequate urbanization of multiple places and the inefficient design of drainage systems, large urbanized areas face technical challenges in the management of rainwater that is generated mainly in winter seasons. In this sense, the objective of this research lies in determining the feasibility of implementing an alternative for the control and regulation of flooding on roads with natural slopes in Esmeraldas, Ecuador through a sustainable urban drainage system. For this, this research aims to evaluate a sustainable urban drainage system as an alternative for flood management on roads in Esmeraldas, Ecuador. In this context, in the first instance, a review of the theoretical and referential framework of studies related to sustainable drainage systems is established. On the other hand, the modeling of the hydraulic behavior of the drainage system on roads in Esmeraldas, Ecuador, is analyzed. Ultimately, a rainwater management alternative is proposed on roads with natural slopes based on a sustainable drainage system. The main results suggest that the proposed sustainable drainage system is a feasible alternative for the management of rainwater runoff on roads.

**Keywords:** drainage system, hydraulic behavior.

### Información del manuscrito:

**Fecha de recepción:** 06 de junio de 2022.

**Fecha de aceptación:** 26 de agosto de 2022.

**Fecha de publicación:** 08 de septiembre de 2022.



## 1. Introducción

En los últimos años el mundo se ha visto afectado por el impacto del cambio climático, dando como resultado temporadas de lluvias más largas y también periodos extensos de sequía, ocasionando múltiples problemas de inundaciones, creciendo la necesidad de mejorar el uso y aplicación de nuestros sistemas urbanos de drenajes para optimizar la calidad de vida de las personas a través de la construcción de entornos saludables y sostenibles.

Las actividades humanas y la excesiva urbanización de áreas que se conectan con las fuentes de las redes hidrográficas, ocasionan alteraciones en la estructura vial, lo que afecta directamente a la capacidad de desagüe, pudiendo generar inundaciones por el incremento en el coeficiente de escorrentía, llevándonos a tener como punto de partida el análisis de la capacidad de nuestros sistemas de drenaje.

Esto nos lleva a la búsqueda de evaluar las escorrentías originadas por la lluvia a partir de un enfoque sostenible que cumpla con criterios

de viabilidad social, ambiental, urbanística y paisajística, con un estricto énfasis en la efectividad del control y atenuación de las aguas pluviales (Wang et al., 2017). En particular en la provincia de Esmeraldas, existe una gran cantidad de sistemas de drenaje urbano que no cumplen efectivamente su funcionalidad, generando inconvenientes en la gestión hídrica de las escorrentías, ocasionando inundaciones que ponen en peligro las estructuras de las vías.

La presente investigación busca evaluar la factibilidad de un sistema de drenaje urbano sostenible, generando una guía como propuesta para mitigar las inundaciones provocadas por las escorrentías de aguas lluvias; aportando herramientas, con elementos de convicción tanto en el área técnica como ambiental, integrando de tal manera que haya un aporte en el encauzamiento de las aguas, prevención de inundaciones, mantenimiento ecológico y paisajístico, para su aplicación en otros sectores de la provincia de Esmeraldas y el país.



## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Descripción de la zona de estudio

Esmeraldas es una de las 24 provincias que conforman la República del Ecuador. Está situada en la zona geográfica conocida como región litoral o costa. Su capital administrativa es la ciudad de Esmeraldas, la cual además es su urbe más grande y poblada. Ocupa un territorio de unos 14.893 km<sup>2</sup>, siendo la séptima provincia del país por extensión. La provincia de Esmeraldas es conocida, además de por sus hermosas playas, sus paisajes exuberantes y su clima cálido y húmedo, por ser tradicionalmente el territorio afroecuatoriano por excelencia.

El punto de drenaje donde se recoge todo el caudal de la cuenca, se desarrolla en un terreno ondulado; cuenta con áreas de tierras cultivadas, zonas con árboles, áreas pobladas y pastizales, las cuales se encuentran en zonas montañosas y de pendientes elevadas.

En este sitio se realizó el recorrido de donde se proyectará un ducto cajón y un canal de drenaje de ciertas

dimensiones, constatando los puntos más conflictivos y puntos donde escurren pequeños caudales, los cuales escurren a través de la nueva ruta. Es fundamental conocer el funcionamiento hidráulico, sus diámetros o secciones y estado de las microcuencas, de las cuales se aporta el caudal.

La zona de influencia de la vía se encuentra poblada, sus habitantes se dedican fundamentalmente a la agricultura, a la ganadería, pesca y comercio, en esta misma zona se encuentran ubicados también algunos balnearios y centros turísticos importantes.

