



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

SEDE REGIONAL MANABÍ

CARRERA DE INGENIERA HIDRÁULICA

TRABAJO DE TITULACION:

**ESTUDIO HIDROLÓGICO DE CAUDALES DE CRECIDA PARA LA
CUENCA DEL RÍO DE ORO, CANTÓN PORTOVIEJO.**

AUTOR:

Julio Cesar Castillo Rivera.

TUTOR:

ING. ANDY GILER ORMAZA. MG

MAYO 2020.

PORTOVIEJO

MANABÍ

ECUADOR

CERTIFICACION DE LA TESIS.

En mi calidad de director de tesis certifico haber revisado el presente manuscrito de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí, cumpliendo los requisitos establecidos por la Dirección de Investigación; en consecuencia, es apto para su presentación y sustentación.

ING. ANDY GILER ORMAZA. MG

APROBACION DEL TRIBUNAL.

El jurado examinador aprueba el presente manuscrito de investigación en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí.

ING. ANDY GILER ORMAZA. MG

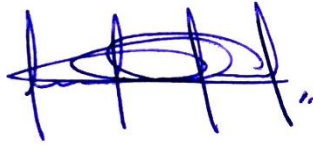
PRIMER LECTOR

SEGUNDO LECTOR

TERCER LECTOR

DECLARACION DE ORIGINALIDAD.

Éste manuscrito no contiene ningún tipo de material que ha sido aceptado para la obtención de un título universitario en otra institución, excepto en forma de información de sustento que ha sido debidamente citada en mi trabajo. Este trabajo es de total responsabilidad del autor, quien declara bajo juramento que ninguna sección de esta tesis infringe los derechos de autor de nadie.

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and vertical strokes, positioned above a horizontal line.

Castillo Rivera Julio Cesar _____

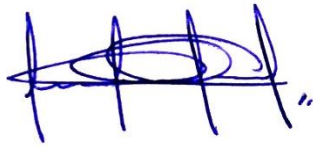
DIRECCIÓN: Portoviejo, Cda. Los Olivos mz 19 villa 1.

EMAIL: he-409@puce.edu.ec

TELÉFONO: 0988614950

DECLARACION DE DERECHO DE AUTOR Y COAUTORÍA.

Yo, Julio Cesar Castillo Rivera autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a distribuir este manuscrito de investigación en medios físicos y electrónicos con el fin de promover la divulgación de nuestros resultados a la comunidad científica y a la sociedad en general. Adicionalmente autorizamos el uso de los contenidos de esta investigación como bibliografía para fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, citando como fuente de información al autor de este trabajo.



Julio Cesar Castillo Rivera.

DEDICATORIA.

Con el presente trabajo cumplo unas de las metas más importantes de mi vida, va dedicado especialmente a mi papa Jorge Castillo que desde donde quiera que este sé que estará orgulloso de mi, mi mama Germania Rivera que nunca ha dejado de apoyarme incondicionalmente, ellos han sido los pilares fundamentales en cada paso para lograr este objetivo, a ellos mis agradecimientos siempre.

A mi familia que siempre me ha apoyado, en especial a mis hermanos Jorge y Jessica que han sido mi ejemplo de lucha y perseverancia.

A mi esposa Karen Godoy que siempre me ha alentado y juntos nos propusimos cumplir todas las metas para ser personas de bien que aporten en algo a la sociedad.

A todas las personas que me han apoyado de alguna manera a culminar esta etapa universitaria quedo eternamente agradecido.

Julio Castillo

AUTOR

AGRADECIMIENTO.

A mis padres por su sacrificio y apoyo incondicional, sin ellos no podría haber llegado a este objetivo.

A mis hermanos por siempre estar conmigo.

A los profesores que han aportado sus conocimientos para formar profesionales de bien.

Al personal de la universidad que de una u otra manera han aportado a llegar a esta meta.

A mis compañeros y amigos por las interminables noches de estudio que nos ayudaron a formarnos para ser profesionales comprometidos con el desarrollo.

A todas las personas que aportaron de alguna manera en esta etapa universitaria mis agradecimientos eternos.

Julio Castillo

AUTOR

Resumen

Esta investigación mixta realizó un registro de datos hidrológicos de los años 1997-1998, cuando ocurrió el último evento del fenómeno El Niño, a fin de conocer el comportamiento de la cuenca en situaciones excepcionales, tales como inundaciones y escenario de desborde del Río de Oro. Consecuentemente, este estudio se ejecutó durante 3 meses del año 2019. El proceso inició con la obtención de datos a partir de un modelo digital del terreno mediante el programa *Spatial Analysis Software (ArcGIS)*, que recopiló información como tipo y uso de suelo; estos datos junto con la información meteorológica permitieron construir un modelo computacional con el programa *Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) 4.2.1* para la obtención de caudales de crecida. Los resultados obtenidos con *HEC-HMS* señalan que la descarga final en el punto de cierre de la cuenca es de $193.1\text{m}^3/\text{s}$ en un tiempo de 1h: 43 minutos. En los resultados de la simulación se pueden observar los gráficos generados en el mapa de la cuenca y el comportamiento de los caudales en cada *junction* o nodo, en donde descargan las microcuencas asignadas; en el *junction 3* se produce mayor caudal de descarga $205.8\text{m}^3/\text{s}$, lo cual nos muestra que el río, a pesar de encontrarse seco la mayor parte del año, en condiciones especiales puede alcanzar un caudal bastante considerable en poco tiempo. Se concluye que este modelo brinda los datos que acercan al comportamiento real que podría tener el cauce en un escenario similar.

Palabras clave: HEC-HMS, cuenca, caudales, crecida

Abstract

This mixed research study recorded hydrological data from 1997 to 1998, when the last event of the *El Niño* phenomenon was documented, in order to know the behaviour of the basin in exceptional situations, such as floods and overflow scenario of the *Río de Oro*. Accordingly, this study was carried out over a three-month period in 2019. The process began with obtaining data from a digital model of the terrain using the Spatial Analysis Software (ArcGIS) program, which collected information such as land-use types and along with meteorological data helped to develop a computational model with the program Hydrological Engineering Center – Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) 4.2.1 to obtain flood flow values. The findings from HEC-HMS show that the final discharge at the closing point of the basin is $193.1 \text{ m}^3 \text{ s}$ at 1h: 43minutes. The findings from the simulation make it possible to visualize the graphs generated on the map of the basin as well as the behavior of the flows in each junction or node, where the assigned microbasins discharge; junction 3 produces the highest discharge flow $205.8 \text{ m}^3 / \text{s}$, which reveals that this river, despite being dry during most of the year, under special conditions may reach a fairly considerable flow in a short time. It is concluded that this model provides data that are close to the real behavior this riverbed might have, in a similar scenario.

Keywords: HEC-HMS, basin, flows, flood

CONTENIDO

1. INTRODUCCION.....	13
2. OBJETIVOS.....	15
2.1 General	15
2.2 Específicos	15
3. METODOS.....	16
3.1 Revisión bibliográfica y selección de un modelo.....	16
3.2 Características hidrográficas de la cuenca del Rio de Oro.....	16
3.3 Recopilación de datos.....	17
3.4 Estudio hidrológico	20
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
5. CONCLUSIONES.....	32
6. BIBLIOGRAFÍA.....	33
7. ANEXOS.....	35

1. INTRODUCCION.

Durante el fenómeno El Niño 1997-98, los aumentos de la precipitación acumulada causo significativos incrementos en los caudales de los ríos lo que acarreo inundaciones y desbordamiento de grandes magnitudes (los niveles de esorrentía de ciertos ríos fueron superiores a periodos de retorno de 100 años), siendo los de mayor magnitud los registrados en las cuencas de los ríos Jipijapa, Zapotal, Guayas y Portoviejo. (Umpiérrez, 2016)

El presente trabajo de titulación se realizó en la ciudad de Portoviejo, en la que a lo largo de los años cada temporada invernal ha presentado inundaciones, con diferentes magnitudes; en los años que las inundaciones se han dado con gran magnitud son en los que se dio el evento océano - atmosférico denominado fenómeno “El Niño”, que es una de las manifestaciones naturales más inclementes en los ecosistemas de las regiones costeras e insulares del Ecuador, siendo estas las áreas más afectadas. (García Herrera, 2008)

Los modelos numéricos en la actualidad son herramientas indispensables en la gestión de riesgo de inundación (Estrada Sifontes & Pacheco Moya, 2012), se utilizan para obtener resultados y evaluar opciones de gestión técnica para reducir los impactos. El HEC-HMS es un programa que si le facilitamos información y datos de precipitaciones de una cuenca, calcula el hidrograma producido por la misma, se utiliza para simular la respuesta hidrológica.

