



**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 pluviales urbanos mediante  
aplicativos ofimáticos**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

**INGENIERO CIVIL**

**Autor:** Bejarano Trujillo, Patricio Israel

**Director:** Benavides Muñoz, Holger Manuel

LOJA  
2022



*Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-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

Ingeniero  
Belizario Amador Zárate Torres  
**Director de la carrera de Ingeniería Civil**

Ciudad. -

De mi consideración:

Me permito comunicar que, en calidad de director del presente Trabajo de Titulación denominado: Manual técnico para el análisis hidrológico e hidráulico del sistema de drenajes pluviales urbanos mediante aplicativos ofimáticos realizado por Patricio Israel Bejarano Trujillo ha sido orientado y revisado durante su ejecución, así mismo ha sido verificado a través de la herramienta de similitud académica institucional, y cuenta con un porcentaje de coincidencia aceptable. En virtud de ello, y por considerar que el mismo cumple con todos los parámetros establecidos por la Universidad, doy mi aprobación a fin de continuar con el proceso académico correspondiente.

Particular que comunico para los fines pertinentes.

Atentamente,

Director: Holger M. Benavides Muñoz  
C.I.:1103139182  
hmbenavides@utpl.edu.ec

### **Declaración de autoría y cesión de derechos**

“Yo, Patricio Israel Bejarano Trujillo, declaro y acepto en forma expresa lo siguiente:

Ser autor del Trabajo de Titulación denominado: Manual técnico para el análisis hidrológico e hidráulico del sistema de drenajes pluviales urbanos mediante aplicativos ofimáticos, de la carrera de Ingeniería Civil, específicamente de los contenidos comprendidos en: Introducción, Capítulo 1. Marco teórico, Capítulo 2. Materiales y métodos, Capítulo 3. Caso de Estudio, Capítulo 4. Resultados y Análisis, Conclusiones y Recomendaciones, siendo PhD Holger Manuel Benavides Muñoz, director del presente trabajo; también declaro que la presente investigación no vulnera derechos de terceros ni utiliza fraudulentamente obras preexistentes. Además, ratifico que las ideas, criterios, opiniones, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad. 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 de este trabajo.

Que la presente 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”, en tal virtud, cedo a favor de la Universidad Técnica Particular de Loja la titularidad de los derechos patrimoniales que me corresponden en calidad de autor/a, de forma incondicional, completa, exclusiva y por todo el tiempo de su vigencia.

La Universidad Técnica Particular de Loja queda facultada para ingresar el presente trabajo 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.

Firma:

Autor: Patricio Israel Bejarano Trujillo

C.I.: 1105026072

pibejarano@utpl.edu.ec

## **Dedicatoria**

A Efrén mi Padre, a Martha mi madre por haber forjado mi camino en la vida.

A mi hermana, por el apoyo incondicional.

A mis Familiares.

A mis Amigos.

## **Agradecimiento**

Gratitud con la vida, gratitud con la lealtad que me he tenido y con la incondicionalidad presencia de mis padres y hermana.

Agradezco tener amigos que me apoyan en todo momento, a mi mejor amiga Aitana y a mi compañero de tesis Sergio.

## 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
Marco Teórico.....	6
1.1    Sistema de georreferencia de la zona de estudio.....	6
1.1.1    Identificación de la zona de estudio.....	6
1.1.2 <i>Datos geográficos</i> .....	6
1.2    Sistemas digitales de recopilación de datos meteorológicos. ....	6
1.2.1 <i>Datos provenientes de Google Earth (CRUTEM4)</i> .....	6
1.2.2 <i>Datos provenientes desde el TRMM</i> .....	6
1.2.3 <i>Datos del anuario hidrológico del INAMHI</i> .....	7
1.3    Fundamentos hidrológicos. ....	7
1.3.1 <i>Tiempo de concentración</i> .....	7
1.3.1.1    Metodología Kirpich.....	8
1.3.1.2    Metodología Temez. ....	8
1.3.1.3    Metodología Fórmula Californiana. ....	8
1.3.2 <i>Modelos de infiltración</i> .....	9

1.3.2.1	Horton.....	9
1.3.2.2	Horton modificada.....	9
1.3.2.3	Green-Ampt.....	10
1.3.2.4	Green-Ampt modificado. ....	11
1.3.2.5	Número de la Curva. ....	11
1.3.3	<i>Onda Cinemática</i> .....	12
1.3.4	<i>Cuencas</i> .....	13
1.3.5	<i>Coeficiente de Escorrentía</i> .....	13
1.3.6	<i>Precipitación</i> .....	13
1.3.7	<i>Método Racional</i> .....	14
1.4	Fundamentos hidráulicos .....	14
1.4.1	<i>Velocidad</i> .....	14
1.4.2	<i>Diámetro de tuberías del alcantarillado</i> .....	15
1.4.3	<i>Nudos</i> .....	15
1.4.4	<i>Áreas de drenaje o tributarias</i> .....	15
1.4.5	<i>Nudo de desembocadura/vertido</i> .....	16
1.4.6	<i>Darcy-Weisbach</i> .....	16
1.4.6.1	<i>Factor de fricción</i> . ....	17
	<b>Materiales y Métodos</b> .....	18
2.1	<i>Área de estudio</i> .....	18
2.2	<b>Materiales</b> .....	18
2.2.1	<i>Cartografía y Georreferenciación</i> .....	18
2.2.2	<i>Software aplicado</i> .....	19
2.3	<b>Métodos</b> .....	19
2.3.1	<i>Datos meteorológicos</i> .....	19

2.3.2	<i>Análisis del algoritmo SWMM</i> .....	19
2.3.3	<i>Pluviómetros</i> .....	20
2.3.4	<i>Intensidad</i> .....	21
2.3.5	<i>Sub Cuencas</i> .....	21
2.3.6	<i>Áreas Tributarias</i> .....	21
2.3.7	<i>Nudos</i> .....	22
2.3.8	<i>Líneas o conductos</i> .....	22
	<b>Caso de estudio</b> .....	<b>23</b>
3.1	<b>Información general</b> .....	<b>23</b>
3.2	<b>Obtención y procesamiento de datos</b> .....	<b>24</b>
3.3	<b>Morfología de la cuenca</b> .....	<b>24</b>
3.4	<b>Estaciones consideradas</b> .....	<b>25</b>
3.5	<b>Sub cuencas</b> .....	<b>25</b>
3.6	<b>Precipitaciones</b> .....	<b>26</b>
3.7	<b>Intensidad</b> .....	<b>26</b>
3.8	<b>Red de drenaje</b> .....	<b>27</b>
3.8.1	<i>Áreas tributarias</i> .....	<b>28</b>
3.8.2	<i>Nudos o Pozos</i> .....	<b>30</b>
3.8.3	<i>Líneas de conexión</i> .....	<b>30</b>
3.9	<b>Caudales</b> .....	<b>31</b>
	<b>Resultados y análisis</b> .....	<b>33</b>
4.1	<b>Resultado: comparación entre datos meteorológicos</b> .....	<b>33</b>
4.2	<b>Resultados hidrológicos SWMM</b> .....	<b>33</b>
4.3	<b>Resultados hidráulicos SWMM</b> .....	<b>34</b>
4.4	<b>Resultado Perfiles hidráulicos</b> .....	<b>39</b>

4.5	Resultado manual Resultado manual .....	39
4.6	Análisis y discusión de resultados .....	39
	Conclusiones.....	41
	Recomendaciones .....	43
	Referencias.....	44

### Índice de Tablas

Tabla 1	Estaciones meteorológicas.....	21
Tabla 2	Morfología de la cuenca.....	24
Tabla 3	Estaciones pluviométricas.....	25
Tabla 4	Morfología de las subcuencas.....	25
Tabla 5	Generalidades de intensidad.....	26
Tabla 6	Detalles de obtención de la intensidad.....	27
Tabla 7	Áreas tributarias para el sistema de drenaje pluvial.....	28
Tabla 8	Descripción de la obtención del coeficiente de escorrentía.....	29
Tabla 9	Coefficiente de Manning usado en el software.....	29
Tabla 10	Distribución, nomenclatura de los pozos, cotas y niveles.....	30
Tabla 11	Resumen de los conductos y parámetros hidráulicos.....	31
Tabla 12	Resumen de caudales de cada tramo de la red.....	32
Tabla 13	Caudal máximo del nudo 1.....	33
Tabla 14	Caudal medio y máximo del nudo 2-punto de interés.....	33
Tabla 15	Relación de caudales obtenidos en distintos software.....	34
Tabla 16	Resultados del análisis de los niveles de los nodos.....	35
Tabla 17	Resultados del análisis de aportes en los pozos.....	36
Tabla 18	Resultados del análisis de aportes en los conductos.....	37
Tabla 19	Caudal medio y máximo pozo final (RÍO).....	38
Tabla 20	Relación de resultados obtenidos en distintos software.....	38

### Índice de Figuras

Figura 1	Tiempo de concentración .....	7
Figura 2	Potencial de infiltración .....	9
Figura 3	Delimitación del área de estudio o cuenca .....	18
Figura 4	Mapa base de microcuenca del Río Malacatos.....	23

## Resumen

El desarrollar estudios hidrológicos e hidráulicos de forma precisa y eficaz se ha convertido en parte fundamental para las obras civiles. Por lo tanto, conocer el proceso para su desarrollo es primordial; además, aplicando el software informático para realizar simulaciones y evaluaciones es la mejor forma de precisar los parámetros y agilizar los resultados. Este trabajo de fin de titulación se desarrolló con el objeto de realizar una guía técnica de cómo realizarla facilitando la comprensión. Se ejemplificó un caso de estudio en la fase hidrológica y se diseñó el sistema de drenaje pluvial urbano, seleccionando los siguientes software en la evaluación: Swmm, Civil Storm, comparando los datos obtenidos de las modelaciones, con estudios realizados en años pasados. La proximidad obtenida para la fase hidrológica de caudales es del 8.12% y 0.46%. Y, en la fase hidráulica para caudales de la red, se tuvo una proximidad entre el realizado por el autor y el software Swmm del 29.84%, para velocidades del 8.64% y del 0.05% en cuanto a la lámina de agua en los tramos de tubería.

*Palabras claves:* guía-técnica, sistema de drenaje, simulaciones.

### **Abstract**

The development of hydrological and hydraulic studies in an accurate and efficient way has become a fundamental part of civil works. Therefore, knowing the process for its development is essential; in addition, applying computer software to perform simulations and evaluations is the best way to precise the parameters and speed up the results. This final degree work was developed with the purpose of making a technical guide on how to do it, making it easier to understand. Exemplifying a case study, in the hydrological phase and the urban storm drainage system was designed, selecting the following software in the evaluation: Swmm, Civil Storm; comparing the data obtained from the modeling, with studies conducted in past years. The proximity obtained for the hydrological phase of flows is 8.12% and 0.46%. And, in the hydraulic phase for network flow rates, there was a proximity of 29.84% between the one performed by the author and the Swmm software, for velocities of 8.64% and 0.05% in terms of water depths in the pipe sections.