De acuerdo con la información climatológica obtenida en la Estación Pluviométrica QUININDE (CONV. MADRES LAURITAS) (año 2012), la cual es de las pocas que presenta información en el sector, la temperatura media anual es de 25.52°C, la mínima promedio 22.0°C y la máxima 30.3°C.

La humedad relativa promedio es de 86%, siendo los meses más húmedos febrero y marzo con valores superiores al 93%. La heliofanía anual es de aproximadamente 1009.4 horas.

El período de registro indica que la evaporación anual es de 752mm, que la precipitación media anual es del orden de 2646.2 mm, y que aproximadamente el 80% de este valor corresponde a los cuatro primeros meses del año, esto es, de enero a mayo.

Los meses más lluviosos son abril y mayo, con un promedio multianual

de 526.1 y 521.6 mm respectivamente.

Los años más lluviosos han sido 1983, 1998 y 1997, con 1790, 1700 y 1350mm respectivamente que corresponden a los períodos de ocurrencia de los fenómenos El Niño 82-83 y 97-98.

**Imagen 1.** Tomada del google – Ubicación geográfica de Esmeraldas.



## 2.2. Diseño del estudio

Para el desarrollo de la modelación de la cuenca de una quebrada en el sitio Vuelta larga de la provincia de Esmeraldas se desarrollaron varios procedimientos que se describen a continuación:

## 1. Recopilación de información

Instituto Geográfico Militar- Ecuador (cartas topográficas escala 1:50.000, formato Shape, tipos y de usos del suelo, poblaciones, cursos de agua, red vial.)



INAMHI - Ecuador (Información meteorológica y climatológica, determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación)

## **2. Caracterización de zona de estudio**

Visita de campo en la zona de estudio, tomando la cota máxima crecientes en época de invierno, áreas afectadas, georreferenciación por medio de coordenadas, ancho del cauce, obras de protección en los márgenes del río, medidas aproximadas de la obra.

## **3. Caracterización y análisis hidrológico**

A partir de los datos de curva de nivel, se delimita la microcuenca, subcuenca o cuenca hidrográfica según sea el caso. Determinación de parámetros morfológicos de la microcuenca de la quebrada a través del uso del software ArcGis.

Estimación y cálculo de caudales con la ayuda de las intensidades de precipitación de las estaciones meteorológicas cerca de la zona de estudio por el método racional, utilizando las curvas IDF (intensidad, duración y frecuencia) y por el

método del número de curva del SCS (Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos), para obtener el hietograma de precipitación y posteriormente insertarlo en el software HEC HMS.

Calculo del caudal pico en la microcuenca a través de las intensidades de la estación meteorológica Esmeraldas Tachina – INAMHI, la cual era la única disponible en la zona del proyecto.

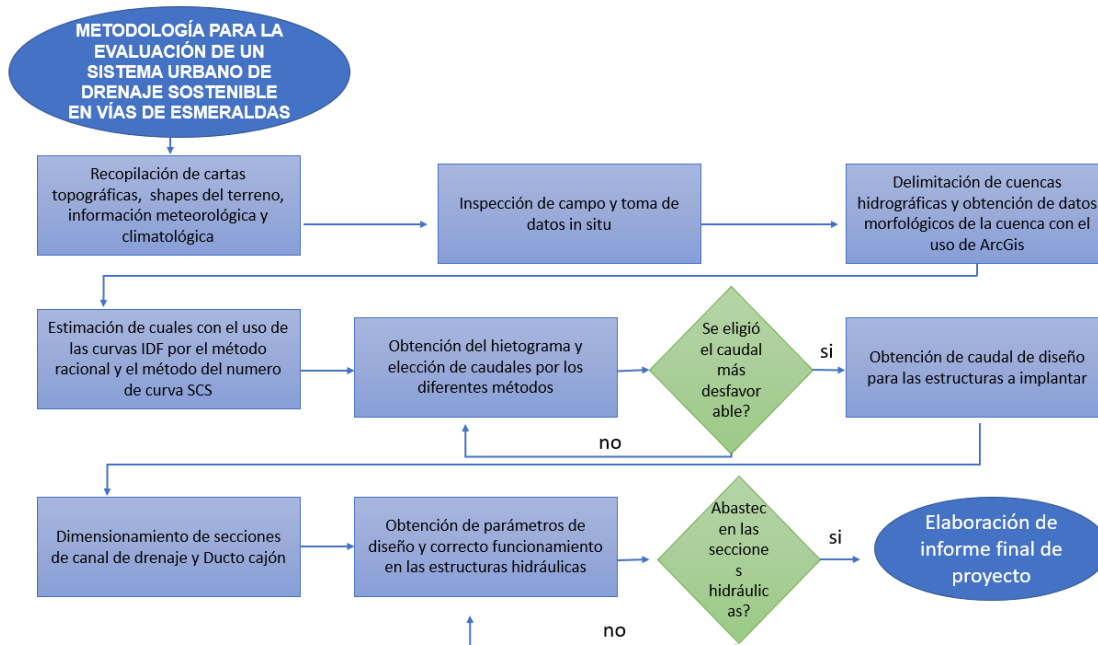
## **4. Caracterización y modelación hidráulica**

Obtenido los caudales por el método racional y el método del número de curva se procedió a obtener los parámetros hidráulicos en el software H-Canales.