La cuenca estudiada, El rio de Oro, en verano no tiene caudal, pero con la llegada de las lluvias en el invierno, este se agranda, se azolva y esto conlleva a desbordes, afectando directamente al rio Portoviejo que es donde desemboca; actualmente no hay estudios hidrológicos del comportamiento del rio para prevenir las inundaciones en la época invernal. Por lo que principalmente se necesita información para cuando se presenta el fenómeno El Niño; que es un evento con un periodo de retorno de 25 años.

Con el presente trabajo se realizó un registro de datos hidrológicos que ayudaran al manejo de situaciones excepcionales como son las inundaciones y desborde del rio de Oro. La información obtenida al finalizar la simulación hidrológica será clave para tener una representación del comportamiento del Rio de Oro en épocas de crecida, lo cual será de gran importancia para futuras investigaciones, además de poder tener las debidas precauciones en la zona que abarca la cuenca del rio.

2. OBJETIVOS

2.1 General

Estimar caudales de crecida del Río de Oro, zona peri-urbana de la ciudad de Portoviejo, en escenario de desborde por el fenómeno El Niño.

2.2 Específicos

- Obtener información base necesaria como tipo de suelo, uso de la tierra, sector mediante pruebas de suelo, reconocimiento de campo, imágenes satélites, caudal para $T_r = 25$ años con el SCS de la cuenca del río de oro para estimar caudales de crecida en escenario del fenómeno del niño.
- Construir un modelo conceptual y computacional para la simulación de caudales de crecida en el área de estudio.
- Utilizar software de simulación hidrológica (HEC-HMS) para estimar caudales de crecida en escenario de fenómeno del niño en el área de estudio.

3. METODOS

3.1 Revisión bibliográfica y selección de un modelo.

El método aplicado en esta investigación fue exploratorio y cuantitativo, para ello se tuvo que revisar literatura científica en donde anteriormente se han aplicado esos métodos. Cuantitativo porque a través de un enfoque de obtención de datos numéricos explica y predice o controla fenómenos (de Pelekais, 2000). La investigación exploratoria se desarrolla sobre un tema u objeto poco estudiado o desconocido, por lo que los resultado de este tipo de investigaciones muestran una visión aproximada de dicho objeto o tema, es decir constituyen un nivel superficial de conocimiento. (Morales, 2010).

En el estudio también se necesitó utilizar un software para realizar modelamientos hidrológicos, el cual permita mediante datos y fórmulas obtener los resultados de caudales pico de las microcuencas; aunque hay variedad de programas para este tipo de estudios, para este trabajo de titulación se usara HEC-HMS que es un programa desarrollado para estimar las hidrógrafas de salida (caudales máximos y tiempos al pico) en una cuenca o varias subcuencas a partir de condiciones excepcionales de lluvias, dicho programa de simulación hidrológica tipo evento, lineal y semidistribuido aplica algunos de los métodos de cálculo de hietogramas de diseño, pérdidas por infiltración, flujo base y conversión en escorrentía directa para sus estimaciones. (Materón Muñoz, García Vélez, Arango, & Parra C., 2006)

3.2 Características hidrográficas de la cuenca del Rio de Oro.

El rio Portoviejo es la cuenca principal a la que aporta el Río de Oro que es un canal que no tiene caudal en verano, pero con las lluvias se agranda; principalmente cuando se ha presentado el fenómeno de El Niño, que implica cambios océano-atmosféricos por las irregularidades de la

temperatura sobre la superficie del Pacífico ecuatorial que se extienden hacia el este del Pacífico, en ocasiones llegan a tocar la costa de Ecuador y Perú. (WALDO SVEN, 2009)

A continuación, se describe la cuenca objeto de estudio del presente trabajo; nace en las canchales del cerro Guayabal, su recorrido abarca la parte posterior del parque industrial, y suma unos 17 km hasta la ciudadela Bellavista. Luego continua su recorrido a la ciudadela Las Orquídeas, El Llano, avenida del Ejército hasta unirse con el río Portoviejo, ver figura 1.

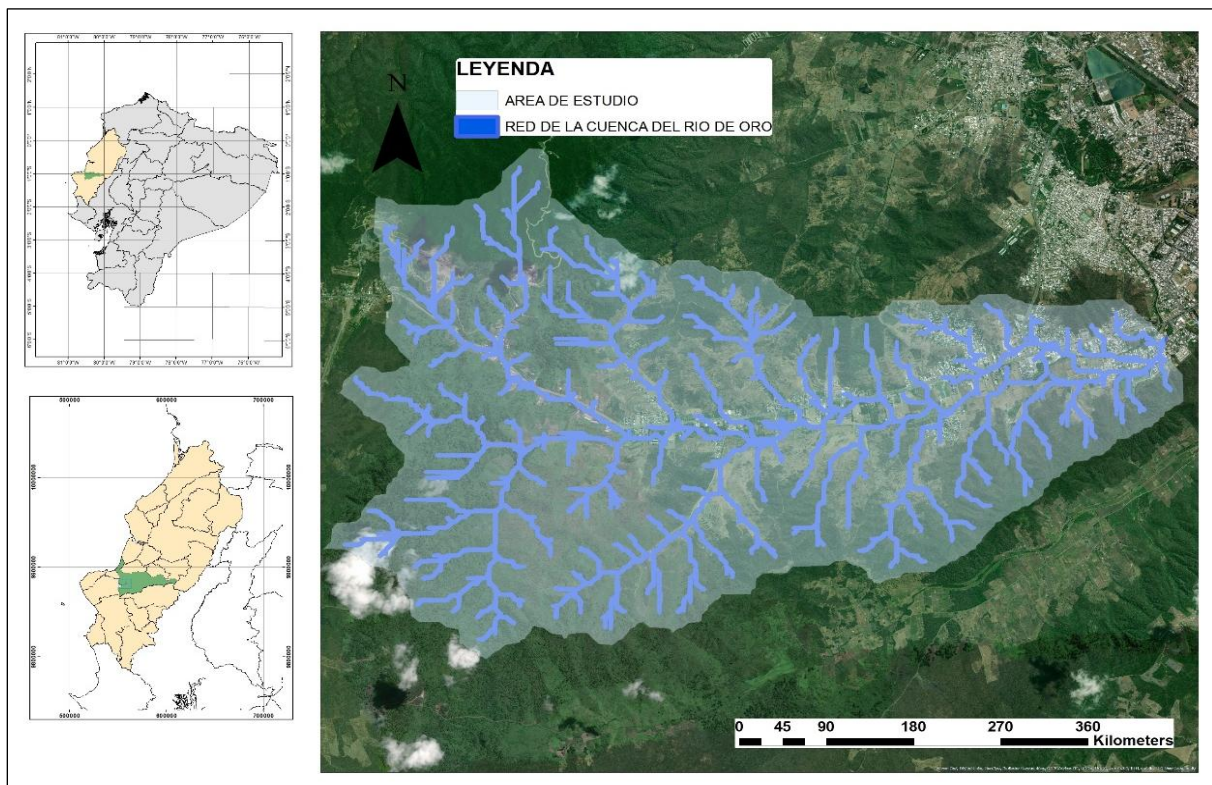


Figura 1 Área de estudio

Elaborado por: Julio Cesar Castillo Rivera

3.3 Recopilación de datos

Para el siguiente estudio hidrológico lo primero que se obtuvo fue un DEM (modelo digital de elevación) que hace referencia a la superficie de la tierra, es una representación de ráster de una superficie continua. La precisión de estos datos se determina principalmente por la resolución, además de otros factores como el tipo de datos que pueden ser entero o punto flotante (ArcGIS,

2019). Con el DEM y el mapa base se pudo obtener la red de drenaje; con estos datos se definió la delimitación de la cuenca principal del Río de Oro y de las microcuencas aportantes, que para este estudio se delimitaron 7 que son las principales; las cuencas hidrográficas son depresiones territoriales por las que por lo general fluye un río, que drena las aguas del área desde las partes más altas hacia el punto más bajo o de salida (Melville, 1997).