*Keywords:* technical-guide, drainage system, simulations.

## Introducción

La ciencia y tecnología han presentado avances que han sido revolucionarios teniendo impacto en cada ámbito de la vida. Años atrás, los métodos para la obtención de datos, análisis, diseño y construcción de obras ingenieriles eran menos precisos que los actuales; y, en consecuencia, la síntesis de la cuantificación de los datos necesarios para desarrollar un proyecto mediante paquetes ofimáticos. Por lo cual, es de vital importancia tener registros o manuales que faciliten el manejo de la información desde su obtención hasta llegar a la construcción del mismo (Castro Gil et al., 2013).

El uso de las herramientas ofimáticas han cambiado y revolucionado los métodos convencionales para el desarrollo de los proyectos, mejorando los aspectos de obtención, modelación y resultados con mayor precisión y confiabilidad. Así como, manejar datos de las cuencas, conocer la cantidad de precipitación, la morfología, la escorrentía superficial; que en ausencia de modelación con algún software, este análisis tomaría mayor cantidad de tiempo y con menor precisión en los resultados (Villacorta y Hoyos, 2019).

El catastro y modelación hidrológica e hidráulica, se ha visto enriquecida a partir del uso de aplicativos, el beneficio en cuanto a resultados es el esperado; sin embargo, debido a que existe una gama de aplicativos que ofrecen diversos parámetros a considerar, se debe conocer las variables incidentes en la obtención de los datos útiles para el diseño (Riccardi et al., 2013).

En cuanto a la resolución de los inconvenientes de procesamiento de datos hidrológicos e hidráulicos, vincular cada uno de los parámetros y condiciones de representaciones hidrodinámicas mediante uso de software, convierte un análisis de varias variables en un procedimiento de simulación ágil y óptima de su resolución (Torres-Bejarano et al., 2016).

Para el análisis de los datos se usará, tanto herramientas de libre acceso como paquetes que posean licencia Bentley. Por lo tanto, para realizar la comprobación de los resultados obtenidos mediante el software seleccionado, se debe realizar la comparación

entre el cálculo teórico-práctico, con el del paquete ofimático, y posteriormente, elaborar un manual técnico del manejo de la herramienta (González, 2009).

El siguiente trabajo de fin de titulación tiene por objeto el desarrollo de una guía en la selección y uso de software que permitan desarrollar cálculos hidrológicos e hidráulicos aplicados a los sistemas de drenajes pluviales urbanos. Al analizar la gama de software dedicados, tanto a la simulación como la evaluación de la hidrología e hidráulica, se pueden elaborar casos prácticos, ejemplos de aplicación para optimizar la comprensión, así como su operación.

Para elaborar la guía técnica, se procederá a ejemplificar un caso de aplicación seccionado en dos fases, la primera comprendida en el estudio hidrológico, mismo que considera la zona de estudio, el punto de interés, la información meteorológica, la morfología de la cuenca, los métodos de infiltración y la metodología para obtención de la escorrentía superficial. En la segunda fase, en el estudio hidráulico, el sistema de drenajes para la zona urbana comprende el trazo de las áreas tributarias, los pozos de cabecera, colectores y de vertido; además de los tramos de tubería con cada una de las cotas de entrada y salida a los pozos. Finalmente, el diseño de las secciones hidráulicas en las que trasegará el caudal a través de la red de drenaje hasta el punto de vertido.

Luego, al obtener los resultados de la modelación tanto hidrológica como hidráulica, se procede a analizar el sistema metodológico aplicado en las simulaciones, esta proximidad que exista entre un resultado de otro se convierte en un indicador de la precisión de los parámetros considerados para cada diseño evaluado en el software. Finalmente, se debe redactar la guía técnica considerando las instrucciones paso a paso de cómo realizar las simulaciones para estudios hidrológicos e hidráulicos para zonas urbanas.

La estructura del documento comprende cuatro 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 como aplicarlo a un caso de estudio. En el tercer

capítulo, se describen las condiciones del caso de estudio y la información necesaria para realizarlo mediante el paquete ofimático seleccionado. En la cuarta fase, se detallan los resultados y la discusión para que finalmente, en el quinto capítulo, se presenten las conclusiones y recomendaciones basados en el objeto de la investigación.

## **Marco Teórico**

### **1.1 Sistema de georreferencia de la zona de estudio.**

#### **1.1.1 Identificación de la zona de estudio**

Describir e identificar la ubicación, delimitación y topografía de la zona de estudio para el análisis de cuencas y micro cuencas. Las regiones hidrológicas son áreas determinadas por la topografía, precisando las características de una hoya hidrográfica mediante su área, forma, el orden de las corrientes de agua, pendiente y de la corriente principal, de su curva hipsométrica y además de las curvas de nivel de la zona de estudio (Monsalve Sáenz, 1999).

#### **1.1.2 Datos geográficos**

Los Modelos Digitales de Elevación (MDE), se consideran como un sistema en el cual, las coordenadas y altitud son representadas en el espacio, obteniendo información topográfica, geográfica y opcional, que es vinculada en las zonas geográficas indicadas en el MDE. (RUIZ, 1996).

El software Google Earth, representa mediante modelos de elevación georreferenciados, datos geográficos y topográficos de la zona de estudio a analizar, permitiendo realizar la delimitación de la divisoria de aguas y exportar (.kml), tanto los datos seleccionados como el archivo ráster para un modelado en software.

### **1.2 Sistemas digitales de recopilación de datos meteorológicos.**

#### **1.2.1 Datos provenientes de Google Earth (CRUTEM4)**

Los datos que se obtienen mediante CRUTEM4, son descargados y tienen compatibilidad con el software Google Earth en formato (.kml).

#### **1.2.2 Datos provenientes desde el TRMM**

Los datos obtenidos del satélite TRMM: Misión de Medición de Lluvias tropicales analiza, monitorea aquellas precipitaciones tropicales y subtropicales que estén entre los

35°N y 35°S. Posee un radar de precipitación que estructura los mapas de tormentas, recopilando la información acerca de la intensidad, precipitaciones y meteorología en general con precisión de 4.3km en franjas de 220km de radio (Gidahatari, n.d.).

### 1.2.3 Datos del anuario hidrológico del INAMHI

Los datos de estaciones y regímenes pluviométricos son el rasgo climático más importante que caracterizan a un lugar o zona, debido a los factores que afectan la meteorología, hidrología y la ingeniería civil (INAMHI, 2020). Aquellos datos obtenidos mediante los anuarios del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología se analizan a través de metodologías para conocer precipitaciones, intensidades y caudales.

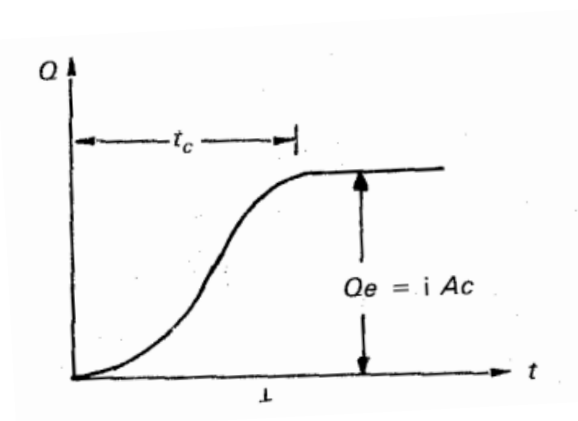
## 1.3 Fundamentos hidrológicos.

### 1.3.1 Tiempo de concentración

Se conoce al tiempo de concentración, al transcurrido desde que una gota de agua atraviesa desde la cuenca alta, hasta el punto de interés. Ecuación 1. En la Figura 1, se detalla el tiempo de concentración en un hidrograma (Aparicio Mijares, 1992).

**Figura 1**

*Tiempo de concentración*



Nota. Adaptada de (Aparicio Mijares,1992)

$$t_c = \frac{L}{3600 v} \quad \text{Ecuación 1}$$

$L$  – longitud del cauce principal en m.

$v$  – velocidad media del agua del cauce principal.

**1.3.1.1 Metodología Kirpich.** Estima el tiempo de concentración mediante la Ecuación 2 (Vélez-Upegui y Botero-Gutiérrez, 2011).

$$tc(H) = 0.3 \times \left(\frac{L}{J}\right)^{0.76} \quad \text{Ecuación 2}$$

$L$  – Longitud del cauce principal.

$J$  – Pendiente del cauce principal

**1.3.1.2 Metodología Temez.** El tiempo de concentración es definido mediante la Ecuación 3 y 4 (García Durá, 2017).

$$tc(min) = 0.0078 \times (L_p)^{0.77} \times (S)^{-0.385} \quad \text{Ecuación 3}$$

$L_p$  – Longitud del cauce principal (pies)

$S$  – Pendiente del cauce principal

$$tc(min) = 0.000325 \times (L_p)^{0.77} \times (S)^{-0.385} \quad \text{Ecuación 4}$$

$L_p$  – Longitud del cauce principal (km).

$S$  – Pendiente del cauce principal

**1.3.1.3 Metodología Fórmula Californiana.** Al aplicar la Ecuación 5, se obtiene el tiempo de concentración (Soriano Pacheco y García Lopez, 2015).

$$tc(H) = 0.066 \times \left(\frac{L_r}{J^{0.5}}\right)^{0.77} \quad \text{Ecuación 5}$$

$L_r$  – Longitud del cauce principal.

$J$  – Pendiente del cauce principal

### 1.3.2 Modelos de infiltración

**1.3.2.1 Horton.** La metodología de Horton, se basa en la prueba y error empíricamente detallando que la infiltración decrece exponencialmente desde el valor inicial máximo hasta el valor mínimo función de la duración precipitada. Ecuación 6 (Monsalve Sáenz, 1999).

$$f = f_c + (f_o - f_c) \times e^{-kt}$$

Ecuación 6

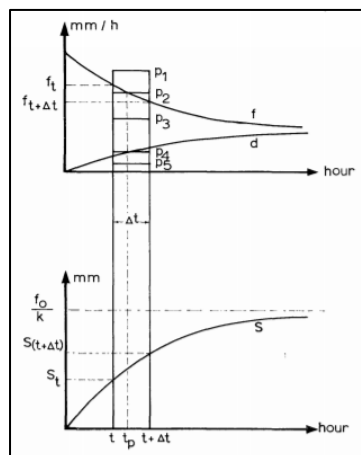
Donde:

- $f_o$  – Capacidad de infiltración inicial o máxima.
- $f_c$  – Capacidad de infiltración básica o mínima (equivalente a la conductividad hidráulica del suelo saturado).
- $k$  – Constante de decaimiento.
- $t$  – Tiempo desde el inicio de la lluvia.
- $f$  – Capacidad de filtración en un tiempo (mm/h).

**1.3.2.2 Horton modificada.** En la Figura 2, se describe el potencial de infiltración metodología de Horton modificada.

