



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Manual técnico para el análisis hidrológico e hidráulico del sistema de drenajes viales mediante aplicativos ofimáticos

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

INGENIERO CIVIL

Autor: Cabrera Guzmán, Sergio Alexander

Director: Benavides Muñoz, Holger Manuel

LOJA

2022



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NC-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

2022

Aprobación del director del Trabajo de Titulación

Loja, 22, de febrero, de 2022

Magister.

Belizarío Amador Zárate Torres

Director de la carrera de Ingeniería Civil

Ciudad.-

De mi consideración:

El presente Trabajo de Titulación denominado: "Manual técnico para el análisis Hidrológico e Hidráulico del sistema de drenajes viales mediante aplicativos ofimáticos" realizado por Sergio Alexander Cabrera Guzmán, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo. Así mismo, doy fe que dicho Trabajo de Titulación ha sido revisado por la herramienta antiplagio institucional.

Particular que comunico para los fines pertinentes.

Atentamente,

Director del PhD Holger Manuel Benavides Muñoz

C.I.: 1103139182

Correo electrónico: hmbenavides@utpl.edu.ec

Declaración de autoría y cesión de derechos

“Yo, Sergio Alexander Cabrera Guzmán, declaro y acepto en forma expresa lo siguiente:

Ser autor(a) del Trabajo de Titulación denominado: Manual técnico para el análisis Hidrológico e Hidráulico del sistema de drenajes viales mediante aplicativos ofimáticos, de la Titulación de Ingeniería Civil, específicamente de los contenidos comprendidos en: Fundamentación Teórica, Capítulo 1. Materiales y Métodos, Capítulo 2. Análisis y Resultados, Capítulo 3, Conclusiones y Recomendaciones Capítulo 4, siendo el Ph.D Holger Manuel Benavides Muñoz, director del presente trabajo; y, en tal virtud, eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones judiciales o administrativas, en relación a la propiedad intelectual. Además, ratifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo son de mi exclusiva responsabilidad.

Que mi obra, producto de mis actividades académicas y de investigación, forma parte del patrimonio de la Universidad Técnica Particular de Loja, de conformidad con el artículo 20, literal j), de la Ley Orgánica de Educación Superior; y, artículo 91 del Estatuto Orgánico de la UTPL, que establece: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”.

Autorizo a la Universidad Técnica Particular de Loja para que pueda hacer uso de mi obra con fines netamente académicos, ya sea de forma impresa, digital y/o electrónica o por cualquier medio conocido o por conocerse, sirviendo el presente instrumento como la fe de mi completo consentimiento; y, para que sea ingresada al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública, en cumplimiento del artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

.....

Autor: Sergio Alexander Cabrera Guzmán

C.I.: 1105330540

Correo electrónico: sacabrera6@utpl.edu.ec

Dedicatoria

Esta tesis está dedicada a:

A mis padres Gladis y Ángel quienes han sido mi pilar y ejemplo, sosteniendo mi mano desde niño y acompañándome en toda esta aventura, para llegar hoy a cumplir un sueño más. A mis hermanos Angélica y Cristian quienes siempre han confiado en mí y me han brindado su ayuda durante todo este proceso de formación. A mis sobrinos David y Michelle que son el significado mismo del futuro, que me impulsa a crecer y ser aún mejor día tras día. A toda mi familia por sus oraciones, consejos y buenas intenciones que permitieron hacer brillar lo mejor de mí.

Finalmente me gustaría dedicar esta tesis a mi novia Alison, quien supo acompañarme, apoyarme y motivarme a lo largo de todo este proceso.

Agradecimiento

Me gustaría expresar mi más sincero agradecimiento al Ph.D Holger Manuel Benavides Muñoz por su tutela en el desarrollo del presente proyecto, de igual manera deseo reconocer la motivación impartida por varios de los docentes para continuar en el camino de la formación para crecer como profesional y ser humano.

Me gustaría agradecer a Dios, por la salud, la vida y el poder tener conmigo a las personas que amo. También agradezco a mis padres por la paciencia, dedicación y sacrificio que sin medida me han brindado. Finalmente, el apoyo de mi compañero Patricio B. quien a sido un apoyo fundamental en la elaboración del trabajo.

Índice de Contenido

| | |
|---|-----|
| Carátula..... | I |
| Aprobación del director del Trabajo de Titulación | II |
| Declaración de autoría y cesión de derechos..... | III |
| Dedicatoria..... | V |
| Agradecimiento | VI |
| Índice de Contenido | VII |
| Resumen | 1 |
| Abstract..... | 2 |
| Introducción | 3 |
| Capítulo uno | 6 |
| Marco teórico..... | 6 |
| 1.1 Sistema de información geográfica..... | 6 |
| 1.2 Fuentes de datos meteorológicos | 6 |
| 1.2.1 <i>Google Earth (CRUTEM4)</i> | 6 |
| 1.2.2 <i>Satélite TRMM</i> | 6 |
| 1.2.3 <i>Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)</i> | 7 |
| 1.2.4 <i>Definición del tiempo de análisis</i> | 7 |
| 1.2.5 <i>Delimitación de una zona de análisis</i> | 7 |
| 1.3 Fundamentos hidrológicos | 7 |
| 1.3.1 <i>Tiempo de concentración</i> | 7 |
| 1.3.1.1 <i>Tiempo de concentración según Témez</i> | 7 |
| 1.3.1.2 <i>Tiempo de concentración según Kirpich</i> | 8 |
| 1.3.1.3 <i>Tiempo de concentración según Fórmula Californiana</i> | 8 |

| | | |
|---------|--|----|
| 1.3.2 | <i>Modelos de infiltración</i> | 8 |
| 1.3.2.1 | Horton..... | 8 |
| 1.3.2.2 | Horton modificada..... | 9 |
| 1.3.2.3 | Green-Ampt..... | 10 |
| 1.3.2.4 | Green-Ampt modificado. | 10 |
| 1.3.2.5 | Número de la curva | 11 |
| 1.3.3 | <i>Modelo de cálculo hidráulico</i> | 11 |
| 1.3.4 | <i>Coeficiente de escorrentía</i> | 12 |
| 1.3.5 | <i>Hidrograma Unitario</i> | 12 |
| 1.3.6 | <i>Método Racional</i> | 12 |
| 1.4 | Fundamentos hidráulicos | 13 |
| 1.4.1 | <i>Velocidad</i> | 13 |
| 1.4.2 | <i>Diámetro en tubería de alcantarillado pluvial</i> | 13 |
| 1.4.3 | <i>Nudos</i> | 13 |
| 1.4.4 | <i>Áreas tributarias para alcantarillado</i> | 13 |
| 1.4.5 | <i>Ecuaciones para pérdidas de carga</i> | 14 |
| 1.4.5.1 | Hazen y Williams. | 14 |
| 1.4.5.2 | Darcy Weisback..... | 14 |
| | Capítulo dos | 16 |
| | Materiales y métodos..... | 16 |
| 2.1 | Área de estudio..... | 16 |
| 2.1.1 | <i>Ubicación geográfica</i> | 16 |
| 2.2 | <i>Materiales</i> | 17 |
| 2.2.1 | <i>Materiales cartográficos</i> | 17 |
| 2.3 | <i>Metodología</i> | 18 |

| | | |
|------------------------------------|--|-----------|
| 2.3.1 | <i>Obtención de datos de precipitación</i> | 18 |
| 2.3.2 | <i>Obtención de datos cartográficos y geográficos</i> | 19 |
| 2.3.3 | <i>Desarrollo del análisis hidráulico</i> | 19 |
| 2.4 | <i>Algoritmo del software</i> | 19 |
| 2.5 | <i>Caso de estudio</i> | 19 |
| 2.5.1 | <i>Generalidades</i> | 19 |
| 2.5.2 | <i>Obtención y procesamiento de datos</i> | 20 |
| 2.5.3 | <i>Morfología de la cuenca</i> | 20 |
| 2.5.4 | <i>Información pluviométrica</i> | 22 |
| 2.5.5 | <i>Precipitaciones</i> | 22 |
| 2.5.6 | <i>Intensidades</i> | 22 |
| 2.5.7 | <i>Caudales</i> | 23 |
| 2.5.8 | <i>Red de alcantarillado pluvial</i> | 23 |
| 2.5.8.1 | <i>Áreas tributarias</i> | 23 |
| 2.5.8.2 | <i>Nudos y pozos</i> | 25 |
| 2.5.8.3 | <i>Cunetas</i> | 25 |
| 2.5.8.4 | <i>Líneas de conexión</i> | 25 |
| Capítulo tres | | 26 |
| Análisis y resultados | | 26 |
| 3.1 | <i>Evaluación de la discrepancia en datos meteorológicos</i> | 26 |
| 3.2 | <i>Intensidad máxima diaria</i> | 26 |
| 3.3 | <i>Resultados hidráulicos diseño del autor</i> | 26 |
| 3.4 | <i>Resultados de análisis hidráulicos con SWMM</i> | 27 |
| 3.5 | <i>Resultado manual técnico</i> | 31 |
| 3.6 | <i>Resultado perfiles hidráulicos</i> | 31 |

| | |
|-----------------------------|-----------|
| Conclusiones | 32 |
| Recomendaciones..... | 33 |
| Referencias..... | 34 |

Índice de Tablas

| | |
|--|------|
| Tabla 1 Morfología de la cuenca | 20 |
| Tabla 2 Información de estaciones pluviométricas | 1621 |
| Tabla 3 Ecuación de intensidad de la zona de estudio | 21 |
| Tabla 4 Áreas tributarias para el sistema de alcantarillado pluvial | 23 |
| Tabla 5 Resumen de cotas y cortes..... | 24 |
| Tabla 6 Intensidad máxima diaria | 25 |
| Tabla 7 Resumen de caudales en red de Alcantarillado | 1625 |
| Tabla 8 Resumen de cotas, velocidades y pendientes para cunetas..... | 26 |
| Tabla 9 Caudales, velocidades y pendientes para alcantarillado..... | 26 |
| Tabla 10 Caudal máximo del nudo de desembocadura de la cuenca | 26 |
| Tabla 11 Caudales en el nudo de vertido o punto de interés..... | 27 |
| Tabla 12 Resumen de caudales obtenidos y previos | 27 |
| Tabla 13 Niveles de conexiones de alcantarillado..... | 28 |
| Tabla 14 Resumen de volúmenes de aporte de alcantarillado | 29 |
| Tabla 15 Resumen de caudales y diámetros en los conductos de alcantarillado..... | 29 |
| Tabla 16 Apreciación de resultados del autor con relación a los del software | 30 |