Luego de tener definido el lugar de estudio se buscó información sobre el tipo de suelo, que se encontró en las páginas de información geográfica gubernamentales, en el catálogo de metadatos de SIGtierras; las cuales brindaron bases de datos en los que se encontró cartografía que contiene información sobre las propiedades y características de los distintos tipos de suelos que existen en el país, su clasificación y sus límites en el mapa (Ganadería, 2018), los tipos de suelo que hay en el Río de Oro son: arenoso, franco arenoso, franco arcilloso y arcilloso; la información que se encontró en esa base de datos se ingresó en el ArcGIS.

Mediante las herramientas del ArcGIS que es un software en el campo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se elaboró un shape file que contiene información del uso del suelo; el Servicio de conservación del suelo (SCS) posee una tabla de la clasificación de los suelos, para analizar el tipo de suelo y establecer la condición de infiltración, pero muchas veces esa clasificación es subjetiva y por el mismo hecho en base a la metodología investigada se elaboró una reclasificación en donde se definieron en cuatro grandes grupos de suelo que son: Agua, residencial, bosque y agricultura (Campos, 2015), (ver figura 2). Para realizar esta clasificación se utilizó las herramientas del ArcGIS (MLClass) y la información de imágenes satelitales o ráster de la zona estudiada. Para efectos prácticos trabajar con estos cuatro grupos resulta mucho más fácil que trabajar con toda la tabla.

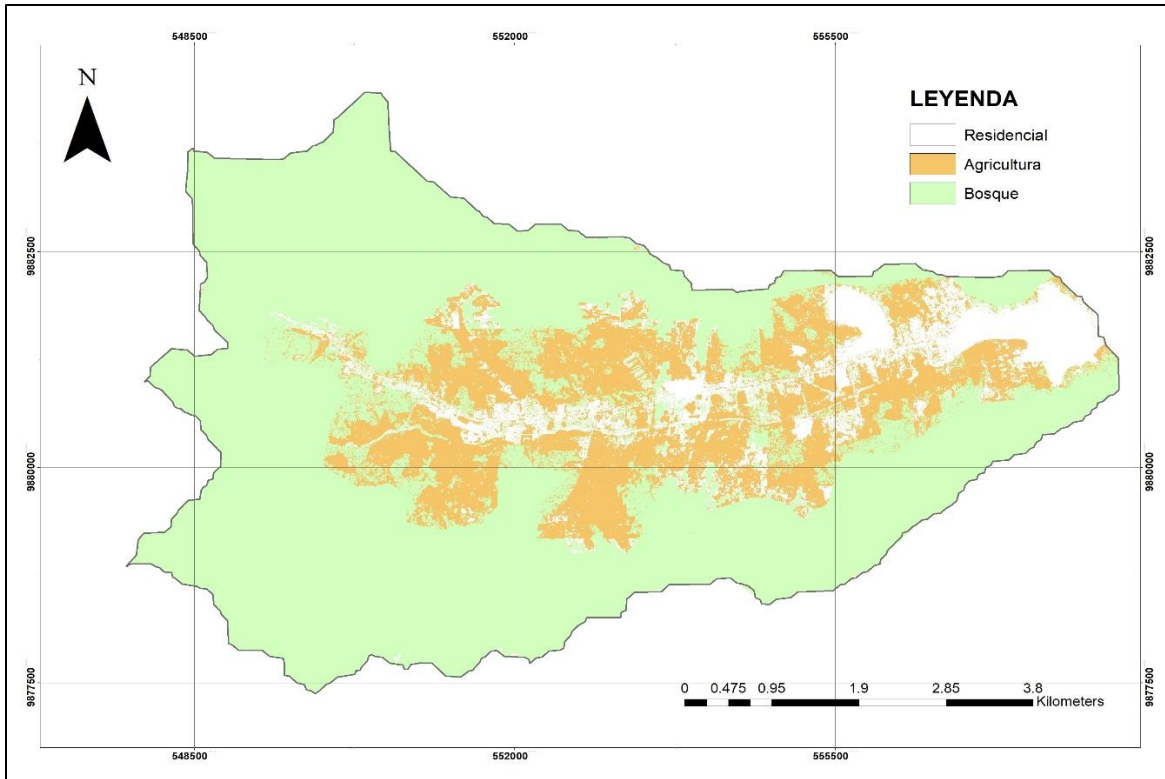


Figura 2 Clasificación del uso del suelo

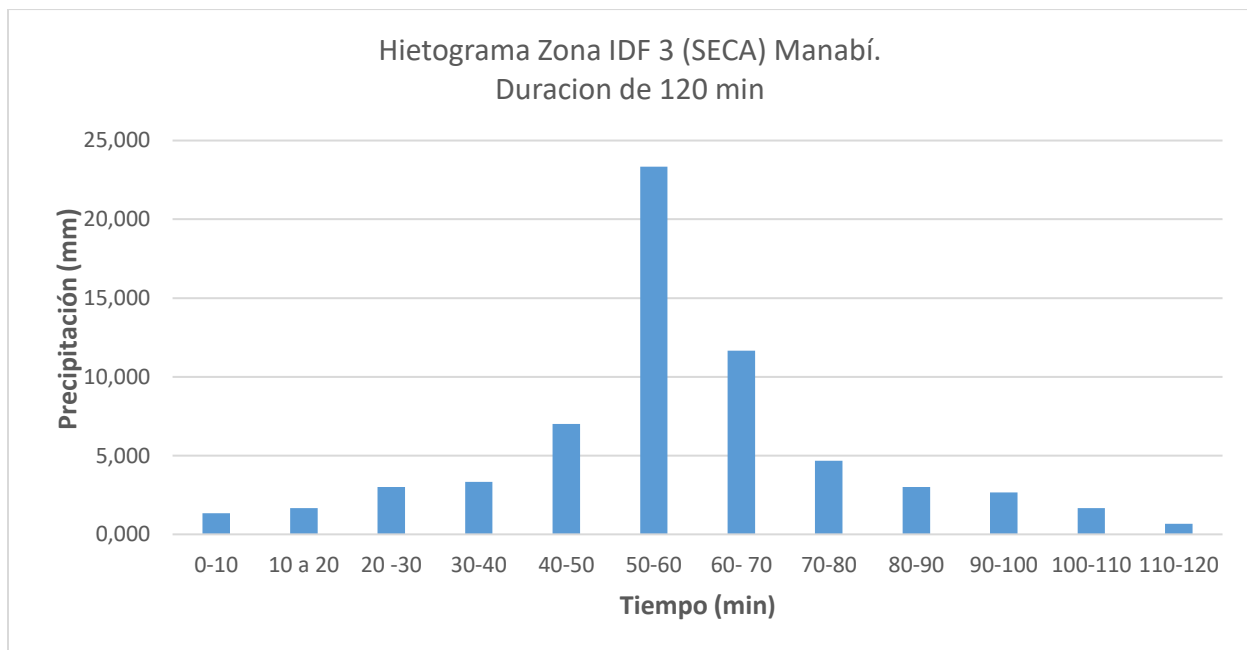
Elaborado por: Julio Cesar Castillo Rivera

Con la información del uso y tipo de suelo se pudo obtener una tabla del grupo hidrológico del suelo y mediante la extensión del ArcGIS llamada HEC-GeoHMS (que permite visualizar y procesar información espacial, delinear cuencas y ríos mediante la localización digital de los causes, documentar características de la cuenca y generar una serie de entradas para modelos hidrológicos (Nanía, 2007)), se pudo enlazar la anterior información para obtener un mapa del número de curvas (CN) correspondiente a cada microcuenca previamente delimitada.

