



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

Determinación de zonas urbanas vulnerables a inundaciones causadas por las principales quebradas de Guano empleando distintos modelos hidrológicos e hidráulicos”.

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil

Autores:

**Alarcón Alarcón, Sebastián Eduardo
Basantes Cabezas, Katherine Estefanía**

Tutor:

MgSc. Marco Javier Palacios Carvajal.

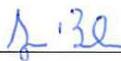
Riobamba, Ecuador. 2022

DERECHOS DE AUTORÍA

Nosotros, Sebastián Eduardo Alarcón Alarcón y Katherine Estefanía Basantes Cabezas, con cédula de ciudadanía 0604824268 y 0605098953, autores del trabajo de investigación titulado: Determinación de zonas urbanas vulnerables a inundaciones causadas por las principales quebradas de Guano empleando distintos modelos hidrológicos e hidráulicos, certificamos que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedemos a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor de la obra referida, será de nuestra entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 21 de noviembre del 2022.



Sebastián Eduardo Alarcón Alarcón
C.I. 0604824268



Katherine Estefanía Basantes Cabezas
C.I. 0605098953

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación Determinación de zonas urbanas vulnerables a inundaciones causadas por las principales quebradas de Guano empleando distintos modelos hidrológicos e hidráulicos, presentado por Sebastián Eduardo Alarcón Alarcón y Katherine Estefanía Basantes Cabezas, con cédula de identidad número 0604824268 y 0605098953, certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 21 de noviembre del 2022.

Mgs. Jorge Eugenio Nuñez Vivar
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Mgs. Nelson Estuardo Patiño Vaca
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



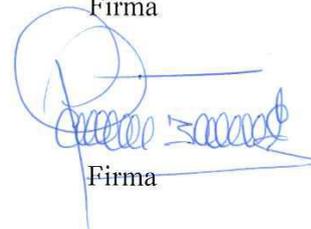
Firma

Mgs. María Gabriela Zúñiga Rodríguez
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Mgs. Marco Javier Palacios Carvajal
TUTOR



Firma


Sebastián Eduardo Alarcón Alarcón
C.I. 0604824268


Katherine Estefanía Basantes Cabezas
C.I. 0605098953

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación Determinación de zonas urbanas vulnerables a inundaciones causadas por las principales quebradas de Guano empleando distintos modelos hidrológicos e hidráulicos por Sebastián Eduardo Alarcón Alarcón y Katherine Estefanía Basantes Cabezas, con cédula de identidad número 0604824268 y 0605098953, bajo la tutoría de Mgs. Ing. Marco Javier Palacios Carvajal; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 21 de noviembre del 2022.

Mgs. Jorge Eugenio Nuñez Vivar
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Mgs. Nelson Estuardo Patiño Vaca
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Mgs. María Gabriela Zúñiga Rodríguez
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma



CERTIFICACIÓN

Que, **ALARCON ALARCON SEBASTIAN EDUARDO Y BASANTES CABEZAS KATHERINE ESTEFANIA** con CC: **0604824268** y **0605098953**, estudiantes de la Carrera **INGENIRIA CIVIL, NO VIGENTE**, Facultad de **INGENIERIA**; han trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **"DETERMINACION DE ZONAS URBANAS VULNERABLES A INUNDACIONES CAUSADAS POR LAS PRINCIPALES QUEDABRADAS DE GUANO EMPLEANDO DISTINTOS MODELOS HIDROLOGICOS E HIDRAULICOS"**, cumple con el 7%, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **URKUND**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 16 de noviembre de 2022

Mgs. Javier Palacios
TUTOR

DEDICATORIA

A nuestros padres y hermanos por impulsarnos alcanzar nuestros objetivos propuesto, que sin importar las adversidades han estado apoyándonos y motivándonos durante el camino.

A las personas que durante nuestra vida estudiantil nos han acompañado y que con sus palabras nos han impulsado a ser mejores cada día.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos en primer lugar a Dios por las bendiciones derramadas en nuestras vidas y por la sabiduría que nos ha brindado para tomar decisiones correctas, a nuestros padres, hermanos, tíos, sobrinos que con sus acciones han sido uno de los pilares fundamentales para poder alcanzar nuestras metas.

A los docentes y compañeros que han formado parte de nuestra vida estudiantil que con sus consejos y conocimientos han sabido guiarnos por el camino correcto y brindarnos las herramientas necesarias para poder desenvolvernos en nuestra vida profesional y personal.

INDICE GENERAL

CAPÍTULO I. INTRODUCCION	14
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
OBJETIVOS.....	17
1.1 Objetivo General.....	17
1.1 Objetivos Específicos.....	17
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	18
2.1 Estado del arte	18
2.2 Marco Teórico	19
2.2.1 Ciclo Hidrológico	19
CAPÍTULO III. METODOLOGIA.	26
3.1 Investigación bibliográfica.....	27
3.2 Delimitación del área de estudio	27
3.3 Recolección de la información y procesamiento de datos	27
3.4 Determinación de parámetros hidrológicos de la cuenca.....	35
3.1 Modelación hidráulica a través de las herramientas HEC-RAS y RAS-MAPPER 39	
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
4.1 Resultados	44
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
RECOMENDACIONES.....	62
BIBLIOGRAFÍA.....	63
ANEXOS	67

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Textura Cuenca de la Quebrada San Sebastián.....	38
Tabla 2 Textura Cuenca de la Quebrada El Rosario	38
Tabla 3 Cobertura Cuenca de la Quebrada San Sebastián	39
Tabla 4 Cobertura Cuenca de la Quebrada El Rosario	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Cuencas hidrográficas de las quebradas San Sebastián y El Rosario	15
Figura 2 Esquema de la metodología de investigación.....	26
Figura 3 Curva Hipsométrica - Cuenca de la Quebrada San Sebastián	28
Figura 4 Histograma de Frecuencias altimétricas – Cuenca de la Quebrada San Sebastián	28
Figura 5 Perfil longitudinal - Cuenca de la Quebrada San Sebastián	29
Figura 6 Curva Hipsométrica - Cuenca de la Quebrada El Rosario	30
Figura 7 Histograma de Frecuencias altimétricas – Cuenca de la Quebrada El Rosario.....	30
Figura 8 Perfil longitudinal - Cuenca de la Quebrada El Rosario	31
Figura 9 Modelo de elevación digital de las quebradas en estudio y de la zona de afectación	32
Figura 10 Precipitaciones anuales de la estación agrometeorológica ESPOCH	32
Figura 11 Hietograma del mes de marzo del 2021 con datos diarios de la estación automática M-1036 ESPOCH	33
Figura 12 Hietograma de precipitación del 2 de marzo del 2021.....	33
Figura 13 Hietograma de diseño con periodo de retorno de 50 años – Cuenca de la Quebrada San Sebastián.....	34
Figura 14 Hietograma de diseño con periodo de retorno de 50 años – Cuenca de la Quebrada EL Rosario.....	35
Figura 15 Mapa de cobertura – cuenca San Sebastián.....	36
Figura 16 Mapa de cobertura – cuenca El Rosario.....	36
Figura 17 Mapa de textura - cuenca San Sebastián	37
Figura 18 Mapa de textura - cuenca El Rosario	37
Figura 19 Sección transversal de la planicie - Cuenca de la Quebrada San Sebastián	40
Figura 20 Sección transversal de la planicie - Cuenca de la Quebrada El Rosario	41
Figura 21 Enmallado Quebrada San Sebastián.....	42
Figura 22 Enmallado Quebrada El Rosario.....	43
Figura 23 Hidrograma del 2 de marzo del 2021 - Quebrada San Sebastián	44
Figura 24 Hidrograma con periodo de retorno de 50 años - Quebrada San Sebastián	45
Figura 25 Hidrograma del 2 de marzo del 2021 - Quebrada El Rosario	45
Figura 26 Hidrograma con periodo de retorno de 50 años - Quebrada El Rosario	46
Figura 27 Sección típica - Quebrada San Sebastián	46
Figura 28 Corte de la sección túnel - Quebrada San Sebastián.....	47

Figura 29 Sección de la quebrada San Sebastián sin desbordamiento.....	48
Figura 30 Sección de la quebrada San Sebastián con desbordamiento.....	48
Figura 31 Mapa de inundación 1D del 2 de marzo del 2021 - Quebrada San Sebastián	49
Figura 32 Mapa de inundación 1D - PRT 50 años - Quebrada San Sebastián.....	49
Figura 33 Mapa de inundación 2D del 2 de marzo del 2021 - Quebrada san Sebastián	50
Figura 34 Mapa de inundación 2D sectorizado del 2 de marzo del 2021 – Quebrada San Sebastián 1) barrios La Magdalena y San Roque 2) barrios El Rosario y La Matriz 3) barrios San Pedro y la Inmaculada 4) barrios San Pablo y Miraflores.	51
Figura 35 Mapa de inundación 2D con PRT de 50 años – quebrada San Sebastián	52
Figura 36 Mapa de inundación 2D sectorizado con periodo de retorno de 50 años – Quebrada San Sebastián 1) barrios La Magdalena y San Roque 2) barrios El Rosario y La Matriz 3) barrios San Pedro y la Inmaculada 4) barrios San Pablo y Miraflores.....	52
Figura 37 Mapa de velocidades del 2 de marzo del 2021 – Quebrada San Sebastián.....	53
Figura 38 Mapa de velocidades con PRT de 50 años – Quebrada San Sebastián.....	54
Figura 39 Sección típica con inundación en el lado derecho al registrarse una tormenta con periodo de retorno de 50 años - Quebrada El Rosario	54
Figura 40 Mapa de inundación 1D del 2 de marzo del 2021 – Quebrada El Rosario	55
Figura 41 Mapa de inundación 1D con PRT de 50 años – Quebrada El Rosario	55
Figura 42 Mapa de inundación 2D del 2 de marzo del 2021 – Quebrada El Rosario	56
Figura 43 Mapa de inundación 2D con PRT 50 años – Quebrada El Rosario	57
Figura 44 Mapa de velocidades del 2 de marzo del 2021 – Quebrada El Rosario.....	57
Figura 45 Mapa de velocidades con PRT 50 años – Quebrada El Rosario.....	58

RESUMEN

En la actualidad existen diversos mecanismos que permiten obtener información relacionada a los efectos que causan las inundaciones en las zonas urbanas, para ello es necesario realizar estudios hidrológicos a través de los cuales se obtienen caudales de inundación utilizando modelos lluvia-escorrentía, posteriormente es posible realizar las modelaciones hidráulicas respectivas, las mismas que proporcionan zonas de inundación con sus respectivas profundidades y velocidades, permitiendo establecer así posibles zonas de riego.

Esta investigación permitió obtener mapas de las zonas urbanas vulnerables a inundaciones causadas por las quebradas San Sebastián y El Rosario que recorren la parte urbana del cantón Guano, para lo cual fue necesario la obtención de parámetros fisiográficos, geomorfológicos y del sistema de drenaje de cada una de las cuencas en estudio, primero se realizó una modelación hidrológica empleando el programa HEC-HMS el mismo que como parámetro principal para la determinación de caudales máximos de crecida emplea el Número de la Curva. Posteriormente se realizó la modelación hidráulica 1D y 2D respectivamente, empleando el programa HEC-RAS, la misma que proporciona mapas de inundaciones con la fecha de mayor precipitación correspondiente al 2 de marzo del 2021 y con un periodo de retorno de 50 años.

Con los resultados obtenidos se determinó que el mapa de inundación con un periodo de retorno de 50 años es mucho más amplio y causa mayor afectación que el registrado el 2 de marzo del 2021, presentando mayores alturas y velocidades de inundación, mismas que provocarían grandes pérdidas y daños de gran magnitud.

Palabras claves:

Inundaciones, lluvia-escorrentía, modelación hidrológica, modelación hidráulica, mapas de inundación.

ABSTRACT

Nowadays there are some mechanisms that allow obtaining information related to the effects caused by floods in urban areas, to achieve this, it is necessary to carry out hydrological studies through which flood flows are obtained using rainfall-runoff models, with this study it is possible to execute the respective hydraulic modeling, that show the flood zones with their respective depths and speeds, thus allowing the establishment of possible irrigation zones.

Based on this study, maps of urban areas vulnerable to flooding caused by the “San Sebastián” and “El Rosario” streams were obtained that run through the urban part of the Guano canton, for which it was necessary to obtain physiographic, geomorphological and drainage system parameters of each of the basins under study, first, a hydrological modeling was carried out using the HEC-HMS program this parameter was the main one for the determination of the maximum flood flows using the Curve Number. Afterwards, the 1D and 2D hydraulic modeling was carried out respectively, using the HEC-RAS program, which shows flood maps with the date of greatest precipitation corresponding to March 2, 2021 and with a return period of 50 years.

With the results of the study obtained, it was concluded that the flood map with a return period of 50 years is much broader causing greater damage than the one registered on March 2, 2021, besides presenting higher heights and flood speeds, which would cause great losses and damages of great magnitude.

Keywords:

Floods, rainfall-runoff, hydrological modeling, hydraulic modeling, flood maps.



Firmado electrónicamente por:
**DIANA CAROLINA
CHAVEZ GUEZMAN**

Reviewed by:

Lcda. Diana Chávez

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 065003795-5

CAPÍTULO I. INTRODUCCION

El agua es uno de los recursos naturales más valiosos de cualquier país debido a los beneficios sociales y económicos que se derivan de su consciente uso y aprovechamiento; sin embargo, junto con las ventajas existen también situaciones extremas tales como las inundaciones y las sequías (Barragán & Rea, 2020).

Las inundaciones son el producto de fuertes lluvias que generan un exceso de agua en los ríos que sobrepasan su límite provocando de esta manera un desbordamiento, siendo este uno de los eventos que mayores daños causan a la población como: incomunicación, pérdidas humanas, materiales y económicas (Barragán & Rea, 2020).

El cantón Guano perteneciente a la provincia de Chimborazo, se ha visto numerosas veces afectado por inundaciones ocasionadas por el desbordamiento de la quebrada San Sebastián. Esto debido a que su red de drenaje ha sido alterada antrópicamente y obstruida por la acumulación de sedimentos y desperdicios, por lo que el agua en periodos de crecida fluye hacia sectores habitados.

Guano en su zona urbana cuenta principalmente con dos quebradas, la primera llamada San Sebastián, con una longitud aproximada de 8.59km; la segunda quebrada conocida como El Rosario, posee una longitud aproximada de 19.32km. Estas en periodos de lluvia transportan caudales considerables de agua proveniente de las zonas altas de sus cuencas Fig. 1.

Durante los últimos años la geometría inicial de las quebradas ha ido cambiando debido en gran parte a las acciones de los habitantes de Guano, que por el desconocimiento y falta de concientización se han apropiado arbitrariamente de estos espacios naturales. Debido a estos cambios en su cauce, la quebrada San Sebastián en el año 2018 se desbordó,

produciendo daños considerables en gran parte de la cabecera cantonal correspondiente a los barrios San Roque, La Magdalena, El Rosario y La Matriz.

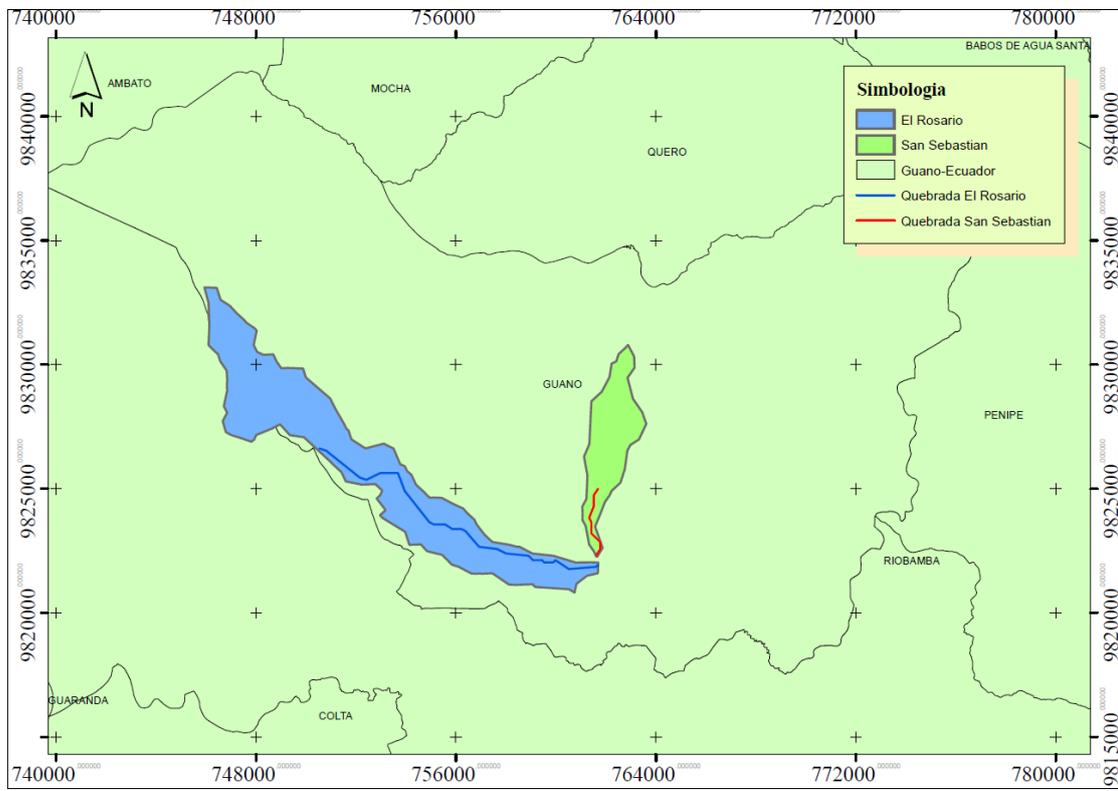


Figura 1 Cuencas hidrográficas de las quebradas San Sebastián y El Rosario

Esta investigación busca determinar las zonas urbanas de Guano vulnerables a inundaciones causadas por sus principales quebradas, empleando modelos hidrológicos e hidráulicos, y mediante complementos asociados a Sistemas de Información Geográfica, elaborando mapas dinámicos que permitan identificar las zonas de riesgo. Siendo así una guía en el proceso de planificación y crecimiento urbanístico para las autoridades competentes del cantón Guano permitiéndoles de esta manera plantear medidas preventivas con las cuales contribuyan en la mitigación de los riesgos (Barragán & Rea, 2020).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La falta de control por parte de las autoridades municipales, así como la poca concientización y cultura de los habitantes del cantón Guano ha provocado un crecimiento desmedido y la expansión de la zona urbana sin considerar aspectos fundamentales dentro de la planificación de ordenamiento territorial. Los propietarios de los predios colindantes con las quebradas en estudio con el fin de ampliar sus propiedades y obtener mayores beneficios económicos de sus tierras se han apropiado ilegalmente del cauce natural de estos cuerpos de agua. Otro de los problemas notables que se puede observar a lo largo de las quebradas es que en gran parte de su trayecto existe la acumulación de desperdicios y sedimentos, provocando así una disminución considerable en su sección. Esto representa un riesgo principalmente porque el agua que precipita en la parte alta de las cuencas de las quebradas y que escurre a través de ellas tiene que movilizarse por su cauce natural, y la alteración de este facilita que se produzcan inundaciones en la zona urbana.

Tanto la quebrada San Sebastián como El Rosario han sido rellenadas en numerosas partes de su cauce, por lo que, en épocas de lluvias, el agua que escurre a través de ellas, al no tener un cauce natural por el cual escurrir se desbordan, invadiendo las zonas urbanas.

El Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Guano en la actualidad cuenta con una ordenanza que regula los asentamientos humanos en los bordes de las quebradas, a pesar de esto las autoridades y los habitantes no la cumplen ocasionando así la expansión indiscriminada y a su vez la reducción de la sección de la quebrada, por esta razón es importante conocer con la mayor precisión posible cuales serían las probables áreas inundables derivadas de las quebradas San Sebastián y El Rosario en el área de estudio en general.

OBJETIVOS

1.1 Objetivo General

Determinar las zonas urbanas con mayor vulnerabilidad a inundaciones causadas por las quebradas San Sebastián y El Rosario ubicadas en el cantón Guano, empleando modelos hidrológicos e hidráulicos.