Al conocer el material sobre el que funcionara la obra, se determinan parámetros y coeficientes como el número de Manning, y al conocer el caudal máximo en ese sitio se procedió a determinar las secciones que estas obras van a captar y soportar sin fallar o sobrepasar su capacidad, es decir su pendiente, velocidades, área hidráulica, radio hidráulico, talud entre otros valores

relevantes para la obtención de un tipo de flujo favorable.

**Imagen 2.** Diagrama de flujograma: Metodología de Evaluación de un SUDS - Elaboración propia



### 2.3. Proceso estadístico.

El punto donde se origina este estudio se localiza en la provincia de Esmeraldas y se desarrolla en la población de Vuelta Larga; su cuenca se extiende desde las coordenadas  $X=639678.132$   $Y=98323.238$  y descarga sus aguas en el punto  $X=643223.55$   $Y=98907.322$ . El actual camino dispone de estructuras de drenaje menores, como alcantarillas tubulares y ductos cajón, los cuales son alimentados por una cuenca hidrográfica. La misma que a su vez, les aporta un caudal que es

conducido a través de un canal hidráulico hacia sus secciones.

En épocas invernales cuando ocurren precipitaciones extraordinarias, las estructuras hidráulicas citadas anteriormente, sufren de reboses debido a su falta de sección para captar conducir y descargar correctamente los caudales; se han podido determinar valores de caudales y delimitar una cuenca hidrográfica aportante para el punto de drenaje a analizar. El área de influencia de la vía en estudio se ubica en la zona de la Estación ESMERALDAS TACHINA,

de la zonificación de intensidades de lluvia, publicadas por el INAMHI (ver libro de ecuaciones de intensidades

del INAMHI página N°201), cuyas ecuaciones son:

$$5 \text{ min} < t < 52.69 \text{ min} \gg I_t, I_{t,T_r} = 36.140 * t^{-0.236} * I_d$$

$$52.69 \text{ min} < t < 1440 \text{ min} \gg I_t, I_{t,T_r} = 309.85 * t^{-0.778} * I_d$$

$I_t, T_r$  intensidad máxima de lluvia con duración  $t$  y período de retorno de  $T_r$  mm/h

$t$  duración de la lluvia en minutos

$I_d$  intensidad diaria para un período de retorno de  $T_r$

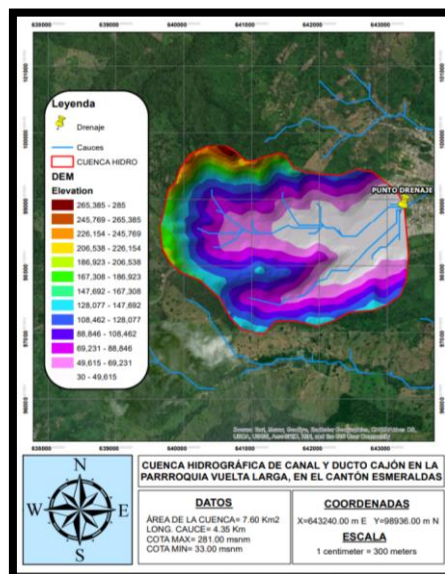
$I_d = P_d/24$  mm/hora

$P_d$  precipitación diaria (precipitación máxima 24 horas) mm

Mediante el software Arc Gis, se pudo delimitar una microcuenca hidrográfica y demás parámetros morfológicos de la misma, generándose también una red hídrica y diferencias de altitudes en la zona del proyecto.

Se presenta a continuación la imagen 3 un mapa con leyenda de la microcuenca generada con sus componentes morfológicos.

**Imagen 3.** Tomada del ARC GIS: Cuenca Hidrográfica, punto de drenaje crítico (canal y ducto cajón), ubicado en la Vía Atacames de la Parroquia Vuelta larga.



## 2.4. Diseño del sistema

### 2.4.1. Gasto máximo de la cuenca

#### 2.4.1.1. Método Racional Generalizado (Cálculo con Fórmula)

El método Racional es el modelo más antiguo de la relación lluvia-escorrimento y debido a su sencillez es uno de los más utilizados; se basa

en considerar que, sobre el área estudiada se tiene una lluvia uniforme durante un cierto tiempo, de manera que el escurrimiento en la cuenca se establezca y se tenga un caudal constante en la descarga.