Obtenido el número de curva se logró generar en Excel un CN ponderado (que se calcula para una cuenca formada de distintos tipos de suelos y con diferentes usos de tierra) y luego de esto se generó un número de curvas en condiciones húmedas para cada microcuenca.

3.4 Estudio hidrológico

Mediante la información que se encuentra publicada en los anuarios meteorológicos del (INAMHI) Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología que está disponible en formato digital e impreso, se obtuvo de la estación meteorológica más cercana a la cuenca del Rio de Oro información sobre precipitaciones y con estos datos se construyó el hietograma que es un gráfico donde se conoce la precipitación en función del tiempo, para realizar este hietograma se empleó el método del bloque alterno, que según (CHOW, MAIDMENT, & MAYS, 1994) es una forma sencilla para desarrollar un hietograma de diseño empleando una curva de intensidad-duración-frecuencia.



Elaborado por: Julio Cesar Castillo Rivera

Precipitación efectiva

Representa la porción de la precipitación total usada para satisfacer las necesidades de agua; por tanto se excluyen la escorrentía superficial, la infiltración profunda, y la evaporación de la

superficie del suelo (MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACION); la precipitación efectiva es por tanto la precipitación utilizable.

Se pueden utilizar diferentes métodos o ecuaciones para calcular la precipitación efectiva. En el presente trabajo se utilizó el método elaborado por el Servicio de Conservación de Suelos (1972) en donde la escorrentía directa P_e es siempre menor o igual a la profundidad de precipitación P , con el objeto de clasificar la escorrentía potencial para diferentes combinaciones de suelo y cobertura vegetal, en el que los valores de la precipitación efectiva (mm) se obtiene mediante la ecuación:

$$P_e = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S}$$

Donde:

P_e = Precipitación efectiva (mm).

P = Precipitación total

S = La capacidad de retención

Numero de curva

Al graficar la información de P y P_e , para varias cuencas, el SCS encontró muchas curvas y para estandarizar esas curvas, definió un numero adimensional de curva CN, tal que CN tiene un rango de 0 a 100. En superficies naturales $CN < 100$; para superficies impermeables y de agua $CN = 100$. (CHOW, MAIDMENT, & MAYS, 1994)

El parámetro CN del modelo se relaciona con la capacidad de retención (S)

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

Con el dato de precipitación efectiva se pudo obtener el tiempo de concentración (Tc) y el tiempo de desfase (LAG).

Tiempo de concentración

El tiempo de concentración Tc, es un elemento importante en el Método Racional y en otros métodos de estimación de respuestas máximas en cuencas de zonas urbanas y constituye uno de los parámetros del tiempo de respuesta propios de una cuenca hídrica usados con mayor frecuencia. La utilización de este método, se extiende a aplicaciones que buscan otros objetivos como el pronóstico de caudales y la simulación de eventos. En la práctica para estimar el valor de Tc en una cuenca hay tres alternativas básicas: Mediante el uso de fórmulas empíricas, A partir de pares de valores observados de lluvia-caudal y Utilizando el enfoque físico basado en la ocurrencia de flujo cinemático.

En la literatura revisada existe un gran número de fórmulas empíricas, aunque las fórmulas varíen, la mayoría relaciona el tiempo de concentración a diferentes parámetros de la cuenca como la longitud del curso, la superficie, las condiciones de resistencia al flujo, la pendiente del terreno, entre otros. (Anaya, 2014)

Para estimar el Tiempo de Concentración en el siguiente trabajo se consideró utilizar el método de Kirpich.

Formula de Kirpich

$$tc = 0,0078 * Lp^{0,77} * S^{-0,385}$$

Donde:

t_c = el tiempo de concentración (min)

S = la pendiente promedio del cauce principal (m/m)

L_p = la longitud del cauce (pies)

Para la longitud del cauce se utilizó la herramienta de medición del ArcGIS y se usó el DEM de la cuenca del Rio de Oro para medir la longitud de cada microcuenca. Se ha realizado la medición desde el inicio hasta el punto de cierre de cada una de las 7 microcuencas que se están estudiando.

Para las cotas se usó el DEM utilizado previamente, y se obtuvo la cota mayor y menor de cada microcuenca referente a msnm. Así se pudo obtener la pendiente, y con la pendiente de la longitud se consiguió el tiempo de concentración aplicando la fórmula de Kirpich.

LAG time

Lag time (T_{lag}), según (Herrero, 2019) se define como el tiempo de retardo entre el instante en el que se genera el caudal punta del hidrograma y el centroide de la tormenta asociada, y se obtiene con un porcentaje del tiempo de concentración de la cuenca.

Para este estudio el valor del tiempo de retardo de la punta será el 60 % del valor del tiempo de concentración de la cuenca, este porcentaje se basa en estudios anteriores de hidrogramas unitarios de varias cuencas. Lag time es un parámetro que se elabora para construir un diagrama triangular, pero en este caso solo se necesitó el tiempo de retardo para ingresarlo como dato en el HEC-HMS.

Tránsito de caudales

Se emplea para determinar el tiempo y la magnitud del caudal en un punto de un curso de agua utilizando hidrógramas previamente conocidos o supuestos en uno o más puntos aguas arriba. El procedimiento se conoce como tránsito de crecientes, si el flujo es una creciente. El tránsito de

caudales es un procedimiento que puede considerarse como un análisis para darle seguimiento al caudal a través de un sistema hidrológico, dada una entrada.

Existen dos tipos de métodos para el tránsito de caudales:

- El tránsito de sistemas agregados o también conocido como *transito hidrológico*, en este modelo el flujo se calcula solamente en un lugar particular como una función del tiempo.
 - El tránsito de sistemas distribuidos o también conocido como *transito hidráulico*, en este modelo el flujo se calcula como una función del el tiempo y espacio a través del sistema.
- (CHOW, MAIDMENT, & MAYS, 1994)

Método de Muskingum

Es un método aplicado al tránsito hidrológico que se usa generalmente para las relaciones caudal-almacenamiento variable. Este método modela mediante la combinación de almacenamiento de cuña y prisma el almacenamiento volumétrico de creciente en un canal de un río. (CHOW, MAIDMENT, & MAYS, 1994)

Este método ocupa una relación entre el volumen almacenado en el segmento de análisis y los caudales entrantes y salientes mediante los parámetros K y X. (GARCIA CASTIBLANCO & RODRIGUEZ MUÑOZ, 2016)

K: es un coeficiente de proporcionalidad. Es el tiempo de tránsito de una onda de creciente a través del tramo.

X: es un factor adimensional y depende de la forma de almacenamiento. Este valor varía desde 0 para un almacenamiento tipo embalse hasta 0.5 para una cuña completamente desarrollada.

Ecuación de tránsito para el método de Muskingum

$$Q_{j+1} = C1I_j + C2I_j + C3Q_j$$

Donde:

$$c1 = \frac{\Delta t - 2KX}{2K(1 - X) + \Delta t}$$

$$c2 = \frac{\Delta t + 2KX}{2K(1 - X) + \Delta t}$$

$$c3 = \frac{2K(1 - X) - \Delta t}{2K(1 - X) + \Delta t}$$

Para el presente estudio se incluyó el tránsito de caudales y para este trabajo se utilizará el método de Muskingum, para construir el modelo computacional en el HEC-HMS.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvo la información necesaria para el estudio hidrológico de caudales de crecida para la cuenca del Río de Oro.

El modelo HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System) es un modelo lluvia-escorrentía, software diseñado por el U.S. Army Corps of Engineers USACE, que está desarrollado para simular el hidrograma de escorrentía que se genera en un determinado punto de la red fluvial como consecuencia de un suceso de lluvia. (López, y otros, 2012)

En el presente trabajo se utilizó el HEC-HMS 4.2.1 que es uno de los modelos de eventos hidrológicos más versátiles. HEC-HMS posee un sin número de herramienta y parámetros utilizables según el tipo de estudio y la información que se pose. Para empezar la construcción de nuestro modelo iniciamos usando la herramienta sub-basin, para ejecutar sub-basin necesitamos introducir la información del área en Km².