1.1 Objetivos Específicos

Determinar los parámetros fisiográficos, geomorfológicos y del sistema de drenaje de las cuencas de las quebradas San Sebastián y El Rosario, necesarios para la modelización hidrológica e hidráulica.

Obtener el hietograma histórico del mes de marzo de 2021, y determinar la intensidad máxima de las precipitaciones posibles en un período de retorno de 50 años, y a partir de esta generar un hietograma de diseño para posteriormente implementar el modelo hidrológico lluvia-escorrentía HEC-HMS.

Identificar las zonas urbanas con mayor vulnerabilidad a inundaciones a través de la modelación hidráulica 2D, mediante la simulación de propagación de los caudales mencionados mediante los softwares de modelación HEC-RAS.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte

En el mundo, las inundaciones son consideradas como el desastre natural más dañino y peligroso. Según datos de la United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO, 2002), de los desastres que se presentan relacionados con el agua, el 50% corresponde a inundaciones, por encima de hambrunas, sequías y epidemias. Estos eventos han crecido de manera significativa especialmente en áreas urbanas afectando así el funcionamiento normal de varios servicios tanto en el sector social, económico y financiero, entre otros, dejando en evidencia que gran parte de la población es vulnerable frente a estos desastres (Hernández et al., 2017).

En la provincia de Chimborazo los cantones más afectados por inundaciones son: Cumandá, Pallatanga y Alausí (Barragán & Rea, 2020). En el cantón Guano se presentan inundaciones por una deficiente organización territorial evidenciando así el uso indebido por parte de los habitantes del área que comprende el cauce natural de las quebradas. Determinar la vulnerabilidad por inundación se ha vuelto cada vez más frecuente debido a la planificación urbana y a la mitigación de desastres (Hernández et al., 2017).

Los modelos hidrológicos e hidráulicos permiten describir eventos inherentes a inundaciones, con la ayuda de modelos matemáticos o estadísticos y Sistemas de Información Geográfica (SIG). El criterio se basa en la estimación de avenidas (crecidas) considerando un periodo de retorno para eventos de precipitaciones con intensidades fuertes que generen caudales y niveles extremos, a base de los registros en las estaciones meteorológicas e hidrológicas y la caracterización de las cuencas hidrográficas (Barragán & Rea, 2020).

Existen básicamente dos tipos de problemas claramente identificados que están ligados a las inundaciones: problemas relacionados a la vulnerabilidad frente al peligro, y problemas relacionados con la vulnerabilidad frente a la pérdida y resiliencia (Roselló et al., 2017).

Dentro de los problemas relacionados con la vulnerabilidad frente al peligro entre los más importantes se puede mencionar el aislamiento de la población, daños de bienes o sectores considerados sensibles y la interrupción de servicios básicos. Por otro lado, los problemas relacionados con la vulnerabilidad frente a la pérdida y resiliencia son; generación

de grandes pérdidas, así como la dificultad de la población para recuperarse luego de la ocurrencia del evento (Roselló et al., 2017).

2.2 Marco Teórico

2.2.1 *Ciclo Hidrológico*

El Ciclo Hidrológico es un ciclo infinito, sin principio ni fin, qué para fines prácticos, podría decirse qué comienza con la evaporación de las aguas de los océanos hacia la Atmosfera. El vapor resultante de este proceso es transportado por el aire, en determinadas condiciones formando nubes. Bajo ciertas circunstancias de enfriamiento y condensación, las nubes formarán eventos de Precipitación, una parte directamente en el mar, y una parte en la zona continental. El agua que queda sobre la superficie, es decir el excedente de precipitación que supera la evaporación, infiltración y el almacenamiento en depresiones, se denomina Precipitación Efectiva o Precipitación Neta. Cuando este excedente empieza a moverse sobre el suelo (Ladera) debido a los desniveles topográficos se habla de Escorrentía o Flujo Superficial. La mayor parte de la Escorrentía alcanzará los cauces de ríos y quebradas para formar el caudal de estos. Mientras una parte menor se infiltrará alimentando los acuíferos subterráneos y otra se evaporará volviendo al punto inicial del ciclo (Montalvo, 2021).

Precipitación

La precipitación es el proceso en el cual el agua contenida en las nubes desciende a la superficie terrestre al producirse la condensación, se cuantifica en milímetros. Dentro de la Hidrología es considerado el parámetro más importante para los estudios de uso y control del agua (Amaya et al., 2019).

Hietograma de diseño

Los hietogramas son gráficos en los cuales se muestra la precipitación en intervalos de tiempo. Estos gráficos son característicos y suelen representar una determinada tormenta. Se puede definir como hietograma de diseño a la representación de forma sintética de la distribución temporal de una precipitación futura, considerando un período de retorno determinado. Existen varios métodos para su análisis entre los cuales están: el rectangular,

el triangular y el de bloques alternantes, siendo este el más utilizado debido a que representa de mejor manera la variación temporal de la precipitación (Montalvo, 2021).

Escorrentía superficial

La escorrentía superficial es un proceso que forma parte del ciclo hidrológico, en donde el agua que cae sobre la superficie terrestre se infiltra causando de esa manera la saturación del suelo y permitiendo que el exceso de agua fluya a través del mismo, la velocidad de escorrentía depende de la pendiente y de las pérdidas ocasionadas durante el proceso. Este flujo generalmente sirve como fuente de alimento de ríos, lagunas o quebradas a través de su cuenca. La escorrentía se cuantifica como un caudal y puede ser representada a través de un hidrograma el mismo que muestra la distribución del caudal dentro de un tiempo determinado (Montalvo, 2021).

Cuenca Hidrográfica

Una Cuenca Hidrográfica es una unidad básica definida por la topografía, y drenada por un sistema de cauces superficiales (Ríos, Esteros, Quebradas), de tal forma que toda la escorrentía generada dentro de la línea divisoria se descarga a través de una salida única e identificable (Montalvo, 2021).

Una cuenca hidrográfica dependiendo de su tamaño está conformada por ríos principales y ríos tributarios los mismos que sirven como fuente de drenaje de las cuencas. Entre los elementos principales que conforman una cuenca hidrográfica están: la divisoria de aguas río principal y afluentes (Vásquez et al., 2019).

La cuenca hidrográfica está compuesta por determinadas secciones siendo estas baja, media y alta las mismas que nos permiten conocer la altitud en la que se encuentra la cuenca distinguiéndose 3 tipos: la parte baja correspondiente a tierras bajas, la parte media corresponde a tierras onduladas y valles y la parte alta hace referencia a laderas y montañas (Vásquez et al., 2019).

Curvas I-D-F

Las curvas IDF son graficas que permiten representar la intensidad de una precipitación en intervalos de tiempo diferentes estos datos corresponden a un mismo

periodo de retorno, además, proporcionan características de las tormentas relacionadas a sus tres variables principales: intensidad, duración y frecuencia (Jácome, 2022).

En el año 2015 el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) presento información relacionada a las curvas IDF con sus respectivas ecuaciones permitiendo de esa manera determinar las intensidades máximas de precipitación correspondientes a periodos de retorno de: 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años en algunas de las estaciones pluviográficas del Ecuador (Jácome, 2022).

2.2.2 Modelo Hidrológico

Los modelos hidrológicos buscan representar el ciclo hidrológico con el objetivo de reproducir el evento lluvia – escorrentía el mismo que se da en un lugar físico conocido como cuenca hidrográfica, para el análisis de dichos modelos usaremos un sistema real de manera física o matemática permitiendo así predecir fenómenos como: avenidas, caudales máximos, sequías entre otros, con ello se busca proponer medidas correctivas con el fin de mitigar efectos frente a dichos eventos (Córdova, 2017).

Estos modelos hidrológicos son utilizados como instrumentos de administración y planeamiento. Los modelos tienen la posibilidad de clasificarse en 2 categorías: modelos físicos y modelos abstractos. Los modelos físicos integran modelos a escala, representando al sistema en una escala limitada mientras que los modelos abstractos son representados a través de fórmulas matemáticas las mismas que relacionan variables de entrada y variables de salida, sin embargo, a pesar de los avances tecnológicos no existe un modelo hidrológico que simule con exactitud los complejos procesos de la hidrología debido a la presencia de múltiples errores, estos errores pueden ser reducidos a través de un correcto proceso de calibración (Cabrera, 2009).

Para la aplicación de los modelos hidrológicos se considera cinco variables importantes que son:

- **Variable de ingreso:** Conjunto de datos que nos permiten conocer parámetros tales como la temperatura, precipitación, evapotranspiración, etc. A través de la aplicación de ecuaciones matemáticas, es importante mencionar que estas variables son de tipo independiente (Cabrera, 2009).
- **Parámetros:** Son características que se hacen referencia al suelo las mismas que en general permanecen constantes a lo largo del modelo. Entre los parámetros más

importantes tenemos; la rugosidad, velocidad de infiltración, coeficiente de descarga etc (Cabrera, 2009).

- **Variables de estado:** Caracterizan el estado o situación en la que se encuentra la cuenca hidrográfica estas pueden variar conforme pasa el tiempo, una de las variables de estado más importantes es la humedad (Cabrera, 2009).
- **Ecuaciones:** Métodos matemáticos que nos permiten simplificar los procesos de cálculo del sistema (Cabrera, 2009).
- **Variables de salida:** Es el resultado de los procesos antes mencionados como resultado principal se obtiene el caudal de la cuenca (Cabrera, 2009).

HEC-HMS

Es un modelo desarrollado por el cuerpo de ingenieros del ejército de los Estados Unidos, sus siglas HEC-HMS (Hidrologic Engineering Center- Hidrologic Modeling System), es un programa de acceso libre, básicamente este modelo ha sido desarrollado para determinar hidrogramas de salida aplicando para ello procesos numéricos como el cálculo de hietogramas de diseño, perdidas por infiltración y conversión de lluvia en escorrentía es decir el caudal. Existen diferentes alternativas de simulación en HEC-HMS, entre los cuales están el método Número de la Curva (SCS) y Soil Moisture Accounting basados principalmente en relaciones matemáticas simples que permite modelar perdidas y excesos de precipitación, flujo base y enrutamiento de inundaciones (Jácome, 2022).

Para iniciar la modelación hidrológica se debe introducir el modelo de la cuenca, el modelo meteorológico, datos control y tablas de precipitación con sus respectivos tiempos. Para su ejecución el software emplea la precipitación que produce escurrimiento ocasionado por la precipitación neta además representa la precipitación considerando un tiempo establecido para de esa manera determinar el hidrograma respectivo (Jácome, 2022).

Empleando el Número de la Curva en el punto de desagüe de la cuenca se estima el Caudal Pico (Q_p) Ec.1, tomando en cuenta el Tiempo al Pico (T_p) Ec.2 y el Área de la cuenca (A) que está relacionado directamente con la duración de la lluvia (T_y) y el tiempo de retardo de la cuenca (T_i) que se calcula con la Ec.3 (López et al., 2012).

$$Q_p = \frac{2.08 A}{T_p} \quad (1)$$

$$T_p = \frac{T_y}{2} + T_i \quad (2)$$

$$T_i = \frac{L^{0.8}(2540 - 22.86 \text{ CN})^{0.7}}{14104 \text{ CN}^{0.7} I^{0.5}} \quad (3)$$

Donde (L) Longitud del cauce principal [m], (I) Pendiente media del cauce [m/m], (CN) numero de la curva.

2.2.3 *Modelación Hidráulica*

La modelación hidráulica nos permite realizar un análisis entre la topografía del cauce en estudio y el volumen de agua transportado permitiendo determinar los niveles de máxima crecida, planicies de inundación y velocidades considerando un período de retorno. De esta manera se puede apreciar el comportamiento del flujo dependiendo de las características geomorfológicas de la cuenca en estudio (Olivares, 2018).

Los modelos hidráulicos cumplen leyes de similitud geométrica, cinemática y dinámica sin embargo la similitud dinámica no es factible desarrollarla debido a que en la mayoría de los casos resulta ser muy costosa, se debe considerar las fuerzas predominantes determinadas mediante un análisis dimensional el mismo que deberá garantizar un correcto diseño y operación del modelo (Aguilera et al., 2017).

Existen diferentes modelos numéricos relacionados con la evolución espacial y temporal de los flujos de agua, siendo estos modelos unidimensionales (1D), bidimensionales (2D) y tridimensionales (3D) utilizando metodologías con diferencias finitas, volúmenes y elementos finitos (Jácome, 2022).

Para obtener un modelo funcional es importante emplear información de calidad ya que esta influye directamente en los resultados, se debe considerar parámetros de entrada como: la modelación hidrológica, la batimetría y topografía, enmallado de cálculo, condición inicial y de contorno y pérdidas de carga (Aragón et al., 2017).

Los modelos unidimensionales consideran al río como una línea, analizando el flujo en un solo sentido, como dato de entrada se emplean las secciones transversales que son las que nos permiten conocer la geometría del cauce, la modelación unidimensional es ampliamente utilizada en ríos considerados rectos o con poca curvatura para dichas

modelaciones empleamos como parámetro hidrológico el caudal pico en un determinado tiempo (Guaya & Montalván, 2018).

Los modelos bidimensionales consideran al río como una malla formada con celdas poligonales que tiene como función representar el cauce principal del río, así como las llanuras de inundación, este modelo proporciona un resultado más real que el modelo unidimensional debido a que emplea el hidrograma completo de precipitación en un tiempo determinado (Guaya & Montalván, 2018). Uno de los programas que facilita la modelación hidráulica en 1D y 2D es el software HEC-RAS.

HEC-RAS

Por sus siglas en inglés, Hydrologic Engineering Center's and River Analysis System (HEC-RAS) es un software que permite al usuario realizar cálculos de flujo unidimensionales y bidimensionales. Además, permite desarrollar cálculos de transporte de sedimentos (GEASIG, 2021).

Este software nos permite simular flujos en cauces naturales o canales artificiales para determinar el nivel del agua y la velocidad, se puede incluir en el modelo obras hidráulicas presentes como puentes, conducciones y presas. Su objetivo principal es realizar modelaciones que permitan determinar zonas inundables visualizándose estos resultados a través de tablas, gráficos y mapas dinámicos que simulan la inundación real (Yara, 2019).

La ecuación de Bernoulli Ec.4 se aplica en la modelación de flujos gradualmente variados tomando en cuenta calados fijos sin erosión, sin variación de caudal y con cause unidimensional haciendo excepción en obras de infraestructura Hidráulica (Yara, 2019).

$$Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + \Delta H \quad (4)$$

$$\Delta H = I \cdot L_{12} + \Delta H_{local} \quad (5)$$

Donde (Y1 – Y2) calado de lámina de agua, (Z1 – Z2) cotas del terreno, (V1 – V2) velocidad en cada sección, ($\alpha_1 - \alpha_2$) coeficiente de Coriolis, (ΔH) pérdida de carga, (I) producto de la pendiente y (L12) distancia entre secciones.

Para la simulación en HEC-RAS se emplea la ecuación de Manning Ec.6 la misma que está en función del caudal, para seleccionar el coeficiente de Manning adecuado se debe

considerar la rugosidad existente en la llanura izquierda, derecha y central del lecho en estudio dependiendo de la obra de infraestructura existente (Yara, 2019).

$$I = \frac{n^2}{R_h^{4/3}} \cdot \frac{Q^2}{A^2} \quad (6)$$

CAPÍTULO III. METODOLOGIA.

La investigación presenta un método empírico donde se parte de la observación objetiva del problema mediante entrevistas con los moradores del cantón Guano para establecer zonas de afectación en la etapa inicial del trabajo se estableció la fecha de modelación de un evento suscitado de inundación en el cantón Guano del 20 de noviembre del 2018 (Universo, 2021), con una precipitación máxima de 20.4 mm. Al momento de recopilar la información meteorológica se observa que el día de mayor precipitación registrada hasta el planteamiento del problema se registra el 2 de marzo del 2021 con una precipitación de 25.6 mm (INAMHI, 2020), por ello se ha considerado dicha fecha para la modelación. Una vez obtenida la información temporal se emplea un trabajo exploratorio donde el objetivo es obtener información espacial realizando un levantamiento topográfico de áreas identificadas como zonas de riesgo en la etapa inicial del trabajo. Una vez recopilados estos datos pasa a formar parte de un método experimental donde se va a implementar un evento hipotético con ayuda de una modelación hidráulica partiendo de datos de esorrentía de una modelación hidrológica en la zona de estudio. Las posibles afecciones evidenciadas en la modelación deberían ser iguales o superiores a las antes registradas (Anexo 15). En las etapas siguientes del trabajo se busca implementar periodos de retorno de 50 años empleando las curvas I-D-F, sobre los resultados de la modelación del 2 de marzo del 2021 para establecer mapas de inundación.

Como estrategia para el desarrollo de la metodología y llegar a cumplir con los objetivos propuestos se estableció las siguientes etapas:

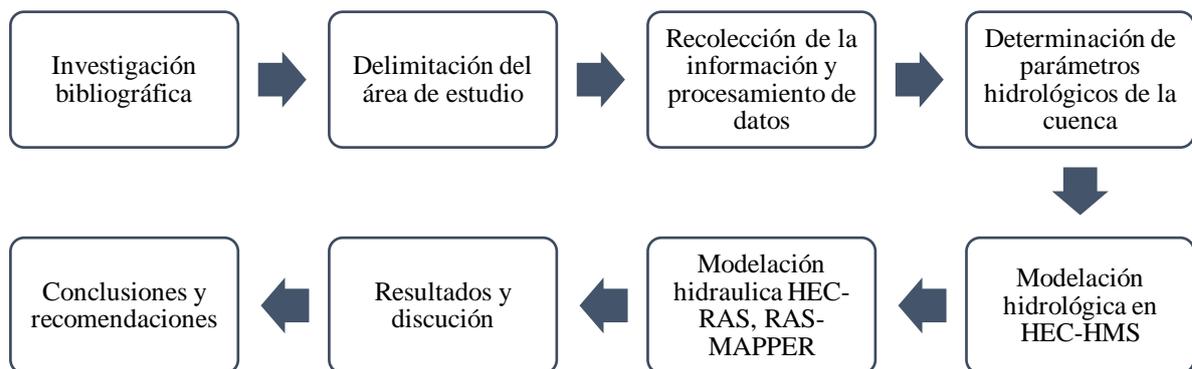


Figura 2 Esquema de la metodología de investigación

3.1 Investigación bibliográfica

Basados en la bibliografía de (Tipán, 2018), la microcuenca de Guano presenta importantes descargas en el área urbana debido a la presencia de actividades domésticas y afluentes como San Sebastián (Iguata) y El Rosario (Batzacón), las secciones naturales de las quebradas en mención se han visto reducidas y modificadas significativamente debido a la presencia de asentamientos urbanos y de producción agrícola en sus riberas.

Las actividades agrícolas en el cantón Guano comparadas con el resto de la provincia son elevadas, presentando áreas pequeñas de pastos naturales, bosques y páramos, afectando de esta manera a la infiltración natural del terreno, en la zona urbana las familias se dedican en un 11.3 % a la agricultura y en un 46.8 % a actividades relacionadas con el comercio, rectificando la información antes mencionada (Caizaluisa & López, 2012).

No existen estudios hidrológicos e hidráulicos que demuestren la afectación ocasionada por las quebradas urbanas en el cantón Guano, a pesar de ello en el año 2018 se registra un estudio de modelación hidráulica "Estudio hidráulico del río Guano para la determinación de la conductancia entre río- acuífero y zonas de inundación (Tipán, 2018), donde se clasifica al río Guano en 3 tramos en zonas rurales pero no llega a trabajar en la zona urbana ni toma en consideración las quebradas San Sebastián y el Rosario.

3.2 Delimitación del área de estudio

Empleando la información obtenida del Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras (SIGTIERRAS), perteneciente al Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca del Ecuador (MAGAP), de forma específica, la subcuenca del río Chambo se obtuvo los parámetros fisiográficos, geomorfológicos y del sistema de drenaje de las cuencas exorreicas San Sebastián (quebrada efímera) y El Rosario (quebrada perenne).