La expresión general del método racional generalizado es la siguiente formula:

$$Q = (C * I * A) / 360$$

|        |   |                            |                   |
|--------|---|----------------------------|-------------------|
| Dónde: | Q | caudal de diseño           | m <sup>3</sup> /s |
|        | C | coeficiente de escorrentía | adimensional      |
|        | I | intensidad de lluvia       | mm/hora           |
|        | A | área de drenaje            | Has               |

### CAUDALES MÁXIMOS APORTANTES DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS.

**Tabla 1.** Datos para determinación del caudal con el que trabaja el canal y el ducto (método racional)

| Nº | CUENCAS    | COORDENADAS           | AREA km <sup>2</sup> | LONG. Km (TOTAL) | DESNIVEL (m) | Tc (horas) | Tc (min) | C    | ldr <sub>r</sub> | k     | n    | l <sub>e</sub> (mm/h) | I (mm) | Q (m <sup>3</sup> /s) | Tr |
|----|------------|-----------------------|----------------------|------------------|--------------|------------|----------|------|------------------|-------|------|-----------------------|--------|-----------------------|----|
| 1  | DUCTOCAJÓN | X643240.00 Y=98936.00 | 7.61                 | 4.35             | 248.00       | 0.62       | 37.19    | 0.40 | 6.24             | 36.14 | 0.24 | 96.06                 | 59.55  | 81.19                 | 50 |

Caudal por el método Racional Generalizado = **81.19 m<sup>3</sup>/s**

#### 2.4.1.2. Método del hidrograma unitario triangular S.C.S (Programa HEC-HMS)

Para la aplicación del método del Hidrograma se ha utilizado el programa HEC-HMS, para lo cual se

requirieron los parámetros siguientes:

- Método del Hidrograma Unitario Triangular S.C.S. (Servicio de Conservación de Suelos – USA)

- Método de pérdidas (S.C.S.)
  - Precipitación total: ( $T_c * I_{TR}$ )
  - Tiempo de concentración( $t_c$ )
  - Tiempo de retardo ( $t_r$ ):  $0.6(t_c)$
  - Curva CN: 81.70 (S.C.S.)
- Los datos arrojados por el software HEC HMS son los siguientes:

**Imagen 4.** Tomada del HEC-HMS: Datos arrojados de la corrida del programa.

Project: DUCTO CAJÓN ESMERALDAS    Simulation Run: Run 1

Start of Run: 17mar2022, 00:00      Basin Model: Basin 1

End of Run: 18mar2022, 20:00      Meteorologic Model: Met 1

Compute Time: 17mar2022, 14:38:49      Control Specifications: Control 1

Show Elements: 

All Elements

 Volum... ☒ MM ☐ 100C Sorting: 

Hydrologic

| Hydrologic Element | Drainage A... (KM2) | Peak Disch... (M3/S) | Time of Peak     | Volume (MM) |
|--------------------|---------------------|----------------------|------------------|-------------|
| Subbasin-1         | 7.61                | 93.8                 | 17mar2022, 06:00 | 880.95      |

El caudal de diseño de la crecida máxima, seleccionado para un período de retorno.

$T_r = 50$  años para quebrada S/N, es el siguiente:

**$Q_{50}$  QUEBRADA = 93.8 m<sup>3</sup>/s.**

#### 2.4.2. Sistema de conducción del agua

**Determinación de dimensiones y caudales para el funcionamiento óptimo del Ducto y Canal.**

Para el diseño se utilizó la fórmula conocida de Manning, con el Programa de Aplicación Hidráulica

Hcanales, obteniéndose los parámetros hidráulicos necesarios de las dimensiones de secciones, tirantes, velocidades, gradientes y comportamientos del flujo, que conllevan a definir la sección rectangular o circular de las alcantarillas a diseñarse.

Bajo estas consideraciones, el procedimiento de cálculo para el diseño hidráulico de alcantarillas rectangulares o circulares, para la evacuación de flujos, es el siguiente:

**FORMULA DE MANNING:**

$$Q = A \times V \quad \text{m}^3 / \text{seg}$$

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \text{ m/seg}$$

$$Q = A \times \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \text{ m}^3/\text{seg.}$$

**Donde:**

Q = Caudal máximo (m3/seg.)

A = Area de Sección Hidráulica (m2.)

V = Velocidad de flujo (m/seg.)

n = Coeficiente de rugosidad o de Manning (adimensional).

S = Pendiente hidráulica (m/m)

R = Radio hidráulico (m.)