Se trabajó con el método de pérdida del número de curva SCS, (ver figura 3) que según (Ortega Martínez, 2014) solamente se utiliza para eventos de precipitación, el cual no permite representar la percolación y otros efectos del suelo; para perdidas se utilizó el dato de número de curva y la impermeabilidad en porcentaje.

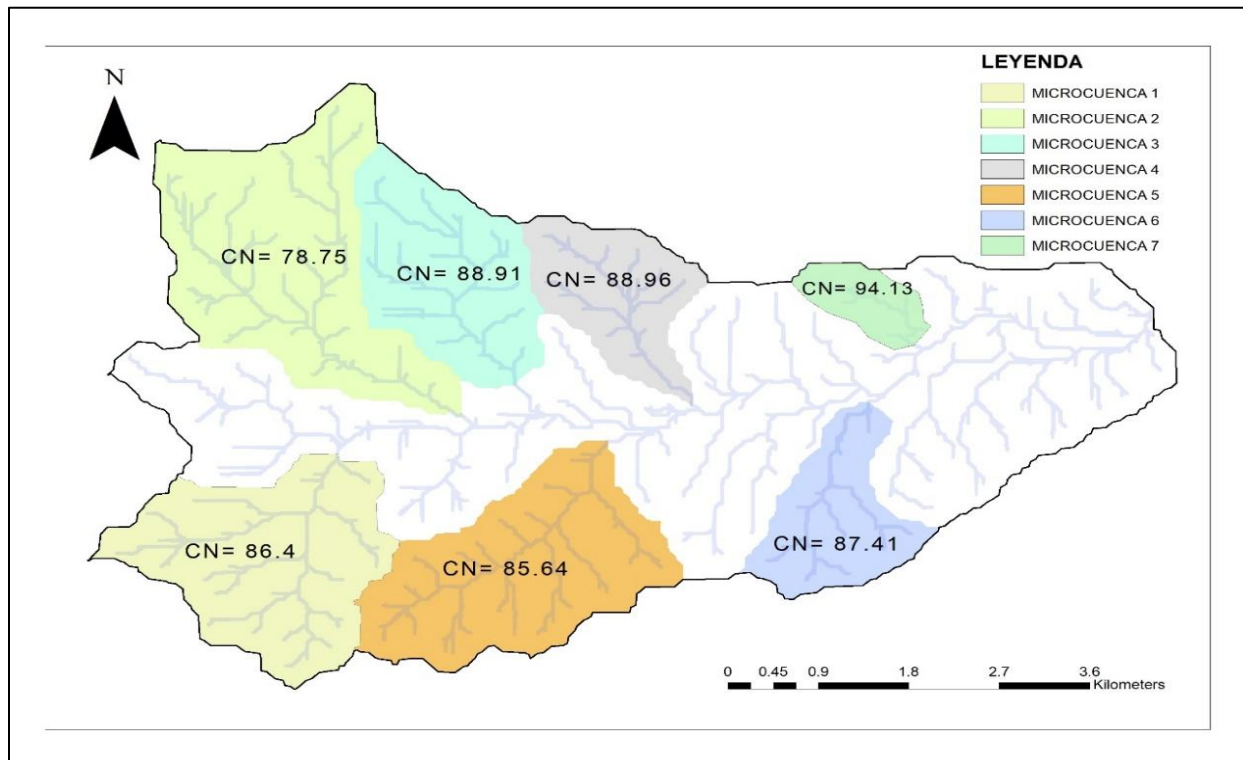


Figura 3 Mapa de número de curva de cada microcuenca.

Elaborado por: Julio César Castillo Rivera

Para la transformación mediante el diagrama unitario por el SCS se usó en las 7 microcuencas el dato de Lag en minutos, y para los datos de series de tiempo se utilizó un medidor de precipitación, para este caso un pluviómetro; con los datos previos de precipitación obtenidos en el hietograma, con intervalos de tiempo de 10 minutos en un total de 2 horas.

Una vez obtenidos los datos de series de tiempo, se definió un modelo meteorológico especificando el pluviómetro que se construyó previamente para cada microcuenca.

Para la creación del tránsito de caudal se necesitó usar la herramienta Junction y Reach del HEC-HMS. La primera sirve como un nodo donde aportan las microcuencas que se están estudiando y en el cual se especifica hacia donde transitan, en este caso usando el Reach. El Reach es el elemento que une los nodos y por el cual transita el caudal desde el aporte más lejano hasta el punto de cierre de la cuenca del Rio de Oro.

Por el método de enrutamiento ubicamos el valor de K y X según la metodología investigada de Muskingum.

Para la descarga final del cauce se usó la herramienta Sink la cual nos brindara los resultados finales de caudales pico. A continuación se observa la distribución de los componentes mencionados en el programa HEC-HMS.

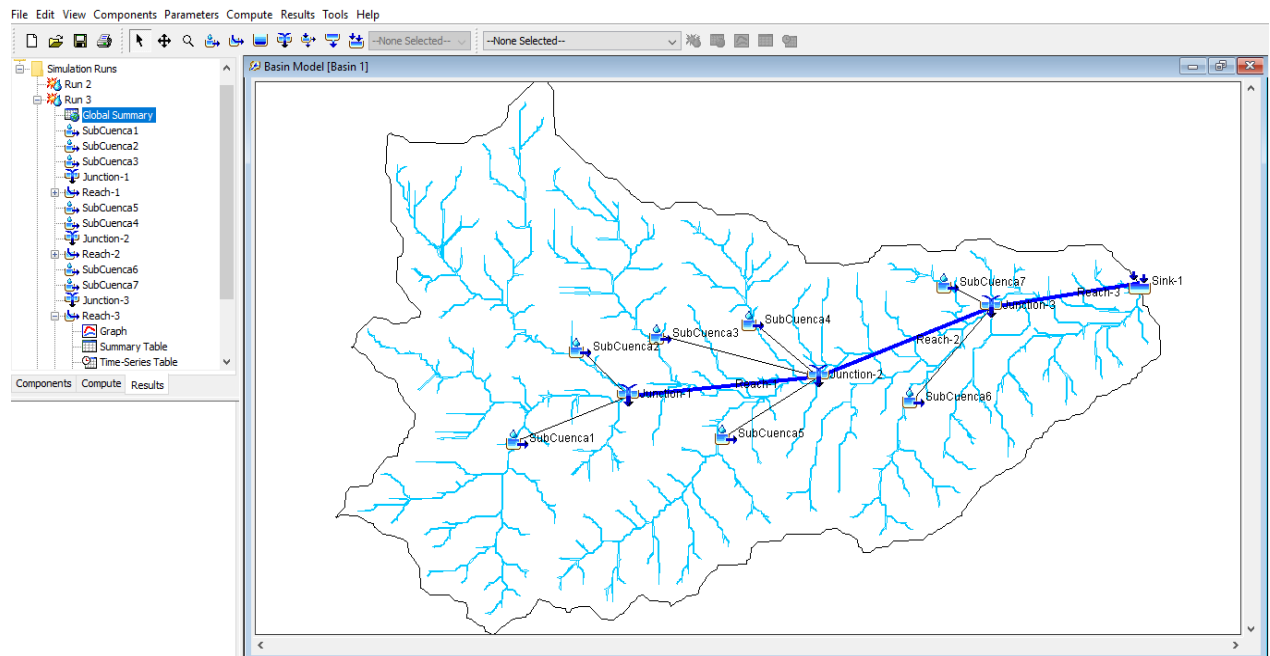


Figura 4 Construcción del modelo hidrológico de la cuenca del Rio de Oro en HEC-HMS.

Elaborado por: Julio Cesar Castillo Rivera

Todo lo detallado anteriormente han sido los datos que necesitó el programa para realizar el modelamiento, una vez ingresada esa información se corre la simulación y en los resultados se obtuvo información tal como gráficos, pérdidas, precipitaciones, caudales, entre otros datos. Aquellos resultados se pueden observar tanto de la cuenca total como de cada microcuenca de la zona estudiada.