3.3 Recolección de la información y procesamiento de datos

Quebrada San Sebastián

La cuenca de la quebrada de San Sebastián es clasificada como muy pequeña, debido a su área 9.81 Km², con un perímetro de 18.92 Km, con una longitud de 8.59 Km, y un ancho

de 1.14 Km, su factor de forma de 0.13 y un índice de compacidad de 1.69 lo que la define como una cuenca alargada e irregular, con una pendiente de 17.37 %.

Al determinar los parámetros geomorfológicos de la quebrada San Sebastián se obtiene la curva hipsométrica Fig.3 identificando que el 49.25 % de la cuenca está sobre los 3400 msnm, posicionándose como una quebrada vieja, completándose con el histograma de frecuencias altimétricas como se aprecia en la Fig.4.

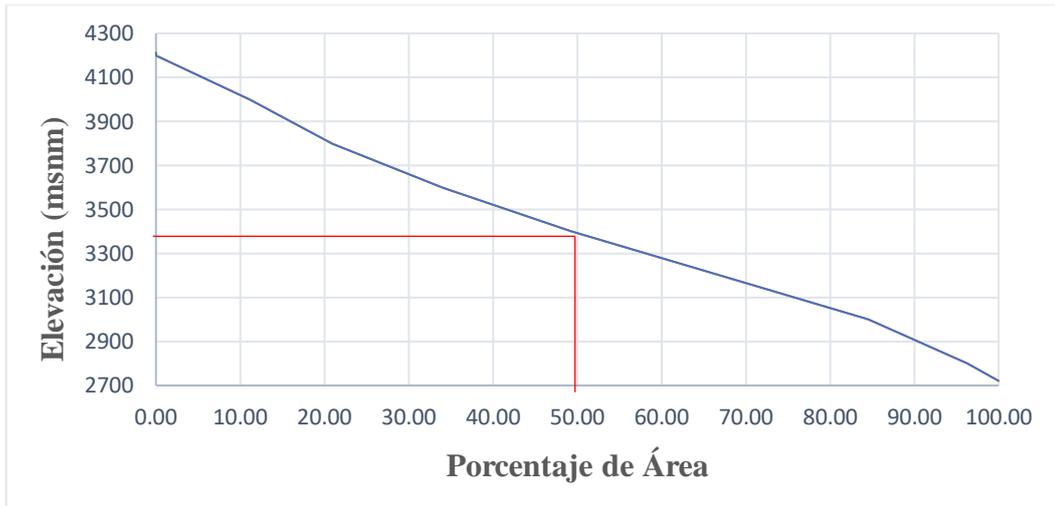


Figura 3 Curva Hipsométrica - Cuenca de la Quebrada San Sebastián

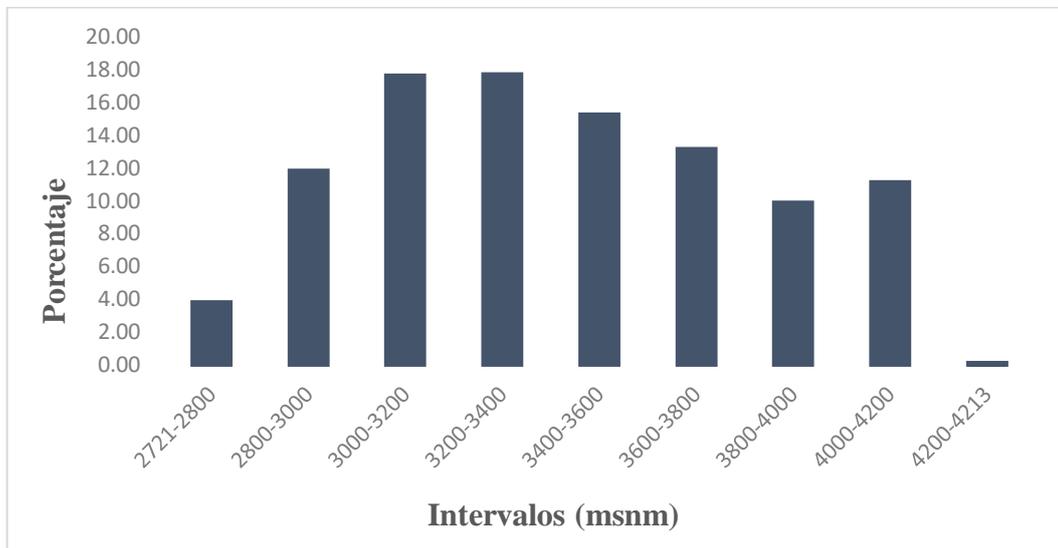


Figura 4 Histograma de Frecuencias altimétricas – Cuenca de la Quebrada San Sebastián

Se observó en el perfil longitudinal de la cuenca de la quebrada San Sebastián que la variación de alturas Fig.5 es de 2721 msnm hasta 2948 msnm.

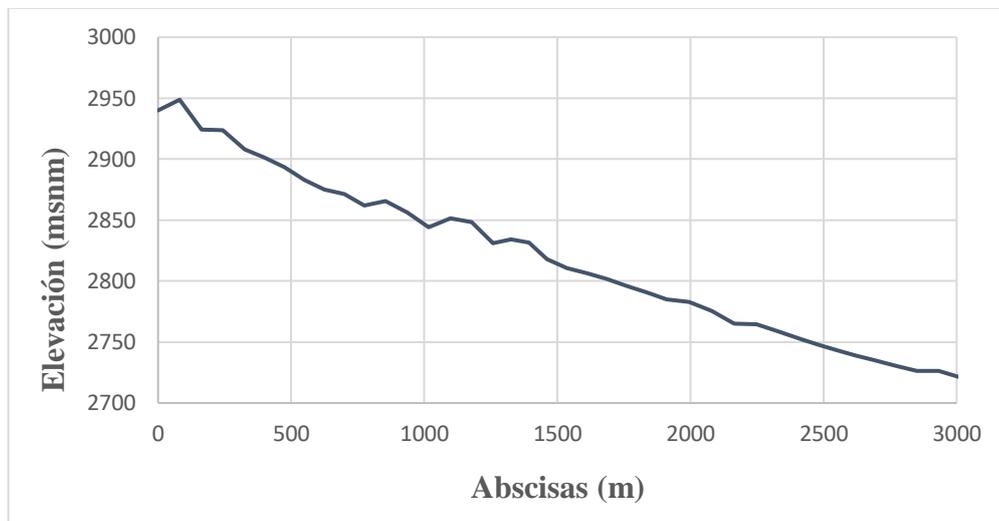


Figura 5 Perfil longitudinal - Cuenca de la Quebrada San Sebastián

Al calcular los parámetros del sistema de drenaje de la quebrada San Sebastián debido a que se trata de una microcuenca, se obtuvieron orden de corrientes 1 y relación de bifurcación 1. Esto significa que no existen cuerpos de agua afluentes a esta quebrada, la longitud del río principal es de 3.01 Km siendo la frecuencia de ríos de $0.1019 \text{ N}^\circ \text{ríos/Km}^2$, la densidad de drenaje es de 0.31 Km/Km^2 , catalogándose como baja con un escurrimiento superficial de 0.81 Km y una pendiente media del cauce de 49.50 % clasificándose de esa manera como un terreno escarpado con una torrencialidad de $0.1019 \text{ N}^\circ \text{ríos/Km}^2$ siendo alta con una velocidad de descarga mayor. El tiempo que tardará en desfogar el caudal y recuperar la normalidad es de 18.17 minutos.

Quebrada El Rosario

La cuenca de la quebrada El Rosario es pequeña, a pesar de ello triplica en dimensiones a la quebrada San Sebastián, presentando un área de 35.07 Km^2 recorriendo las parroquias de San Andrés y El Rosario, cuenta con un perímetro de 47.50 Km, una longitud de 19.32 Km y un ancho de 1.82 Km, factor de forma de 0.094 y de compacidad de 2.25, definiéndola como una cuenca alargada e irregular, la pendiente de la cuenca es de 8.12 %.

Al determinar los parámetros geomorfológicos en la quebrada El Rosario el 49.48 % de su superficie se encuentra sobre los 3200 msnm, representada en la curva hipsométrica

Fig.6 la misma que nos indica que es una quebrada madura, complementado con su histograma de frecuencias altimétricas Fig.7.

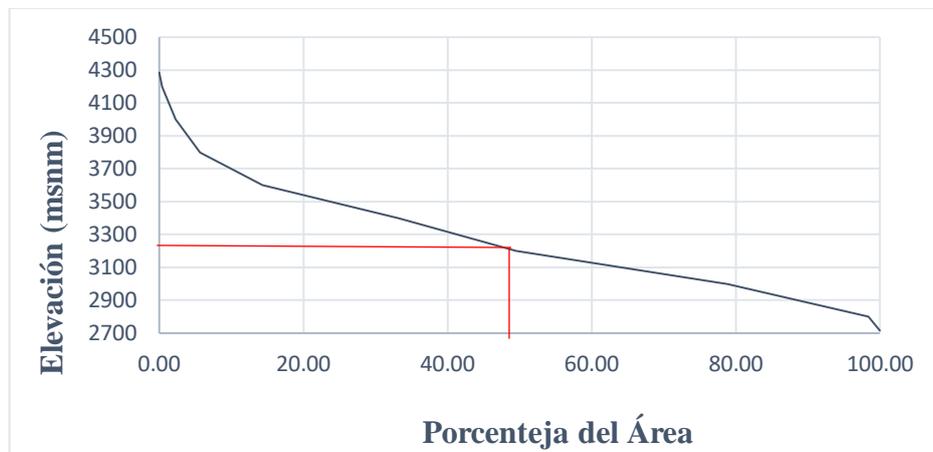


Figura 6 Curva Hipsométrica - Cuenca de la Quebrada El Rosario

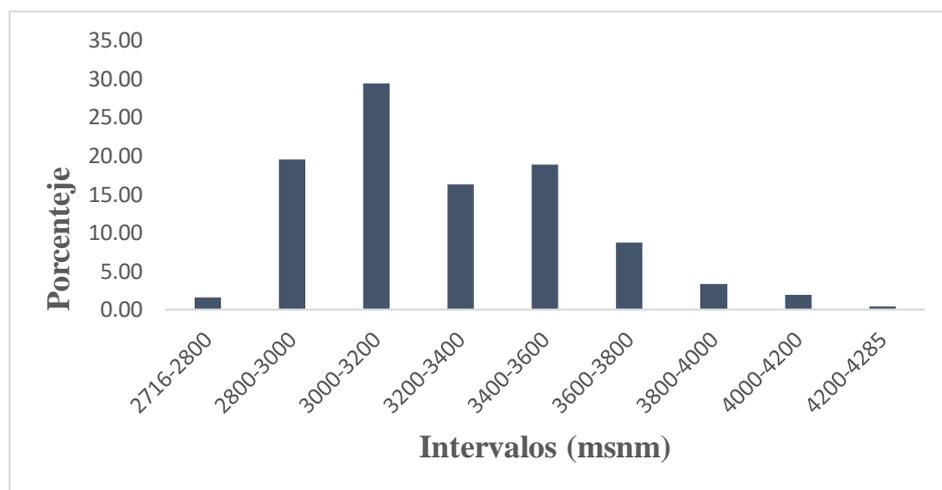


Figura 7 Histograma de Frecuencias altimétricas – Cuenca de la Quebrada El Rosario

Se observo en el perfil longitudinal de la cuenca de la quebrada El Rosario que la variación de alturas Fig.8 es de 2716 msnm y los 3250 msnm.

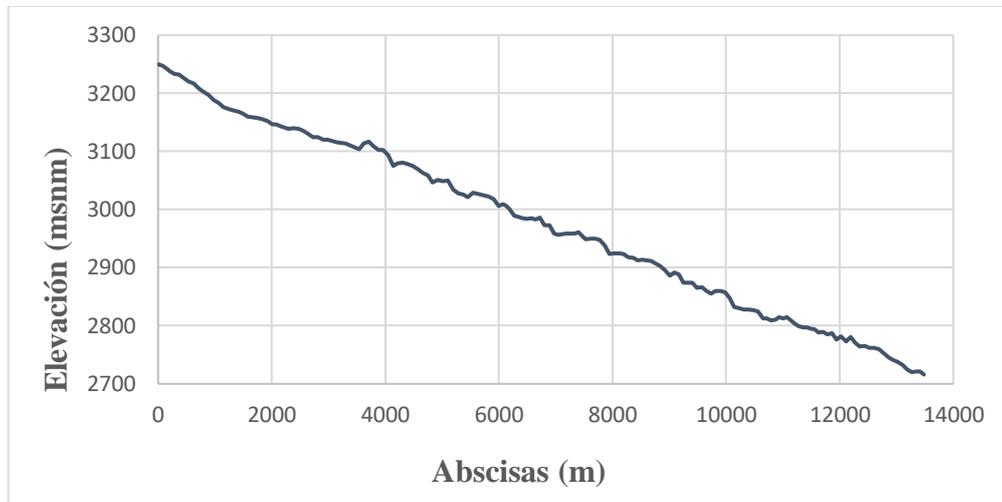


Figura 8 Perfil longitudinal - Cuenca de la Quebrada El Rosario

Los parámetros del sistema de drenaje de la quebrada El Rosario debido a que se trata de una microcuenca, se obtuvieron orden de corrientes 1 y relación de bifurcación 1, la longitud del río principal es de 13.48 Km con una frecuencia de ríos de 0.0285 N°ríos/Km², la densidad de drenaje es baja de 0.3844 Km/Km², el escurrimiento superficial es 0.65 Km y la pendiente media del cauce de 11.64 % siendo un terreno accidentado con una baja torrencialidad de 0.0285 N°ríos/Km², el tiempo de concentración es 77.17 minutos.

En base a un análisis visual del evento suscitado el martes 20 de noviembre del 2018 se identificaron las zonas de mayor afectación para tomarlas como base de la modelación hidráulica, considerando además un evento de características similares como el del 2 de marzo de 2021, y un posible evento con 50 años de periodo de retorno, aplicados en la modelación hidrológica para la obtención de caudales.

Se inicio tomando puntos de control de la parte urbana con un sistema de posicionamiento RTK, específicamente de zonas construidas como aceras y pozos. Una vez obtenidos los puntos de referencia, se realizó dos vuelos con Dron a 100 m de altura obteniendo 274.759.194 millones de puntos clasificados, cada 0.02 m en el área de las

quebradas debido a la densa vegetación se realizó un levantamiento con estación total de los márgenes izquierdo y derecho de las quebradas, así como de sus ejes Fig.9.

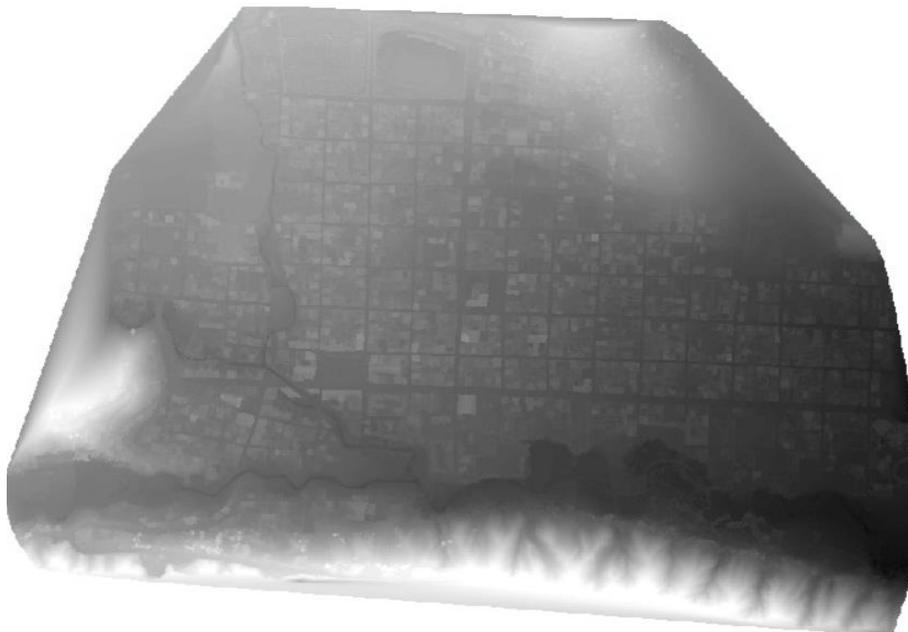


Figura 9 Modelo de elevación digital de las quebradas en estudio y de la zona de afectación

Para la recolección de datos meteorológicos se recurrió a los boletines de la estación Agrometeorológica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo desde el año 2018 a Mayo de 2021 Fig.10, en donde se identificó que el año de mayor precipitación fue el año 2021, posterior a ello debido a que la información obtenida fue poco precisa se solicitó al INAMHI información de precipitación diaria de la estación automática ESPOCH M1036 identificado que el día de mayor precipitación fue el 2 de Marzo de 2021 Fig.11.

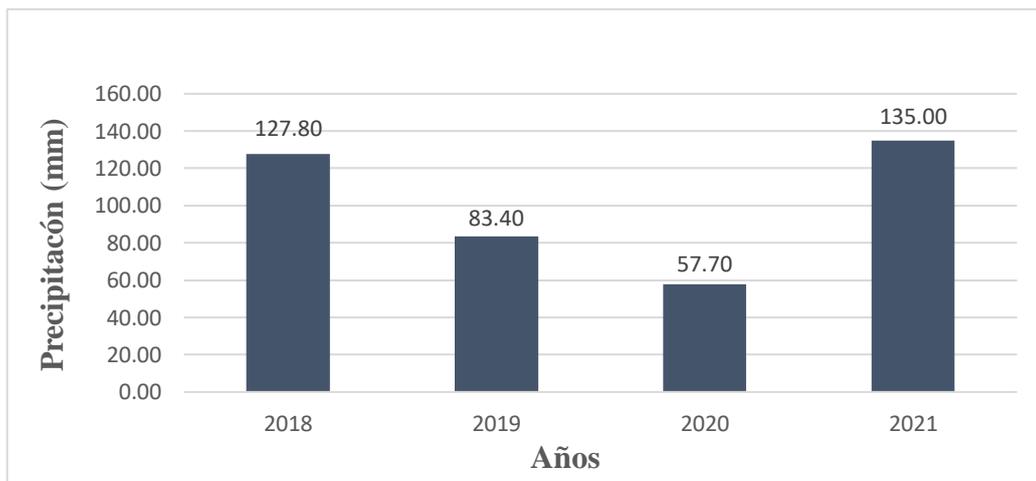


Figura 10 Precipitaciones anuales de la estación agrometeorológica ESPOCH

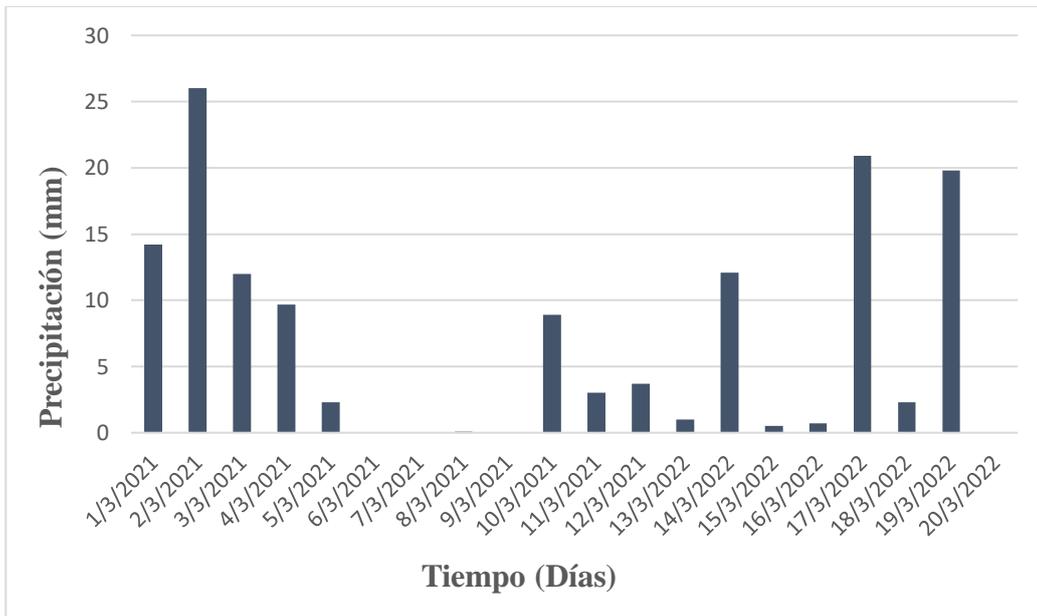


Figura 11 Hietograma del mes de marzo del 2021 con datos diarios de la estación automática M-1036 ESPOCH

Una vez identificado el día de mayor precipitación que corresponde al 2 de marzo del 2021 se procede a graficar el hietograma correspondiente con datos horarios de precipitación Fig. 12 el mismo que servirá como base para la modelación hidrológica respectiva.