En la corrida del Programa para flujo uniforme, se asumieron como variables conocidas, el caudal, ancho de base, pendiente hidráulica y coeficiente de rugosidad, resolviéndose por el más aconsejable tirante hidráulico, la correspondiente velocidad, carga de

velocidad, energía específica y número de Froude que no supere el valor de 1, para mantener la condición de flujo subcrítico, minimizando las turbulencias y velocidades altamente erosivas, que pudieren producirse.

El caudal a utilizar será el calculado por el **método del hidrograma unitario triangular S.C.S**, dado que es el caudal más desfavorable para el dimensionamiento de las obras, el cual es de **93.8 m3/s**.

### Ducto cajón (Programa HCANALES)

Una vez ingresados los datos al software se puede evidenciar los resultados a partir del caudal de 93.8 m3/s, el cual es el más desfavorable y fue obtenido

mediante el método del hidrograma unitario. Actualmente se encuentra un ducto cajón de 3m de base por 3m de altura.

**Imagen 5..** Tomada del HCANALES: Datos arrojados de la corrida del programa, con el caudal de 93.8 m3/s.



**Datos:**

|                               |       |     |
|-------------------------------|-------|-----|
| Tirante (y):                  | 3.5   | m   |
| Ancho de solera (b):          | 6     | m   |
| Talud (Z):                    | 0     |     |
| Coeficiente de rugosidad (n): | 0.013 |     |
| Pendiente (S):                | 0.003 | m/m |

**Resultados:**

|                       |            |      |                         |         |         |
|-----------------------|------------|------|-------------------------|---------|---------|
| Caudal (Q):           | 121.8112   | m3/s | Velocidad (v):          | 5.8005  | m/s     |
| Area hidráulica (A):  | 21.0000    | m2   | Perímetro (p):          | 13.0000 | m       |
| Radio hidráulico (R): | 1.6154     | m    | Espejo de agua (T):     | 6.0000  | m       |
| Número de Froude (F): | 0.9893     |      | Energía específica (E): | 5.2149  | m·Kg/Kg |
| Tipo de flujo:        | Subcrítico |      |                         |         |         |

The interface also includes a diagram of a rectangular duct with dimensions labeled: T (total width), y (water depth), b (bottom width), and T (total height).



La imagen 5, nos da como resultado la capacidad del nuevo canal será de **106.89m<sup>3</sup>/s**, la cual es mayor a la de aportación de la cuenca hidrográfica de **93.8m<sup>3</sup>/s**.

#### **2.4.3. Aprovechamiento sostenible del agua pluvial**

Desde la última década ha sido creciente el interés en la gestión integrada del agua urbana y la idea de que las aguas pluviales urbanas podrían proporcionar un valioso recurso de agua; en general, este concepto se ocupa de posibilitar una gestión más sostenible de los ambientes pluviales urbanos. La necesidad de afrontar la gestión de las aguas pluviales desde una perspectiva diferente a la convencional, que combine aspectos hidrológicos, medioambientales y sociales, está llevando a un rápido aumento a nivel mundial del uso de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) (Arturo Ojeda, 2020)

Por otra parte, la escorrentía del agua pluvial en general en las cuencas urbanas debe ser canalizada con enfoques más sustentables para lograr un mejor aprovechamiento y a su vez,

disminuir la problemática de las inundaciones y los riesgos de daños a la infraestructura. Una forma de lograr lo anterior es disminuyendo la escorrentía de agua.

El este sentido se propone un proceso donde el agua se infiltre de manera natural en el subsuelo del canal, tomando en cuenta el redimensionamiento para el caudal calculado de 106.89m<sup>3</sup>/s.