Elemento Hidrológico	Área de drenaje (KM2)	Descarga máxima (M3/S)	Tiempo pico	Volumen (MM)
SubCuenca2	5.85	51.3	01ene2000, 01:21	23
SubCuenca1	4.68	66.3	01ene2000, 01:17	33.94
Junction-1	10.53	115.9	01ene2000, 01:19	27.86
Reach-1	10.53	98	01ene2000, 01:29	27.86
SubCuenca5	4.83	58	01ene2000, 01:22	32.7
SubCuenca3	3.39	71.1	01ene2000, 01:06	38.3
SubCuenca4	2.26	38.5	01ene2000, 01:14	38.39
Junction-2	21.01	209	01ene2000, 01:21	31.79
Reach-2	21.01	189.4	01ene2000, 01:33	31.79
SubCuenca6	2.16	39.7	01ene2000, 01:07	35.64
SubCuenca7	0.8	24.7	01ene2000, 01:02	48.9
Junction-3	23.97	205.8	01ene2000, 01:31	32.71
Reach-3	23.97	193.1	01ene2000, 01:43	32.7
Sink-1	23.97	193.1	01ene2000, 01:43	32.7

En los siguientes gráficos que se generaron mediante la simulación, se puede observar el comportamiento de los caudales en cada Junction o nodo en donde descargan las microcuencas asignadas, esto referente al caudal y al tiempo, además se observa el comportamiento en la entrada y salida de los Reach hasta llegar a la descarga final, Sink.