Índice de Figuras

| | |
|--|-----|
| Figura 1 Ábaco, actual y potencial infiltración | 9 |
| Figura 2 Vista satelital de la zona de interés..... | 165 |
| Figura 3 Mapa hidrológico de la zona de interes | 176 |
| Figura 4 Cuenca Río Malacatos, desde Podocarpus hasta Rumishitana..... | 20 |
| Figura 5 Áreas tributarias para el sistema de alcantarillado | 23 |

Resumen

Las herramientas ofimáticas nos han permitido idoneizar los procesos de cálculo y evaluación de estructuras hidráulicas y procesos hidrológicos, existe una gran demanda enfocada a la apreciación y discernimiento de información, fundamentada en la necesidad de desarrollar aptitudes en torno a este creciente campo. Este trabajo consiste en la elaboración de un manual técnico para la aplicación de software especializado de acceso libre, mediante el análisis de su contenido y de la información requerida por el mismo, para con ello lograr entender el desarrollo del algoritmo matemático impuesto en el software y evidenciar el proceso que se lleva a cabo. Para complementar el manual, se presenta un caso de estudio en donde se aplica todo el proceso descrito, por medio de un ejemplo didáctico que es contrastado con información ya existente de un estudio previo.

La información obtenida demostró que existe una estrecha relación entre los resultados de otras fuentes con proximidad para la fase hidrológica de caudales y en el análisis del sistema hidráulico, con respecto a los resultados obtenidos en la evaluación realizada por la herramienta ofimática.

Palabras clave: Ofimáticas, manual, didáctico.

Abstract

The office automation tools have allowed us to make the processes of calculation and evaluation of hydraulic structures and hydrological processes more suitable, there is a great demand focused on the appreciation and discernment of information, based on the need to develop skills in this growing field. This work consists of the elaboration of a technical manual for the application of specialised open access software, through the analysis of its content and the information required by it, in order to understand the development of the mathematical algorithm imposed on the software and to demonstrate the process that is carried out. To complement the manual, a case study is presented in which the whole process described is applied, by means of a didactic example that is contrasted with existing information from a previous study.

The information obtained showed that there is a close relationship between the results of other sources with proximity for the hydrological phase of flow and the analysis of the hydraulic system, with respect to the results obtained in the evaluation carried out by the office automation tool.

Keywords: Office automation, manual, didactic.

Introducción

La historia señala a los Romanos como pioneros en la construcción de vías, siendo aquellas obras un elemento de vital importancia para la economía (Carmagnani et al., 2016). No obstante, tardaron veinte siglos en entender la necesidad de un sistema de drenaje, que evite los efectos negativos provocados por el escurrimiento superficial (Dávila y Torres, 2010).

En palabras de Chang et al. (2015), es esencial desarrollar un sistema de drenaje idóneo y funcional que pueda desenvolverse sin percances en temporadas de lluvia, logrando una movilidad segura, con un formato adecuado y económico, que permita la protección de la obra (O. Soriano, 2006). Cabe mencionar que, para el análisis de éste, se deberán considerar los episodios de lluvia extrema que puedan llegar a suceder, evitando resultados desastrosos (Benavides y Pucha, 2021).

Al momento de implementar un sistema de drenaje en una carretera, el estudio se vuelve aún más profundo debido a que la implementación de una carretera altera directamente la dinámica de los cauces y drenajes naturales (Iturbe, 2017). Debido a esto se han creado diversos softwares de cálculo computacional que permiten determinar con mayor facilidad el impacto de la escorrentía (Angulo y Sánchez, 2018).

Pontes et al (2017) afirma que los modelos hidrológicos son herramientas útiles que nos permiten analizar y evaluar variables de interés tomando en cuenta posibles impactos del cambio climático; cabe mencionar que existe una falta de socialización sobre el manejo y precisión de cada una de las herramientas que nos permiten dicho análisis (Sohn et al., 2020), sin embargo existen metodologías innovadoras relacionadas a la cuantificación de la incertidumbre que pueden ser aplicadas para análisis hidrológicos (Zhang et al., 2015).

Para dimensionar el proyecto, se parte de un modelo hidráulico que permite la estimación del caudal que será interceptado, determinado por factores variables a lo largo del tiempo (Benavides y Pucha, 2021). Los métodos numéricos son considerados como una interpretación física clara de la estructura del modelo a partir de las ecuaciones hidrodinámicas (Huang y Lee, 2020).

El mundo se ha envuelto en la tecnología, con una búsqueda latente enfocada a facilitar los procesos humanos (Yucra, 2020), en este caso, la implementación de satélites, estaciones pluviométricas y demás herramientas dan a conocer con mayor precisión y facilidad toda la información relacionada a las características hidrológicas e hidráulicas de un área definida (Feldman, 2002).

Se plantea, mediante la elaboración de una guía técnica, desarrollar el análisis y validación de las herramientas ofimáticas que permitan mejorar la eficiencia en cálculos relacionados a las características hidrológicas e hidráulicas, así como el diseño de alcantarillado vial, mediante procesos definidos por cada software.

Como objetivo general, busca desarrollar una guía técnica de manejo de paquetes informáticos, a partir de casos prácticos, ejemplos de aplicación y ejercicios resueltos que facilitan la comprensión del cálculo hidrológico e hidráulico aplicado a los sistemas de drenajes viales.

Sus objetivos específicos son: Analizar y seleccionar aplicativos web, paquetes computacionales y ofimática general para el cálculo hidrológico e hidráulico aplicado a drenajes viales, de igual manera estructurar una guía didáctica para el manejo de los aplicativos webs, paquetes computaciones y ofimática general seleccionados, así como desarrollar casos prácticos, ejemplos de aplicación y ejercicios resueltos que faciliten la comprensión y el manejo de las aplicaciones de cálculo hidrológico e hidráulico aplicado a drenajes viales.

La metodología se enfoca en identificar las zonas a analizar, delimitar las áreas involucradas mediante un reconocimiento satelital formando un modelo digital, establecer las características hidráulicas e hidrológicas actuales del área de estudio. Aplicar los cálculos con ayuda de las herramientas ofimáticas para redactar un manual con la información obtenida de todos los procesos y dificultades presentes en su desarrollo.

La estructura del documento comprende tres capítulos; en la primera etapa del trabajo de titulación, se detalla un marco teórico el que detalla las metodologías usadas para la realización de estudios hidrológicos e hidráulicos. El segundo capítulo, materiales y

métodos, comprende la metodología de cómo aplicarlo a un caso de estudio, así como las condiciones e información para el desarrollo del mismo. En el tercer capítulo, se detallan los resultados y la discusión para que finalmente, en el cuarto capítulo, se presentan las conclusiones y recomendaciones basados en el objeto de la investigación.

Capítulo uno

Marco teórico

1.1 Sistema de información geográfica

Para Maguire (1991) el término es frecuentemente aplicado a la orientación geográfica a través de tecnología computacional, que integra una amplia gama de información para su análisis, entre las más completas está ArcGIS, misma que contiene información geográfica global, para trabajar a voluntad del usuario, es compatible con gran parte de las plataformas permitiendo la colaboración y uso compartido (Resource, 2021). Como fuente de información, se cuenta con Google Earth, una herramienta que combina fotografías satelitales, planos e imágenes en tres dimensiones que permite visualizar aparentemente todo el planeta (Cuartero, 2016).

1.2 Fuentes de datos meteorológicos

El satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), es uno de los más antiguos con información de alrededor de 16 años de registros, pese a comprender básicamente áreas terrestres en donde se hayan implementado pluviómetros, permite conocer la dinámica de la precipitaciones temporales y correlaciones entre las mismas (Nair et al., 2009).

1.2.1 Google Earth (CRUTEM4)

CRUTEM4, es un conjunto de datos de las estaciones meteorológicas que proporcionan información derivada de la temperatura del aire cerca de la superficie terrestre. La misma es compatible con Google Earth, en donde se debe descargar un archivo en formato KML que permitirá realizar la consulta alrededor del globo terrestre.

1.2.2 Satélite TRMM

Desde el servidor *Giovanni de la NASA*, es una interfase que cuenta con información de varios satélites para todas las zonas del mundo, que permite la visualización de los parámetros geofísicos que sean seleccionados y por tanto requeridos, solicita un registro gratuito para poder acceder a toda la información, que funciona de una forma sencilla y rápida.

1.2.3 Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)

Es un organismo técnico-científico, enfocado en ejercer la normalización del sector hidrometeorológico nacional, a manera de que sirva de sustento para la evaluación de planes de desarrollo. La entidad contiene informes anuales de todas las estaciones existentes alrededor del territorio ecuatoriano.

El mismo hace uso del pluviómetro, el cual es un dispositivo encargado en medir la cantidad de lluvia precipitada en un área representativa, durante lapsos definidos por cada dispositivo, ubicado en diversos lugares de cada región.

1.2.4 Definición del tiempo de análisis

Es determinante la temporalidad en la hora de la modelación, en el caso de aplicar al desarrollo mediante aplicaciones ofimáticas tales como HEC HMS, SWMM, entre otras. Es simulado en un período extendido, donde la variable tiempo se considera explícitamente por medio de un modelo cuasi- estático presentando el comportamiento del flujo a consideración (Ayala y Izquierdo, 2014).

1.2.5 Delimitación de una zona de análisis

Al momento de delimitar la zona de estudio se debe considerar las áreas de aporte que intervienen, mediante una línea imaginaria o bien conocida como divisoria de aguas, que parte de las curvas de nivel para unir los puntos más altos que contienen al cauce principal, reflejando el relieve existente y por ende la topografía del área en análisis (Pérez y Vanegas, 2016). El objetivo es estimar el caudal de aporte a los puntos de interés ya sea de la escorrentía superficial como de las microcuencas aledañas.