**Figura 2**

*Potencial de infiltración*



Nota. Adaptado de (Bauer, 2010)

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

$$f = [p_2 \times (t_p - t)] + [f_c \times (t + \Delta t - t_p)] + \left[ \frac{f_o - f_c}{k} \times (e^{-kt_p} - e^{-k(t+\Delta t)}) \right] \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

- $f_o$  – Capacidad de infiltración inicial o máxima.
- $f_c$  – Capacidad de infiltración básica o mínima (equivalente a la conductividad hidráulica del suelo saturado).
- $k$  – Constante de decaimiento.
- $t$  – Tiempo desde el inicio de la lluvia.
- $f$  – Capacidad de filtración en un tiempo (mm/h).

**1.3.2.3 Green-Ampt.** Considera las condiciones del suelo, el contenido de humedad, la conductividad hidráulica en la sección transversal del suelo para obtener la capacidad de infiltración exponencial. Se expresa con la Ecuación 9 (Alvarado Batres y Barahona-Palomo, 2017).

$$I = K_s \times \left[ \frac{F + A_s(\theta_s - \theta_o)}{F} \right] \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

- $I$  – Capacidad de infiltración (mm/h).
- $K_s$  – Conductividad hidráulica a saturación (mm/h).
- $A_s$  – Altura de succión (mm).
- $F$  – Capacidad máxima de infiltración (mm).
- $\theta_s - \theta_o$  – Déficit de la mezcla inicial del suelo.

**1.3.2.4 Green-Ampt modificado.** En la Ecuación 10 y 11, se expresa la metodología modificada de Green-Ampt Revisado de: (Selker, 1999)

$$I = Tx_{ci} \times \left[ \frac{\theta_c + \theta_s}{2} - \theta_i \right] + \frac{(\theta_c - \theta_i) \times (x_i - x_{ci})}{2} \quad \text{Ecuación 10}$$

$$i = \left[ \frac{\theta_c + \theta_s}{2} - \theta_i \right] \frac{dx}{dt} \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

- $I$  – Capacidad de infiltración (mm/h).
- $i$  – Tasa de Infiltración (mm).
- $T$  – Coeficiente de transferencia unitaria (mm).
- $\theta_s$  – Contenido crítico de agua (mm).
- $\theta_c$  – Contenido agua saturada (mm).
- $\theta_i$  – Contenido inicial del agua (mm).
- $x_{ci}$  – Límite inferior del frente húmedo.
- $x_i$  – Distancia medida desde el frente húmedo a la línea de conductividad.

**1.3.2.5 Número de la Curva.** Es un método de aproximación para estimar la escorrentía total a partir de datos de precipitación los parámetros considerados como coeficientes CN, que varía de 1 a 100. El valor 100 indica que toda el agua escurre y el 1 significa que toda el agua infiltra. Representando los valores de escorrentía a partir de la cobertura vegetal, tipo de suelo (A, B, C y D), humedad, conductividad hidráulica y condición hidrológica (ABB Group, 2007).

$$F = P - \frac{(P - I)^2}{(P - I + S)} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$S = 25.4 \times \left( \frac{100}{CN} - 10 \right) \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

- $P$  – Volumen de lluvia acumulado (mm).
- $F$  – Volumen equivalente de retención (mm).
- $I$  – Pérdidas iniciales de lluvia (mm).
- $S$  – Máxima retención posible (mm).
- $CN$  – Número de la Curva.

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2.3 - 0.013 \times CN_{II}} \quad \text{Ecuación 14}$$

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0.43 + 0.0057 \times CN_{II}} \quad \text{Ecuación 15}$$

Las Ecuaciones 14 y 15 para calcular  $CN_{II}$  y  $CN_{III}$  respectivamente, son usados para determinar los números de curva mediante tablas en función del tipo del suelo y el porcentaje de área de cobertura (Monsalve Sáenz, 1999).

### 1.3.3 Onda Cinemática

SWMM 5.0 trabaja con tres métodos de cálculo hidráulico: flujo uniforme, la onda cinemática, y la onda dinámica. En cuanto al transporte de agua la conservación de la masa y de la cantidad de movimiento en el flujo es la metodología del software.

Este modelo hidráulico de transporte resuelve la ecuación de continuidad junto con la forma simplificada de la cantidad de movimiento en cada una de las conducciones (ABB Group, 2007).

Este modelo permite que tanto el caudal como el área cambien en función del espacio y el tiempo al interior del conducto, sin embargo, las consideraciones que no contempla este método son: el resalto hidráulico, las pérdidas a la entrada o salida de los pozos de registro, el flujo inverso o presurizado, y su uso restringido a redes ramificadas.

#### **1.3.4 Cuencas**

La cuenca hidrográfica comprende un área definida topográficamente, drenada a través de los puntos bajos, creando un sistema de drenaje natural que considera un punto final como la salida del caudal descargado (Monsalve Sáenz, 1999).

Para ingresar los datos necesarios se debe considerar que existen metodologías para trabajar en el aplicativo, uno de los métodos que ofrece SWMM, es digitar los datos para modelado próximo. Estos datos se consideran las características físicas de una cuenca, como: área de drenaje, su forma, el ancho del flujo, la pendiente media, el porcentaje de área cubierta de impermeabilización, la metodología de cálculo para la infiltración, el coeficiente de Manning para las áreas.

#### **1.3.5 Coeficiente de Escorrentía**

Como definición general se considera la relación entre el volumen total de agua superficial escurrida y el volumen total de agua en el intervalo precipitado. Se consideran tablas de coeficientes relativos en función de la cobertura vegetal y tipo de suelo para obtener intensidades y caudales (Monsalve Sáenz, 1999).

#### **1.3.6 Precipitación**

Para el análisis de los estudios hidrológicos e hidráulicos mediante aplicativos webs se debe considerar que los datos de partida, como la delimitación de la zona de estudio y la obtención de datos pluviométricos de las estaciones que se encuentren en el área, o las circundantes a la zona de estudio. Se debe considerar los datos estadísticos que sean del área en análisis, y en caso de no poseer datos estadísticos de caudales, se debe tomar como punto de partida el registro de precipitaciones de las estaciones (ABB Group, 2007).

### 1.3.7 Método Racional

Para cuencas de morfología menor a doscientas hectáreas (<200Ha); considera parámetros como la intensidad de la precipitación, el área de interés de la cuenca y el coeficiente de escorrentía definido a partir de la cobertura vegetal. El método es aplicado mediante la Ecuación 16 (Aparicio Mijares, 1992).

$$Q = \frac{C \times I \times A}{360}$$
Ecuación 16

- $Q$  – Caudal máximo (m<sup>3</sup>/s).
- $C$  – Coeficiente de escorrentía.
- $I$  – Intensidad de la precipitación (mm/h).
- $A$  – Área de la cuenca (Ha).

## 1.4 Fundamentos hidráulicos

### 1.4.1 Velocidad

La velocidad mínima requerida en los sistemas de drenajes de aguas lluvias depende de la normativa de regimiento. Se verifica que la condición de velocidad en los tramos de tubería del sistema, sea  $V > 0.60$  m/s. Es decir, que se convierta en un sistema auto limpiante del flujo y se debe comprobar el criterio de esfuerzo cortante medio, y corroborar que sea mayor o igual a  $1.0$  N/m<sup>2</sup> ( $0.1$  kg/m<sup>2</sup>). Se expresa mediante la Ecuación 17.

$$\tau = \gamma \times R_h \times S$$
Ecuación 17

- $\tau$  – Esfuerzo cortante (kg/m<sup>2</sup>).
- $\gamma$  – Peso específico del agua (kg/m<sup>3</sup>).
- $R_h$  – Radio hidráulico (m).
- $S$  – Pendiente (m/m).

La velocidad máxima que se puede permitir, se basa en función de la composición de las tuberías debido a la abrasión en el interior de la misma. La velocidad máxima no debe sobrepasarse de 9 m/s, en caso de existir velocidades mayores se deben justificar (EMAAP-Q, 2009).

#### **1.4.2 Diámetro de tuberías del alcantarillado**

El diámetro mínimo requerido en los sistemas de drenajes de aguas lluvias depende de la normativa de regimiento del proyecto. Este diámetro interno real mínimo permitido en el Ecuador (Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes), es de 250 mm con el fin de evitar obstrucciones en los conductos del sistema de drenaje (SENAGUA, 2010).

#### **1.4.3 Nudos**

Son nudos de un sistema de drenaje, puntos de interés a los cuales se conectan líneas entre sí; estos elementos permiten la comunicación y conducción del flujo a través del sistema de drenaje. Según el manual de SWMM (2007, pp 38 y 145) los parámetros a considerar son los siguientes:

- Cota de fondo o fondo del pozo
- Profundidad del pozo
- Área superficial del área estancada cuando se produce un fenómeno de inundación.  
(Opcional)
- Aportes externos (Opcional).

#### **1.4.4 Áreas de drenaje o tributarias**

Para cuantificar el área de drenaje se debe considerar la topografía del proyecto y realizar el trazado de la red, inicialmente con el trazo de diagonales o bisectrices sobre las manzanas de la urbanización, o considerar las curvas de nivel del proyecto y trazar las áreas aferentes para cada uno de los tramos.

#### 1.4.5 Nudo de desembocadura/vertido

Son aquellos nudos en el sistema de drenaje que tienen por objeto dividir el flujo para realizar dos descargas mediante dos conductos definidos por el diseñador, y únicamente se pueden tener dos descargas. Existen cuatro tipos de divisores: corte, exceso, tabular y aliviadero. Según el manual de SWMM (2007, pp 39 y 147) los parámetros a considerar son los siguientes

- Los parámetros de conexión descritos en apartados anteriores.
- Descripción de nomenclatura de la línea que recibe los caudales derivados.
- Método empleado para el cálculo de la cantidad del caudal derivado.

#### 1.4.6 Darcy-Weisbach

La ecuación de Darcy-Weisbach, es una combinación que junto al diagrama de Moody se aplica para conocer la cantidad de pérdidas de carga que existen en conductos de flujo presurizados. Las pérdidas de carga se expresan con la Ecuación 18 (Brown, 2003).

$$h_f = \lambda \times \left(\frac{L}{D}\right) \times \left(\frac{V^2}{2g}\right) = \left(\frac{8\lambda L}{\pi^2 g D^5}\right) \times Q^2 \quad \text{Ecuación 18}$$

- $h_F$  – Pérdida de carga.
- $f$  – Coeficiente de pérdida de carga.
- $L$  – Longitud de la tubería.
- $D$  – Diámetro de la tubería.
- $V$  – Velocidad media del fluido.
- $g$  – Aceleración de la gravedad.
- $Q$  – Caudal.

**1.4.6.1 Factor de fricción.** Para la determinación del factor de fricción en tubos lisos o rugosos, para flujos en la zona de transición ( $2200 < Re < 4000$ ) o turbulenta ( $Re > 4000$ ), se usa Colebrook-White, expresado en la Ecuación 19 (Benavides Muñoz, 2012).