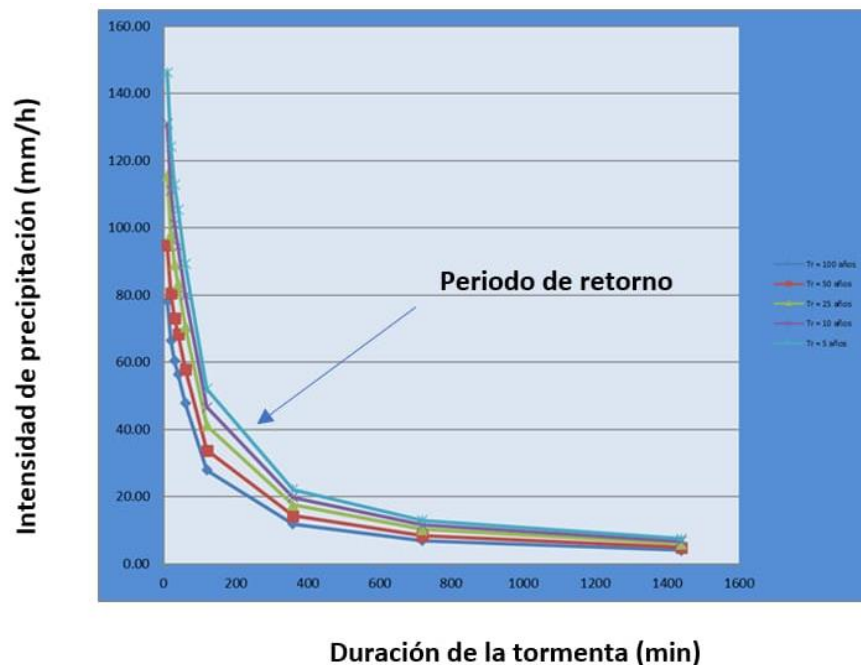
### **3. Resultados**

Los estudios hidrológicos de las cuencas aportantes permiten establecer los caudales requeridos para determinar el diseño de las obras de arte menor, para el buen funcionamiento de la vía. Para ello, se identifican las cuencas receptoras de las lluvias que generan los escurrimientos a través de las pendientes de los cauces naturales, que a su vez tributan hacia el cauce mayor o colector principal que en su recorrido cruza la vía objeto del estudio.

Al procesar la información de precipitaciones máximas diarias, se obtuvo la relación de lluvias, máximas diarias en 24 horas para diversas duraciones de tormenta y

periodos de retorno, representadas en las curvas P-d-Tr, es la mostrada en la Imagen 6:

**Imagen 6.** Curva IDF – Elaboración propia



Se escogió el valor de 6.24mm/h para el periodo de retorno de 50 años, con el cual serán diseñados tanto el canal de drenaje y el ducto cajón.

Con el método del hidrograma unitario, definido como el hidrograma de escorrentía directa resultante de una pulgada de exceso de lluvia, generado uniformemente sobre el área de drenaje a una tasa constante a lo largo de una duración efectiva, se han calculado para cada cuenca hidrográfica, con la aplicación de corridas del programa HEC-HMS,

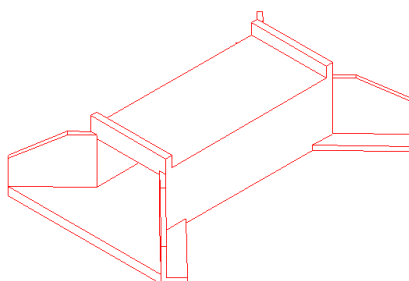
dando con este método el caudal más desfavorable  **$Q_{50}$  QUEBRADA = 93.8 m<sup>3</sup>/s.**

Actualmente se encuentra implantado un ducto cajón de 3m de base por 3m de altura. El cual puede soportar un caudal máximo de 65.67m<sup>3</sup>/s según las condiciones y pendiente en el que fue construido, Se analizó la alternativa de adoptar una sección de máxima eficiencia hidráulica, la cual nos daría la capacidad de transportar la máxima cantidad de agua con el menor perímetro posible. A continuación, se

presentan los datos obtenidos: Las secciones obtenidas para la mayor eficiencia hidráulica son: 2.93m de altura, 5.87m de ancho de solera, pendiente de 0.3%. Por lo cual se propone adoptar dimensiones de 3.5m de alto por 6m de ancho de solera, se muestra el diseño en el gráfico 1. La capacidad del nuevo

ducto cajón será de 121.81m<sup>3</sup>/s, la cual es mayor que la de aportación de la cuenca hidrográfica de 93.8m<sup>3</sup>/s. Se ha obtenido resultados favorables en cuanto a la velocidad de flujo con la pendiente de 0.3%, ya que no pasa de 6m/s que es la máxima velocidad permitida para el hormigón.

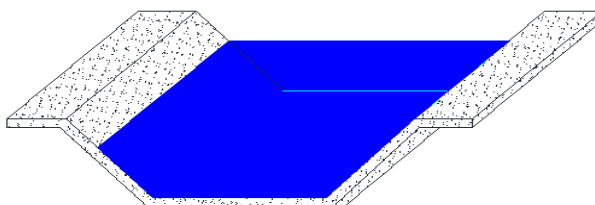
**Gráfico 1.** Diseño del ducto cajón de hormigón armado – Elaboración propia.



Para el canal se calcularon las secciones de máxima eficiencia hidráulica con recubrimiento de suelo natural para el nuevo canal de drenaje propuesto y son las siguientes: Se propone adoptar

dimensiones de 3.5m de alto por 3.5m de ancho de solera, y 0.5 de talud. La capacidad del nuevo canal será de 106.89m<sup>3</sup>/s, la cual es mayor a la de aportación de la cuenca hidrográfica de 93.8m<sup>3</sup>/s.