1.3 Fundamentos hidrológicos

1.3.1 Tiempo de concentración

1.3.1.1 Tiempo de concentración según Témez. Utiliza la ecuación de la Dirección General de Carreteras, que está expresada por la ecuación (1) según García (2017):

$$t_c(h) = 0.3 \times \left(\frac{L}{j^{\frac{1}{4}}} \right)^{0.76} \quad (1)$$

Donde:

- t_c – Tiempo de concentración (h).
- J – Pendiente media del cauce principal (m/m).
- L – Longitud del cauce principal (km).

1.3.1.2 Tiempo de concentración según Kirpich. Una ecuación estimada en sus orígenes para cuencas de Tennessee y Pensilvania, para Vélez y Botero (2011) es representada como las ecuaciones (2 y 3):

$$t_c(\text{min}) = 0.0078 \times L_p^{0.77} \times S^{-0.385} \quad (2)$$

$$t_c(\text{min}) = 0.000325 \times L^{0.77} \times S^{-0.385} \quad (3)$$

Donde:

- t_c – Tiempo de concentración (min).
- S – Pendiente media del cauce principal (m/m).
- L_p – Longitud del cauce principal (pies).

1.3.1.3 Tiempo de concentración según Fórmula Californiana. Para Soriano y García (2015), es considerada la más representativa del litoral mediterráneo, expresada por la ecuación (4) como:

$$t_c(h) = 0.066 \times \left(\frac{L_r}{J^{0.5}}\right)^{0.77} \quad (4)$$

Donde:

- t_c – Tiempo de concentración (h).
- J – Pendiente media del cauce principal (m/m).
- L_r – Longitud del punto más distante al punto de interés (Km).

1.3.2 Modelos de infiltración

1.3.2.1 Horton. En base a Weber (2014), se conoce las ecuaciones (5 y 6) que corresponden a la tasa de infiltración y la infiltración acumulada respectivamente, aceptada de Horton (1939) como:

$$f(t) = f_b + (f_o - f_b)e^{-kt} \quad (5)$$

$$F(t) = f_b t + \left(\frac{f_o - f_b}{k}\right)(1 - e^{-kt}) \quad (6)$$

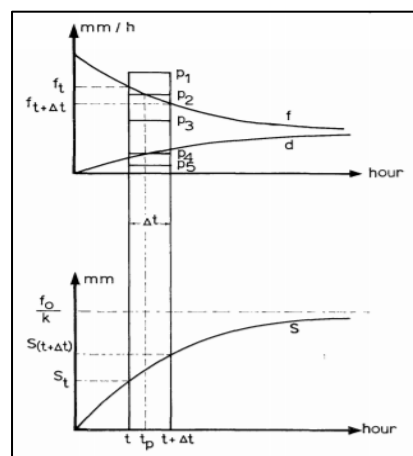
Donde:

- f_o – Capacidad de infiltración inicial (mm/h).
- f_b – Capacidad de infiltración final o de equilibrio (mm/h).
- k – Coeficiente de forma.
- t – Tiempo desde el inicio de la lluvia (h).
- f – Capacidad de filtración en un tiempo (mm/h).

1.3.2.2 Horton modificada. Para la operación de un modelo de simulación de lluvia-escorrentía se debe seleccionar un intervalo de tiempo. Para la simulación de infiltración, de igual manera se utilizará el mismo intervalo de tiempo (Bauer, 2010) como se muestra en la figura 1.

Figura 1

Ábaco, actual y potencial infiltración.



Nota: Adaptado de (Bauer, 2010)

$$t_p = \frac{1}{k} \ln \left(\frac{f_o - f_c}{p_2 - f_c} \right) \quad (7)$$

$$f = p_2(t_p - t) + f_c(t + \Delta t - t_p) + \frac{f_o - f_c}{k} (e^{-k t_p} - e^{-k(t + \Delta t)}) \quad (8)$$

Donde:

- f_o – Capacidad de infiltración inicial (mm/h).
- f_c – capacidad de infiltración final o de equilibrio (mm/h).
- k – Constante de decaimiento (1/h).

- t – Tiempo desde el inicio de la lluvia (h).
 f – Capacidad de filtración en el tiempo (mm/h).

1.3.2.3 Green-Ampt. Es un modelo simplificado presentado en 1911, que permite explicar la infiltración, asume la existencia de un frente húmedo entre la columna saturada y la no saturada, así como uniforme profundidad en una superficie inundada (Ravi y Williams, 1998). Según Weber y Apestegui (2013), se interpreta como se expresa en las ecuaciones (9 y 10) para infiltración acumulada y tasa de infiltración correspondientemente:

$$F(t) - \Psi\Delta\theta \ln \left[1 + \frac{F(t)}{\Psi\Delta\theta} \right] = Kt \quad (9)$$

$$f(t) = K \left[\frac{\Psi\Delta\theta}{F(t)} + 1 \right] \quad (10)$$

Donde:

- Ψ – Altura o potencial de succión (mm).
 $\Delta\theta$ – Variación máxima de humedad (mm).
 F – Infiltración acumulada (mm/h).
 f – Tasa de infiltración (mm/h).
 K – Conductividad hidráulica en las capas (mm/h).

Es elemental para el análisis computarizado los siguientes parámetros: conductividad hidráulica saturada, altura de succión y déficit inicial.

1.3.2.4 Green-Ampt modificado. Para Zonta et al. (2010), la adecuación de los parámetros por Mein – Larson, la tasa de infiltración se puede estimar como:

$$SI L \leq L_1 \Rightarrow Ti = Kt_2 \left[\frac{\Delta\theta_2(L_1 + \varphi_2) + I - I_1}{L_1(\Delta\theta_2) \left(\frac{Kt_2}{Kt_1} \right) + I - I_1} \right] \quad (11)$$

$$SI L > L_1 \Rightarrow Ti = Kt_1 \left[1 + \frac{(\Delta\theta_1)\varphi_1}{I} \right] \quad (12)$$

Donde:

- $\Delta\theta$ – Variación máxima de humedad (mm).
 L_1 – Espesor de la capa (mm).

- L – Profundidad del frente húmedo (mm).
- T_i – Tasa de infiltración (mm/h).
- K – Conductividad hidráulica en las capas (mm/h).
- φ – Potencial matricial del suelo a la humedad (mm).
- I_1 – Lámina infiltrada en la capa (mm).
- I – Lámina infiltrada en el tiempo (mm).
- t – Tiempo desde el inicio de la lluvia (h)

1.3.2.5 Número de la curva. Estudios empíricos permitieron relacionar la máxima infiltración, a través de un parámetro de referencia denominado número de curva, CN, valorado contenido entre 0 y 100 (Ferrer et al., 1995).

$$Pe = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} \quad (13)$$

$$s = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (14)$$

Donde:

- Pe – Escorrentía superficial (mm).
- P – Precipitación total (mm).
- S – Retención potencial (mm).
- CN – Número de la curva (0-100).

En el planteamiento presentado por Córdova et al. (2017), se asume que la escorrentía superficial es nula, en el caso de que la abstracción inicial no supere a la precipitación.

1.3.3 Modelo de cálculo hidráulico

Se analizan mediante los siguientes modelos para resolver las ecuaciones del análisis hidráulico en el transporte de agua (Cárdenas, 2009):

- **Flujo Uniforme.-** Aplicado a sistemas ramificados, considerado una forma simplificada de representar el comportamiento del agua contenido en los ductos (Cárdenas, 2009).

- **Onda Cinemática.-** Método simplificado y eficiente para modelo de transporte con tiempos de simulación largos (EPA, 2005).
- **Onda Dinámica.-** Método adecuado para sistemas con salto hidráulico, se requiere para su aplicación, utilizar incrementos de tiempo de cálculo mucho más pequeños (EPA, 2005).

1.3.4 Coeficiente de escorrentía

Es un valor adimensional determinado en base a la cobertura vegetal o tipo de suelo de la zona en análisis, el coeficiente de escorrentía de un evento de lluvia según Córdova Gutierrez et al. (2017), está expresado como:

$$SI P \leq I_a \Rightarrow C_e = 0 \quad (15)$$

$$SI P \geq I_a \Rightarrow C_e = \frac{P_e}{P} \quad (16)$$

Donde:

P_e – Escorrentía superficial (mm).

P – Precipitación total (mm).

C_e – Coeficiente de escorrentía.

I_a – Abstracción inicial.

1.3.5 Hidrograma Unitario

Según Ayuso et al. (1994) es definido por un hidrograma de escorrentía directa originado por un volumen de un milímetro de precipitación efectiva uniforme sobre una cuenca durante un período de tiempo especificado.

1.3.6 Método Racional

Es aplicado para el cálculo de caudales en máximas avenidas por la escorrentía superficial generada en máximas precipitaciones en determinados períodos de retorno. Para E. García (2017), se expresa como en la Ecuación 17.

$$Q = \frac{(CIA)}{360} \times K \quad (17)$$

Donde:

- C – Coeficiente de escorrentía.
- I – Intensidad máxima de precipitación (mm/h).
- A – Área de la cuenca (ha).
- K – Coeficiente de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación.

1.4 Fundamentos hidráulicos

1.4.1 Velocidad

Es un parámetro determinante para el desarrollo y conservación de un diseño hidráulico, ya sea en el caso de la velocidad mínima en la que debe evitar la formación de sedimentos, o velocidad máxima, misma que podría actuar de manera destructiva sobre el área de contacto en el caso de excederse (Flores, 2017).

1.4.2 Diámetro en tubería de alcantarillado pluvial

El diámetro mínimo establecido en la norma ecuatoriana CO 10.7. es de 250 mm para alcantarillado pluvial, con un calado que no sobrepase el 75% del diámetro.

1.4.3 Nudos

Existen diferentes nudos a lo largo de un estudio hidráulico, como lo son las conexiones, aquellos puntos de interés que permiten la comunicación y conducción de flujo en el sistema. De igual manera, el nudo de vertido encargado de descargar el flujo en la parte terminal del sistema, finalmente se encuentra las divisorias y unidades de almacenamiento que cumplen funciones que hacen referencia directa a su denominación Según el manual SWMM (2007, pp 38 y 145).