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left( \frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right)$$

Ecuación 19

- $f$  – Factor de fricción.
- $\varepsilon$  – Rugosidad de tubería.
- $Re$  – Número de Reynolds.
- $D$  – Diámetro de tubería.

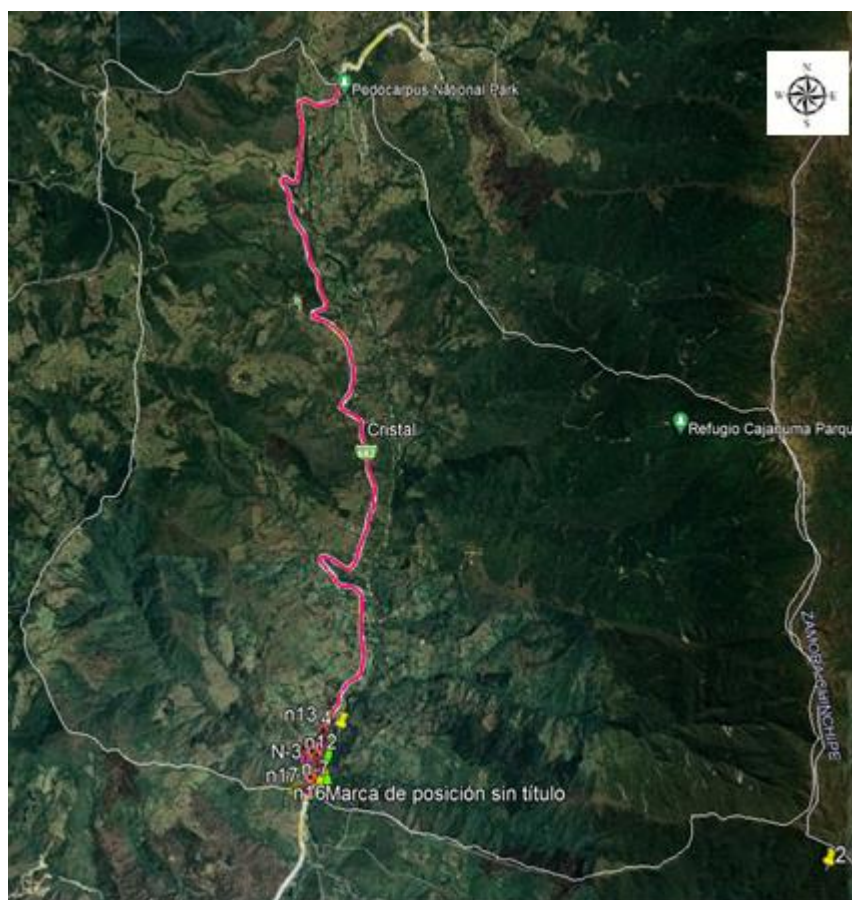
## Materiales y Métodos

### 2.1 Área de estudio

Para obtener la información base del presente trabajo, existen diversas formas de realizarlo, sin embargo, se describirán únicamente las utilizadas. En la Figura 3, se presenta el área en estudio.

**Figura 3**

*Delimitación del área de estudio o cuenca*



*Nota.* Cuenca adaptada del software Google Earth

### 2.2 Materiales

#### 2.2.1 Cartografía y Georreferenciación

Tanto la cartografía y la georreferencia de cada uno de los puntos en los estudios se implementaron mediante las cartas topográficas que ofrece el software Google Earth, y el proyecto: "Rehabilitación integral del sistema de riego Campana-Malacatos y ampliación

hasta San José de Ceibopamba”; obteniendo la información base como: ubicación, uso de suelo y predisposición para realizar la delimitación de la cuenca mediante el proceso de divisoria de aguas.

### **2.2.2 Software aplicado**

El software aplicado en el desarrollo del presente trabajo de titulación, consta de:

- SWMM 5.0.
- Google Earth.
- Sistemas de recopilación de datos meteorológicos.
- Civil Storm.

## **2.3 Métodos**

### **2.3.1 Datos meteorológicos**

Los datos meteorológicos que se usan para realizar el estudio hidrológico, así como el hidráulico, fueron obtenidos y descargados de las plataformas satelitales y de anuarios hidrológicos como:

- INAMHI.
- Satélite TRMM.
- Satélite CRUTEM4.

Dichos datos se introdujeron en el software SWMM 5.0, con el formato especificado por el programa en precipitación mensual. Y, considerando que la cuenca tiene aporte de cuatro estaciones pluviométricas, y además cada una de las áreas de aporte en donde inciden.

### **2.3.2 Análisis del algoritmo SWMM.**

El software SWMM 5.0, ofrece realizar el estudio hidrológico que, como paso inicial permite colocar una fotografía georreferenciada, introduciendo dos coordenadas de un punto inferior izquierdo y un punto superior derecho para colocarla como fondo y trazar la

cuenca y las subcuencas. De igual forma, para las coordenadas de las estaciones de forma exacta en el software, así como sus datos meteorológicos de precipitación mensual como series de datos temporales.

Luego, se insertan los datos morfológicos de las subcuencas que conforman la cuenca, como la pendiente, el coeficiente de cobertura vegetal, posterior las opciones principales de simulación del software y, especificar el modelo de infiltración, que, para motivos de aplicación del caso de estudio, es el número de la curva.

Considerar, que cada una de las subcuencas descarga el caudal a un nudo o a otra subcuenca hasta llegar al punto de interés, este punto, se puede considerar como un nodo de conexión o un nudo de desembocadura en el cual se tendrá la profundidad del mismo; posterior, se procede a ejecutar una simulación.

Para el modelo hidráulico de transporte del agua, se trabajó con el modelo de la onda cinemática. El análisis de los datos meteorológicos considera la cantidad de años de datos que se obtengan, por lo tanto, el inicio del análisis es en función del primer año, así como el final del análisis y poder realizar un informe en el intervalo de tiempo entre el año inicial al final.

Finalmente, se procedió a realizar el trazado de la red del sistema de drenaje pluvial del sector Rumishitana, mediante cada elemento como pozos, conexiones de tuberías y nudos de desembocadura de caudal. Para realizar una evaluación del diseño, ingresando los parámetros como cotas en cada pozo, la profundidad, el desnivel de entrada y salida de los conductos; así como, los aportes de caudal en cada uno de los nudos o pozos. Ejecutando una simulación para la red y obteniendo un error del 0.33%, aseverando que el error se encuentra en el rango permisivo del 10% sugerido por el manual del programa.

### **2.3.3 Pluviómetros**

Los datos de las estaciones pluviométricas que se usaron para el presente trabajo de titulación, son datos desde el año 1969 hasta el 2013 con precipitaciones medias

mensuales obtenidos de la plataforma de anuarios del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, expresados en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Estaciones meteorológicas.*

ESTACIÓN	COORDENADAS	
Malacatos	9533403	691652
Argelia	9553507	699464
Cajanuma	9548378	698995
San Francisco	9561247	713833

### **2.3.4 Intensidad**

En el estudio de la intensidad, se empleó la ecuación de intensidad de la estación de La Argelia (Ecuación 21 y 22), que se encuentra descrita en el anuario meteorológico del INAMHI, conociendo como parámetro inicial el tiempo de concentración de 1.58 horas, se procede a escoger la Ecuación 22.

$$I_{TR} = 86.811(t)^{-0.447}(I_{dTR}) \quad \text{Ecuación 20}$$

$$I_{TR} = 328.11(t)^{-0.798}(I_{dTR}) \quad \text{Ecuación 21}$$

La precipitación máxima en 24 horas, se obtuvo del proyecto: “Rehabilitación integral del sistema de riego Campana-Malacatos y ampliación hasta San José de Ceibopamba”

### **2.3.5 Sub Cuencas**

La Cuenca se dividió en seis subcuencas tales que, se consideraron en función de la mayor parte del tipo del suelo y la cobertura vegetal que existe y considerando cada uno de los parámetros que contemplan.

### **2.3.6 Áreas Tributarias**

Las áreas tributarias, se realizaron mediante el trazo de los polígonos en el software Google Earth, dieciséis áreas tributarias, en las que se analizó la cobertura vegetal para obtener el coeficiente de escorrentía y el área que comprende.

El coeficiente de escorrentía es función de la cobertura vegetal, así como, el parámetro para los suelos del permeables e impermeables de  $n$  Manning se analizó mediante el Apéndice B en la sección (B3).

### **2.3.7 Nudos**

Los nudos se trazan a través de las opciones del programa mediante las coordenadas de cada uno de los pozos, considerando la sección de 1.2 m como mínimo diámetro y 1.50 m de profundidad con la pendiente que va en función de la topografía.

El aporte que se le presenta a cada uno de los nudos va en función del área tributaria, este caudal será acumulativo a lo largo de la red y obtenido previo diseño con el método racional; además, la cota de la solera del pozo y la profundidad son ingresadas en el editor de nudos.

### **2.3.8 Líneas o conductos**

Las líneas que conectan la red, se trazaron uniendo los pozos y en el sentido del flujo, en las cuales se especifican: longitud, sección, rugosidad del material (Policloruro de Vinilo PVC  $n= 0.009$ ), el desnivel de entrada, el desnivel de salida y la dirección del flujo. Además, se debe conocer un previo diseño para conocer las pendientes y el caudal en cada tramo y el caudal final de la red.