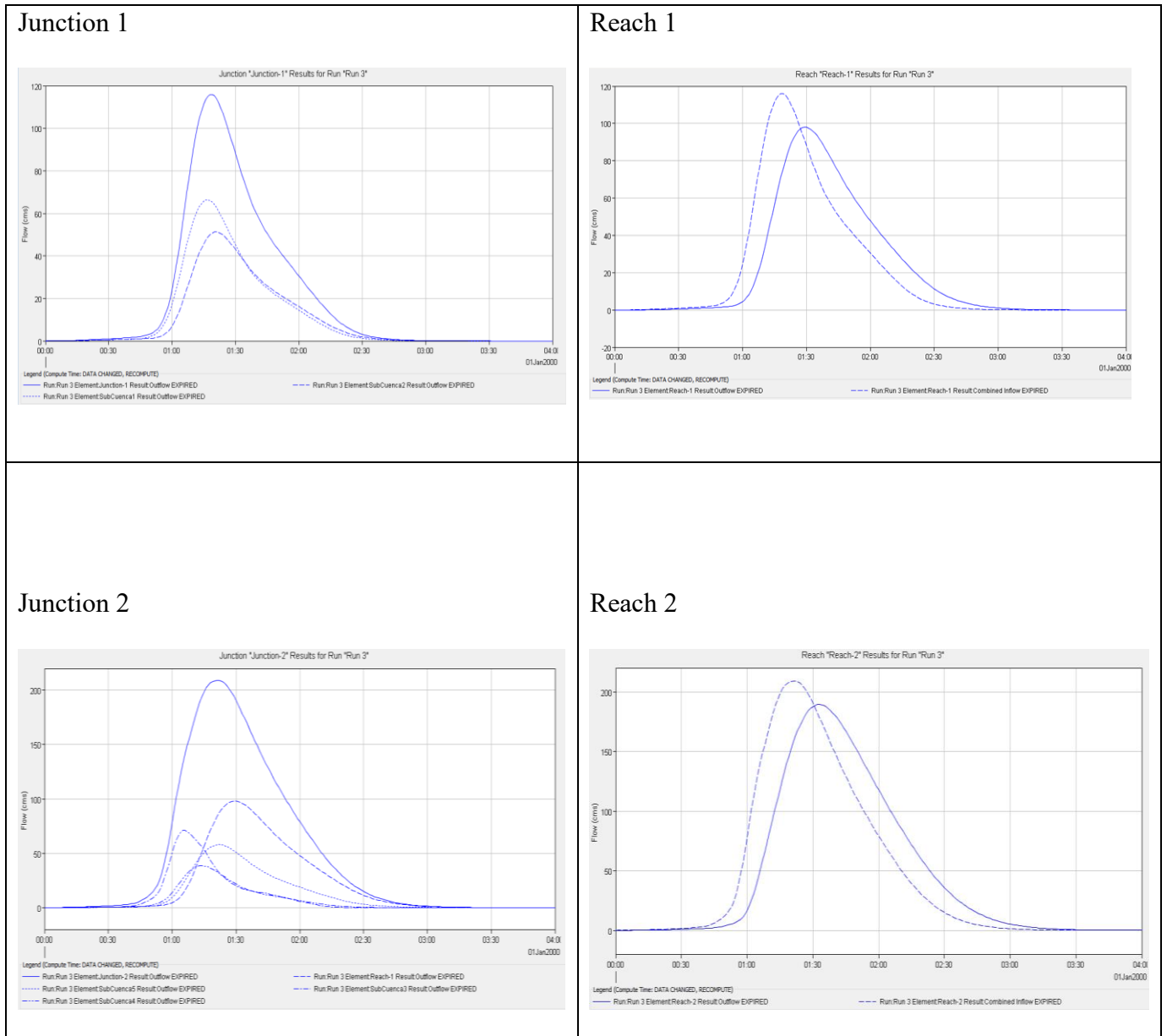


Figura 5 Graficas de Junction y Reach

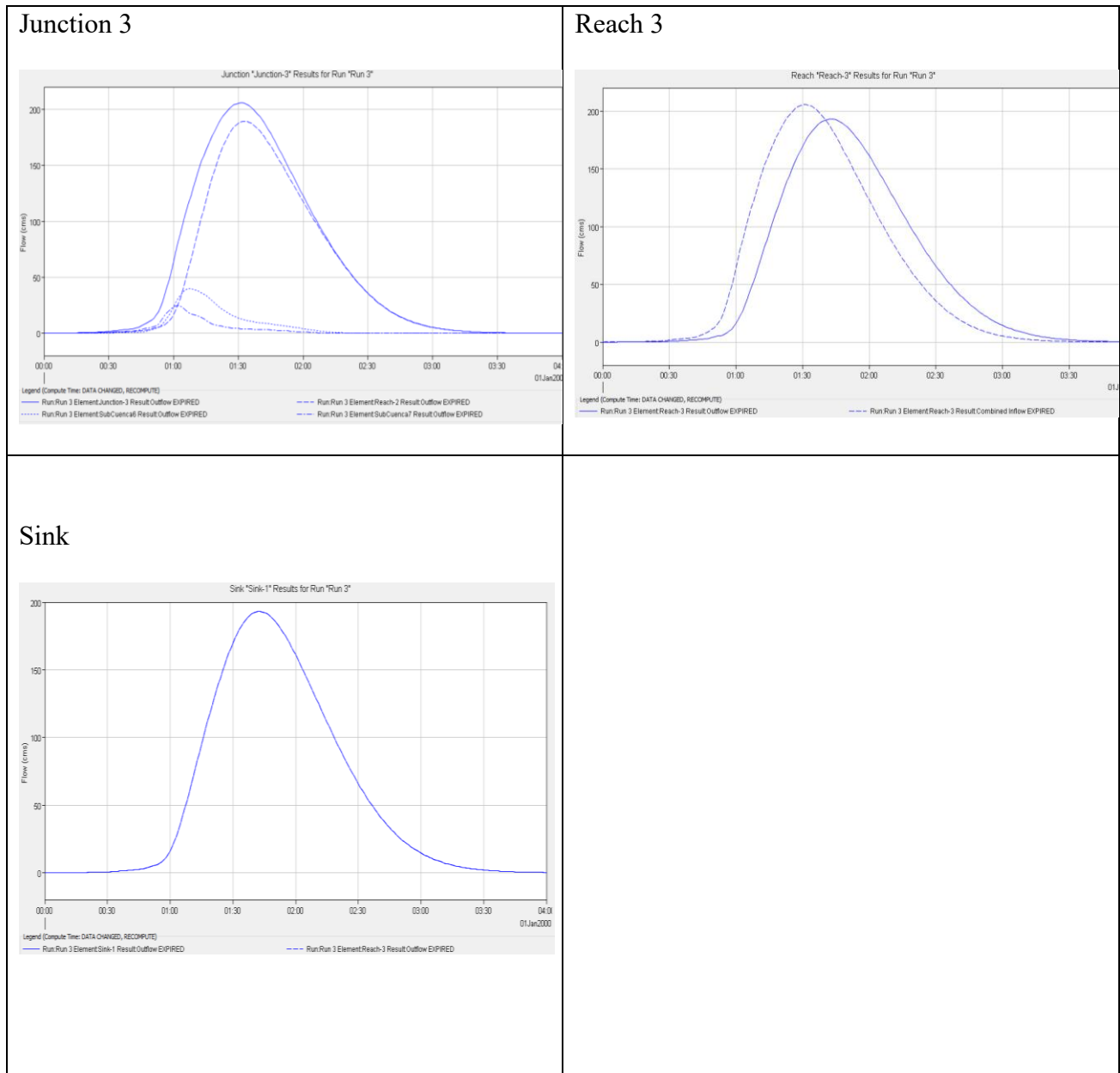


Figura 6 Graficas de Junction, Reach y Sink

Como lo muestra el grafico “Sink” la descarga final en el punto de cierre de la cuenca del rio de Oro es de $193.1\text{m}^3/\text{s}$ en el lapso de 1h:43 min. Este resultado nos muestra que el rio a pesar de

encontrarse seco la mayor parte del año, en condiciones especiales como el Fenómeno de El Niño puede alcanzar un caudal bastante considerable en poco tiempo.

Esta información obtenida es de gran importancia para diseños posteriores como obras de desviación, vertederos de exceso, drenaje y protección de las inundaciones.

Al obtener los resultados de la simulación de inundación de la cuenca del Rio de Oro que es el objetivo principal, esta información es un gran aporte para estudios futuros en esta zona, para que tomen las precauciones en el campo de la construcción al ya tener datos de cómo se comportara la cuenca ante posibles avenidas.

5. CONCLUSIONES

- Se consiguió la información necesaria para la simulación hidrológica del Río de Oro y con lo cual poder estimar caudales de crecida en escenario del fenómeno del niño., esto con la recopilación de datos y manejo de información disponible en diferentes plataformas gubernamentales.
- Se construyó un modelo computacional, el cual nos brinda información base para la estimación de caudales de crecida en la cuenca estudiada, estos datos nos acerca al comportamiento real que podría tener el cauce en un escenario similar.
- Se obtuvo los datos de descarga máxima de la cuenca, los cuales son de mucha importancia para futuras investigaciones referentes al Río de Oro, cuenca que tiene un eventual gran aporte en época invernal al río Portoviejo.

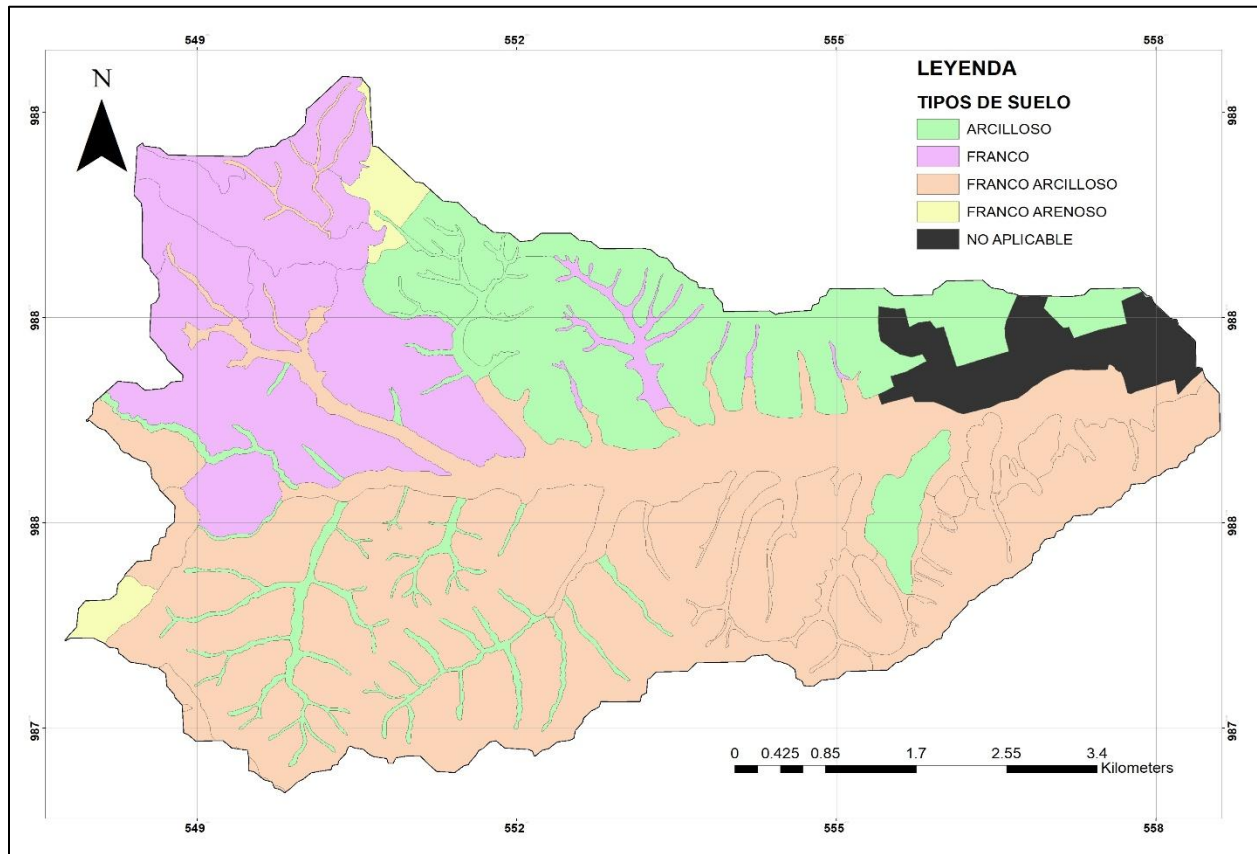
6. BIBLIOGRAFÍA

- Anaya, E. (2014). Estudio hidrológico de la cuenca del arroyo El Chato. *Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*.
- ArcGIS, D. (2019). *ArcGIS*. Obtenido de <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/exploring-digital-elevation-models.htm>
- Ayuso, J., Peña, A., & Montesinos, M. P. (30 de 06 de 1994). Estimación del hidrograma unitario. Estudio comparativo de cuatro métodos lineales. *Ingeniería del agua*, 1(2), 21-32. Obtenido de Estimación del hidrograma unitario. Estudio comparativo de cuatro métodos lineales.
- biblioteca digital*. (s.f.). Obtenido de <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/20338/Capitulo7.pdf>
- Campos, A. (Febrero de 2015). Generación de Mapa CN con ArcGis (Uso del suelo).
- CHOW, V. T., MAIDMENT, D. R., & MAYS, L. W. (1994). *HIDROLOGÍA APLICADA*.
- de Pelekais, C. (2000). Métodos cuantitativos y cualitativos: diferencias y tendencias. *Telos*, 2(2), 347-352.
- Durán, P., & González, J. (s.f.). LA CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE HUMEDAD INICIAL DEL SUELO EN UN ESTUDIO HIDROLÓGICO DE AVENIDAS.
- Estrada Sifontes, V., & Pacheco Moya, R. (2012). Modelación hidrológica con HEC-HMS en cuencas montañosas de la región oriental de Cuba. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, vol.33(1), 71-80. Recuperado el 15 de Mayo de 2020, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382012000100008
- Ganadería, M. d. (2018). *CATALOGO DE METADATOS DE SIGTIERRAS*. Obtenido de http://metadatos.sigtierras.gob.ec:8080/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/Geopedologia_Nacional_01032018
- GARCIA CASTIBLANCO, J., & RODRIGUEZ MUÑOZ, M. (2016). MÉTODO DE MUSKINGUM PARA EL ESTUDIO DE TRÁNSITO DE CRECIENTES EN EL RÍO ATRATO ENTRE LAS ESTACIONES “EL SIETE Y GINDRAMA” EN EL DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ. BOGOTÁ D.C.
- García, E. (s.f.). *Las lecciones de El Niño* (Vol. IV). Ecuador.
- Herrero, R. (31 de 07 de 2019). *Es el agua*. Obtenido de <https://eselagua.com/2019/07/31/el-tiempo-de-desfase-de-la-punta-o-lag-time-depende-del-periodo-de-retorno-de-la-lluvia/>
- López, J. 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