1.4.4 Áreas tributarias para alcantarillado

Serán determinadas considerando la zona de interés a la par de la morfometría de la cuenca, segmentando las áreas que descarguen de manera directa e indirecta al proyecto hidráulico propuesto.

1.4.5 Ecuaciones para pérdidas de carga

Todas las expresiones matemáticas se basan en la misma ecuación básica para estimar la pérdida de carga entre los nudos, para el autor Bartolin (2013), está expresada como la Ecuación 18.

$$hl = R \times q^n \quad (18)$$

Donde:

- hl – Pérdida de carga (Unidades de Longitud).
- R – Coeficiente de resistencia.
- q – Caudal (Unidades de Volumen/Tiempo).
- n – Exponente del caudal.

1.4.5.1 Hazen y Williams. Fórmula planteada para determinar la pérdida de carga a lo largo de un sistema de conducción de agua, con el objetivo de definir el diámetro adecuado para la misma, definida por De la Cruz y Flores (2019), como en la Ecuación 19.

$$Hf = (1.72 \times 10^6 \times L \times Q^{1.85}) / (C^{1.85} \times D^{4.87}) \quad (19)$$

Donde:

- Hf – Pérdida de carga (m).
- L – Longitud (km).
- Q – Caudal (lts/seg).
- C – Coeficiente de fricción por su material.
- D – Diámetro (plg).

1.4.5.2 Darcy Weisback. Es aplicable a cualquier tipo de fluido, considerando que se generan pérdidas por transporte y fricción en los conductos, para Cevallos (2020), se expresa como en la Ecuación 20.

$$hf = f \left(\frac{L}{d} \right) \times \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (20)$$

Donde:

- hf – Pérdida de carga (m).
- f – Coeficiente de fricción por su material.

- l – Longitud (m).
- d – Diámetro (m).
- v – Velocidad (m/s).
- g – Gravedad (m/s²)

Capítulo dos

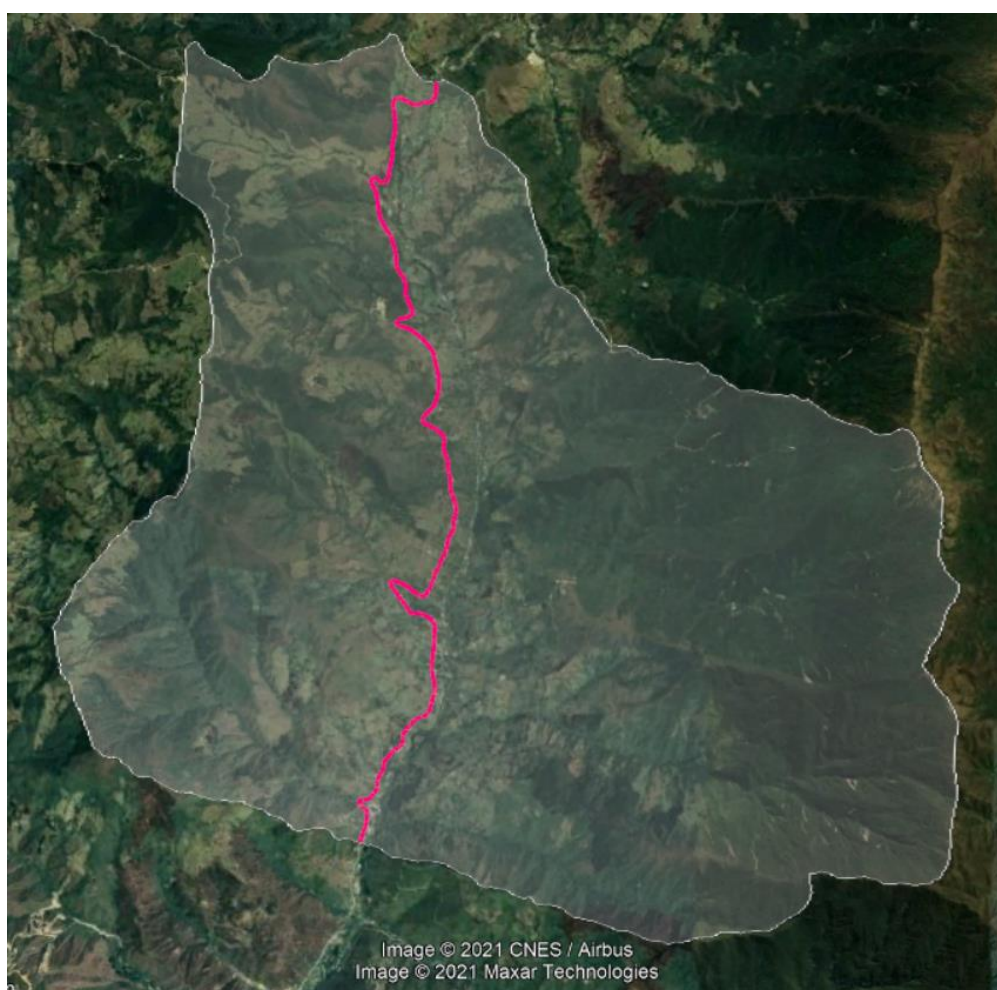
Materiales y métodos

2.1 Área de estudio

El presente caso de estudio se encuentra ubicado en la zona Andina de la Provincia de Loja, entre la ciudad de Loja y la parroquia Malacatos, ubicados al sur de la república del Ecuador, como se esquematiza en la Figura 2:

Figura 2

Vista satelital de la zona de interés.

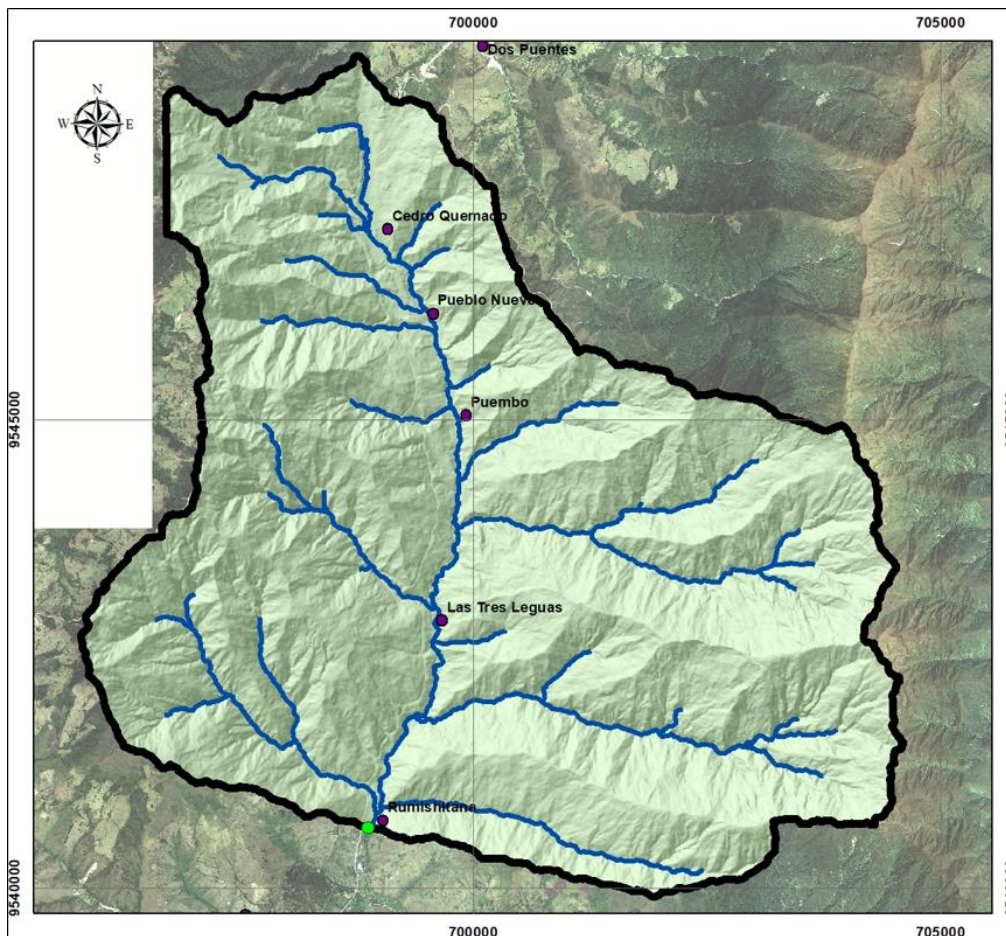


2.1.1 Ubicación geográfica

El punto de interés se estableció en la convergencia de la microcuenca, cerca al sector Landanguí con las coordenadas 698840.19E y 9540678.85S con un área de 4861.66 ha, como se muestra en la figura 3.

Figura 3

Mapa hidrológico de la zona de interés.



Nota: Adaptado del estudio hidrológico “Rehabilitación Integral del sistema de riego Campana-Malacatos y ampliación hasta San José de Ceibopamba”.

2.2 Materiales

2.2.1 Materiales cartográficos

Partiendo de datos espaciales sobre la distribución cartográfica del Ecuador y del uso de suelos, de la Provincia de Loja y sus cantones, obtenidos del Instituto Geográfico Militar del Ecuador y del Sistema Nacional de Información respectivamente.

Datos de precipitación y temperatura del satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) en la plataforma Giovanni de la NASA, INAMHI y de CRUTEM4 a través de Google Earth.

2.3 Metodología

El presente trabajo tiene como objetivo la aplicación de un sistema de alcantarillado pluvial que satisfaga los requerimientos hidráulicos de la zona en análisis mediante información brindada por fuentes satelitales y estaciones pluviométricas. Para el desarrollo del proyecto de investigación, se consideró pertinente trabajar con imágenes satelitales disponibles en las fuentes de información geográfica nacional, mismas que brindaron datos relacionados a la división territorial e información de uso del suelo en la región.