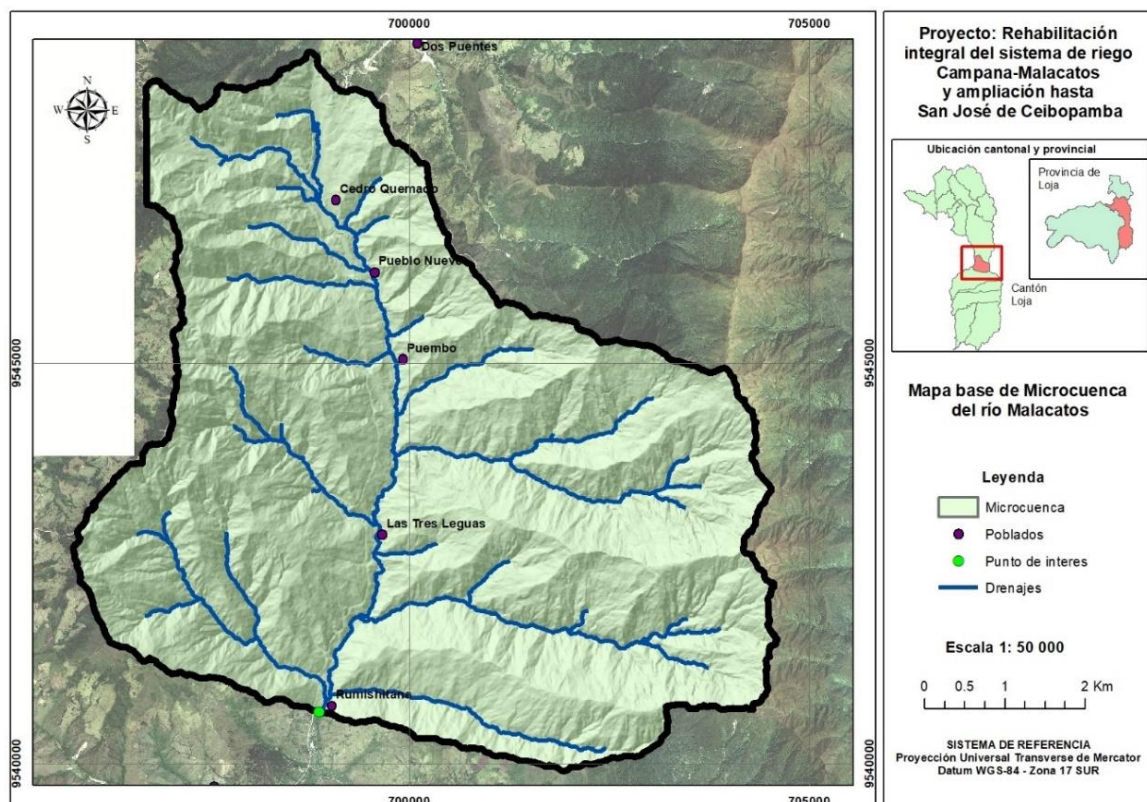
## Caso de estudio

### 3.1 Información general.

En el presente trabajo de fin de titulación se presenta un caso de estudio, en el cual se realiza el estudio hidrológico y un estudio hidráulico. Para un área de población urbana diseñando el sistema de drenajes pluvial. Se encuentra ubicado en la región de los Andes en la provincia de Loja, cantón Loja, parroquia Malacatos. Su ubicación geográfica corresponde a las siguientes coordenadas, X: 698879 m; Y: 9540649 m, limita al norte y sur, con el cantón Loja, al este con la provincia de Zamora Chinchipe (por la Cordillera Oriental de los Andes) y al oeste con el cantón Catamayo. En la Figura 4, se detalla la información general del estudio.

**Figura 4**

*Mapa base de microcuenca del Río Malacatos*



*Nota.* Mapa adaptado del proyecto Rehabilitación integral del sistema de riego Campana-Malacatos y ampliación hasta San José de Ceibopamba.

### 3.2 Obtención y procesamiento de datos

Las cartas topográficas que ofrece el software Google Earth y el proyecto “Rehabilitación integral del sistema de riego Campana-Malacatos y ampliación hasta San José de Ceibopamba”; obteniendo la distribución geográfica del Ecuador que tiene la información base como: ubicación, uso de suelo.

Mediante el software SWMM 5.0, se modelan los estudios de hidrología e hidráulica mediante el método de la Onda Cinemática; este aplicativo permite que los datos meteorológicos de precipitación y temperatura sean ingresados, provenientes del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), la cual es la más aceptada en las entidades reguladoras de estudios hidrológicos.

### 3.3 Morfología de la cuenca

Se inició principalmente mediante la información cartográfica del estudio “Rehabilitación integral del sistema de riego Campana-Malacatos y ampliación hasta San José de Ceibopamba”; así como el uso del software libre SWMM 5.0, tanto para la hidrología e hidráulica del proyecto. Las características morfológicas se determinaron a partir de la información procesada y del mismo estudio, la morfología de la cuenca se presenta en la Tabla 2.

**Tabla 2**

*Morfología de la cuenca.*

Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)	Altitud meda (m. s. n. m)	Longitud del cauce principal (km)	Pendiente media del cauce principal (km)
48.62	33.58	2429.57	10.76	8.66

*Nota.* Adaptado del estudio hidrológico Campana-Malacatos

La metodología aplicada para conocer la infiltración en la cuenca es del método del número de la curva, debido a la presencia de un suelo arcilloso contemplado en su mayoría le corresponde un tipo B, y 78.6 de NC.

### 3.4 Estaciones consideradas

Las estaciones pluviométricas que se consideraron para el estudio son las que se encuentran cerca de la cuenca, la razón es que, debido a la inexistencia de las estaciones dentro de la cuenca, se consiguió un registro de precipitaciones mensuales que se presentan en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Estaciones pluviométricas.*

Estación	Tipo – Código	Coordenada X	Coordenada Y	Elevación m.s.n.m
La Argelia	Agro climatológica Principal M-033	699464	9553507	2160
Malacatos	Climatológica Ordinaria M-143	691652	9533403	1453
Cajanuma	Pluviométrica M-543	698995	9548378	2267
San Francisco	Pluviométrica M-503	713833	9561247	1620

*Nota.* Adaptado de anuarios meteorológicos, INAMHI

### 3.5 Sub cuencas

En el caso de estudio se divide en seis áreas en función del tipo de suelo, éstas conforman la cuenca mayor del estudio, descritas en la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Morfología de las subcuencas.*

Subcuencas	Área	Estación	Porcentaje de Impermeabilización
Fran-Arc-Lim1	232.05	Cajanuma	0.27
Fran-Arc-Lim2	160.84	La Argelia	0.27
Fra-Arc	41.13	Cajanuma	5.00
Arc	1228.59	La Argelia	0.27
Arc-Aren1	231.44	Cajanuma	0.27
Arc-Aren2	166.54	La Argelia	0.27

### 3.6 Precipitaciones

La precipitación es el valor con más variabilidad en el estudio, por lo tanto, se considera usar las precipitaciones mensuales para realizar el estudio hidrológico, así como el hidráulico. Estas precipitaciones serán tomadas del anuario meteorológico del INAMHI, debido a la aprobación y veracidad que se le otorga a este instituto.

### 3.7 Intensidad

La intensidad se analizó mediante la aplicación de la ecuación de intensidad propuesta por el INAMHI en función de la estación La Argelia-Loja, presentadas en la Tabla 5.

**Tabla 5**

*Generalidades de intensidad.*

Zona	Código	Nombre Estación	Duración	Ecuación
17	M0033	La Argelia Loja	5 min < 44.17 min	$I_{TR} = 86.811 \times (t)^{-0.447} \times (I_{dTR})$
			44.17 min < 1440 min	$I_{TR} = 328.11 \times (t)^{-0.798} \times (I_{dTR})$

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

Donde:

- $I_{TR}$  – Intensidad máxima para el periodo de retorno seleccionado.
- $t$  – Tiempo de duración de la lluvia; asumido igual al Tiempo de Concertación.
- $I_{TR}$  – Intensidad diaria.

Para obtener la intensidad, se debe considerar el tiempo de concentración, este se obtiene mediante el promedio entre las metodologías de Kirpich, Californiana y Temez.

Se escoge la Ecuación 22 y para la cual se requiere, la intensidad diaria, esta intensidad se la obtiene mediante la relación entre la precipitación máxima en 24 horas; detallada en la Tabla 6.

**Tabla 6***Detalles de obtención de la intensidad.*

PRECIPITACIÓN		
MÁXIMA EN 24 HORAS	116.9	mm
IDTR	4.87083	mm/h
Tc	1.58	horas
ITR	42.279	mm/h

### 3.8 Red de drenaje

Para realizar el estudio hidráulico, se procede a considerar los datos de caudal mediante un diseño previo con los datos meteorológicos de la estación La Argelia, con su ecuación de intensidad, el coeficiente de escorrentía y el área tributaria; por lo tanto, se realiza la evaluación de la red, trazando los elementos del sistema de drenaje existente, tales que son: pozos, tramos de tuberías. Además, se debe contar con toda la información para realizar la evaluación que indiquen su ubicación geográfica, las características de materiales, geometría. En este caso de aplicación, se tiene un tramo de vía de “906.2 m”

Para realizar la evaluación y modelación en el software SWMM 5.0, se procede mediante los siguientes pasos:

Realizar una evaluación de los tramos existentes y los tramos proyectados si es el caso. Configurar las opciones por defecto del software (características principales como métodos de diseño). Insertar o dibujar geográficamente la ubicación de los nodos o pozos, colocar su nomenclatura y características generales (cotas, diámetro). Trazar los tramos de tubería que conectan a los pozos de aguas arriba hacia aguas abajo y colocar su nomenclatura y características generales (longitud, diámetro, geometría). Configurar las opciones de simulación. Realizar la simulación del modelo, verificando que el error de continuidad se encuentre por debajo del 10%.

### 3.8.1 Áreas tributarias.

Las áreas tributarias, se dividen en función de las curvas de nivel, y van de pozo a pozo aportando caudal al conducto o tramo, en el estudio, se dividieron en 16 sub cuencas.

Detalles de las áreas en la Tabla 7.

**Tabla 7**

*Áreas tributarias para el sistema de drenaje pluvial.*

	Áreas Tributarias	
	(m <sup>2</sup> )	Ha
C2	3110	0.311
C3	3743	0.3743
C4	1627	0.1627
C5	7694	0.7694
C6	4784	0.4784
C7	6026	0.6026
C8	5308	0.5308
C9	6802	0.6802
C10	3186	0.3186
C11	1724	0.1724
C12	1267	0.1267
C13	4995	0.4995
C14	5493	0.5493
C15	4277	0.4277
C16	6981	0.6981
C17	1946	0.1946

La cobertura vegetal se comprende con el coeficiente de escorrentía, que se presenta en la Tabla 8 para cada una de las áreas:

**Tabla 8**

*Descripción de la obtención del coeficiente de escorrentía.*

Coeficiente Escorrentía	Área Total (m <sup>2</sup> )	c1	A1 (m <sup>2</sup> )	c2	A2 (m <sup>2</sup> )	c3	A3 (m <sup>2</sup> )	C
C2	3110	0.7	353	0.25	1495.5	0.2	1261.5	0.2808
C3	3743	0.7	267	0.25	1459	0.2	2017	0.2552
C4	1627	0.7	369	0.25	1150.95	0.2	107.05	0.3488
C5	7694	0.7	1331	0.25	224.5	0.2	6138.5	0.2880
C6	4784	0.7	694	0.25	744.35	0.2	3345.65	0.2803
C7	6026	0.7	898	0.25	289.5	0.2	4838.5	0.2769
C8	5308	0.7	813	0.25	1069	0.2	3426	0.2867
C9	6802	0.7	505	0.25	3578.5	0.2	2718.5	0.2634
C10	3186	0.7	303	0.25	2113.5	0.2	769.5	0.2807
C11	1724	0.7	229	0.25	930	0.2	565	0.2934
C12	1267	0.7	163	0.25	499.5	0.2	604.5	0.2840
C13	4995	0.7	489	0.25	2414.5	0.2	2091.5	0.2731
C14	5493	0.7	464	0.25	2389.5	0.2	2639.5	0.2640
C15	4277	0.7	333	0.25	3412	0.2	532	0.2788
C16	6981	0.7	583	0.25	2078.5	0.2	4319.5	0.2566
C17	1946	0.7	226	0.25	273	0.2	1447	0.2651

El parámetro para los suelos del permeables e impermeables de n Manning se escogieron de la Tabla 9.