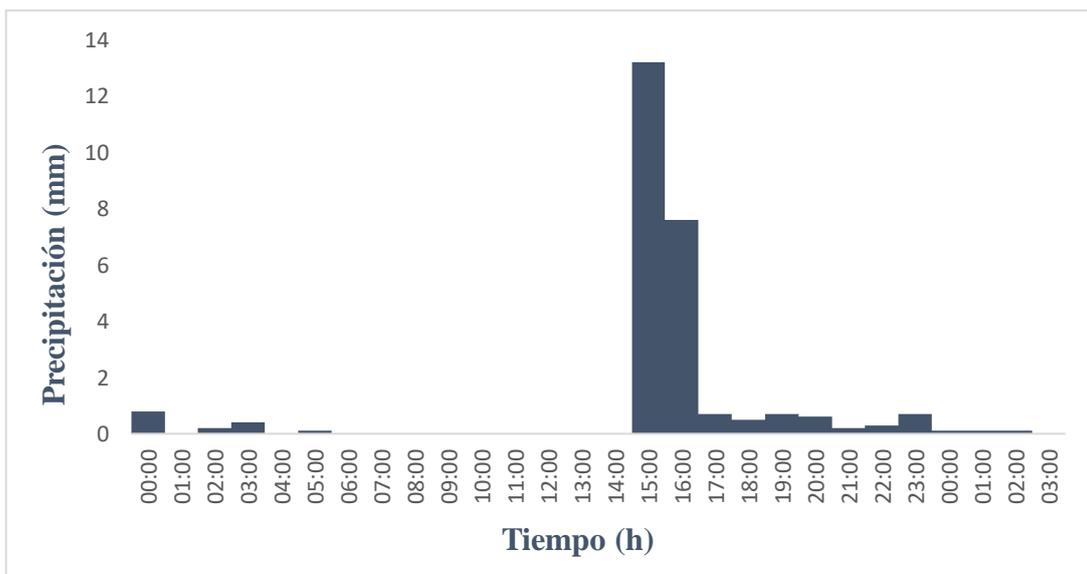


Figura 12 Hietograma de precipitación del 2 de marzo del 2021

De forma complementaria se obtuvo un hietograma con la distribución de precipitaciones considerando un periodo de retorno de 50 años empleando el método de bloques alternantes.

Utilizando el tiempo de retorno de las cuencas y el tiempo de concentración de estas redondeado y discretizado cada 4 y 5 minutos para la quebrada San Sebastián y El Rosario respectivamente.

Se utilizó también las Curvas IDF obtenidas de la publicación realizada por el Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología del año 2015 (INAMHI, 2015), obteniendo las ecuaciones respectivas para la quebrada San Sebastián Ec.7 y para la quebrada El Rosario Ec.8 en base a sus tiempos de concentración. Permitiendo determinar los hietogramas de diseño para un periodo de retorno de 50 años que se muestra en la Fig.13 y Fig.14 para las quebradas San Sebastián y El Rosario respectivamente.

$$i = 156.38 * T^{0.2102} * t^{-0.4735} \quad (7)$$

$$i = 541.519 * T^{0.2061} * t^{-0.8382} \quad (8)$$

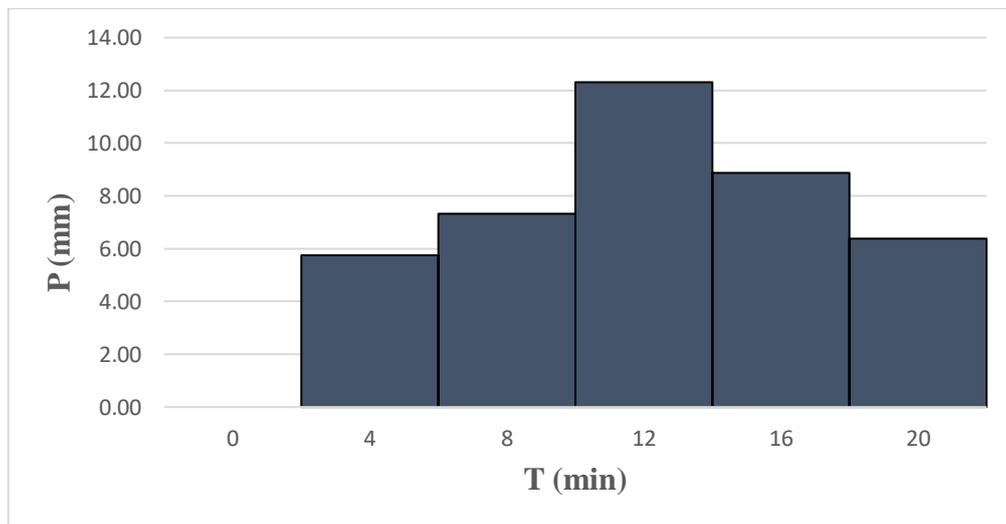


Figura 13 Hietograma de diseño con periodo de retorno de 50 años – Cuenca de la Quebrada San Sebastián

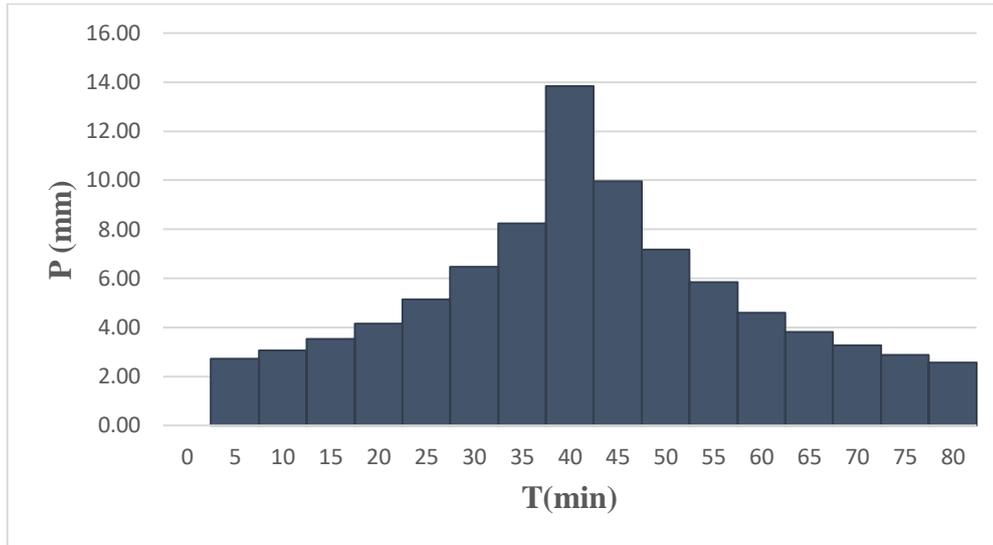


Figura 14 *Hietograma de diseño con periodo de retorno de 50 años – Cuenca de la Quebrada EL Rosario*

3.4 Determinación de parámetros hidrológicos de la cuenca

Al tener delimitada la cuenca e identificado el punto de drenaje se procedió a la modelación hidrológica donde como parámetro principal se necesita el Numero de la Curva (CN) la misma que representa la escorrentía superficial obtenido a partir del método SCS con la utilización de información proporcionada por (SIGTIERRAS, 2020) de cobertura de la quebrada San Sebastián Fig.15 y cobertura de la quebrada El Rosario Fig.16 así como la textura de la quebrada San Sebastián Fig.17 y textura de la quebrada El Rosario Fig.18 en cada caso se realizaron dos simulaciones una con la tormenta registrada y otra con un periodo de retorno de 50 años tanto en la quebrada San Sebastián como en la quebrada El Rosario

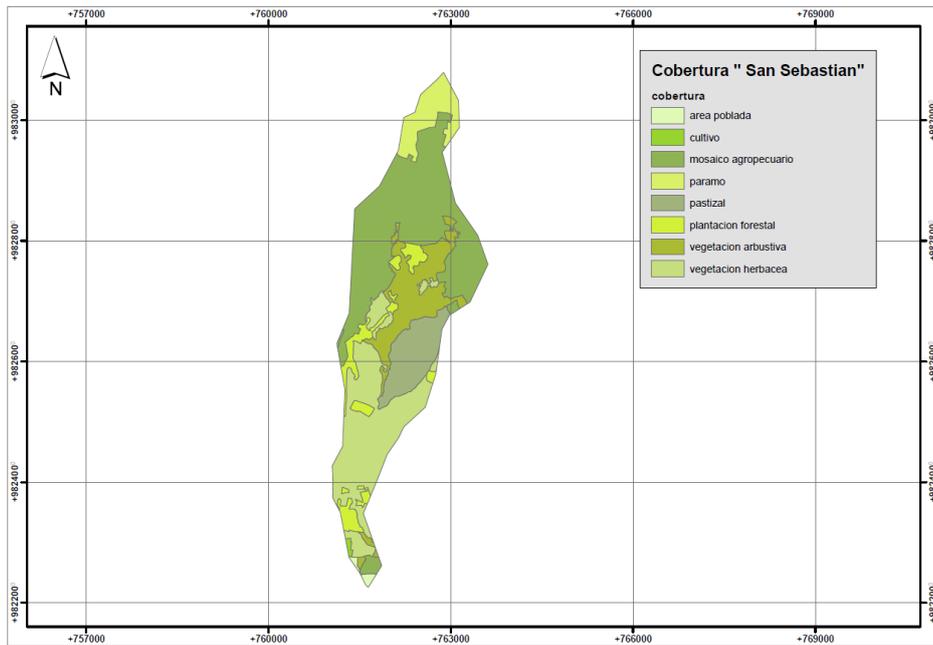


Figura 15 Mapa de cobertura – cuenca San Sebastián

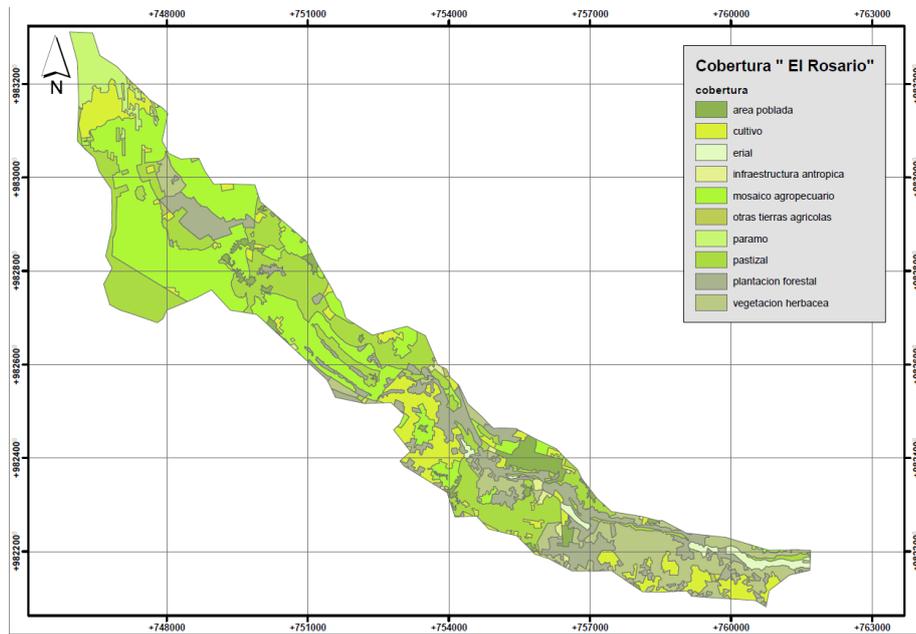


Figura 16 Mapa de cobertura – cuenca El Rosario

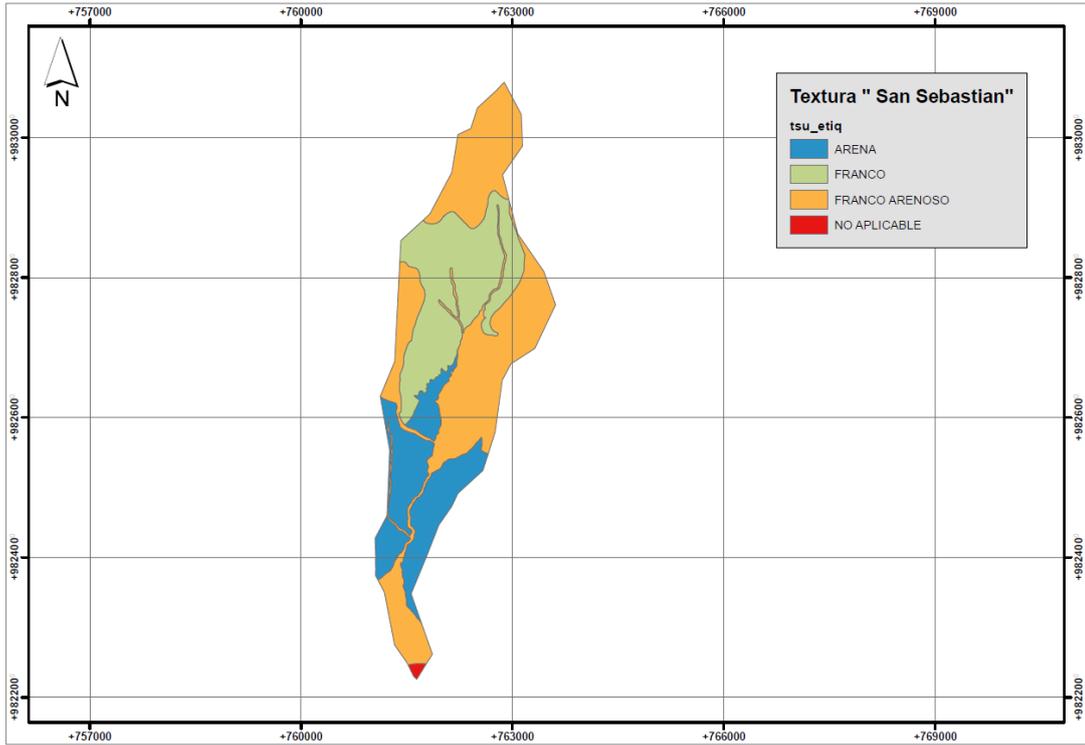


Figura 17 Mapa de textura - cuenca San Sebastián

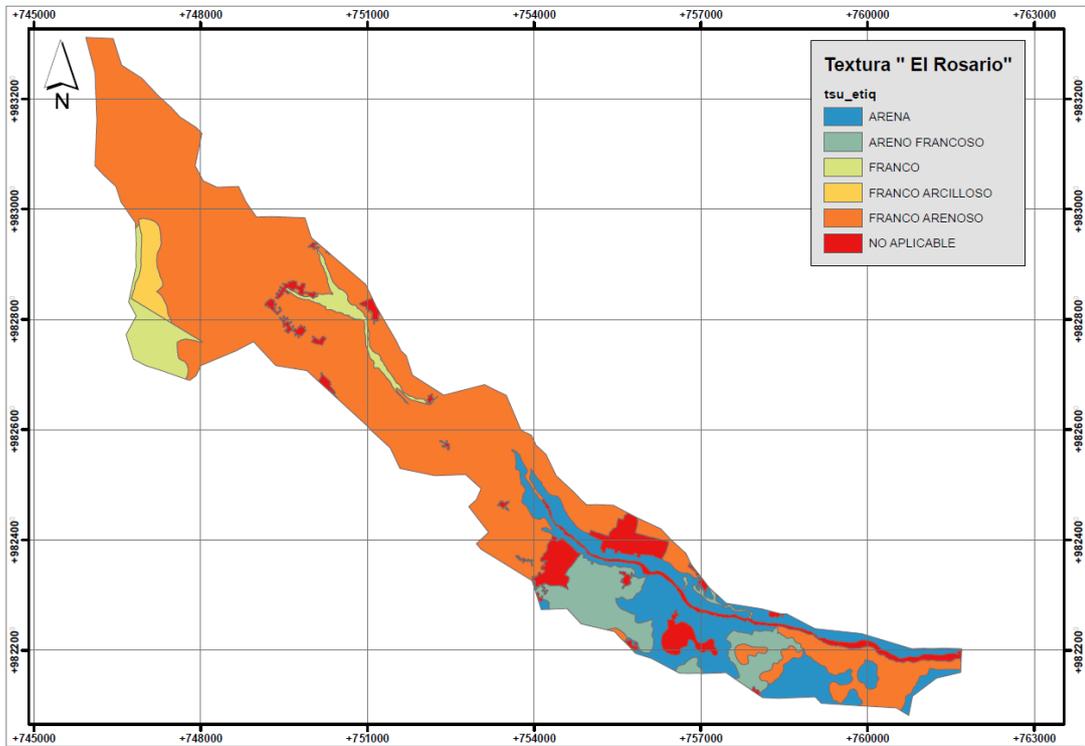


Figura 18 Mapa de textura - cuenca El Rosario

En la cuenca de San Sebastián se presentan suelos de tipo A (Arenosos), y en gran parte suelos tipo B (Francosos y franco arenosos) como se muestra en la (Tabla 1) mientras que en la cuenca El Rosario se presentan suelos tipo A (Arenosos y Areno francoso) y suelos tipo B (Franco, franco arcilloso, franco arenoso) (Tabla 2) es decir se presentan suelos de una buena capacidad de infiltración y textura gruesa y en mayor medida se presentan suelos de una moderada capacidad de infiltración que al saturarse pierden dicha capacidad, refiriéndonos a la cobertura de las cuencas San Sebastián y El Rosario se pudo determinar que alrededor del 50% corresponde a zonas agropecuarias, vegetación herbácea y pastizales. (Tabla 3) y (Tabla 4), una vez obtenida toda esta información se calculó el número de la Curva obteniendo como resultado en la quebrada de San Sebastián 64.49 mientras que en la quebrada El Rosario se obtuvo un valor de 61.36.

Tabla 1 *Textura Cuenca de la Quebrada San Sebastián*

Textura	Área	Porcentaje (%)	Tipo
Arena	2,13	21,74%	A
Franco	2,86	29,16%	B
Franco arenoso	4,78	48,78%	B
No aplicable	0,03	0,32%	NP
Total	9,81	100,00%	

Tabla 2 *Textura Cuenca de la Quebrada El Rosario*

Textura	Área	Porcentaje	Tipo
Arena	5,06	14,43%	A
Areno Francoso	2,56	7,31%	A
Franco	1,58	4,51%	B
Franco arcilloso	0,66	1,87%	B
Franco arenoso	22,80	65,02%	B
No aplicable	2,40	6,85%	NP
Total	35,07	100,00%	

Tabla 3 Cobertura Cuenca de la Quebrada San Sebastián

Cobertura	Área (km)	Porcentaje (%)
Área poblada	0,05	0,50%
Cultivo	0,02	0,23%
Mosaico agropecuario	3,79	38,62%
Paramo	0,66	6,76%
Pastizal	0,92	9,35%
Plantación forestal	0,64	6,56%
Vegetación arbustiva	1,32	13,47%
Vegetación herbácea	2,40	24,52%
Total	9,81	100%

Tabla 4 Cobertura Cuenca de la Quebrada El Rosario

Cobertura	Área (km)	Porcentaje (%)
Área poblada	1,25	3,55%
Cultivo	4,21	12,01%
Erial	0,57	1,64%
Infraestructura antrópica	0,24	0,69%
Mosaico agropecuario	10,18	29,02%
Otras tierras agrícolas	0,07	0,19%
Paramo	1,17	3,35%
Pastizal	8,42	24,00%
Plantación forestal	4,84	13,79%
Vegetación herbácea	4,12	11,76%
Total	35,07	100,00%

3.1 Modelación hidráulica a través de las herramientas HEC-RAS y RAS-MAPPER

Para tener mayor precisión en los resultados se realizó una modelación 1D en HEC-RAS que posteriormente fue contrastada con los resultados de una modelación 2D en RAS-MAPPER.