2.3.1 Obtención de datos de precipitación

Para que este proceso pueda ser replicado e implementado sin limitaciones de acceso a información, se requiere de información pluviométrica en colaboración con aquellas fuentes de información de acceso libre y sencillo, los programas que se apegan a dichas características son los siguientes:

- Google Earth (CRUTEM)
- Satélite Giovanni de la NASA
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

Para desarrollar un estudio hidrológico, se requiere de una vasta información pluviométrica, es por ello que se considera de mayor o menor relevancia en base al rango de años disponible en cada una de las fuentes, así como la aparente precisión en relación a una fuente base, tras haber leído los datos arrojados por cada una de ellas, a fin de reconocer la variabilidad en la información compartida.

Todos los valores obtenidos pueden ser organizados a partir de editores de texto o blog de notas, revisando las unidades que trabaja cada plataforma y los separadores que se aplican en cada caso. Evitando que existan falencias en la lectura de los datos, se los distribuye de manera uniforme previo a su importación hacia la herramienta de Microsoft Office 2019, Excel.

2.3.2 Obtención de datos cartográficos y geográficos

Para desarrollar la investigación se requiere de la información geográfica de la zona, para lo cual se consideró pertinente la ayuda de una herramienta de información satelital como lo es Google Earth. La información obtenida es analizada a manera de identificar los puntos de interés y la amplia cantidad de variables que involucran los datos importados, definiendo y delimitando el alcance del proyecto.

2.3.3 Desarrollo del análisis hidráulico

Para García (2006) la simulación en período extendido la variable tiempo se considera explícitamente; en el modelo causi – estático se parte de la suma de los tiempos parciales para los que se realiza el análisis.

2.4 Algoritmo del software

Evaluaremos fundamentalmente el software SWMM, debido a que engloba la metodología aplicada en todas las herramientas en análisis, como objetivo se tiene la aplicación de un cálculo hidrológico e hidráulico para un caso de estudio. Este requiere de información que se proporcionará a lo largo del proceso, en principio se debe insertar una imagen georreferenciada que ayudará a definir las subcuencas divididas por el tipo de suelo que las conforman, para luego de ello caracterizarlas con la información morfológica disponible.

El software SWMM, permite analizar mediante todos los modelos ya antes mencionados y requiere de información pluviométrica o hidrogramas unitarios para crear su modelo de escorrentía superficial. En el caso de requerir la evaluación de un estudio hidráulico, facilita las herramientas que contempla el sistema para su modelación.

2.5 Caso de estudio

2.5.1 Generalidades

Para el caso de estudio, se consideró como referencia un estudio hidrológico denominado: “Rehabilitación Integral del sistema de riego Campana-Malacatos y ampliación hasta San José de Ceibopamba” donde se obtuvo algunos datos para efectos didácticos. Ante la dificultad de aplicar modelos complejos que requieren de vasta información, se optó

por aplicar modelos simplificados que permiten determinar en función de las condiciones de regulación natural de la microcuenca y la lluvia mensual ponderada precipitada sobre ella, los caudales mensuales probables que produce esta superficie de drenaje.

2.5.2 Obtención y procesamiento de datos

A partir de información de acceso libre, se logró recabar la información geográfica, meteorológica y geológica relacionada al caso de estudio, para ello se apoyó en plataformas y entidades encargadas de proporcionar dicha información. Se consideró como prioridad los datos obtenidos del organismo técnico-científico INAMHI, por ser la plataforma adoptada para análisis presentados a las entidades reguladoras, sin embargo, no se ha podido trabajar con datos más recientes debido a que varias de las estaciones no cuentan con información actualizada que permita homogeneizar el estudio.

Una vez filtrados y seleccionados los datos adecuados para la aplicación del caso de estudio, se continuará a evaluar el mismo con ayuda del software SWMM, simulado explícitamente por medio de un modelo cuasi- estático.

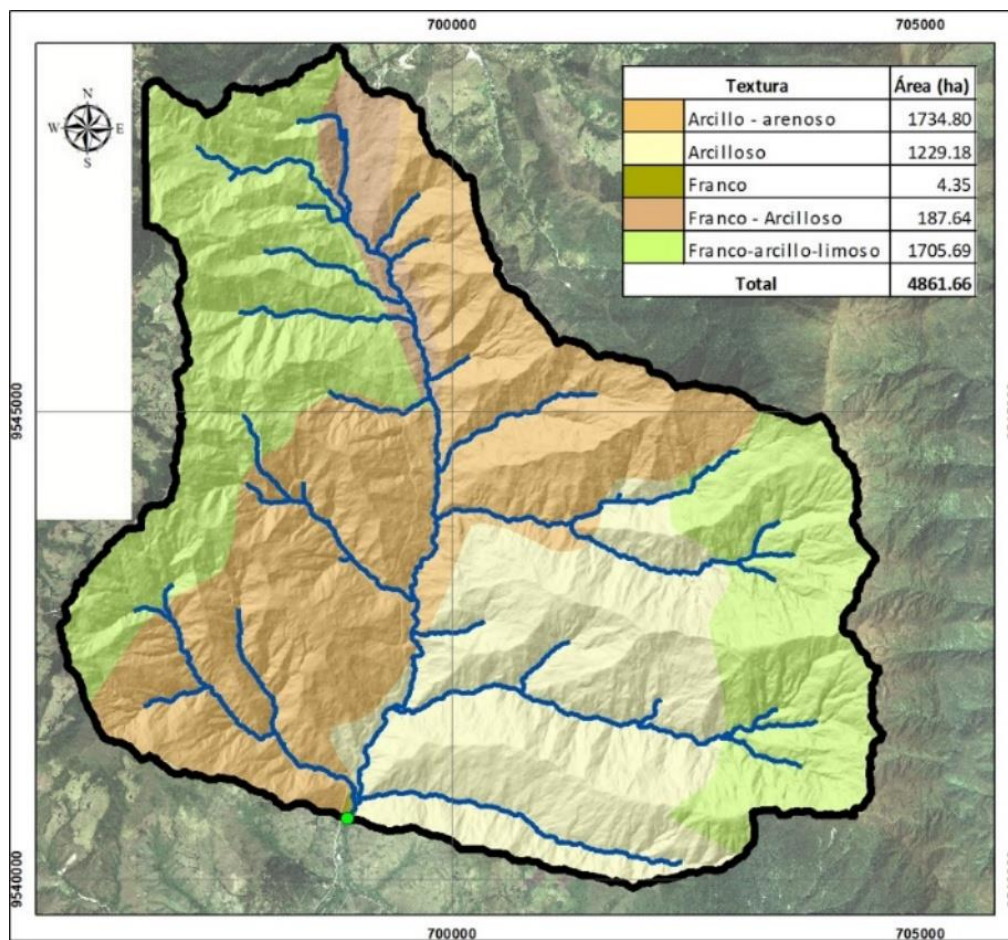
2.5.3 Morfología de la cuenca

Se encuentra definido en la cota rasante, el nivel 1726 msnm, partiendo de las características morfológicas previamente establecidas en el proyecto de rehabilitación de un sistema de riego, que se proporcionará al software libre SWMM para su aplicación en el cálculo hidrológico e hidráulico.

Tabla 1*Morfología de la cuenca.*

| Datos | Valores |
|---|---------|
| Área (Km ²) | 48.62 |
| Perímetro (Km) | 33.58 |
| Altitud media (msnm) | 2429.57 |
| Longitud del cauce principal (Km) | 10.76 |
| Pendiente media del cauce principal (%) | 8.66 |

Nota: Adaptado del estudio hidrológico “Rehabilitación Integral del sistema de riego Campana-Malacatos y ampliación hasta San José de Ceibopamba”.

Figura 4*Cuenca Río Malacatos, desde Podocarpus hasta Rumishitana.*

Nota: Adaptado del estudio hidrológico “Rehabilitación Integral del sistema de riego Campana-Malacatos y ampliación hasta San José de Ceibopamba”.

2.5.4 Información pluviométrica

Para la microcuenca en análisis, considerando datos del INAMHI se obtuvo la información de 4 estaciones con mayor proximidad geométrica.

Tabla 2

Información de estaciones pluviométricas.

| Estación | Coordenada X | Coordenada Y |
|---------------|--------------|--------------|
| La Argelia | 699464 | 9553507 |
| Malacatos | 691652 | 9533403 |
| Cajanuma | 698995 | 9548378 |
| San Francisco | 713833 | 9561247 |

Nota: Adaptado de anuarios meteorológicos, INAMHI

2.5.5 Precipitaciones

Considerada como un valor variable en el tiempo y espacio, requiere un estudio de la distribución de la lluvia durante el año hidrológico, para conocer el régimen pluviométrico. Se estimarán las precipitaciones mensuales correspondientes en razón de su ubicación respecto a la zona de análisis, al igual que las precipitaciones máximas diarias.

2.5.6 Intensidades

Se adoptará la información existente en el estudio realizado por el INAMHI, realizado en el año 2019 catalogado como “Estudio de Lluvias Intensas”, correspondiente a la zona 17 en la estación La Argelia-Loja.

Tabla 3

Ecuación de Intensidad de la zona de estudio.

| Zona | Nombre estación | Duración | Ecuación |
|------|-----------------|--------------------|--|
| 17 | La Argelia-Loja | 5min < 44.17min | $I_{TR} = 86.811 \times t^{-0.447} \times I_{dTR}$ |
| | | 44.17min < 1440min | $I_{TR} = 328.11 \times t^{-0.798} \times I_{dTR}$ |

Nota: INAMHI, Ecuaciones para la duración de la tormenta.

Para poder determinar la intensidad máxima de 24 horas, se necesita obtener el tiempo de concentración a través de los métodos ya antes mencionados, en este tipo de

obras civiles, se recomienda un periodo de retorno de 25 años para diseño y 50 años para comprobación.

2.5.7 Caudales

En función de la escasez de información existente referente a la cuenca del Río Malacatos comprendida desde Podocarpus hasta Rumishitana, se debe realizar la generación de caudales o escurrimientos mensuales en función de las precipitaciones mensuales y de las características de regulación natural de la microcuenca, SWMM emplea el método de onda cinemática en el transporte del flujo superficial.