**Tabla 9**

*Coeficiente de Manning usado en el software.*

N suelos permeables	n1	Asfalto liso	0.011	n promedio 0.0125
	n2	Ladrillo con mortero de cemento	0.014	
N suelos impermeables	n1	Pasto natural	0.13	n promedio 0.14
	n2	Hierba corta pradera	0.15	

### 3.8.2 Nudos o Pozos.

En la red se consideraron diecinueve pozos comprendiendo un ramal principal y uno secundario, en los que, dos son pozos de cabecera, y el pozo final de la red, comprende un pozo de vertido, en la Tabla 10 se especifica la nomenclatura y niveles.

**Tabla 10**

*Distribución, nomenclatura de los pozos, cotas y niveles.*

Pozos	Tramos	Cota Rasante		Cota Clave		Cota Batea		Profundidad (m)
		DE	A	DE	A	DE	A	
N2								2
N3	N2-N3	1786	1785	1784.25	1783.42	1784.00	1783.17	1.83
POZO 3	N3-POZO 3	1785	1776	1783.42	1774.42	1783.17	1774.17	1.83
POZO 1	POZO 3 - POZO 1	1776	1770	1774.42	1768.65	1774.17	1768.40	1.60
N12								1.50
N11	N12-N11	1791	1785	1789.75	1783.76	1789.50	1783.51	1.49
N10	N11-N10	1785	1784	1783.76	1782.70	1783.51	1782.45	1.55
N9	N10-N9	1784	1781	1782.75	1779.88	1782.45	1779.58	1.42
N8	N9-N8	1781	1779	1779.88	1777.72	1779.58	1777.42	1.58
N7	N8-N7	1779	1773	1777.72	1771.73	1777.42	1771.43	1.57
N6	N7-N6	1773	1771	1771.79	1769.59	1771.43	1769.22	1.78
POZO 2	N6-POZO2	1771	1770.8	1769.59	1768.42	1769.22	1768.05	2.75
	POZO2- POZO1	1770.8	1770	1768.42	1767.35	1768.05	1766.99	3.01
POZO 1								
N14	POZO 1-N14	1770	1767	1767.39	1763.92	1766.99	1763.52	3.48
N15	N14-N15	1767	1761	1763.92	1759.13	1763.52	1758.73	2.27
N16	N15-N16	1761	1760	1759.13	1757.53	1758.73	1757.13	2.87
N17	N16-N17	1760	1759	1757.53	1754.72	1757.13	1754.32	4.68
N18	N17-N18	1759	1757	1754.72	1753.88	1754.32	1753.48	3.52
RÍO DES.	N18-RÍO	1757	1754	1753.88	1752.31	1753.48	1751.91	2.09

### 3.8.3 Líneas de conexión.

Cada una de las líneas o conductos circulares, son los colectores que unen a los pozos; para cada tramo se consideró un diámetro capaz de conducir el caudal. En la Tabla 11, se detallan las características de los conductos.

**Tabla 11**

*Resumen de los conductos y parámetros hidráulicos.*

Nudos	Tramos	Longitud	Pendiente	Caudal tramo	Caudal Acum	Diámetro	Velocidad
		(m)	(%)	l/s	l/s	(mm)	m/s
N2							
N3	N2-N3	41.40	0.02	10.26	10.26	250	1.51
POZO 3	N3-POZO 3	41.10	0.22	11.22	21.47	250	4.36
POZO 1	POZO 3 - POZO 1	38.50	0.15	6.66	28.14	250	4.13
N12							
N11	N12-N11	82.00	0.07	26.02	26.02	250	3.13
N10	N11-N10	59.10	0.02	15.75	41.77	250	2.16
N9	N10-N9	71.80	0.04	19.60	61.37	250	3.21
N8	N9-N8	53.90	0.04	17.87	79.24	250	3.43
N7	N8-N7	57.10	0.11	21.04	100.28	250	5.21
N6	N7-N6	44.10	0.05	10.50	110.78	250	4.06
POZO 2	N6-POZO2	26.00	0.05	5.94	116.72	250	3.94
	POZO2-POZO1	23.70	0.05	4.23	120.95	250	3.97
POZO 1							
N14	POZO 1-N14	77.00	0.05	16.02	165.11	300	4.31
N15	N14-N15	71.00	0.07	17.03	182.14	300	5.14
N16	N15-N16	45.70	0.04	14.01	196.14	300	4.06
N17	N16-N17	93.70	0.03	21.04	217.19	364	3.96
N18	N17-N18	28.00	0.03	6.06	223.24	364	3.99
RÍO DES.	N18-RÍO	52.10	0.03	0.00	223.24	364	3.99

### 3.9 CAUDALES.

El método empleado para la obtención de caudales del estudio hidrológico en el software SWMM considera la onda cinemática en el transporte del flujo en cada subcuenca, hasta llegar al punto de interés.

El caudal medio obtenido es de: 718.32 L/s

El caudal máximo obtenido es de: 70217.65 L/s

Para la obtención de los caudales del estudio hidráulico-sistema de drenaje pluvial, se procede a usar el método racional aplicando para cada uno de los tramos de la red, realizando un previo diseño para obtener las cotas de los pozos y profundidades. Para

realizar una evaluación de la red en el software SWMM. En la Tabla 12 se detalla un resumen de los caudales de cada tramo en la red.

**Tabla 12**

*Resumen de caudales de cada tramo de la red.*

Nudos	Tramos	Caudal tramo	Caudal Acum
		l/s	l/s
N2			
N3	N2-N3	10.26	10.26
POZO 3	N3-POZO 3	11.22	21.47
POZO 1	POZO 3 - POZO 1	6.66	28.14
N12			
N11	N12-N11	26.02	26.02
N10	N11-N10	15.75	41.77
N9	N10-N9	19.60	61.37
N8	N9-N8	17.87	79.24
N7	N8-N7	21.04	100.28
N6	N7-N6	10.50	110.78
POZO 2	N6-POZO2	5.94	116.72
	POZO2-POZO1	4.23	120.95
POZO 1			
N14	POZO 1-N14	16.02	165.11
N15	N14-N15	17.03	182.14
N16	N15-N16	14.01	196.14
N17	N16-N17	21.04	217.19
N18	N17-N18	6.06	223.24
RÍO DES.	N18-RÍO	0.00	223.24

## Resultados y análisis

### 4.1 Resultado: comparación entre datos meteorológicos

Para el uso de datos meteorológicos en estudios hidrológicos e hidráulicos, se comparan los datos obtenidos de las plataformas y estaciones meteorológicas, mediante un coeficiente de correlación que representa la cuantificación de la relación entre dos variables.

La relación que se realizó fue con base de la estación La Argelia con los datos obtenidos de los satélites TRMM y CRUTEM4. Los valores de coeficiente de correlación son: 0.72 y 0.55 para INAMHI-TRMM e INAMHI-CRUTEM4 respectivamente.

### 4.2 Resultados hidrológicos SWMM

**Tabla 13**

*Caudal máximo del nudo 1.*

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

*Nota.* Adaptado del informe emitido por SWMM.

**Tabla 14**

*Caudal medio y máximo del nudo 2-punto de interés.*

Frecuencia Vertido	%	96.14
Caudal medio	L/s	718.32
Caudal máximo	L/s	70217.65
Volumen total (10 <sup>6</sup> )	L	1002131.604

*Nota.* Adaptado del informe emitido por SWMM

Mediante la simulación realizada en el software SWMM, se obtuvo un caudal medio de 718.32 L/s, lo cual tiene una proximidad de 8.12% y 0.46% con los datos de comparación del estudio hidrológico Campana-Malacatos y tesis realizada por Vásquez Ruiz, (2017).

**Tabla 15**

*Relación de caudales obtenidos en distintos software.*

	SWMM	CIVIL STORM	Proyecto CAMP-MAL	TESIS RUIZ
	L/s	L/s	L/s	L/s
Caudal medio	718.32	720.41	660	715

*Nota.* Adaptado del informe emitido por SWMM

Los datos obtenidos de caudal medio son mensuales por lo tanto la comparación entre sí, se puede realizar.

El valor obtenido mediante el software SWMM es de 718.32 L/s, considerando los parámetros que sean en conformidad a los reales; y el valor obtenido en el software CIVIL STORM, es de 720.41 L/s.

El valor del proyecto “Rehabilitación integral del sistema de riego Campana-Malacatos y ampliación hasta San José de Ceibopamba” es un valor de caudal medio mensual obtenido con los datos de las estaciones empleadas en el caso de estudio; este valor es de 660 L/s.

El valor del caudal medio de 715 L/s, se compara en conformidad de la tesis realizada por Vásquez Ruiz, (2017), que realizó un aforo del Río Malacatos aguas abajo de la cuenca de estudio.

Los datos de caudales, fluctúan función de los criterios de diseño, las proximidades se generan debido a que el algoritmo de cada software considera diferentes parámetros base para el modelamiento del estudio hidrológico.

Diferencias entre la obtención del tiempo de concentración o el coeficiente de escorrentía producen una diferencia entre los valores de caudales.

### **4.3 RESULTADOS HIDRÁULICOS SWMM**

En el estudio hidráulico realizado a partir de los datos meteorológicos de la estación La Argelia, se obtuvieron los resultados de niveles de pozos, cotas de pozos en el sistema de drenaje descritos en la Tabla 16:

**Tabla 16***Resultados del análisis de los niveles de los nodos.*

Nudo	Tipo	Nivel Medio	Nivel Máximo	Altura Máxima	Instante Nivel Máx.	
		(m)	(m)	(m)	días	hr:min
N12	Conexión	0	0.05	1789.55	16344	23:59
N11	Conexión	0	0.1	1783.61	16344	23:59
N10	Conexión	0	0.1	1782.55	16345	00:01
N9	Conexión	0	0.1	1779.68	16345	00:01
N8	Conexión	0	0.1	1777.52	16345	00:01
N7	Conexión	0	0.14	1771.57	16345	00:01
N6	Conexión	0	0.14	1769.36	16345	00:01
P2	Conexión	0	0.12	1768.17	16345	00:01
P1	Conexión	1.38	1.46	1768.45	16345	00:01
N2	Conexión	0	0.05	1784.05	16344	23:59
N3	Conexión	0	0.05	1783.22	16345	00:01
P3	Conexión	0	0.05	1774.22	16344	23:59
N14	Conexión	0	0.13	1763.65	16345	00:01
N15	Conexión	0	0.15	1758.88	16345	00:01
N16	Conexión	0	0.17	1757.3	16345	00:01
N17	Conexión	0	0.17	1754.49	16345	00:01
N18	Conexión	0	0.17	1753.65	16345	00:01
RÍO	Vertido	0	0.17	1752.08	16345	00:01