En la modelación 1D de la quebrada San Sebastián se definió el eje de la quebrada así como el margen lateral izquierdo y el margen derecho, de igual forma se definió el área de flujo basado parcialmente en afectaciones pasadas, se establecieron 36 secciones transversales cada 40 metros perpendiculares al eje de la quebrada como se puede apreciar en la Fig.19 dichas secciones fueron definidas empleando la ortofoto obtenida en el levantamiento con dron, se consideraron este número de secciones debido a que se trabaja en el área urbana y cada sección transversal contiene un número de puntos que no son filtrados automáticamente, al momento de realizar la modelación se debería eliminar manualmente los puntos duplicados lo que retrasaría el desarrollo del proyecto, otra de las razones por las que se considera esta separación es debido a la irregularidad de la quebrada la misma que presenta un sinnúmero de quiebres lo que ocasionaría que las secciones transversales se intersequen y produzcan error en la ejecución, se procede a trabajar en HEC-RAS donde se importa las secciones transversales y se colocan los coeficientes de rugosidad en cada una de ellas, en el margen lateral izquierdo debido a una vegetación arbustiva alta el coeficiente fue de 0.05 mientras que en el margen central y derecho se insertaron rugosidades de 0.035 debido a la forma irregular de la quebrada, al presentarse obras de infraestructura hidráulica como un túnel se definieron secciones de contracción que afectan a la modelación.

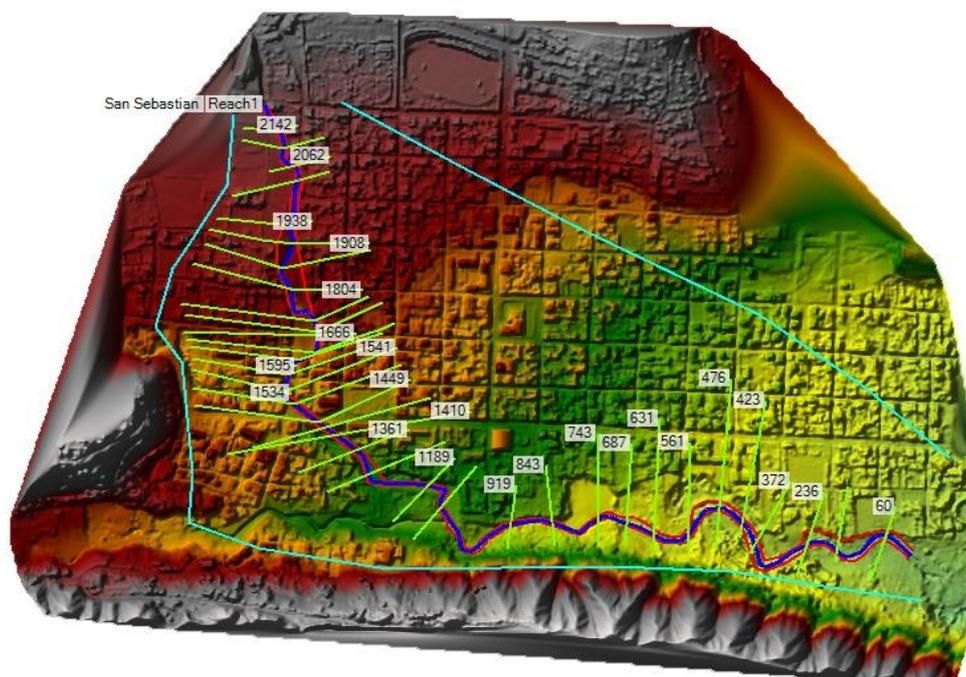


Figura 19 Sección transversal de la planicie - Cuenca de la Quebrada San Sebastián

En la quebrada El Rosario se definieron 140 secciones transversales separadas cada 10 metros Fig.20, se usó esta separación porque la quebrada no presenta quiebres y se encuentra fuera de la zona urbana, una vez exportado a HEC-RAS se colocaron rugosidades en el margen lateral izquierdo y derecho de 0.05 debido a la presencia de vegetación arbustiva alta y en el margen central de 0.035 debido a la irregularidad que presenta, para la obtención de resultados se definió en las quebradas un flujo estable crítico debido a que se trata de quebradas de montaña, trabajando una modelación estática considerando el caudal pico obteniendo de la modelación hidrológica.

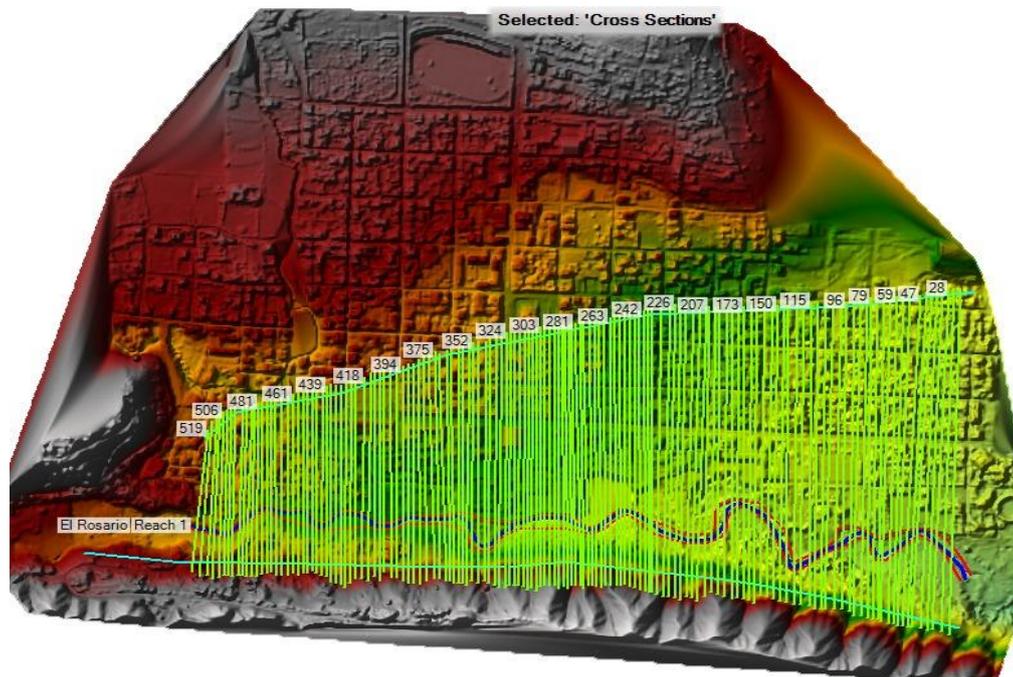


Figura 20 Sección transversal de la planicie - Cuenca de la Quebrada El Rosario

En la simulación 2D en ambos casos se trabajó en RAS-MAPPER, se determinaron las áreas de estudio con un enmallado de 6 x 6 metros, posteriormente se definieron los tramos de las quebradas San Sebastián y el Rosario en donde se realizó un refinamiento de malla de 2 x 2 metros de igual forma se definieron 6 cuadrículas tanto a la derecha como a la izquierda del eje de la quebrada Fig.21 y Fig.22, la condición de entrada se definió como interna debido a que está presente dentro de la red de estudio, el coeficiente de Manning ingresado fue de 0.06 según (Cea & Bladé, 2007), se consideró este valor por defecto que nos proporciona el software debido a que en el Ecuador no existe un mapa de rugosidades para poder realizar una modelación en 2D, lo cual implicaría un análisis más extenso que ampliaría significativamente la investigación. La modelación se realiza en flujo transitorio,

por ello se considera todo el periodo del hietograma, tanto en el evento del 2 de marzo como en el de 50 años de periodo de retorno. Para la obtención de resultados se definieron en la quebrada San Sebastián el intervalo de salida cada minuto y el hidrograma de salida cada hora en la tormenta registrada, mientras que en la tormenta con período de retorno de 50 años el intervalo de salida fue cada 30 segundos y el hidrograma de salida cada minuto. En la quebrada El Rosario en la tormenta registrada el intervalo de salida fue cada 5 segundos y el hidrograma cada 10 minutos, la del periodo de retorno de 50 años el intervalo de salida fue cada segundo y el hidrograma cada minuto. Se emplearon estos tiempos debido a la cantidad de flujo que ingresa a la modelación, es decir si se ingresa una gran cantidad de flujo en un tiempo muy largo, el desbordamiento se va a producir en la zona de ingreso porque se satura, mientras que si se ingresa la misma cantidad de flujo en intervalos de tiempo más cortos va a dar tiempo en que logre desfogarse el caudal

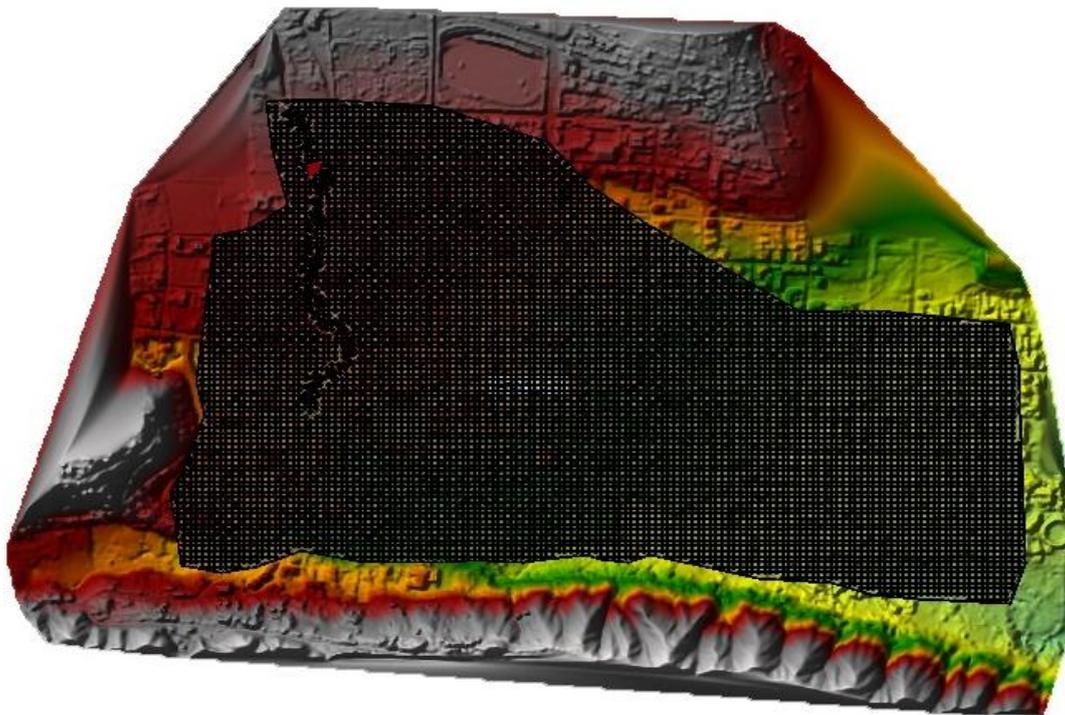


Figura 21 *Enmallado Quebrada San Sebastián*

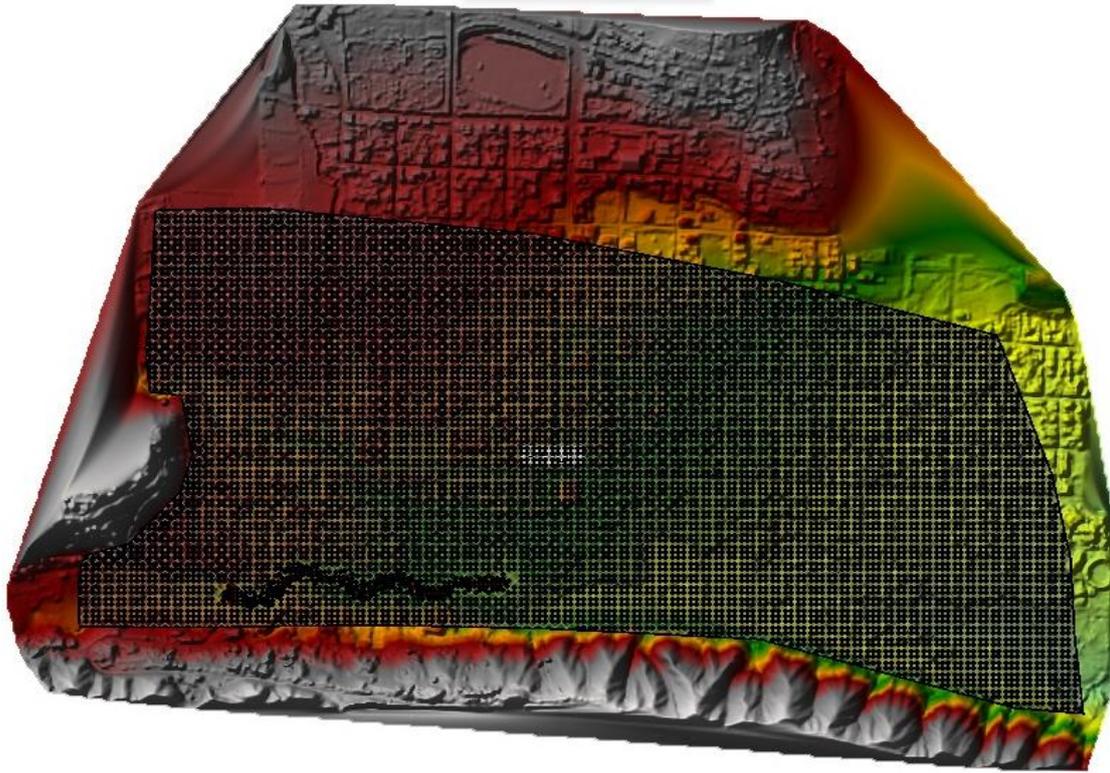


Figura 22 *Enmallado Quebrada El Rosario*

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

Modelación hidrológica

Una vez obtenidos los resultados de la modelación hidrológica empleando los datos del hietograma del 2 de marzo del 2021 de la Quebrada San Sebastián se puede observar que el hidrograma Fig.23 inicia a las 0 horas y se estabiliza a las 30 horas de iniciado el evento, el caudal máximo alcanzado fue de 1.3 m³/s en el transcurso de 15 horas.

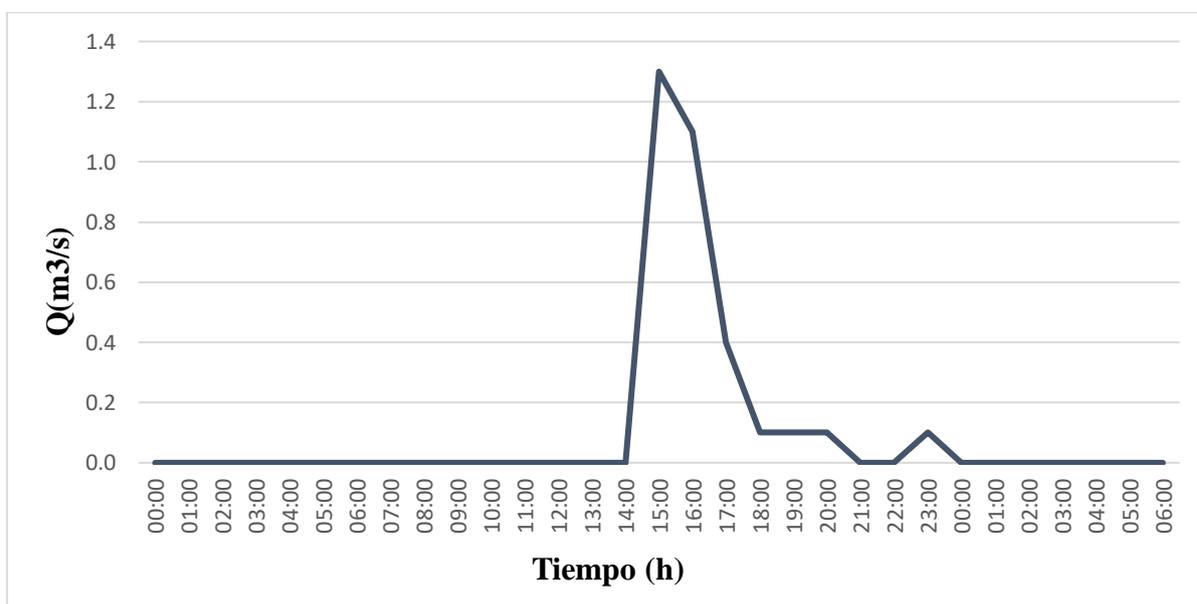


Figura 23 Hidrograma del 2 de marzo del 2021 - Quebrada San Sebastián

Una vez obtenidos los resultados de precipitación empleando las curvas IDF de los 50 años de periodo de retorno de la quebrada San Sebastián discretizado cada 4 minutos se pudo identificar que el hidrograma llega al punto final a las 2 horas de iniciada la modelación teniendo un pico máximo de caudal de 22 m³/s a los 24 minutos como se muestra en la Fig.24.

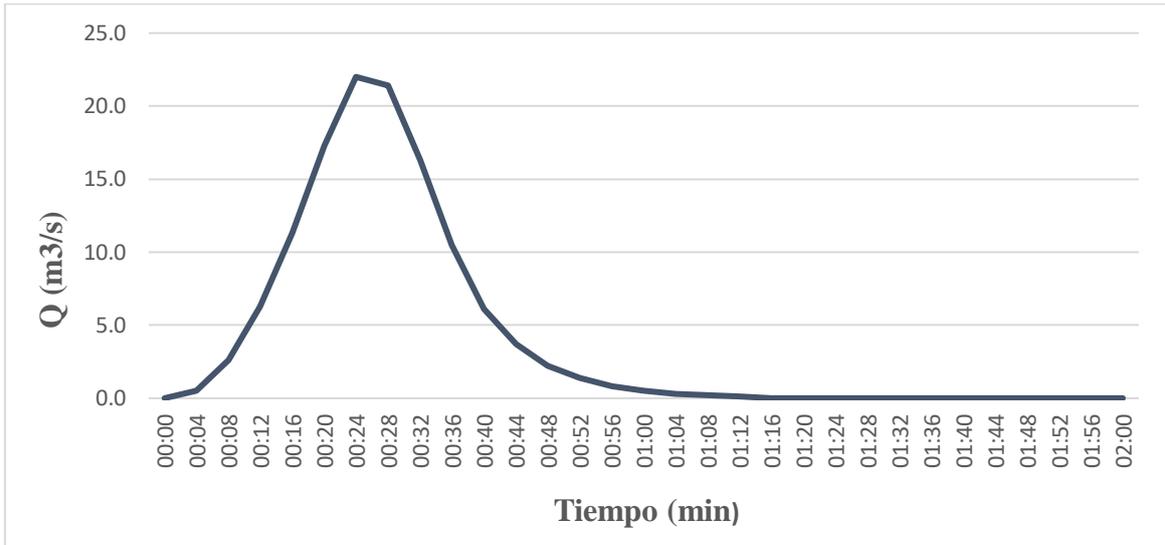


Figura 24 Hidrograma con periodo de retorno de 50 años - Quebrada San Sebastián

Teniendo como preámbulo la modelación hidrológica se identifica que los caudales difieren significativamente, de igual manera los intervalos de estabilización del hidrograma, en los 50 años de periodo de retorno se presenta un evento extremo comparado al registrado.

En la quebrada El Rosario una vez obtenido el hidrograma Fig.25 del 2 de marzo del 2021 se observa que una vez iniciada la modelación se estabiliza a las 30 horas con un caudal pico de 4.2 m³/s a las 16 horas de iniciada la modelación.