Para la determinación de los caudales contemplados dentro del estudio hidráulico, se aplica el Método Racional para las áreas de aportación de interés, acompañado de un diseño previo del sistema a evaluarse.

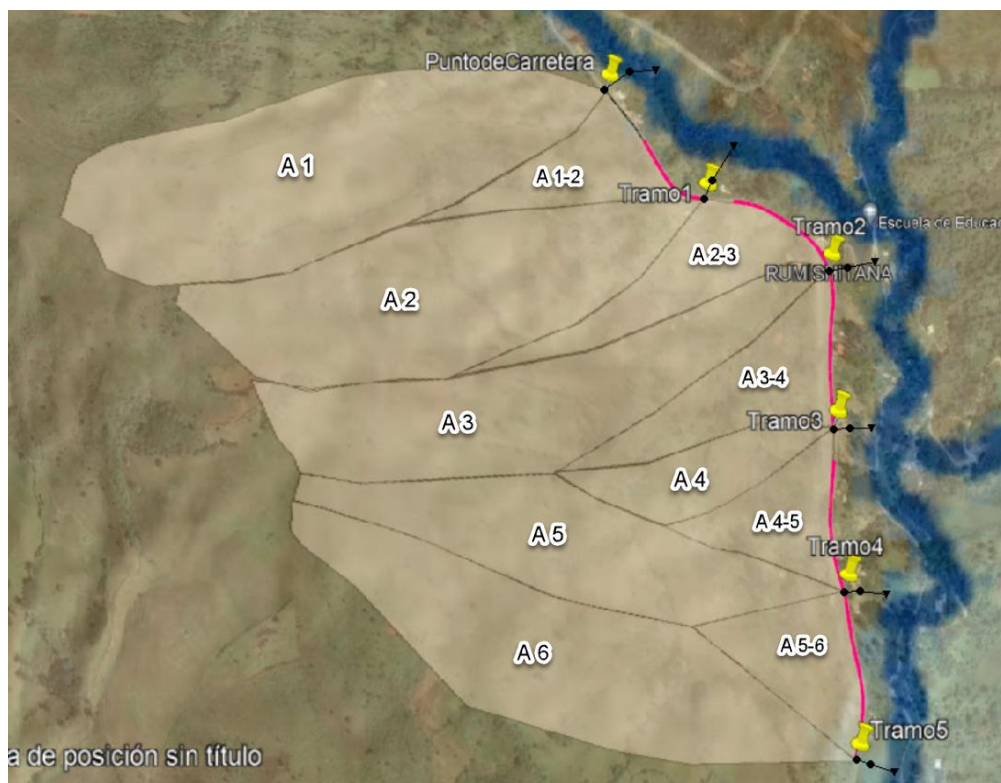
2.5.8 Red de alcantarillado pluvial

En el desarrollo del estudio hidráulico para una obra de alcantarillado, se considera la información meteorológica brindada por el INAMHI referente a la estación La Argelia-Loja, tal como la Ecuación de Intensidad para determinado período de retorno, de igual manera se requiere determinar el área tributaria para los tramos en análisis y su respectivo coeficiente de escorrentía, dependiente del tipo de suelo y su cobertura. Para evaluar la red, se traza los elementos del sistema de drenaje y se colocan sus respectivas propiedades geométricas y características de los materiales aplicados.

2.5.8.1 Áreas tributarias. Las áreas tributarias, fueron delimitadas con ayuda de las curvas de nivel, que reflejan la dirección en la que se produce la descarga de la escorrentía, por tanto, la dirección en la que descarga el flujo hacia el punto de interés, se consideraron 6 áreas como un aporte directo a los nudos de alcantarillado y 5 áreas intermedias que descargan a las cunetas, mismas que derivaran de igual manera a los nudos de alcantarillado en sentido del flujo.

Figura 5

Áreas tributarias para el sistema de alcantarillado.

**Tabla 4**

Áreas tributarias para el sistema de alcantarillado pluvial.

| | | ÁREA APOORTE | |
|------------|-------|----------------|-------|
| | | m ² | ha |
| Directo | A 1 | 150032 | 15.00 |
| | A 2 | 119555 | 11.96 |
| | A 3 | 96448 | 9.64 |
| | A 4 | 29059 | 2.91 |
| | A 5 | 76117 | 7.61 |
| | A 6 | 111383 | 11.14 |
| Intermedio | A 1-2 | 35650 | 3.57 |
| | A 2-3 | 48027 | 4.80 |
| | A 3-4 | 46619 | 4.66 |
| | A 4-5 | 31263 | 3.13 |
| | A 5-6 | 34878 | 3.49 |

2.5.8.2 Nudos y pozos. El sistema de alcantarillado pluvial se coloca de manera transversal en la carretera, por ende, se considera un ancho de vía de 8.2m medido en situ entre los cuales se encontrarán los nudos de embocadura con una pendiente uniforme, con las siguientes características.

Tabla 5

Resumen de cotas y cortes.

| Tramo | Nudos | Cota Rasante | | Cota Clave | | Cota Batea | | Corte | | |
|-------|-------|--------------|---------|------------|---------|------------|----------|----------|-------|------|
| | | Inicial | Final | Inicial | Final | Inicial | Final | Inicial | Final | |
| | | m.s.n.m | | m.s.n.m | | m.s.n.m | | (m) | | |
| ALC1 | 1 | 1´ | 1974.00 | 1974.00 | 1973.20 | 1972.90 | 1972.700 | 1972.400 | 1.34 | 1.64 |
| ALC2 | 2 | 2´ | 1955.00 | 1955.00 | 1954.20 | 1953.90 | 1953.700 | 1953.400 | 1.34 | 1.64 |
| ALC3 | 3 | 3´ | 1924.00 | 1924.00 | 1923.20 | 1922.90 | 1922.700 | 1922.400 | 1.34 | 1.64 |
| ALC4 | 4 | 4´ | 1911.00 | 1911.00 | 1910.20 | 1909.90 | 1909.800 | 1909.500 | 1.24 | 1.54 |
| ALC5 | 5 | 5´ | 1896.00 | 1896.00 | 1895.20 | 1894.90 | 1894.800 | 1894.500 | 1.24 | 1.54 |
| ALC6 | 6 | 6´ | 1878.00 | 1878.00 | 1877.20 | 1876.90 | 1876.700 | 1876.400 | 1.34 | 1.64 |

2.5.8.3 Cunetas. Las cunetas son obras hidráulicas que permiten recolectar en los costados de la vía el escurrimiento superficial proyectado de las precipitaciones, sobre la calzada y en las áreas comprendidas entre las alcantarillas.

2.5.8.4 Líneas de conexión. Son los tramos de conducción para las alcantarillas en sentido transversal a la carretera que transportan de manera eficiente la escorrentía superficial hacia sus embocaduras con un diámetro mínimo de 250 mm.

Capítulo tres

Análisis y resultados

3.1 Evaluación de la discrepancia en datos meteorológicos

En la aplicación de la información meteorológica para estudios hidrológicos e hidráulicos, se realiza una correlación entre las fuentes de información, considerando al organismo INAMHI como base, los coeficientes de correlación obtenidos tanto para TRMM como para la plataforma CRUTEM4, reciben valores de 0.72 y 0.55 respectivamente.

3.2 Intensidad máxima diaria

Para el diseño de este tipo de obras civiles, se recomienda un tiempo de retorno de 25 años para diseño y 50 años para comprobación, obteniendo como resultado los valores presentados en la Tabla 4.

Tabla 6

Intensidad máxima diaria.

| | | |
|-----------------------------|-------|-------|
| Precipitación Máxima 24H | 116.9 | mm |
| IDTR | 4.87 | mm/h |
| Tc | 1.58 | horas |
| ITR | 42.28 | mm/h |

3.3 Resultados hidráulicos diseño del autor

Tabla 7

Resumen de Caudales en red de Alcantarillado.

| Tramo | Nudos | | Caudal LPS |
|-------|-------|----|---------------|
| ALC1 | 1 | 1´ | 642.88 |
| ALC2 | 2 | 2´ | 664.75 |
| ALC3 | 3 | 3´ | 619.39 |
| ALC4 | 4 | 4´ | 328.57 |
| ALC5 | 5 | 5´ | 462.59 |
| ALC6 | 6 | 6´ | 626.94 |

Tabla 8

Resumen de cotas, velocidades y pendientes para cunetas.

| | Tramo | y | Q Dis. | J | V | Cota Rasante | | Cota Clave | |
|----------|-------|-------|---------------------|------|-------|--------------|---------|------------|---------|
| | | m | (m ³ /s) | m/m | (m/s) | Inicial | Final | Inicial | Final |
| Interior | 1-2 | 0.28 | 0.36 | 0.08 | 4.40 | 1974.00 | 1955.00 | 1973.60 | 1954.60 |
| | 2-3 | 0.29 | 0.48 | 0.12 | 5.62 | 1955.00 | 1924.00 | 1954.60 | 1923.60 |
| | 3-4 | 0.36 | 0.47 | 0.05 | 3.64 | 1924.00 | 1911.00 | 1923.60 | 1910.60 |
| | 4-5 | 0.28 | 0.31 | 0.06 | 3.91 | 1911.00 | 1896.00 | 1910.60 | 1895.60 |
| | 5-6 | 0.29 | 0.35 | 0.07 | 4.28 | 1896.00 | 1878.00 | 1895.60 | 1877.60 |
| Exterior | 1-2 | 0.086 | 0.02 | 0.08 | 2.77 | 1974.00 | 1955.00 | 1973.80 | 1954.80 |
| | 2-3 | 0.076 | 0.02 | 0.12 | 3.54 | 1955.00 | 1924.00 | 1954.80 | 1923.80 |
| | 3-4 | 0.094 | 0.02 | 0.05 | 2.29 | 1924.00 | 1911.00 | 1923.80 | 1910.80 |
| | 4-5 | 0.091 | 0.02 | 0.06 | 2.46 | 1911.00 | 1896.00 | 1910.80 | 1895.80 |
| | 5-6 | 0.087 | 0.02 | 0.07 | 2.70 | 1896.00 | 1878.00 | 1895.80 | 1877.80 |

Tabla 9

Caudales, velocidades y pendientes para alcantarillado.

| Tramo | | Long | J | Q | D int. | V |
|-------|----|------|-------|--------|--------|-------|
| | | (m) | ‰ | (L/s) | mm | (m/s) |
| 1 | 1´ | 8.20 | 36.59 | 642.88 | 500.00 | 4.20 |
| 2 | 2´ | 8.20 | 36.59 | 664.75 | 500.00 | 4.23 |
| 3 | 3´ | 8.20 | 36.59 | 619.39 | 500.00 | 4.16 |
| 4 | 4´ | 8.20 | 36.59 | 328.57 | 400.00 | 3.53 |
| 5 | 5´ | 8.20 | 36.59 | 462.59 | 400.00 | 3.90 |
| 6 | 6´ | 8.20 | 36.59 | 626.94 | 500.00 | 4.17 |

Se obtuvieron los resultados presentados, tras considerar las recomendaciones de la normativa CO 10.7 para el diseño de alcantarillado pluvial.