**Gráfico 2.** Canal en estado natural - Elaboración propia.



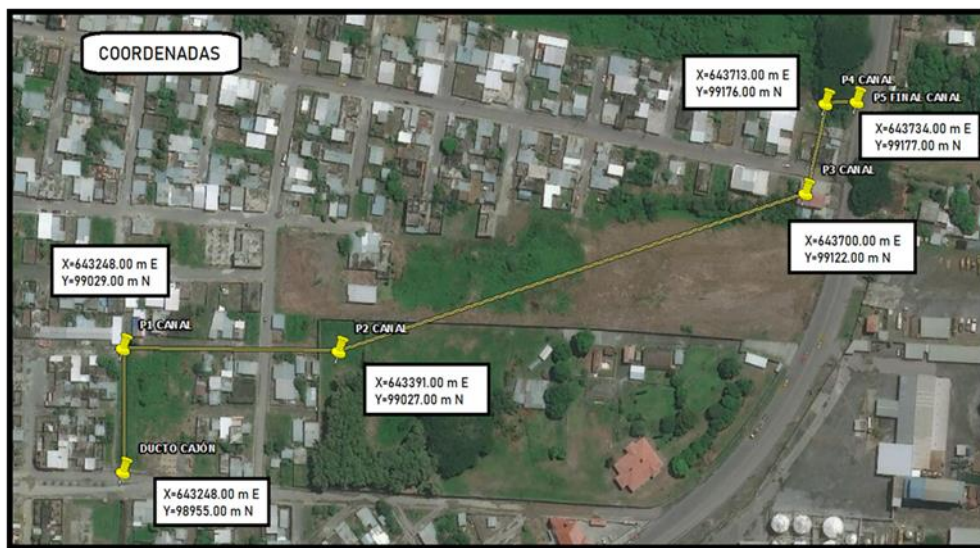
En el presente documento se propone un estudio realizado al sitio Vuelta Larga del cantón Esmeraldas, el cual abarca un punto específico de

este lugar, donde se genera un empozamiento de aguas lluvias, debido a que las estructuras existentes no cuentan con la

capacidad hidráulica suficiente para captar, conducir y descargar los caudales provenientes de la parte alta de su microcuenca aportante, a continuación en la imagen 9 se puede visualizar el transito del agua

desde el punto crítico de la cuenca que es el ducto cajón, pasando por el canal en estado natural y avanzando por una tubería hasta el punto más próximo en el sistema de drenaje existente.

**Imagen 7.** Recorrido del aprovechamiento pluvial de las aguas recolectadas



Mediante la aplicación de diferentes pasos como lo pueden ser el estudio de la cuenca hidrográfica aportante con su morfología, podemos estimar caudales por diferentes métodos hidrológicos, los mismos que utilizaran ecuaciones de precipitaciones máximas y formulas aplicadas sea el caso de cada una de ellas y nos permitirán obtener un aproximado de los caudales de diseño que se podrán usar para dimensionar correctamente las obras hidráulicas; las cuales podrán mitigar el impacto de las tormentas

que inundan el sector Vuelta Larga en el cantón Esmeraldas. Permitiendo que el canal en su estado natural y con las dimensiones propuestas, pueda permitir el paso del agua al subsuelo y mitigando así las inundaciones en este punto crítico de la recolección de las aguas, aportando al aprovechamiento sustentable del agua pluvial.



#### 4. Conclusiones

- Mediante el uso de herramientas bibliográficas publicadas en libros, artículos científicos y publicaciones de internet; se pudo identificar conceptos básicos acerca de los eslabones que involucran un sistema de drenaje de aguas pluviales, tales como de donde proviene el agua en la naturaleza y su comportamiento, que es una cuenca hidrográfica y como se delimita, que son las estaciones meteorológicas y anuarios meteorológicos, métodos hidrológicos de determinación de caudales, diseño y análisis de estructuras hidráulicas, entre otros.
- Se analizó hidrológicamente la zona de estudio mediante el software aplicado Arc Gis, en busca de las cuencas hidrográficas aportantes al sector Vuelta Larga del cantón Esmeraldas, identificando los parámetros morfológicos de la microcuenca aportante al punto de drenaje en estudio, encontrando que se área se aproxima a los 7.60 km<sup>2</sup>, una longitud de cauce de 4.35 km, la cota máxima de 281 msnm y una cota mínima de 33 msnm.
- Se utilizaron dos métodos de estimación de caudales hidrológicos, el método racional generalizado y el método del hidrograma unitario triangular, en los cuales mediante el uso de diversos datos base para la aplicaciones de las fórmulas de cada método, se logró obtener un caudal aproximado; el cual es de 81.19m<sup>3</sup>/s para el caso del método racional generalizado y 93.8m<sup>3</sup>/s para el caso del método del hidrograma unitario triangular (SCS), siendo escogido como caudal de diseño el ultimo mencionado al ser este el más desfavorable.
- Se analizó la capacidad que necesitarán las estructuras hidráulicas que captaran conducirán y evacuaran el caudal proveniente de la parte alta de la cuenca, con respecto al caudal de diseño obtenido por el método del hidrograma unitario triangular (SCS), dando como resultado un canal con las siguientes secciones: Tirante: 3m, Base mayor: 5m, Base menor: 1.5m, Talud: 1:0.6, Pendiente: 0.01 = 1%. Así mismo se obtuvieron las secciones del ducto cajón propuesto, las cuales serán de: 6m de base y 3.5m de altura.