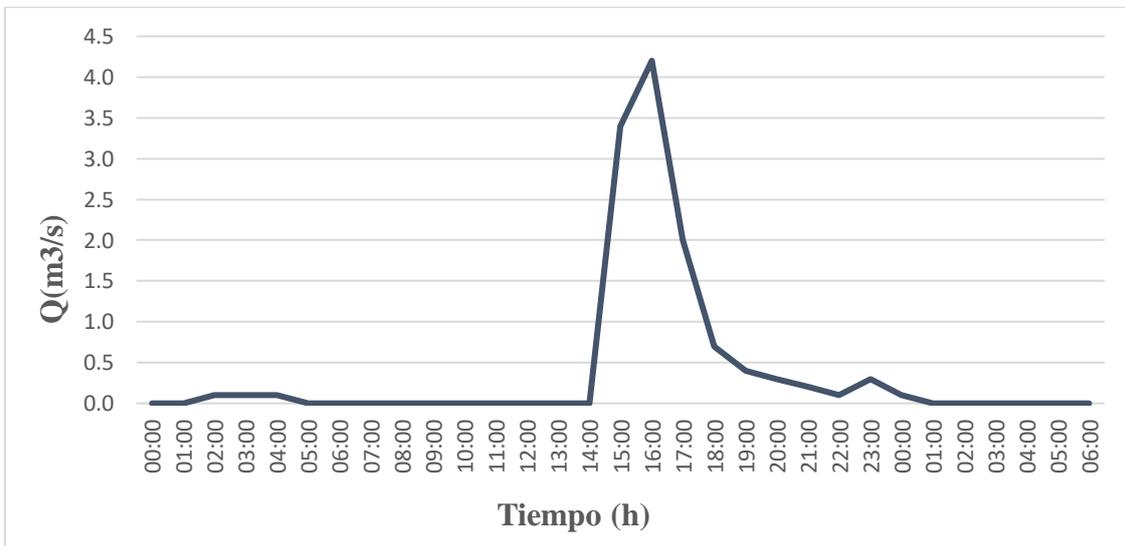


Figura 25 Hidrograma del 2 de marzo del 2021 - Quebrada El Rosario

En la modelación hidrológica Fig.26 obtenida en HEC-HMS de los 50 años de periodo de retorno de la quebrada El Rosario se identificó que el evento dura 5 horas en recuperar el caudal normal, el máximo valor de escorrentía se presenta a la 1:40 horas de iniciada la modelación y es de 135.5 m³/s.

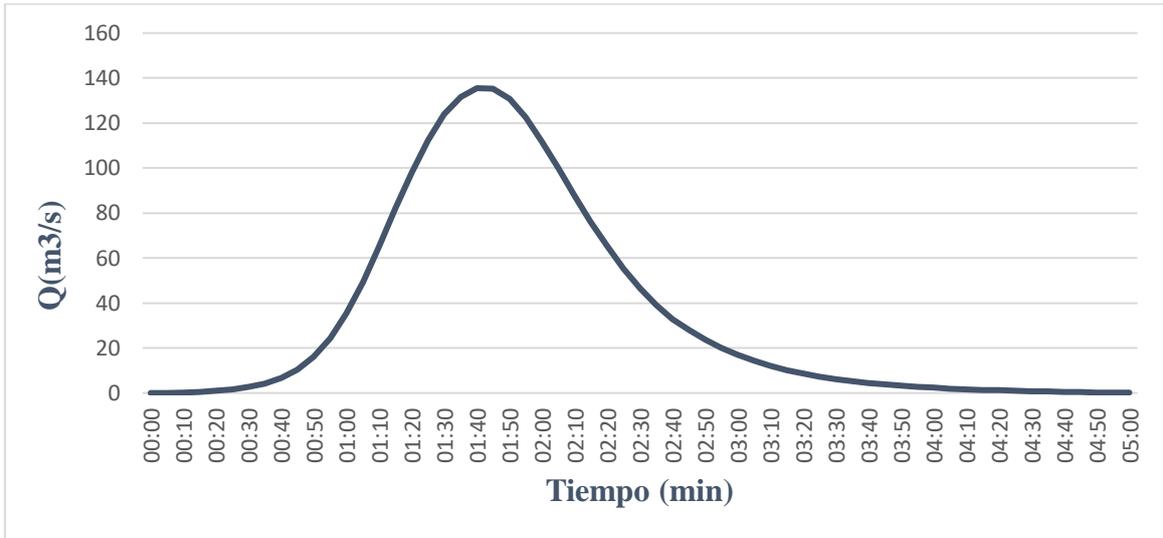


Figura 26 Hidrograma con periodo de retorno de 50 años - Quebrada El Rosario

Al comparar los caudales del 2 de marzo del 2021 como en los 50 años de periodo de retorno presenta una gran variación, de igual manera los volúmenes de precipitación varían significativamente, debido a los intervalos de salidas del hidrograma en el primer caso el intervalo de estabilización se da a las 30 horas de iniciada la modelación mientras que en el segundo caso se estabiliza a las 5 horas por ello los caudales pico difieren en gran medida.

- **Modelación 1D (Quebrada San Sebastián)**

En la Fig. 27 se observa una sección no alterada correspondiente a la quebrada San Sebastián donde claramente se puede apreciar que no existe desbordamiento con ninguno de los dos caudales registrados, el color celeste representa el evento del 2 marzo del 2021 y el color rojo representa el evento hipotético con un periodo de retorno de 50 años.

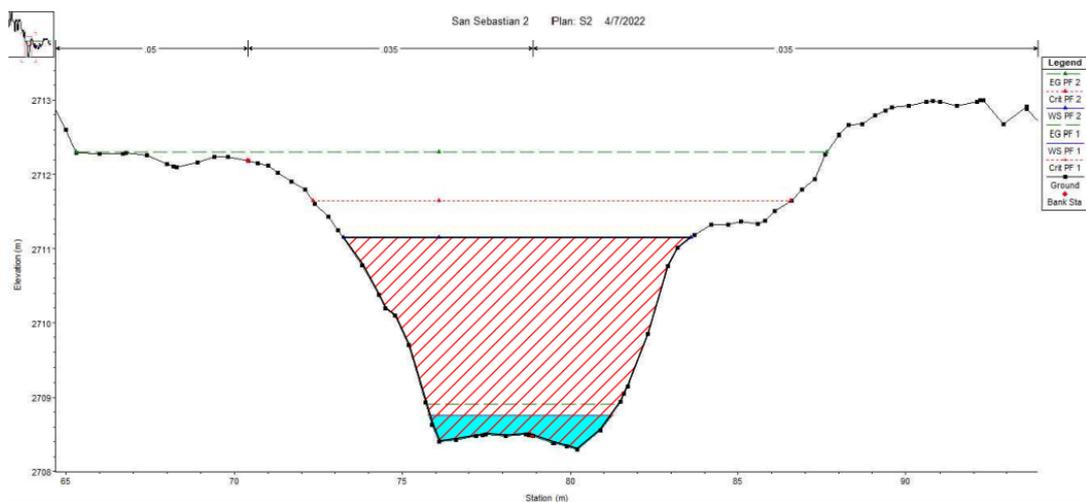


Figura 27 Sección típica - Quebrada San Sebastián

La quebrada San Sebastián es una quebrada urbana, debido a que recorre la parte urbana del cantón Guano, en la Fig.28 se puede observar un paso tipo túnel donde no existe desbordamiento de la quebrada en el evento registrado el 2 de marzo del 2021 (color azul), sin embargo, al implementar un periodo de retorno de 50 años (color rojo) el caudal llega a saturarla casi en su totalidad, es importante considerar que sobre el túnel existen obras de infraestructura.

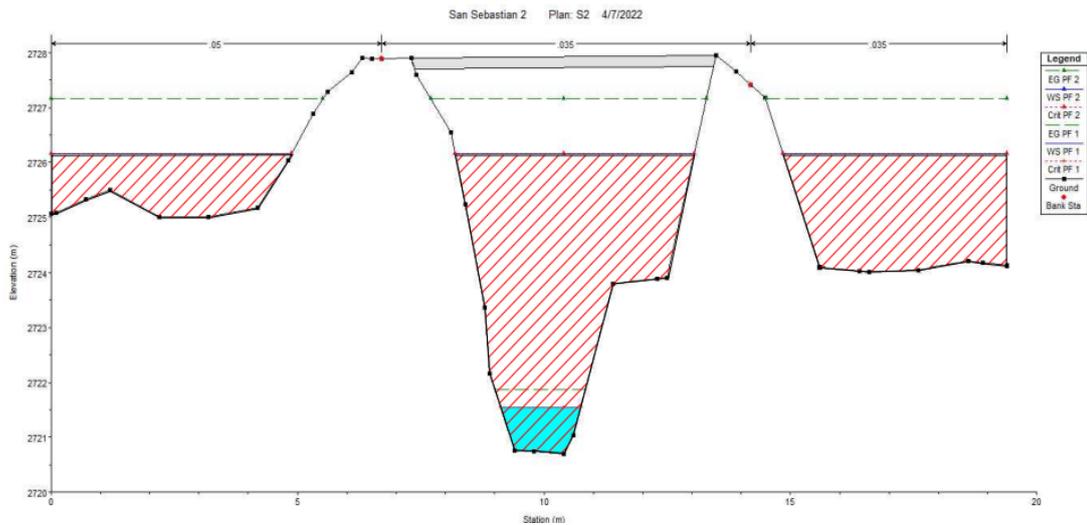


Figura 28 Corte de la sección túnel - Quebrada San Sebastián

Se puede identificar en la Fig.29 una sección típica de la quebrada San Sebastián donde sus profundidades varían entre los 1.30 y 3 metros existiendo viviendas en sus márgenes, al implementar un caudal registrado no existe desbordamiento debido a su gran profundidad y que aún conserva la forma de quebrada, es decir aún no ha sido modificada. En la Fig.30 se puede observar una sección de la quebrada que ha sido modificada y reducida, por ello con el caudal del 2 de marzo del 2021 no sobrepasa los márgenes sin embargo al implementar un caudal mucho mayor se puede visualizar el desbordamiento de la misma llegando a cubrir la superficie urbana.

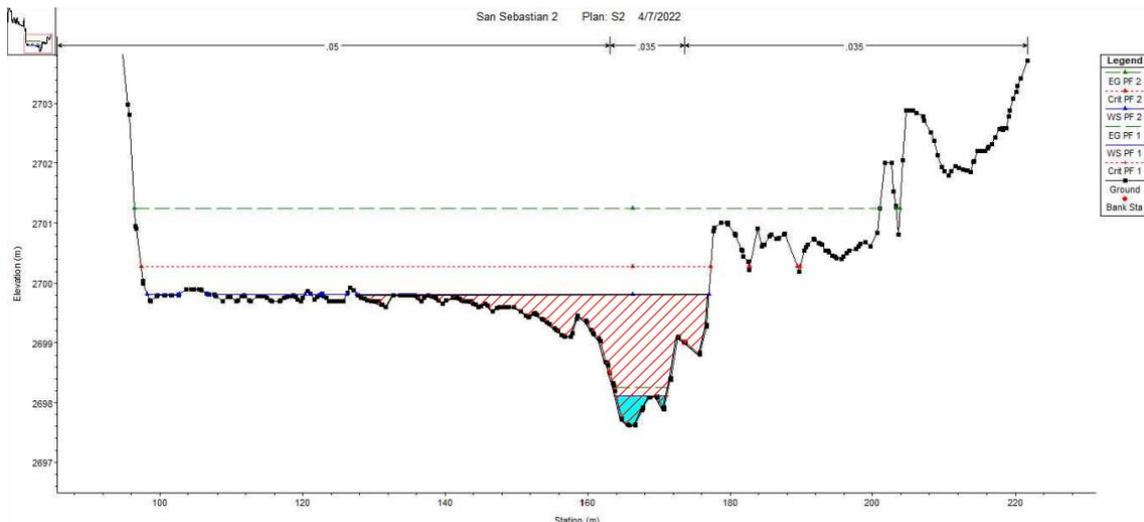


Figura 29 Sección de la quebrada San Sebastián sin desbordamiento

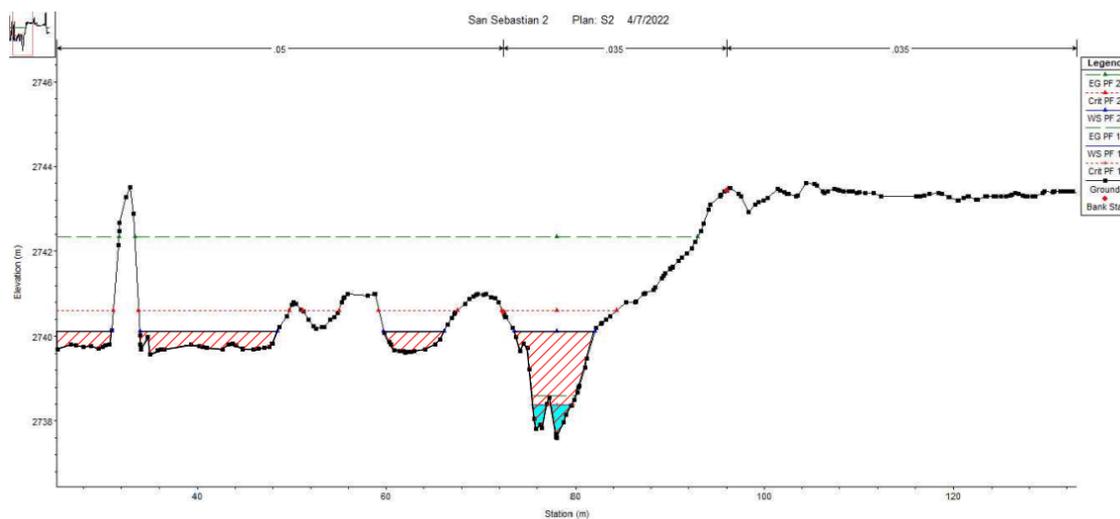


Figura 30 Sección de la quebrada San Sebastián con desbordamiento

- **Mapa de inundación quebrada San Sebastián**

Obteniendo los resultados de la modelación 1D se visualiza en la Fig.31 el mapa de inundación del 2 de marzo del 2021 con profundidades que varían desde los 0 metros hasta los 1.57 metros, como máxima profundidad de inundación, se puede observar además en el mapa de inundación que el desbordamiento se produce en la parte baja, a pesar que en la modelación en perspectiva se visualiza desbordamientos en la parte alta. (Anexo 14)

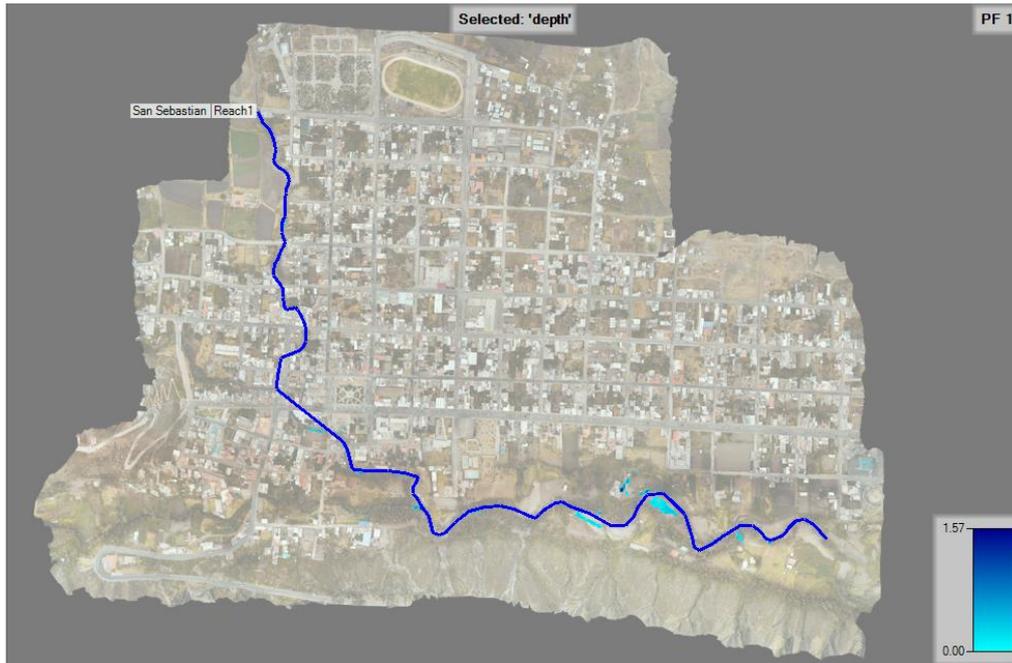


Figura 31 Mapa de inundación 1D del 2 de marzo del 2021 - Quebrada San Sebastián

Como resultado de la modelación de los 50 años de periodo de retorno Fig.32 se puede observar que existen desbordamientos a lo largo de la quebrada, específicamente en los sectores donde se presentan curvas y en la parte baja, de igual forma donde existe disminución de secciones. Las profundidades varían entre los 0 y 7.25 metros.

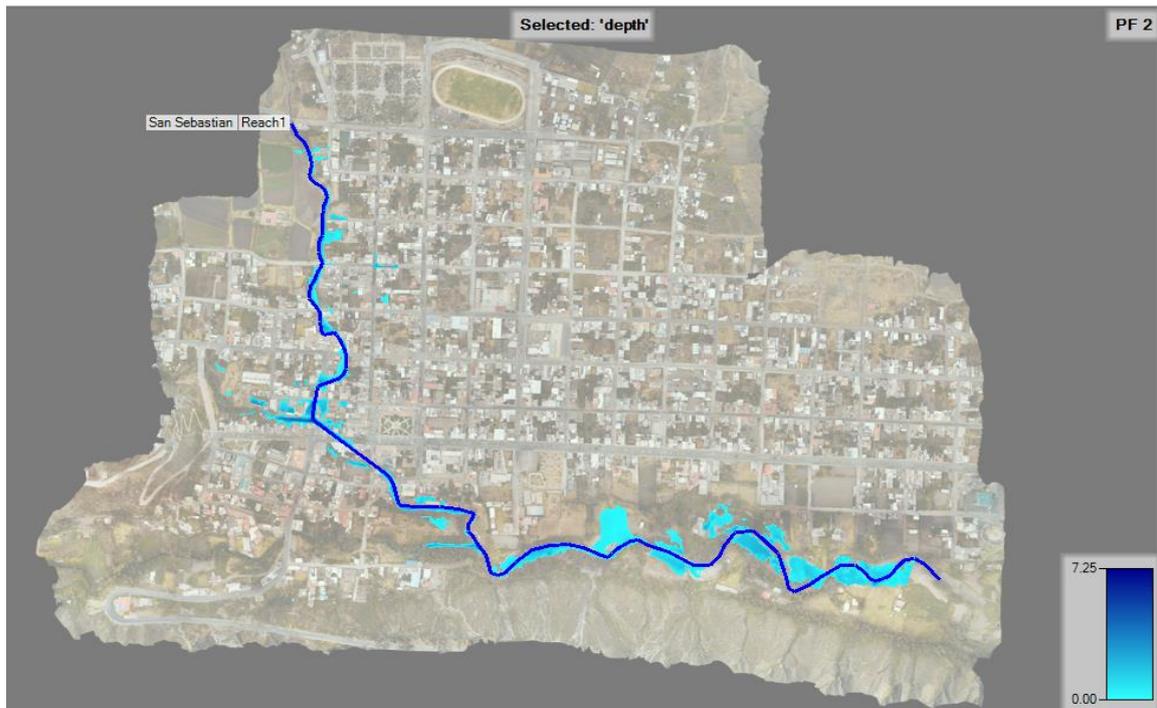


Figura 32 Mapa de inundación 1D - PRT 50 años - Quebrada San Sebastián

- **Modelación 2D (Quebrada de San Sebastián)**

En la modelación 2D Fig.33 se aprecia las áreas inundables con un caudal del 2 de marzo del 2021, para una mejor interpretación visual se ha dividido las áreas de estudio en 4 secciones Fig.34 la profundidad oscila entre 0 y 7.71 metros, al contrastarla con la modelación 1D se puede observar que las dos difieren considerablemente debido a que en la simulación 1D solamente se trabaja con el caudal pico mientras que en la modelación 2D se trabaja con todo el hidrograma de diseño y se trabaja con la topografía completa del terreno.