3.4 Resultados de análisis hidráulicos con SWMM

Tabla 10

Caudal máximo del nudo de desembocadura de la cuenca.

| | | |
|---|-------------|-------------|
| Aporte total máximo | L/s | 70213.89 |
| Instante de aporte máximo | Días hr:min | 14304 23:59 |
| Volumen aporte lateral (10 ⁶) | L | 978797.546 |
| Volumen aporte total (10 ⁶) | L | 1002132.337 |

Nota: Adaptado del informe emitido por SWMM.

Tabla 11

Caudales en el nudo de vertido o punto de interés.

| | | |
|----------------------------------|-----|-------------|
| Frecuencia Vertido | % | 96.14 |
| Caudal medio | L/s | 718.32 |
| Caudal máximo | L/s | 70217.65 |
| Volumen total (10 ⁶) | L | 1002131.604 |

Nota: Adaptado del informe emitido por SWMM

Tabla 12

Resumen de caudales obtenidos y previos.

| | SWMM | CIVIL STORM | Proyecto Sistema de Riego | TESIS COMPARACIÓN |
|-----------------|--------|-------------|------------------------------|----------------------|
| Caudal medio | L/s | L/s | L/s | L/s |
| | 718.32 | 720.41 | 660 | 715 |

Nota: Adaptado del informe emitido por SWMM

Los valores de caudal obtenidos entre las herramientas ofimáticas son semejantes debido a que manejan un algoritmo matemático similar y al hecho de que se exportó la información desde SWMM hacia Civil Storm, con un resultado de 718.38 L/s y 720.41 L/s respectivamente, en el proyecto “Rehabilitación integral del sistema de riego Campana-Malacatos y ampliación hasta San José de Ceibopamba”, fundamentado en la información compartida por el organismo técnico-científico INAMHI, para las estaciones pluviométricas, obtiene un valor medio de 660 L/s. También se cuenta con el estudio realizado por Ruiz (2017), quien mediante aforos del cauce en diferentes tramos en tiempo de estiaje y crecida, aplicado en una micro cuenca aledaña del Río Malacatos obtiene un caudal medio de 715 L/s.

Para el estudio hidráulico desarrollado, se consideró la información de la estación pluviométrica La Argelia-Loja, se realizó un diseño previo en Excel de donde se obtuvieron las características hidráulicas tales como: cotas, profundidades, pendientes, diámetros y tirantes.

Tabla 13*Niveles de conexiones de alcantarillado.*

| Nudo | Tipo | Nivel Medio | Nivel Máximo | Altura Máxima |
|-------|----------|-------------|-----------------|------------------|
| | | (m) | (m) | (m) |
| Alc1 | Conexión | 30 | 32 | 1972.98 |
| Alc2 | Conexión | 31 | 33 | 1953.99 |
| Alc3 | Conexión | 29 | 32 | 1922.98 |
| Alc4 | Conexión | 23 | 25 | 1910.01 |
| Alc5 | Conexión | 30 | 32 | 1895.08 |
| Alc6 | Conexión | 30 | 32 | 1876.98 |
| Alc´1 | Conexión | 30 | 32 | 1972.68 |
| Alc´2 | Conexión | 31 | 33 | 1953.69 |
| Alc´3 | Conexión | 29 | 32 | 1922.68 |
| Alc´4 | Conexión | 23 | 25 | 1909.71 |
| Alc´5 | Conexión | 30 | 32 | 1894.78 |
| Alc´6 | Conexión | 30 | 32 | 1876.68 |

Nota: Adaptado del informe emitido por SWMM

En la tabla 15 se muestra el nivel obtenido en los nudos de cada tramo de alcantarillado a lo largo del sistema.

Tabla 14

Resumen de volúmenes de aporte de alcantarillado.

| Nudo | Tipo | Aporte Lateral Máximo | Aporte Total Máximo | Volumen aporte lateral (10 ⁶) | Volumen aporte total (10 ⁶) |
|-------|----------|--------------------------|------------------------|--|--|
| | | L/s | L/s | L | L |
| Alc1 | Conexión | 642.88 | 642.88 | 262005.02 | 282334.36 |
| Alc2 | Conexión | 664.75 | 664.75 | 270918.12 | 291939.04 |
| Alc3 | Conexión | 619.39 | 619.39 | 252431.70 | 272018.23 |
| Alc4 | Conexión | 328.57 | 328.57 | 133908.33 | 144298.47 |
| Alc5 | Conexión | 462.59 | 462.59 | 188528.04 | 203156.19 |
| Alc6 | Conexión | 626.94 | 626.94 | 255508.69 | 275333.98 |
| Alc´1 | Conexión | 10.23 | 653.11 | 4169.23 | 286827.08 |
| Alc´2 | Conexión | 10.23 | 674.98 | 4169.23 | 296431.76 |
| Alc´3 | Conexión | 10.23 | 629.62 | 4169.23 | 276510.95 |
| Alc´4 | Conexión | 10.23 | 338.8 | 4169.23 | 148791.19 |
| Alc´5 | Conexión | 10.23 | 472.82 | 4169.23 | 207648.91 |
| Alc´6 | Conexión | 10.23 | 637.17 | 4169.23 | 279826.70 |

Nota: Adaptado del informe emitido por SWMM

Para cada tramo de alcantarilla se determinó el caudal y velocidad máximos en un conducto de tubería PVC($n=0.011$), que son expresados en la tabla 16:

Tabla 15

Resumen de caudales y diámetros en los conductos de alcantarillado.

| Tramo | | Caudal Máximo | Velocidad Máxima | Caudal Máx/Lleno | Nivel Máx/Lleno | Diámetro Interno |
|-------|----|---------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| | | L/s | m/s | m ³ /s | m ³ /s | mm |
| 1 | 1´ | 642.88 | 4.78 | 0.75 | 0.65 | 500 |
| 2 | 2´ | 664.75 | 4.81 | 0.78 | 0.66 | 500 |
| 3 | 3´ | 619.39 | 4.74 | 0.73 | 0.63 | 500 |
| 4 | 4´ | 328.57 | 4.05 | 0.70 | 0.62 | 400 |
| 5 | 5´ | 462.59 | 4.27 | 0.98 | 0.80 | 400 |
| 6 | 6´ | 626.94 | 4.75 | 0.73 | 0.64 | 500 |

Nota: Adaptado del informe emitido por SWMM

Se considera que, una vez drenada la escorrentía superficial a través de la alcantarilla transversal, esta fluirá directamente al río, este proceso es opcional, ya que existen obras de este tipo que dejan que la escorrentía continúe su flujo natural tras pasar por la obra hidráulica.

En la tabla 17 se analizan los resultados arrojados por el programa SWMM en comparación con los obtenidos por el cálculo manual del autor.

Tabla 16

Apreciación de resultados del autor con relación a los del software.

| Nudos | | V | V | Cotas Lámina de Agua | | | |
|----------|----|-------|----------|----------------------|---------|---------|---------|
| | | Autor | Programa | Programa | | Autor | |
| | | m/s | m/s | msnm | msnm | msnm | msnm |
| 1 | 1´ | 4.20 | 4.78 | 1972.98 | 1972.68 | 1973.06 | 1972.76 |
| 2 | 2´ | 4.23 | 4.81 | 1953.99 | 1953.69 | 1954.07 | 1953.77 |
| 3 | 3´ | 4.16 | 4.74 | 1922.98 | 1922.68 | 1923.05 | 1922.75 |
| 4 | 4´ | 3.53 | 4.05 | 1910.01 | 1909.71 | 1910.07 | 1909.77 |
| 5 | 5´ | 3.90 | 4.27 | 1895.08 | 1894.78 | 1895.16 | 1894.86 |
| 6 | 6´ | 4.17 | 4.75 | 1876.98 | 1876.68 | 1877.05 | 1876.75 |

Para evitar una amplia diferencia en los resultados, se promedió los coeficientes de escorrentía para la zona de análisis y se procedió con la evaluación de datos, tanto en los cálculos del autor como para el software.

3.5 Resultado manual técnico

El manual consiste en un instructivo detallado de todo el proceso desde la obtención de información fundamental hasta el paso a paso en el software especializado, para la aplicación del estudio hidrológico e hidráulico. VER APÉNDICE 4.1

3.6 Resultado perfiles hidráulicos

Una de las opciones que brinda la aplicación es generar modelos hidráulicos entre los nudos que se requiere, para efectos de aprendizaje se proporcionarán los referentes a los tramos de alcantarillado vial. VER APÉNDICE 4.3

Conclusiones

Tras llevar a cabo el proceso investigativo en el desarrollo de la guía técnica, se obtuvieron los resultados ya presentados, estableciendo las siguientes conclusiones:

Se desarrolló un manual técnico para el manejo de paquetes ofimáticos de acceso libre que permitan una evaluación hidrológica e hidráulica, a través del desarrollo de ejemplos didácticos que facilitarán su aplicación a sistemas de drenajes viales.

Se implementó el uso paquetes computaciones y aplicativos web que proporcionan y permiten el manejo de información relacionada a la meteorología, geografía y geología, descartando TRMM, debido a que carece de información previa al año de 1998.