- Se planteó los lineamientos fundamentales para la implementación de una metodología con aplicaciones teórica prácticas para evaluar o crear de un sistema de drenaje sostenible, el cual consiste en captar el agua y dirigirla por un canal de tierra para generar filtración de agua al subsuelo. Teniendo como resultado de esta investigación un diagrama de flujo de una metodología con un lenguaje técnico, fácil de entender y el cual se pueda aplicar a posteriores análisis.

## Bibliografía

- Andrés-Doménech, Ignacio & Anta, Jose & Perales-Momparler, Sara & Rodriguez-Hernandez, Jorge. (2021). Sustainable Urban Drainage Systems in Spain: A Diagnosis. Sustainability. 2021. 2791. 10.3390/su13052791.
- Barreto, Wilmer & Ramos, N & Castro, K & Torres, Jay & Torres, R & Picon, Ricardo. (2020). Development of a GIS Tool for Sustainable Urban Drainage Systems Evaluation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 503. 012033. 10.1088/1755-1315/503/1/012033.
- De la Cruz, A. O., Chávez, C. R. Á., & Llano, D. C. O. (2020). Drenaje pluvial sostenible. Una alternativa de gestión del agua de lluvia en la Universidad de Sonora. CONTEXTO. Revista de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Nuevo León, 14(20). <https://contexto.uanl.mx/index.php/contexto/article/view/192>
- Georgiana, Ioan & Iulian, Iancu & Anton, Anton. (2022). Modelling Sustainable Urban Drainage Systems. Revista Romana de Inginerie Civila/Romanian Journal of Civil Engineering. 13. 119-125. 10.37789/rjce.2022.13.2.1.
- Jackson, J. & Boutle, R. (2022). Ecological status of Sustainable Urban Drainage Systems.
- Ojeda, A., Alvares, C., Orana, D., (2020). Drenaje pluvial sostenible. Una alternativa de gestión del agua de lluvia en la Universidad de Sonora. Contexto Vol. XIV No 20, [http://juanhinojosa,+art.+3+CORREGIDO+-+CONTEXTO+2020+\(1\).pdf](http://juanhinojosa,+art.+3+CORREGIDO+-+CONTEXTO+2020+(1).pdf)
- Poleto, Cristiano & Tassi, Rutineia. (2012). Sustainable Urban Drainage Systems. 10.5772/34491.
- Sañudo-Fontaneda, L. A., Robleda-Alvarez, F., Carrio, R. F.,



- Costales-Campa, C., & Pita, N. V. (2018). Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible y el nuevo paradigma del diseño de las calles verdes para la gestión de las aguas pluviales: Una propuesta para la ciudad histórica de Oviedo. *Revista Ingeniería de Obras Civiles*, 8(2), 35-44. <http://revistas.ufro.cl/ojs/index.php/rioc/article/view/2007>
- drainage system design alternatives. *Journal of Environmental Management*, 201, 145-152. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479717306151>
- Tarazona-Tobo, L. V., Bonilla-Granados, C. A., & Rojas-Suárez, J. P. (2021). Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS): una alternativa integral para el manejo de las aguas lluvias. *Mundo FESC*, 11(21), 140-155. <https://www.fesc.edu.co/Revistas/OJS/index.php/mundofesc/article/view/628>
- Villalba, G. A., Curto, F. A., Malegni, N. J., & Linfante, A. F. (2019). Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible como herramienta para resolver problemas de inundaciones urbanas. Experiencias en Costa Esmeralda. *Aqua-LAC*, 11(2), 39-49. <http://aqua-lac.org/index.php/Aqua-LAC/article/view/237>
- Wang, M., Sweetapple, C., Fu, G., Farmani, R., & Butler, D. (2017). A framework to support decision making in the selection of sustainable