Con la simulación realizada se puede identificar que las calles afectadas son: calle Ricaurte con una profundidad de 0.90 metros, la calle Eloy Alfaro con profundidades máximas de 1.85 metros, la calle Juan Montalvo con profundidades de 1.31 metros, la calle Asunción con una profundidad de 2.31 metros, la calle Agustín Dávalos con 3.14 metros, la calle García Moreno con 2.46 metros, la Avenida 20 de Diciembre con una altura de 1.22 metros, la calle León Hidalgo con una altura de 2.68 metros, la calle Colón con una altura de 0.40 metros.



Figura 33 Mapa de inundación 2D del 2 de marzo del 2021 - Quebrada san Sebastián



Figura 34 Mapa de inundación 2D sectorizado del 2 de marzo del 2021 – Quebrada San Sebastián 1) barrios La Magdalena y San Roque 2) barrios El Rosario y La Matriz 3) barrios San Pedro y la Inmaculada 4) barrios San Pablo y Miraflores.

En la modelación 2D de 50 años de periodo de retorno Fig.35 se observa que existe un mayor tirante respecto a la modelación del 2 de marzo del 2021, de igual manera el área de afectación es mucho mayor, en el lecho de la quebrada se presentan tirantes hasta 8.06 metros mientras que en el área urbana se presentan tirantes superiores a los 4 metros, para una mejor comprensión se ha dividido en 4 sectores Fig.36 en la calle Ricaurte profundidades de 3.27 metros, en la calle Eloy Alfaro profundidades de 3.70 metros, en la calle Juan Montalvo de 4.30 metros, en la calle Asunción profundidades de 3.02 metros, en la calle León Hidalgo profundidades de 4.60 metros, en la calle Agustín Davalos profundidades de 4.9 metros, en la calle García Moreno profundidades de 4.07 metros, en la Avenida 20 de Diciembre profundidades de 2.87 metros, en la calle Colón de 4.26 metros, la calle Sucre de 3.98 metros, la calle Tomás Ramírez de 4.35 metros, calle Simón Bolívar de 2.98 metros, calle Rocafuerte de 4.38 metros, calle Cambal con 3.75 metros, en la calle Huambalac profundidades 3.07 metros, en la calle Dunji profundidades 3.02 metros, calle Tuncahuan 2.75 metros, calle Elempata profundidades de 2.77 metros, en la calle Puruhá 3.88 metros y en la calle Lando profundidades de 3.42 metros.



Figura 35 Mapa de inundación 2D con PRT de 50 años – quebrada San Sebastián

Al compararla con la simulación 1D se tiene similitud en las áreas inundables de la parte baja de la quebrada, sin embargo, difiere en el área urbana donde en la modelación 1D no se presenta inundación.



Figura 36 Mapa de inundación 2D sectorizado con periodo de retorno de 50 años – Quebrada San Sebastián 1) barrios La Magdalena y San Roque 2) barrios El Rosario y La Matriz 3) barrios San Pedro y la Inmaculada 4) barrios San Pablo y Miraflores.

- ***Velocidades quebrada San Sebastián***

En la Fig.37 se puede visualizar el mapa de inundación de la quebrada San Sebastián con las velocidades de flujo tanto en la quebrada como en las áreas inundables, en el cauce natural se observa velocidades de 15 m/s y en la planicie de inundación velocidades de 7.9 m/s.



Figura 37 Mapa de velocidades del 2 de marzo del 2021 – Quebrada San Sebastián

Al determinar las velocidades de 50 años de periodo de retorno se observa que en el lecho de la quebrada se presenta velocidades de hasta 38 m/s, mientras que en el área urbana se presentan velocidades bajas que varían desde los 0.8 m/s hasta los 10 m/s, sin embargo, se observa que en las áreas donde se intersecan las calles hay mayores velocidades de hasta 13 m/s como se puede observar en la Fig.38.



Figura 38 Mapa de velocidades con PRT de 50 años – Quebrada San Sebastián

- **Modelación 1D (Quebrada el Rosario)**

La quebrada El Rosario también denominada quebrada de Batzacón recorre la parte sur de la zona urbana del cantón Guano, en la Fig.39 se presenta una sección típica de la quebrada, como se puede observar el 2 de marzo del 2021 (celeste) se mantiene un caudal normal sin embargo al implementar un periodo de retorno de 50 años (rojo) sobrepasa el margen derecho de la misma.

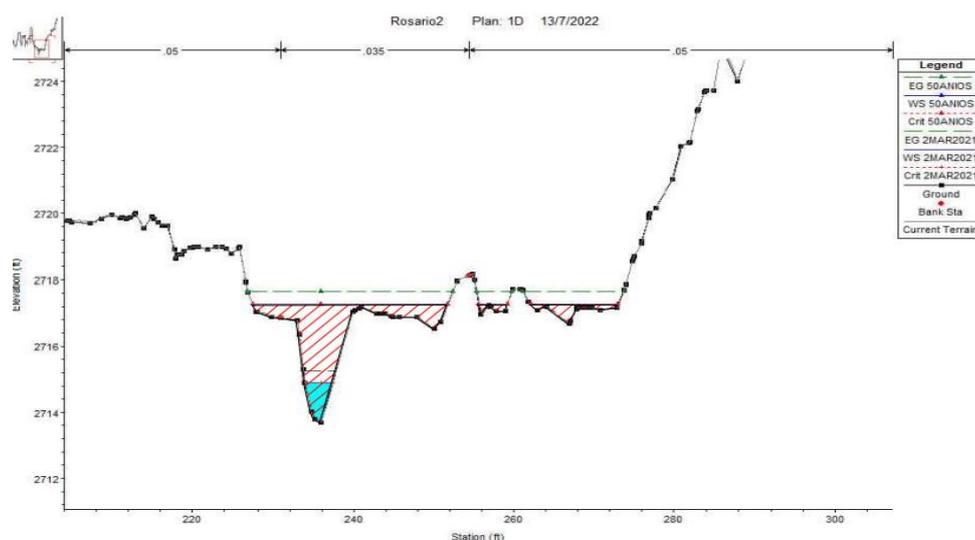


Figura 39 Sección típica con inundación en el lado derecho al registrarse una tormenta con periodo de retorno de 50 años - Quebrada El Rosario

Con la modelación 1D se ha obtenido el mapa de inundación del 2 de marzo del 2021 como se puede observar en la Fig.40 la profundidad de inundación es 3.53 metros en su pico más alto, el punto más crítico se encuentra en la intersección con el Rio Guano.



Figura 40 Mapa de inundación 1D del 2 de marzo del 2021 – Quebrada El Rosario

En la modelación de los 50 años de periodo de retorno Fig.41, los tirantes máximos están entre 5.62 metros debido a la profundidad de la quebrada las áreas de afectación serían las viviendas cercanas a la parte baja del Rio Guano.



Figura 41 Mapa de inundación 1D con PRT de 50 años – Quebrada El Rosario

- **Modelación 2D quebrada El Rosario**

En la modelación 2D del 2 de marzo del 2021 Fig.42 se puede identificar que no existe desbordamiento en el área urbana, el flujo solo recorre la sección de la quebrada y causa afectación en la parte baja del Rio Guano, las zonas de mayor riesgo se encuentran en los márgenes y la mayor profundidad se encuentra en la zona de intersección entre el Rio Guano y la quebrada con 4 metros.



Figura 42 Mapa de inundación 2D del 2 de marzo del 2021 – Quebrada El Rosario

Al realizar una comparación entre la modelación 1D y 2D del 2 de marzo del 2021, los resultados son similares sin embargo en la parte baja se presenta una ligera diferencia.

Al implementar un periodo de retorno de 50 años Fig.43 una vez realizada la modelación se identifica que existe afectación en el barrio El Rosario con una profundidad máxima de 2.92 metros, el Rio Guano ayuda como fuente de desfogue del exceso de caudal registrado, en la parte baja debido al límite del levantamiento topográfico realizado se presenta una acumulación de flujo lo que se podría entender como área susceptible de inundación.



Figura 43 *Mapa de inundación 2D con PRT 50 años – Quebrada El Rosario*

En las velocidades del 2 de marzo del 2021 Fig.44 los valores son bajos en gran parte de la quebrada, los máximos no superan los 5.54 m/s al alcanzar la altura del Río Guano dichas velocidades se ven reducidas significativamente teniendo velocidades máximas de 1.35 m/s, dicho caudal representa bajo peligro para las viviendas aledañas a los márgenes de la quebrada.



Figura 44 *Mapa de velocidades del 2 de marzo del 2021 – Quebrada El Rosario*

En la Fig.45 del periodo de retorno de 50 años, se observa las velocidades existentes en la quebrada el Rosario que varían de los 0 a los 14 m/s teniendo mayor velocidad en el área de la quebrada mientras que en el área urbana se encuentran velocidades de 2.70 m/s, se identifica que en la parte plana se presentan menores velocidades debido a la reducción de la pendiente.

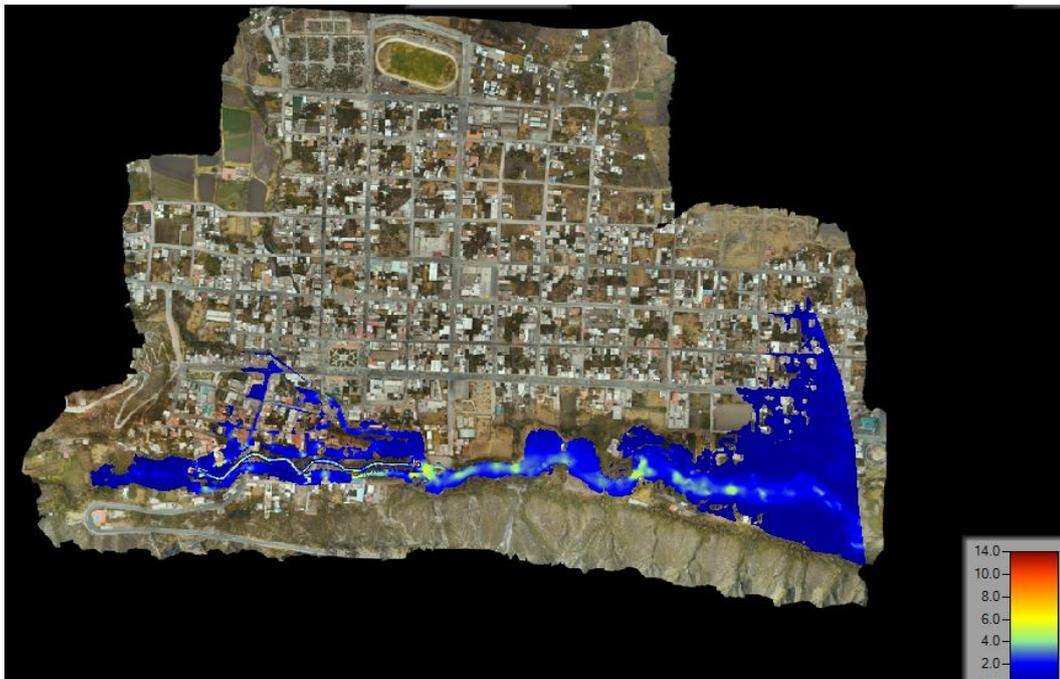


Figura 45 Mapa de velocidades con PRT 50 años – Quebrada El Rosario

4.2 Discusión

La quebrada San Sebastián al encontrarse dentro de la parte urbana de Guano se ha visto modificada considerablemente en gran parte de su sección debido al uso inapropiado de las riberas de la quebrada llegando incluso en ciertos tramos a presentar una sección atípica la misma que varía entre 1.50 y 2 metros de ancho, causando de esta manera una reducción del cauce natural de la quebrada es por eso que al momento de presentarse una precipitación alta la probabilidad de que ocurra un evento similar al acontecido en noviembre del 2018 y diciembre del 2021 es muy alta, presenta una pendiente media del 17% ocasionando que las velocidades de arrastre sean altas provocando de esa manera el arrastre de rocas y sedimentos de gran proporción, así como de vehículos e incluso exponiendo a gran parte de la población urbana de Guano de sufrir daños materiales considerables pudiendo llegar a cobrar también vidas humanas

La quebrada El Rosario a pesar de recorrer zonas urbanas es menos propensa de sufrir una inundación debido a que el eje de la quebrada se encuentra a una profundidad considerable de 6 metros aproximadamente, es importante mencionar que el cauce natural de la quebrada no se ha visto modificada por lo tanto mantiene su forma original, presenta una pendiente del 8% en gran parte de su longitud reduciendo de manera considerable las velocidades de transporte de agua y sedimentos.

A pesar de tener caudales que varían significativamente, en ambos casos se pensaría que existirían mayores daños. Sin embargo debido al intervalo de salida del hidrograma los mapas de inundación resultan similares pero en la modelación 2D, tanto el 2 de marzo del 2021 como a los 50 años de periodo de retorno, al realizar la comparación en la quebrada San Sebastián se define claramente la diferencia de las modelaciones 1D y 2D debido a que se trata de una quebrada urbana por ello no se obtiene los mismos resultados mientras que la quebrada el Rosario al encontrarse un poco aislada de la parte urbana los resultados son similares en las dos modelaciones.

A pesar de trabajar con los mismos datos hidrometeorológicos de las cuencas se presenta una significativa variación en los caudales así como en sus tiempos de concentración, obteniéndose para la quebrada San Sebastián un caudal de $1.3\text{m}^3/\text{s}$ en el evento del 2 de marzo del 2021 y un caudal de $22\text{ m}^3/\text{s}$ para un periodo de retorno de 50 años, con un tiempo de concentración de 18.17 minutos mientras que para la quebrada El Rosario se obtuvieron caudales de $4.20\text{ m}^3/\text{s}$ y $135.5\text{ m}^3/\text{s}$ para los eventos del 2 de marzo del 2021 y con un periodo de 50 años de periodo de retorno respectivamente, el tiempo de concentración es de 77.17 minutos, esta variación se debe al tamaño de la cuencas, en el caso de la cuenca San Sebastián al tener un área de 9.8 Km^2 , mientras que la del Rosario presenta un área de 35.06 Km^2 .

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La cuenca San Sebastián presenta un área de 9.81 Km² y una longitud de 8.59 Km según su coeficiente de forma es considerada una cuenca muy alargada, se identificó que el 49.25 % de la cuenca está sobre los 3400msnm, la pendiente es de 17.37 %, y al obtener la curva hipsométrica se determinó como una quebrada madura, la quebrada es de orden 1 debido a que no presenta ramificaciones secundarias su densidad de drenaje es baja con una pendiente media del cauce de 49.50% siendo un terreno escarpado con un tiempo de concentración de 18.17 minutos.

La quebrada El Rosario con un área de 35.07 Km², una longitud de 19.32 Km y un factor de forma de 0.94 es considerada una cuenca muy alargada, el 49.48 % de su superficie se encuentra sobre los 3200msnm, la pendiente de la cuenca es de 8.12 % tratándose de una quebrada vieja, corresponde a orden de corriente 1 con una densidad de drenaje baja, pendiente media de 11.64% denominándose así un terreno accidentado y un tiempo de concentración de 77.17 minutos.

Se consideraron 2 escenarios meteorológicos, el primero correspondiente a la precipitación del 2 de marzo del 2021, debido a que en esta fecha se presentó la mayor tormenta registrada según la estación automática M1036 ESPOCH. El segundo, un escenario hipotético, con un periodo de retorno de 50 años, para el cual se obtuvo un hietograma de diseño mediante el método de bloques alternantes.

Se utilizó la estación automática M1036 ESPOCH para determinar las curvas IDF correspondientes, posterior a ello se calculó la intensidad máxima resultando 184.60 mm/h para la quebrada San Sebastián y una intensidad de 166.09 mm/h para la quebrada El Rosario, en función de sus respectivos tiempos de concentración, permitiéndonos así obtener los hietogramas de diseño por bloques alternantes.

Al realizar la modelación hidrológica en el programa HEC-HMS se obtuvo como resultado un caudal máximo de 1.3 m³/s para el evento del 2 de marzo del 2021 y 22 m³/s para el evento con periodo de retorno de 50 años correspondiente a la quebrada San Sebastián. Para la quebrada El Rosario se obtuvo un caudal de diseño de 4.2 m³/s con el registro del 2 de marzo del 2021 y 135.5 m³/s para un periodo de retorno de 50 años.

La modelación hidráulica en el programa HEC-RAS del evento con 50 años de periodo de retorno en la quebrada San Sebastián permitió definir los sectores con mayor vulnerabilidad frente a un evento de inundación, siendo estos los barrios: La Magdalena, San

Roque, El Rosario, La Matriz, San Pedro y gran parte del barrio La Inmaculada, presentando niveles de inundación que varían entre los 2.75 y 4.90 metros de altura, ocasionando de esa manera grandes afectaciones a la población. Resulta importante mencionar que las modelaciones realizadas con datos de precipitación del 2 de marzo del 2021 no muestran mayor afectación en la parte urbana. Esto se debe a que el caudal vario significativamente entre los dos periodos considerados.

En la quebrada El Rosario se pudo determinar que tanto en el análisis realizado del 2 de marzo del 2021 como en el realizado con un periodo de retorno de 50 años no presenta mayor afectación en la zona urbana de Guano debido a que gran parte de la quebrada se encuentra en estado natural por lo que resulta importante mantenerlo de esta manera para evitar posibles daños futuros o inundaciones de gran magnitud.

Como se puede identificar en la quebrada San Sebastián existe una afectación considerable tanto en el evento del 2 de marzo del 2021 como en el de los 50 años de periodo de retorno, esto debido a que en su mayoría la sección de la quebrada se ha visto reducida, afectando así el paso natural del flujo de agua que en condiciones de crecida es muy alto provocando de esa manera inundación en el área urbana del cantón Guano, a diferencia de la quebrada El Rosario que en época de crecida no presenta un desbordamiento considerable esto se debe a que el cauce de la quebrada aún mantiene su sección natural permitiendo así la libre circulación del flujo.

Al realizar la modelación 1D y 2D tanto de la quebrada San Sebastián como de la quebrada El Rosario se puede identificar claramente en los mapas de inundación que los resultados de las modelaciones varían significativamente, esto debido a que para la modelación 1D se emplea solamente el caudal pico mientras que para la modelación 2D se emplea todo el hidrograma de diseño, también es necesario mencionar que en quebradas urbanas que cuentan con quiebres en su cauce la modelación que más se asemeja a la realidad es la 2D mientras que para quebradas que se encuentran un poco alejadas de la ciudad y que su cauce sea casi recto resulta mejor realizar una simulación 1D brindado de esta manera resultados más cercanos a la realidad.

RECOMENDACIONES

El GAD Municipal de Guano debería socializar con los habitantes de las zonas aledañas a las quebradas en estudio sobre la importancia de respetar los espacios del cauce natural de las quebradas, así como los riesgos que provocarían una nueva inundación de gran magnitud concientizando de esa manera a los pobladores para respetar las respectivas franjas de protección.

Una vez analizado los posibles riesgos de una futura inundación con periodo de retorno de 50 años se ha visto que los daños pueden ser de gran magnitud es por ello el GAD Municipal a través de sus respectivos departamentos debería gestionar de manera oportuna el ensanchamiento de las zonas en las cuales se ha visto reducida las secciones de las quebradas sin tomar en cuenta beneficios personales y la situación política actual que vive el país.

Se recomienda al GAD Municipal de Guano que junto con el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) se gestione la implementación de una estación automática la misma que nos permita recolectar datos de las precipitaciones ocasionadas en el cantón especialmente en sus partes más altas, facilitando de esa manera el desarrollo de futuras investigaciones con datos de precipitación reales en las zonas de estudio.