El software SWMM no posee precisión meticulosa en el trazado de sus áreas de aporte, esta trabaja a partir de imágenes georreferenciadas que reciben la información geométrica previamente determinada.

Los caudales obtenidos entre las herramientas ofimáticas y los estudios hidrológicos previos realizados cuentan una estrecha relación que no supera el 8% de variación, considerando la limitación existente para profundizar en información para la aplicación del caso de estudio.

Para el desarrollo del diseño de alcantarillado vial, se estimó sus componentes partiendo de los requerimientos mínimos establecidos por la norma CO 10.7.

Recomendaciones

Se recomienda una amplia experimentación con diferentes casos de estudio para lograr el desarrollo de un manual técnico universal, sobre la herramienta ofimática de mayor interés.

Para la recabación de datos de precipitación se considera óptimo el uso de la información proporcionada por el INAMHI, así como también el aplicativo web CRUTEM4, que cuentan con una estrecha correlación y parten de la información proporcionada por las estaciones pluviométricas disponibles en determinada zona.

Se considera aceptable el uso de software especializado para análisis hidrológico, ya que refleja una gran similitud acorde a los resultados obtenidos en un estudio realizado en campo por otro autor.

En el diseño del sistema de alcantarillado vial, se recomienda el uso del Método Racional para la estimación del caudal de diseño, debido a la eficiencia que esta presenta al realizar una evaluación aproximada en base a información de fácil acceso. De igual manera se recomienda considerar las especificaciones mínimas y máximas referentes a la norma CO 10.7.

Referencias

- Angulo del Águila, Í., y Sánchez Vásquez, R. E. (2018). Diseño geométrico y sistema de drenaje para el camino vecinal San Miguel cordillera del cóndor-acceso paraíso, distrito Nuevo Cajamarca, provincia de Rioja, región San Martín. *Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto*. <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/UNSM/2624>
- Ayala, D., y Izquierdo, J. (2014). *El Problema del Diseño de Redes de Abastecimiento De Agua : Manejo De La Complejidad De Objetivos y Restricciones Múltiples*. November. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32259.30246>
- Ayuso, J. L., Peña, A., y Montesinos, M. P. (1994). Estimación del hidrograma unitario. Estudio comparativo de cuatro métodos lineales. *Ingeniería Del Agua*, 1(2), 21–32. <https://doi.org/10.4995/ia.1994.2635>
- Bartolin, H. (2013). *Confeción de modelos de redes de distribución de agua desde un SIG y desarrollo de herramientas de apoyo a la toma de decisiones*. October 2013, 470. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/33152>
- Bauer, S. W. (2010). A modified Horton equation for infiltration during intermittent rainfall. *Hydrological Sciences Journal*, 6936, 8. <https://doi.org/10.1080/02626667409493900>
- Benavides, H., y Pucha, F. (2021). *Análisis de la capacidad hidráulica del drenaje vial para condiciones de escurrimiento actuales Julio 2020 Holger Benavides-Muñoz Franz Pucha-Cofrep Loja - Ecuador* (Issue February).
- Cárdenas, J. M. A. (2009). *Simulación en periodo extendido - cuasiestático - de redes urbanas a superficie libre mediante SWMM 5.0 vE*. Universidad Técnica Particular de Loja.
- Carmagnani, M., Hernández Chávez, A., y Romano, R. (2016). *Para una historia de América, I. Las estructuras*.
- Cevallos, A. (2020). *Influencia de la viscosidad cinemática, en el coeficiente de fricción para la fórmula Darcy Weisbach* (Vol. 2507, Issue February). Pontificia Universidad Católica DEL Ecuador.
- Chang, T. J., Wang, C. H., y Chen, A. S. (2015). A novel approach to model dynamic flow interactions between storm sewer system and overland surface for different land covers in urban areas. *Journal of Hydrology*, 524, 662–679. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.03.014>
- Córdova Gutierrez, D., Paredes Méndez, D., y Alulema del Salto, R. A. (2017). Determinación del parámetro hidrológico número de curva en la cuenca de la quebrada El Batán, usando sistemas de información geográfica y percepción remota. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 1(1), 31–41. <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.53>
- Cuartero, R. (2016). *Innovación didáctica con cartografía digital para la enseñanza de*

- geografía. *Una propuesta con Google Earth* [Universidad de Jaén]. <https://doi.org/10.2307/j.ctv2175ht3.3>
- Damián De la Cruz, J., y Flores Haumán, T. (2019). *Estudio definitivo de saneamiento básico del centro poblado San Carranco, distrito de Jayanca, provincia de Lambayeque, departamento de Lambayeque*. Universidad Nacional "Pedro Ruiz Gallo."
- Dávila, C., y Torres, I. (2010). *Implementación de un sistema de optimización de procesos constructivos para obras de drenaje vial*. Universidad Católica del Ecuador.
- EPA, E. P. A. (2005). Manual del Usuario. *Manual de Usuario, SWMM Modelo de Gestión de Aguas Pluviales*, 5, 257.
- Feldman, M. P. (2002). The internet revolution and the geography of innovation. *International Social Science Journal*, 54(171), 47–56. <https://doi.org/10.1111/1468-2451.00358>
- Ferrer, M., Rodríguez, J., y Estrela, T. (1995). Generación automática del número de curva con sistemas de información geográfica. *Ingeniería Del Agua*, 2(4), 43–58. <https://doi.org/10.4995/ia.1995.2686>
- Flores, F. (2017). Diseño hidráulico y estructural del sistema de drenaje pluvial de la localidad de Fausa Sapina, Provincia el Dorado, Región San Martín. [Universidad Nacional de San Martín]. In *Universidad Nacional de San Martín*. <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/574>
- García, E. (2017). *Cálculo hidrológico del Barranco de los Carriles aplicando el método Racional modificado por Témez*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural.
- García, M. (2006). *Modelación y simulación de redes hidráulicas a presión mediante herramientas informáticas* [Universidad Politécnica de Cartagena]. https://www.upct.es/hidrom/publicaciones/Tesis_pfc/PFC_MMarGracia_2006.pdf
- Huang, P. C., y Lee, K. T. (2020). Channel hydrological response function considering inflow conditions and hydraulic characteristics. *Journal of Hydrology*, 591(September), 125546. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125546>
- Iturbe, O. (2017). El drenaje y su importancia para una ciudad sustentable. *Academia Nacional de La Ingeniería y El Hábitat*, 50.
- Maguire, D. J. (1991). An overview and definition of GIS. In *Geographical information systems. Vol. 1: principles* (pp. 9–20).
- Nair, S., Srinivasan, G., y Nemani, R. (2009). Evaluation of multi-satellite TRMM derived rainfall estimates over a western state of India. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 87(6), 927–939. <https://doi.org/10.2151/jmsj.87.927>
- Pérez, A. T., y Vanegas, L. J. (2016). *Estudio hidrológico e hidráulico en la zona baja de la cuenca del río frío en el Municipio de Chía*. Universidad Católica de Colombia.
- Pontes, P. R. M., Fan, F. M., Fleischmann, A. S., de Paiva, R. C. D., Buarque, D. C., Siqueira,

- V. A., Jardim, P. F., Sorribas, M. V., y Collischonn, W. (2017). MGB-IPH model for hydrological and hydraulic simulation of large floodplain river systems coupled with open source GIS. *Environmental Modelling and Software*, 94, 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.03.029>
- Ravi, V., y Williams, J. R. (1998). Estimation of Infiltration Rate in the Vadose Zone: Compilation of Simple Mathematical Models (Volume I). *Environmental Protection*, 1(February), 84.
- Resource, A. (2021). *¿Qué es ArcGIS? | ArcGIS Resource Center*. ESRI. <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>
- Ruiz, R. (2017). *Análisis de la calidad y usos en la minicuenca hidrográfica de la quebrada San Francisco-microcuenca del río Malacatos y la importancia de los sistemas agroforestales*.
- Sohn, W., Brody, S. D., Kim, J. H., y Li, M. H. (2020). How effective are drainage systems in mitigating flood losses?. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.102917>
- Soriano, O. (2006). *Diseño de un sistema de drenaje pluvial óptimo y funcional para el sector “La Rotaria” de la parroquia Raúl Leoni de Maracaibo. Edo.- Zulia*. Universidad Rafael Urdaneta.
- Soriano, P., y García, A. (2015). *Estudio del comportamiento hidrológico e implantación de obras de mejora para el drenaje urbano y escorrentía superficial en la zona norte de Murcia, Churra (Murcia)* [Universidad Politécnica de Cartagena]. <https://repositorio.upct.es/handle/10317/5038?show=full>
- Vélez, J., y Botero, A. (2011). Estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago en la cuenca experimental urbana de la quebrada San Luis, Manizales. *Dyna*, 78(165), 58–71. <https://www.redalyc.org/html/496/49622372006/>
- Weber, Juan F, y Apestegui, L. (2013). Parámetros del modelo de infiltración de Green y Ampt en suelos. *Cuadernos del Curiham*, 19, 87–103.
- Weber, Juan Francisco. (2014). Parámetros del modelo de infiltración de Horton obtenidos mediante el uso de un simulador de lluvia. *Revista Ambiente e Agua*, 9(3), 1–15. <https://doi.org/10.4136/1980-993X>
- Yucra, S. (2020). *Análisis de aplicación de tecnologías BIM para la optimización de la constructabilidad en proyectos de ingeniería civil en la ciudad de Arequipa*, 2019. 60.
- Zhang, D., Madsen, H., Ridler, M. E., Refsgaard, J. C., y Jensen, K. H. (2015). Impact of uncertainty description on assimilating hydraulic head in the MIKE SHE distributed hydrological model. *Advances in Water Resources*, 86, 400–413. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2015.07.018>
- Zonta, J., Martinez, M., Pruski, F., Silva, D., y Montebeller, C. (2010). Adequação dos

parâmetros do modelo de Green-Ampt-Mein-Larson em condições de campo
Adjustment of Green-Ampt-Mein-Larson model parameters under field conditions.
Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental - Agriambi, 14(10), 1021–1029.