*Nota.* Adaptado del informe emitido por SWMM

En la Tabla 16 se presenta el nivel medio y el nivel máximo en metros de columna de agua en el nudo, mediante estos niveles, se obtienen las cotas de las láminas de agua, aquellas

El caudal resultado que se obtiene de la simulación en los nudos se presenta en la Tabla 17:

**Tabla 17***Resultados del análisis de aportes en los pozos.*

Nudo	Tipo	Aporte	Aporte	Instante de Aporte Máx.		Volumen	Volumen
		Lateral Máximo	Total Máximo	días	hr:min	aporte lateral (10 <sup>6</sup> )	aporte total (10 <sup>6</sup> )
		L/s	L/s			Ltr	Ltr
N12	Conexión	22.64	22.64	16344	23:59	95.784	98.063
N11	Conexión	14.08	36.72	16344	23:59	59.19	158.67
N10	Conexión	17.74	54.46	16345	0:01	74.746	235.201
N9	Conexión	15.63	70.08	16345	0:01	65.761	302.534
N8	Conexión	20.03	90.11	16345	0:01	84.416	388.966
N7	Conexión	9.38	99.48	16345	0:01	39.572	429.483
N6	Conexión	5.08	104.56	16345	0:01	21.367	451.362
P2	Conexión	3.73	108.29	16345	0:01	15.724	467.462
P1	Conexión	14.71	147.95	16345	0:01	62.021	638.839
N2	Conexión	9.16	9.16	16344	23:59	38.543	39.464
N3	Conexión	11.02	20.17	16344	23:59	46.557	87.13
P3	Conexión	4.79	24.96	16344	23:59	20.265	107.876
N14	Conexión	16.17	164.12	16345	0:01:00	68.258	708.726
N15	Conexión	12.59	176.7	16345	0:01	52.91	762.904
N16	Conexión	20.55	197.25	16345	0:01	86.268	851.241
N17	Conexión	5.73	202.97	16345	0:01	24.183	876.003
N18	Conexión	0	202.96	16345	0:01	0	876.004
RÍO	Vertido	0	202.95	16345	0:01	0	876.006

*Nota.* Adaptado del informe emitido por SWMM

En la Tabla 17, se presentan los aportes de caudal para cada uno de los nudos de conexión, estos pueden ser caudales parciales y acumulados, conociendo finalmente la cantidad del volumen del aporte parcial y total en cada nudo.

En la Tabla 18, se presentan los datos hidráulicos de los conductos de tubería PVC (n= 0.009) generados en la simulación.

**Tabla 18**

*Resultados del análisis de aportes en los conductos.*

Línea	Tipo	Caudal Máximo	Instante Caudal Máx		Velocidad Máxima	Caudal Máx/Lleno	Nivel Máx/ Lleno
		LPS	días	hr:min	m/s	m3/s	m3/s
N12-N11	Conducto	22.64	16345	0:01	3.01	0.1	0.21
N11-N10	Conducto	36.72	16345	0:01	2.08	0.32	0.39
N10-N9	Conducto	54.46	16345	0:01	3.06	0.19	0.3
N9-N8	Conducto	70.09	16345	0:01	3.29	0.25	0.34
N8-N7	Conducto	90.11	16345	0:01	5	0.2	0.3
N7-N6	Conducto	99.49	16345	0:01	2.68	0.32	0.39
N6-P2	Conducto	104.56	16345	0:01	3.78	0.21	0.31
P2-P1	Conducto	108.29	16345	0:01	3.81	0.22	0.32
N2-N3	Conducto	9.15	16345	0:01	1.46	0.08	0.19
N3-P3	Conducto	20.17	16345	0:01	4.32	0.05	0.15
P3-P1	Conducto	24.96	16345	0:01	4.01	0.07	0.18
P1-N14	Conducto	147.95	16345	0:01	4.14	0.23	0.33
N14-N15	Conducto	164.12	16345	0:01	4.93	0.21	0.31
N15-N16	Conducto	176.7	16345	0:01	3.96	0.31	0.38
N16-N17	Conducto	197.24	16345	0:01	3.86	0.38	0.43
N17-N18	Conducto	202.96	16345	0:01	3.89	0.39	0.43
N18-RÍO	Conducto	202.95	16345	0:01	3.89	0.39	0.43

*Nota.* Adaptado del informe emitido por SWMM

En las líneas o conductos se presentan los resultados hidráulicos como el caudal que es acumulativo, la velocidad máxima es función del caudal a tubo lleno, y los diámetros considerados son los internos.

En la Tabla 19, se presentan los resultados de caudal medio en el nudo final de la red de drenaje.

**Tabla 19***Caudal medio y máximo pozo final (RÍO).*

Frecuencia Vertido	%	4.87
Caudal medio	L/s	12.40
Caudal máximo	L/s	202.95
Volumen total (10 <sup>6</sup> )	L	876.006

*Nota.* Adaptado del informe emitido por SWMM

Mediante la simulación realizada en el software SWMM, se obtuvo un caudal medio en el nudo de vertido de la red de drenaje es de 202.95 L/s, lo cual tiene una proximidad de 9.09%. realizando la comparación con el cálculo del autor.

En la Tabla 20, se presenta una comparación entre el software SWMM y el diseño del autor.

**Tabla 20***Relación de resultados obtenidos en distintos software.*

Nudo	Líneas	SWMM			AUTOR			%		
		Q	Q	diferencia	V	V	diferencia	Cotas lámina	Cotas lámina	diferencia
N12								1789.55	1789.56	
N11	N12-N11	22.64	26.02	12.99	3.01	3.13	3.77	1783.61	1783.57	11.49
N10	N11-N10	36.72	41.77	12.09	2.08	2.16	3.77	1782.55	1782.55	3.87
N9	N10-N9	54.46	61.37	11.25	3.06	3.21	4.66	1779.68	1779.68	3.09
N8	N9-N8	70.09	79.24	11.54	3.29	3.43	4.13	1777.52	1777.54	16.09
N7	N8-N7	90.11	100.28	10.14	5	5.21	4.07	1771.57	1771.53	25.94
N6	N7-N6	99.49	110.78	10.19	2.68	4.06	33.91	1769.36	1769.36	2.77
P2	N6-P2	104.56	116.72	10.42	3.78	3.94	4.11	1768.17	1768.20	17.45
P1	P2-P1	108.29	120.95	10.47	3.81	3.97	4.11	1768.45	1767.13	9.59
N2								1784.05	1784.05	1.84
N3	N2-N3	9.15	10.26	10.78	1.46	1.51	3.11	1783.22	1783.22	21.53
P3	N3-P3	20.17	21.47	6.07	4.32	4.36	0.81	1774.22	1774.21	1.76
P1	P3-P1	24.96	28.14	11.29	4.01	4.13	2.88	1768.45	1768.45	
N14	P1-N14	147.95	165.11	10.39	4.14	4.31	3.91	1763.65	1763.68	18.72
N15	N14-N15	164.12	182.14	9.89	4.93	5.14	4.14	1758.88	1758.88	0.16
N16	N15-N16	176.7	196.14	9.91	3.96	4.06	2.49	1757.30	1757.32	12.29
N17	N16-N17	197.24	217.19	9.18	3.86	3.96	2.63	1754.49	1754.51	10.32
N18	N17-N18	202.96	223.24	9.09	3.89	3.99	2.53	1753.65	1753.67	11.80
RÍO	N18-RÍO	202.95	223.24	9.09	3.89	3.99	2.53	1752.08	1752.11	11.80

En la Tabla 20 se presenta la diferencia entre los resultados hidráulicos de la red simulada por el software SWMM y el diseño del autor, en cada uno de los conductos que conforman la red de drenaje, teniendo una proximidad promedio de caudal, velocidad y cotas de lámina de agua del 10.28%, 5.15% y 0.047% respectivamente.

Se considera que el software simula con el método de la onda cinemática, y el diseño del autor, mediante las relaciones de caudales de diseño y caudales a tubo lleno.

#### **4.4 RESULTADO PERFILES HIDRÁULICOS**

Mediante el software se generan los perfiles hidráulicos, en los que, se evidencia el comportamiento del flujo en los conductos que trasiegan el flujo. Apéndice C sección (C1).

#### **4.5 RESULTADO MANUAL RESULTADO MANUAL**

El manual se llevó a cabo describiendo el paso a paso para realizar tanto el estudio hidrológico como el estudio hidráulico. Apéndice A.

#### **4.6 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Ejecutada la simulación en el software SWMM, se determina que el error de continuidad es de 6.80% en la escorrentía superficial y un 0.00% en el cálculo hidráulico, por tanto se concluye que, esta diferencia se encuentra por debajo del nivel máximo razonable equivalente al 10% y por ende, los resultados de la simulación no se exponen a duda alguna. A objeto de reducir el error de continuidad en la escorrentía superficial, se recomienda levantar información más específica de tipo de suelo, cobertura vegetal ya que es dinámica en el tiempo a medida que el hombre altere o intervenga en el área de estudio.

Respecto de la información meteorológica utilizada, se determinó que la información que provino de la estación La Argelia, es muy confiable, ya que fue contrastada y correlacionada con los datos de los satélites TRMM y CRUTEM4, cuyos valores son de 0.72 y 0.55 respectivamente; valores que se alejan de 0 lo cual indica una correlación fuerte.

En relación a los resultados hidrológicos, se observa en la Tabla 13, 14 y 15 que los caudales calculados mediante la simulación se obtuvo 718.32 L/s. Mientras que, los determinados en el estudio hidrológico Campana-Malacatos, trabajo de fin de titulación realizada por Vásquez Ruiz, (2017) y el software Civil Storm, arrojan valores de 660 L/s, 715 L/s y 720.41 L/s, mismos que están con proximidades del orden de 8.12%, 0.46% y 0.29%. Estas pequeñas diferencias en los caudales reflejan la confiabilidad del software SWMM.

Concerniente a la simulación hidráulica de la red del sistema de drenaje pluvial para la zona urbana consolidada Rumishitana, previamente determinados los caudales de aporte correspondientes, mismos que fueron calculados mediante el software SWMM y el diseño del autor, cuyos resultados arrojan diferencias promedio del orden de 10.28%. A nivel de velocidades se obtuvieron proximidades promedio del orden de 5.15% y en cuanto a altura de lámina de agua (tirante) se tiene una diferencia promedio de 10.62%. Diferencias que se consideran aceptables ya que son producto directo del análisis hidrológico, producto del criterio de apreciación de tipo de suelo y cobertura vegetal.

## Conclusiones

El presente trabajo de titulación tuvo como objetivo principal “Desarrollar una guía técnica en la selección y uso de aplicativos y paquetes ofimáticos que permitan desarrollar cálculos hidrológicos e hidráulicos aplicados a los sistemas de drenajes pluviales urbanos”; Posterior a realizarlo se obtuvieron resultados para los cuales, se presentan las siguientes conclusiones:

El manual técnico se realizó, mediante el proceso de selección de los aplicativos y paquetes ofimáticos como: Sistemas digitales de recopilación de datos meteorológicos (Anuarios INAMHI), SWMM, CIVIL STORM, EXCEL, que permiten el desarrollo de estudios hidrológicos, así como hidráulicos aplicados en los sistemas de drenaje pluvial urbano.