Se sugiere realizar futuras investigaciones empleando otro tipo de software de modelación hidráulica la misma que permita efectuar una comparación entre las zonas de afectación determinadas y así plantear soluciones de mitigación más cercanas a la realidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, K., Quintero, J., & Rojas, K. (2017). *Modelación Hidraulica para el sector comprendido entre el K18+000 hasta el K20+000 de la cuenca del Caño Maizaro (zona baja) en el municipio de Villavicencio, Meta*. [Tesis de Titulación. Universidad Cooperativa de Colombia].
https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/4355/1/2017_modelacion_hidraulica_sector.pdf
- Amaya, L., Montalvo, C., & Rivas, S. (2019). *Análisis de las variaciones anuales de la precipitación en la zona comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A.* Tesis de Titulación. Universidad de El Salvador.
- Aragón, J., de Luna, F., Vélez, L., Fuentes, O., & Rubio, H. (2017). La modelación numérica en Hidráulica. Una herramienta en la planeación del territorio. *L'esprit Ingéniux*, 7, 6-15.
<http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/lingenieux/article/view/1370/1269>
- Arteaga, M. (2017). *Evaluación del modelo hidrológico HEC-HMS para la predicción hidrológica y de crecidas, en la cuenca baja del río Cañar*. [Tesis Magister. Escuela Politécnica Nacional]. file:///D:/One Drive - Escuela Politécnica Nacional/OneDrive - Escuela Politécnica Nacional/POLI/CIVIL/QUINTO SEMESTRE/HIDROLOGÍA APLICADA/2 BIM/hidrograma Clark tesis EPN.pdf
- Barragán, A., & Rea, M. (2020). Análisis comparativo entre las metodologías multicriterio Idrisi Kilimanjaro y del SNGRE para zonas susceptibles a inundaciones en la parroquia rural Licán del cantón Riobamba, provincia de Chimborazo. En *Universidad estatal de Bolívar*.
- Cabrera, J. (2009). Calibración de Modelos Hidrológicos. *Imefen*, 1, 4-7.
- Cabrera, L. (2018). Determinación de la vulnerabilidad hídrica del río Guano de la provincia de Chimborazo, en cantidad y calidad y su disponibilidad frente al cambio climático. [Tesis de titulación. Universidad Nacional de Chimborazo]. En *Tesis*.
<http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/7646/1/06678.pdf>

- Caizaluisa, A., & López, M. (2012). *Formulación de la propuesta del plan de ordenamiento territorial (POT) del cantón Guano, provincia de Chimborazo mediante el uso de herramientas SIG*. [Tesis de titulación. Escuela Politécnica del Ejercito]. <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/5310/T-ESPE-033286.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Carvajal, L., & Roldan, E. (2007). Calibración del modelo lluvia-escorrentia agregado GR4J aplicación: cuenca del río Aburrá. *Dyna*, 74, 73-87.
- Cea, L., & Bladé, E. (2007). Modelización matemática en lecho fijo del flujo en ríos. Modelos 1D y 2D en régimen permanente y variable. *GIAMA*, 1-30. [http://www.iberaula.es/public/files/file_1_6_Modelizacin matemtica en lecho fijo de fl.pdf](http://www.iberaula.es/public/files/file_1_6_Modelizacin%20matemtica%20en%20lecho%20fijo%20de%20fl.pdf)
- Choez, B., Ríos, S., & Mero, D. (2019). Análisis de la vulnerabilidad a inundaciones de la parroquia Santa Ana de Vuelta Larga, provincia de Manabí, Ecuador. *Investigaciones Geograficas*, 9(98), 1-14. <https://doi.org/10.14350/rig.59767>
- Córdova, C. (2017). *Modelación hidráulica del río «La Leche» con el programa HEC-RAS en un tramo de 4km. En el distrito de Íllimo, y departamento de Lambayeque*. [Tesis de titulación. Universidad de San Martín de Porres]. <https://hdl.handle.net/20.500.12727/3319>
- Daza, M., & Pérez, P. (2013). Estudio para determinar la variación del coeficiente de escorrentía y su impacto en la capacidad de la red de alcantarillado en los colectores de las calles Arirumba e Imbabura. [Tesis de titulación. Universidad de Cuenca]. En *Universidad de Cuenca*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/4540>
- GEASIG. (2021). *Especialistas en SIG y Medio Ambiente*.
- Guano, J. (2018). *Estudio de factibilidad de la etapa Hidrológica para la implementación de una represa en la quebrada Santa Lucia del sector San José - La Dolorosa del cantón Tisaleo; provincia de Tungurahua*. [Tesis de Titulación. Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/28985>
- Guaya, C., & Montalván, E. (2018). Modelación numérica bidimensional del río Garrapata en la provincia de Manabí aplicando el programa Iber [Tesis de titulación. Escuela Politécnica Nacional]. En *Tesis*. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19326>

- Hamad, A. (2008). Aplicaciones del modelo Hec-Ras para el análisis del flujo no permanente con superficie libre. En *Escuela politécnica nacional*. Tesis de titulación. Escuela Politécnica Nacional.
- Hernández, R., Barrios, H., & Ramírez, A. (2017). Análisis de riesgo por inundación: Metodología y aplicación a la cuenca Atemajac. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 8(3), 5-25. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-03-01>
- INAMHI. (2015). Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación. En *Actualización del estudio de lluvias intensas*. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.
- INAMHI. (2020). *Boletín mensual de precipitaciones del mes de noviembre del 2018*.
- Jácome, M. (2022). *Determinación de zonas urbanas vulnerables a inundaciones de la quebrada Cunduana mediante el uso de modelos hidrológicos e hidráulicos*. Tesis de titulación. Universidad Nacional de Chimborazo.
- Lavell, A. (1997). VIVIENDO EN RIESGO. Comunidades vulnerables y prevención de desastres en America Latina. En *Red de estudios Sociales en Prevención de Desastres en America Latina*. Red de estudios sociales en prevención de desastres en América Latina. http://www.desenredando.org/public/libros/1994/ver/ver_todo_nov-20-2002.pdf
- López, J., González, M., Scaini, A., Goñi, M., Valdenebro, J., & Gimena, F. (2012). Caracterización del modelo HEC-HMS en la cuenca de río Arga en Pamplona y su aplicación a cinco avenidas significativas. *Obras y Proyectos*, 12, 15-30. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-28132012000200002&script=sci_arttext&tlng=p
- Loyola, J. (2019). Evaluación del riesgo por inundación en la quebrada del cauce del Río Grande, tramo desde el Puente Candopata hasta el Puente Cumbicus de la ciudad de Huamachuco, Provincia de Sánchez Carrión – La Libertad. En *Universidad César Vallejo*. Tesis de Postgrado. Universidad César Vallejo.
- Montalvo, C. (2021). *Hidrología-precipitación*.
- Olivares, G. (2018). Determinación de zonas inundables mediante simulación hidráulica bidimensional aplicando HEC – RAS 5.0 en un tramo del río Huancabamba, desde la

- quebrada Chula (Km 2.42) hasta la quebrada Lungulo (Km 5.51), provincia de Huancabamba, departamento de Piura. [Tesis de titulación. Universidad Nacional de Piura]. En *Universidad Nacional de Piura*.
<https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/1656/AGR-OLI-CAS-2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rey, D., & Zambrano, J. (2018). Estudio de la respuesta hidrológica en la cuenca urbana de montaña San Luis-Palagrande. *Revista UIS Ingenierías*, 17(1), 115-126.
<https://doi.org/10.18273/revuin.v17n1-2018011>
- Roselló, P., Barrionueno, S., & Prados, C. (2017). Cartografía de la vulnerabilidad del territorio frente al riesgo de inundación. Propuesta adaptada a la directiva europea de inundaciones y normativas derivadas. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 2017(75), 341-372. <https://doi.org/10.21138/bage.2504>
- SIGTIERRAS. (2020). *Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica*.
- Tipán, D. (2018). *Estudio hidráulico del río Guano para la determinación de la conductancia entre río - acuífero y zonas de inundación*.
- Univero. (2021). *Emergencia en Guano para atender daños por aluvión, que afectó a barrios, viviendas, negocios y carros*.
<https://www.eluniverso.com/noticias/ecuador/emergencia-en-guano-para-atender-danos-por-aluvion-que-afecto-a-barrios-viviendas-negocios-y-carros-nota/>
- Vásconez, M., Mancheno, A., Álvarez, C., Prehn, C., Cevallos, K., & Ortíz, L. (2019). *Cuencas Hidrográficas*. 25-136.
- Vega, R., & Villalobos, R. (2015). Estudios hidrológicos e hidráulicos en la cuenca quebrada seca-Río Burío. [Tesis Doctoral. Universidad de Costa Rica]. En *UCR Universidad de Costa Rica - Centro de Investigaciones en Desarrollo Sostenible (CIEDES)*. <http://ciedes.ucr.ac.cr/docs/informe-final-quebrada.pdf>
- Yara, F. (2019). *Estudio hidráulico del meandro del río Magdalena, municipio de La Dorada Caldas* [Tesis de Magister. Universidad Nacional de Colombia].
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/75945>

ANEXOS

Anexo 1 *Datos de precipitación estación automática M1036 ESPOCH – registro horario del 2 de marzo 2021*

M1036 ESPOCH	
Tiempo (h)	P (mm)
0:00	0,8
1:00	0
2:00	0,2
3:00	0,4
4:00	0
5:00	0,1
6:00	0
7:00	0
8:00	0
9:00	0
10:00	0
11:00	0
12:00	0
13:00	0
14:00	0
15:00	13,2
16:00	7,6
17:00	0,7
18:00	0,5
19:00	0,7
20:00	0,6
21:00	0,2
22:00	0,3
23:00	0,7
0:00	0,1
1:00	0,1
2:00	0,1
3:00	0

Anexo 2 *Parámetros fisiográficos - Cuenca de la Quebrada San Sebastián*

Parámetros	Simbología	Valor	Unidad
Área	A	9,80690	Km ²
Perímetro	P	18,91820	Km
Longitud	L	8,58810	Km
Ancho cuenca	W	1,14192	Km
Factor de forma	Ff	0,13297	-
Coefficiente de compacidad	Kc	1,69150	-

Anexo 3 *Parámetros fisiográficos - Cuenca de la Quebrada El Rosario*

Parámetros	Simbología	Valor	Unidad
Área	A	35,06530	Km ²
Perímetro	P	47,50040	Km
Longitud	L	19,31620	Km
Ancho cuenca	W	1,81533	Km
Factor de forma	Ff	0,09398	-
Coefficiente de compacidad	Kc	2,24603	-

Anexo 4 *Parámetros geomorfológicos - Cuenca de la Quebrada San Sebastián*

Parámetros	Simbología	Valor	Unidad
Cota mínima	Hmín	2721	msnm
Cota máxima	Hmáx	4200	msnm
Altura media	Hm	3429	msnm
Pendiente	S	17.37	%

Anexo 5 *Parámetros geomorfológicos - Cuenca de la Quebrada El Rosario*

Parámetros	Simbología	Valor	Unidad
Cota mínima	Hmín	2716	msnm
Cota máxima	Hmáx	4285	msnm
Altura media	Hm	3266	msnm
Pendiente	S	8.12	%

Anexo 6 *Parámetros del sistema de drenaje - Cuenca de la Quebrada San Sebastián*

Parámetros	Simbología	Valor	Unidad
Orden de corrientes	Oc	1	-
Relación de bifurcación	Rb	1	-
Longitud río principal	Lt	3,014027	km
Longitud ríos tributarios	Ltrib	-	-
Longitud total red de drenaje	Lque	3,014027	km
Densidad de drenaje	Dd	0,307337	Km/Km ²
Extensión media del escurrimiento superficial	Es	0,813438	Km
Frecuencia de ríos	Fr	0,101969	Nºríos/Km ²
Coefficiente de torrencialidad	Ct	0,101969	Nºríos /Km ²
Tiempo de concentración	Tc	18,171652	min
Pendiente media del cauce	Pc	0,495019	m/m

Anexo 7 *Parámetros del sistema de drenaje - Cuenca de la Quebrada El Rosario*

Parámetros	Simbología	Valor	Unidad
Orden de corrientes	Oc	1	-
Relación de bifurcación	Rb	1	-
Longitud río principal	Lt	13,481631	km
Longitud ríos tributarios	Ltrib	-	-
Longitud total red de drenaje	Lque	13,481631	km
Densidad de drenaje	Dd	0,384472	(Km/Km ²)
Extensión media del escurrimiento superficial	Es	0,650242	(Km)
Frecuencia de ríos	Fr	0,028518	(Nºríos /Km ²)
Coefficiente de torrencialidad	Ct	0,028518	(Nºríos /Km ²)
Tiempo de concentración	Tc	77,173539	(min)
Pendiente media del cauce	Pc	0,116381	(m/m)

Anexo 8 *Caudales máximos obtenidos en la modelación hidrológica – Cuenca San Sebastián*

Quebrada San Sebastián		
Evento	Volumen precipitación (mm)	Caudal (m³/s)
02-mar-21	25,6	1,3
50 años de retorno	40,61	22

Anexo 9 Caudales máximos obtenidos en la modelación hidrológica – Cuenca El Rosario

Quebrada El Rosario		
Evento	Volumen precipitación (mm)	Caudal (m3/s)
02-mar-21	25,6	4,2
50 años de retorno	87,19	135,5

Anexo 10 Precipitación para un periodo de retorno de 50 años empleando curvas IDF
M1036 – Cuenca de la Quebrada San Sebastián

k	t	i	i+	b	Σbj	P(mm)
1	4	184,60	184,60	184,60	0,00	5,74
2	8	132,95	265,90	81,30	184,60	7,32
3	12	109,73	329,18	63,28	265,90	12,31
4	16	95,75	383,01	53,83	329,18	8,86
5	20	86,15	430,76	47,75	383,01	6,38
					Σ	40,61

Anexo 11 Precipitación para un periodo de retorno de 50 años empleando curvas IDF
M1036 – Cuenca de la Quebrada El Rosario

k	t	i	i+	b	Σbj	P (mm)
1	5	166,09	166,09	166,09	0,00	2,71
2	10	119,62	239,24	73,15	166,09	3,05
3	15	98,72	296,17	56,93	239,24	3,51
4	20	86,15	344,61	48,44	296,17	4,16
5	25	77,51	387,57	42,96	344,61	5,13
6	30	70,09	420,53	32,96	387,57	6,46
7	35	61,59	431,15	10,62	420,53	8,23
8	40	55,07	440,57	9,42	431,15	13,84
9	45	49,89	449,05	8,48	440,57	9,97
10	50	45,68	456,77	7,72	449,05	7,18
11	55	42,17	463,87	7,10	456,77	5,84
12	60	39,20	470,44	6,58	463,87	4,59
13	65	36,66	476,57	6,13	470,44	3,81
14	70	34,45	482,32	5,75	476,57	3,27
15	75	32,52	487,74	5,41	482,32	2,87
16	80	30,80	492,86	5,12	487,74	2,57
					Σ	87,19

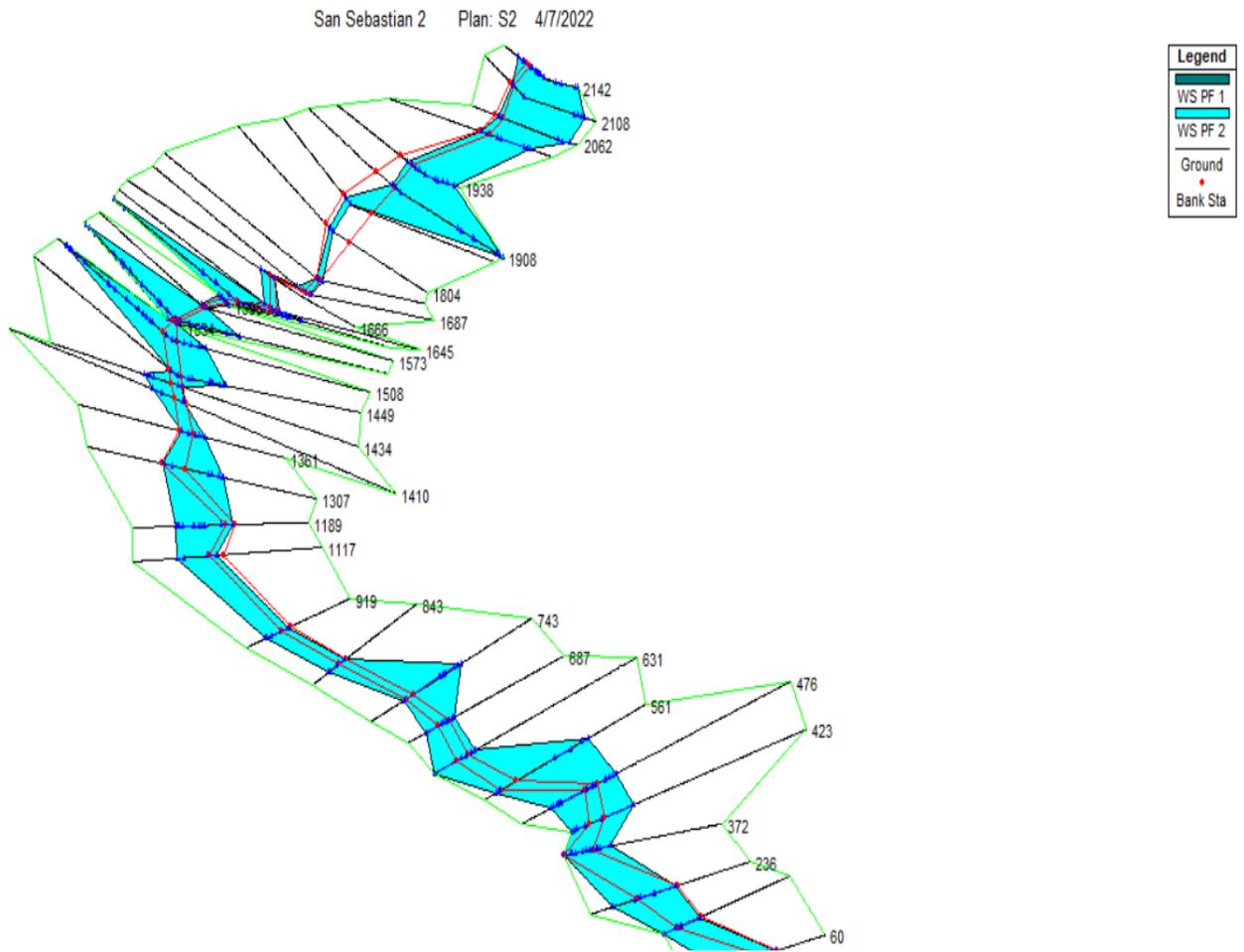
Anexo 12 *Calculo para obtención del número de la Curva por método SCS – Quebrada San Sebastián*

A	B		C		D		
77	0,38	85	0,42	90	0,45	92	0,457
72	0,16	81	0,18	88	0,20	91	0,207
72	27,80	81	31,28	88	33,98	91	35,141
39	2,64	61	4,12	74	5,00	80	5,410
39	3,65	61	5,70	74	6,92	80	7,478
25	1,64	55	3,61	70	4,59	77	5,054
39	5,25	61	8,22	74	9,97	80	10,777
39	9,56	61	14,95	74	18,14	80	19,612
	51,09		68,49		79,26		84,135
	0,22		0,78		0,00		0,000
	11,11		53,38		0,00		0,000
						NC	64,491

Anexo 13 *Calculo para obtención del número de la Curva por método SCS – Quebrada El Rosario*

A	B		C		D		
77	2,74	85	3,02	90	3,20	92	3,27
72	8,64	81	9,73	88	10,57	91	10,93
68	1,11	79	1,29	86	1,41	89	1,46
98	0,67	98	0,67	98	0,67	98	0,67
72	20,90	81	23,51	88	25,54	91	26,41
72	0,14	81	0,16	88	0,17	91	0,18
39	1,31	61	2,04	74	2,48	80	2,68
39	9,36	61	14,64	74	17,76	80	19,20
25	3,45	55	7,58	70	9,65	77	10,62
39	4,59	61	7,17	74	8,70	80	9,41
	52,90		69,82		80,15		84,82
	0,22		0,71		0,00		0,00
	11,50		49,85		0,00		0,00
						NC	61,36

Anexo 14 Sección transversal de la quebrada San Sebastián



Anexo 15 Desbordamiento de la Quebrada San Sebastián del 20 de noviembre del 2018



Anexo 16 Desbordamiento de la quebrada San Sebastián del 21 de diciembre del 2021