Mediante el manejo de aplicativos webs, se realizó un caso de estudio el cual es referenciado al proyecto “Rehabilitación integral del sistema de riego Campana-Malacatos y ampliación hasta San José de Ceibopamba”, que simulando el estudio hidrológico en SWMM, se obtuvo caudales medios y máximos.

En la simulación del estudio hidrológico del software, el caudal medio obtenido es de 718.32 LPS. Con el objeto de compararlos, se obtuvo del proyecto referencia 660 LPS, además del resultado del trabajo de investigación realizado por Ruiz Rober en el año 2017 de 715 LPS, tales que tienen una proximidad del 8.12%, 0.46% respectivamente. Y, se concluyó que el caudal medio obtenido en el software SWMM, tiene una proximidad del 0.29% con el de CIVIL STORM.

A partir del proyecto de referencia “Rehabilitación integral del sistema de riego Campana-Malacatos y ampliación hasta San José de Ceibopamba”, se diseñó el sistema de drenaje del área consolidada Rumishitana; y se realizó la simulación de la red en el aplicativo SWMM.

Se determinó que la proximidad promedio entre la simulación del software y el diseño del autor, en los resultados de caudales para los tramos de tubería es del 10.28%. La proximidad promedio que existe en la red, en cuanto a velocidades es del 5.15%. Por otra parte, se presenta el 10.62% de proximidad para la altura de la lámina de agua, estas

diferencias se generan debido a los criterios que se consideran en la selección de cobertura vegetal y tipo de suelo.

### **Recomendaciones**

Como objeto de agregar mayor carácter investigativo al presente trabajo de titulación, se han propuesto las siguientes recomendaciones:

Usar y recomendar el manual técnico creado por el autor para realizar estudios hidrológicos e hidráulicos.

Extender el campo de estudio con paquetes ofimáticos que comprenda el desarrollo de estudios hidrológicos e hidráulicos para realizar la comparación de los resultados y obtener proximidades bajas.

Crear una línea de investigación futura para mejorar las metodologías empleadas en los aplicativos, así mejorando la precisión tanto de los parámetros y los resultados.

## Referencias

- Abbas, A., Salloom, G., Ruddock, F., Alkhaddar, R., Hammoudi, S., Andoh, R., y Carnacina, I. (2019). Modelling data of an urban drainage design using a Geographic Information System (GIS) database. *Journal of Hydrology*, 574(April), 450–466. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.04.009>
- ABB Group. (2007). Manual del Usuario. *Manual Del Usuario, Operación y Mantenimiento de Transformadores de Potencia*, 20.
- Aldás, J. (2011). *Diseño del Alcantarillado sanitario y pluvial y tratamiento de aguas servidas de 4 lotizaciones unidas (varios propietarios), del cantón el Carmen*. 1–52.
- Alvarado Batres, C., y Barahona-Palomo, M. (2017). Comparación de tres métodos de infiltración utilizados para el cálculo del balance hídrico del suelo, en la Cuenca del río Suquiapa, El Salvador. *UNED Research Journal*, 9(1), 23–33. <https://doi.org/10.22458/urj.v9i1.1674>
- Aparicio Mijares, F. J. (1992). Fundamentos de hidrología de superficie. In *Journal of Chemical Information and Modeling*.
- Barquero, A. (2015). Modelación hidrológica en las cuencas San Jerónimo-Piedras, Río Blanco y Tenorio usando SWAT. *Universidad de Costa Rica*, 109.
- Basnet, K., Chettri, K., Parajuli, G., y Bhandari, A. (2020). Hydrological and Hydraulic Analyses of Urban Storm Water Drainage System of Major Area of Pokhara, Nepal. *Journal of Innovations in Engineering Education*, 3(1), 78–91.4
- Benavidez y Pucha, H. y F. (2021). *EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL HÁBITAT DE LAS ESPECIES Y LOS O.D.S* (Issue February).
- Benavides Muñoz, H. M. (2012). *Redes ramificadas Ecuaciones para pérdidas de carga en tuberías* Holger Benavides Muñoz.
- Burgos, V., y Salcedo, A. (2016). Modelos digitales de elevación: Tendencias, correcciones hidrológicas y nuevas fuentes de información. *Instituto Nacional Del Agua - Centro Regional Andino, October 2014*, 16. <http://www.b.ns.ina.gov.ar/ifrh-2014/Eje3/3.10.pdf>

- Brown, G. O. (2003). Copyright ASCE 2004 Environmental and Water Resources History 2002 Environmental and Water Resources History. *Environmental and Water Resources History*, 34–43.
- Castro Gil, M., Gómez, M. J. A., Pérez Molina, C., y Díaz Orueta, G. (2013). Proyectos e Investigación para la mejora de la Educación y el uso de la Tecnología en la Ingeniería Projects and research for the Education improvement and the use of Technology in Engineering Manuel Castro Gil María José Albert Gómez Clara Pérez Molina G. *Revista de Docencia Universitaria*, 11, 301–328.
- Castro, M. (2011). *Diseño y cálculo de la red de alcantarillado pluvial para la ciudad de las cumbres de la ciudad de jipijapa*. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/3065>
- Choi, Y., Kang, J., y Kim, J. (2021). Urban flood adaptation planning for local governments: Hydrology analysis and optimization. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 59(August 2020), 102213. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102213>
- Espejo, A. (2010). *Hidrología En Cuencas Pequeñas La Formula Racional*. [http://atlas.umss.edu.bo:8080/jspui/bitstream/123456789/241/1/6.\\_ESCORRENTIA.pdf](http://atlas.umss.edu.bo:8080/jspui/bitstream/123456789/241/1/6._ESCORRENTIA.pdf)
- f.
- EMAAP-Q. (2009). *Normas Alcantarillado EMAAP*.
- García Durá, E. (2017). *Cálculo hidrológico del Barranco de los Carriles aplicando el método Racional modificado por Témez*.
- Gidahatari. (n.d.). *Satélite TRMM — gidahatari*. Retrieved January 19, 2022, from <https://gidahatari.com/ih-es/satelite-trmm>
- González, D. A. (2009). *SIMULACIÓN EN PERIODO EXTENDIDO - CUASIESTÁTICO - DE REDES URBANAS A SUPERFICIE LIBRE MEDIANTE SWMM 5.0 vE*. 1–162. <http://www.google.com.ec/url?sa=tyrct=jyq=yesrc=sysource=webycd=2ycad=rjayuact=8yved=0CCMQFjABYurl=http://repositorio.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/3365/1/613X363.pdf&ei=6IG1U8P1IMjLsQSPsoGgBAyusg=AFQjCNH4gbyvXAK1Y7sySvByzvaLqotgUgybvm=bv.70138588,d.cWc>
- INAMHI. (2020). Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de

- precipitación. *Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología*, 2, 282.
- Kourtis, I. M., y Tsihrintzis, V. A. (2021). Adaptation of urban drainage networks to climate change: A review. *Science of the Total Environment*, 771, 145431. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145431>
- López, R. (1995). Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 1).
- Monsalve Sáenz, G. (1999). Hidrología en la Ingeniería. In *Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería* (p. 382).
- Mugume, S. N., Gomez, D. E., Fu, G., Farmani, R., y Butler, D. (2015). A global analysis approach for investigating structural resilience in urban drainage systems. *Water Research*, 81, 15–26. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.05.030>
- Muthusamy, M., Casado, M. R., Butler, D., y Leinster, P. (2021). Understanding the effects of Digital Elevation Model resolution in urban fluvial flood modelling. *Journal of Hydrology*, 596(February). <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126088>
- Rafieeinassab, A., Norouzi, A., Kim, S., Habibi, H., Nazari, B., Seo, D. J., Lee, H., Cosgrove, B., y Cui, Z. (2015). Toward high-resolution flash flood prediction in large urban areas - Analysis of sensitivity to spatiotemporal resolution of rainfall input and hydrologic modeling. *Journal of Hydrology*, 531, 370–388. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.08.045>
- Riccardi, G., Stenta, H., Scuderi, C., Basile, P., Zimmermann, E., y Trivisonno, F. (2013). Aplicación de un modelo hidrológico-hidráulico para el pronóstico de niveles de agua en tiempo real. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 4(1), 83–105.
- RUIZ, A. (1996). A Review of: "Modelos Digitales del Terreno (Digital Terrain Models)." *International Journal of Geographical Information Systems*, 10(3), 360–361. <https://doi.org/10.1080/02693799608907248>
- SENAGUA. (2010). Normas para estudio y diseños de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes. 6, 420.
- Selker, J. S. (1999). *With Depth*. 35(5), 1685–1688.

- Soriano Pacheco, P., y García Lopez, 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)*.  
<https://repositorio.upct.es/handle/10317/5038?show=full>
- Torres-Bejarano, F., Padilla Coba, J., Rodríguez Cuevas, C., Ramírez León, H., y Cantero Rodelo, R. (2016). La modelación hidrodinámica para la gestión hídrica del embalse del Guájaro, Colombia. *Revista Internacional de Metodos Numericos Para Calculo y Diseno En Ingenieria*, 32(3), 163–172. <https://doi.org/10.1016/j.rimni.2015.04.001>
- Úbeda Rivera, J. S., y Delgado Dallatorre, Y. (2018). La infiltración del agua en los suelos y componentes artificiales y materia orgánica que se utilizan en ellos para la agricultura. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 4(7), 889–896.  
<https://doi.org/10.5377/ribcc.v4i7.6299>
- UTE. (2017). *ESTUDIO DE CAUDAL ECOLÓGICO Aprovechamientos hidroeléctricos*.
- Zárate, O. (2020). *Modelo hidrológico e hidráulico del drenaje pluvial mediante el software SWMM para la urbanización monterrico de la ciudad Jaén-Cajamarca*.
- Vásquez Ruiz, R. E. (2017). *Análisis de la calidad y usos del agua en la microcuenca hidrográfica de la quebrada San Francisco - microcuenca del río Malacatos y la importancia de los sistemas agroforestales*.
- Vélez-Upegui, J. J., y Botero-Gutiérrez, A. (2011). Estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago en la cuenca experimental urbana de la quebrada San Luis, Manizales (Estimation of the time of concentration and the lag time at San Luis creek basin, Manizales). *Dyna*, 78(165), 58–71.  
<https://www.redalyc.org/html/496/49622372006/>
- Villacorta y Hoyos, D. y C. (2019). 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*, 183.  
<http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/574>

Wurl, J., García, C. N. M., y Lamadrid, M. Á. I. (2015). Caracterización del peligro por inundaciones en el oasis La Purísima, Baja California Sur, México. *Investigaciones Geograficas*, 87(87), 76–87. <https://doi.org/10.14350/riq.41858>