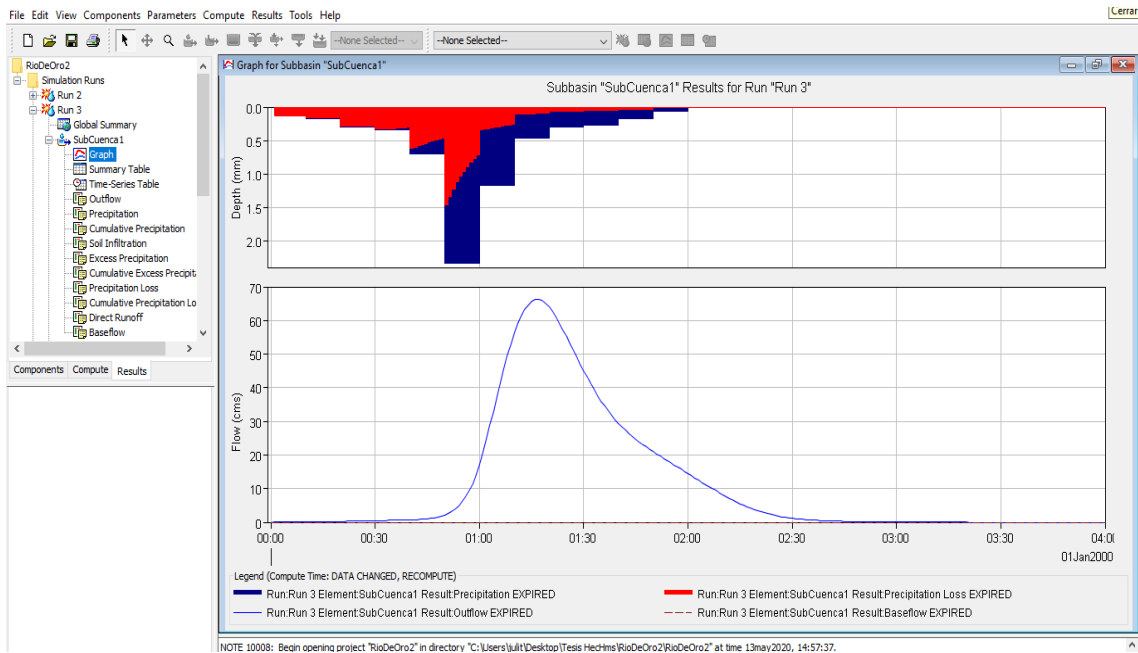
- aplicación a cinco avenidas significativas. *Obras y Proyectos*(12), 15-30. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-28132012000200002>
- Materón Muñoz, H., García Vélez, J. L., Arango, D., & Parra C., D. F. (2006). MODELACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA APLICADA A ESTUDIOS DE INUNDABILIDAD EN CAUCES NATURALES CASO DE ESTUDIO: URBANIZACIÓN RÍO NIMA. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente. Redalyc*(5), 27-38. Recuperado el 04 de Abril de 2020, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=2311/231117589003>
- Melville, R. (1997). El concepto de cuencas hidrográficas y la planificación del desarrollo regional. En *Nueve estudios sobre el espacio: representación y formas de apropiación* (págs. 77-90).
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACION. (s.f.). Obtenido de GOBIERNO DE ESPAÑA: https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-regadios/precipitacionefectiva05_tcm30-82980.pdf
- Morales, F. (2010). *Tipos de investigación*. Bogotá DC.
- Nanía, L. S. (Enero de 2007). *UNIVERSIDAD DE GRANADA*. Obtenido de Dpto. de Mec. de Estructuras e Ingeniería Hidráulica, Área de Ingeniería Hidráulica.: http://www.ugr.es/~lnania/_private/ManualBasico_HEC-HMS300_HEC-GeoHMS11_Espanol.pdf
- Ortega Martinez, E. F. (2014). Modelación hidrológica de la cuenca alta del río Atrato mediante HEC-HMS, para la determinación de caudales máximos. Bogotá. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/371>
- Umpiérrez, O. (s.f.). *ANÁLISIS DE IMPACTOS HIDROLÓGICOS DEL "EL NIÑO" - COMPILACIÓN*,. Obtenido de Flood Resilience Portal: <http://repo.floodalliance.net/jspui/bitstream/44111/1831/1/17131246.pdf>

7. ANEXOS

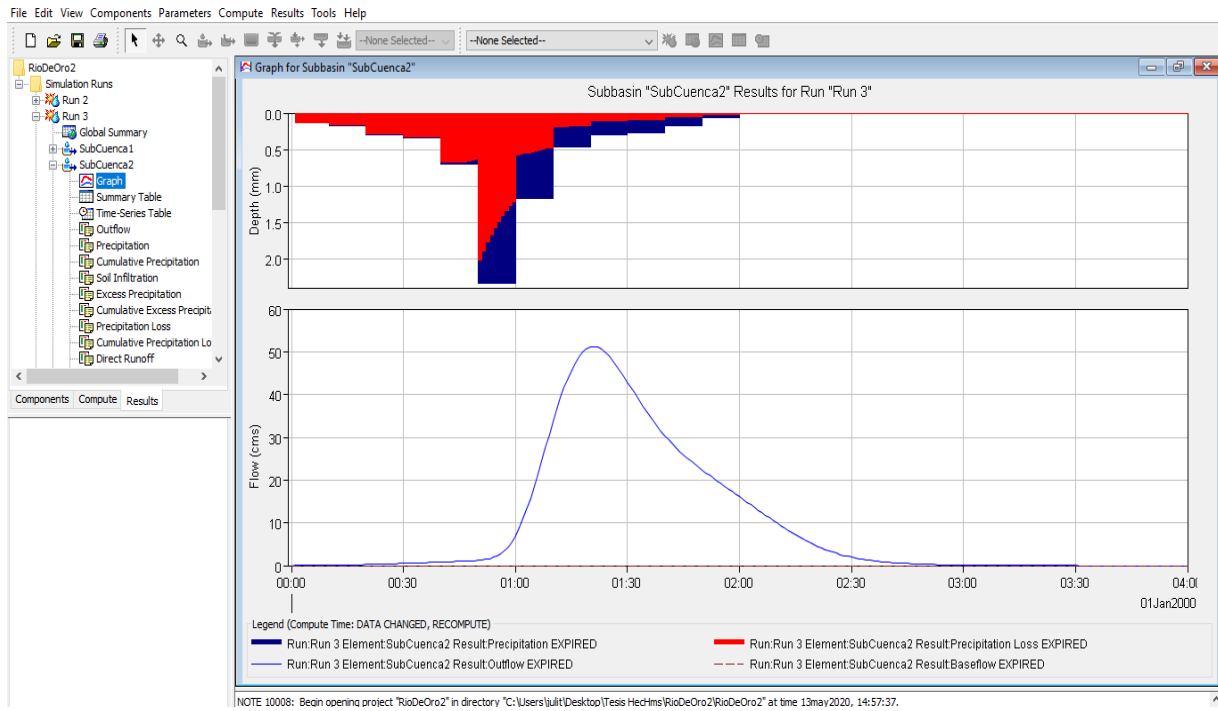
Anexo 1: Mapa de tipos de suelo en la zona estudiada.



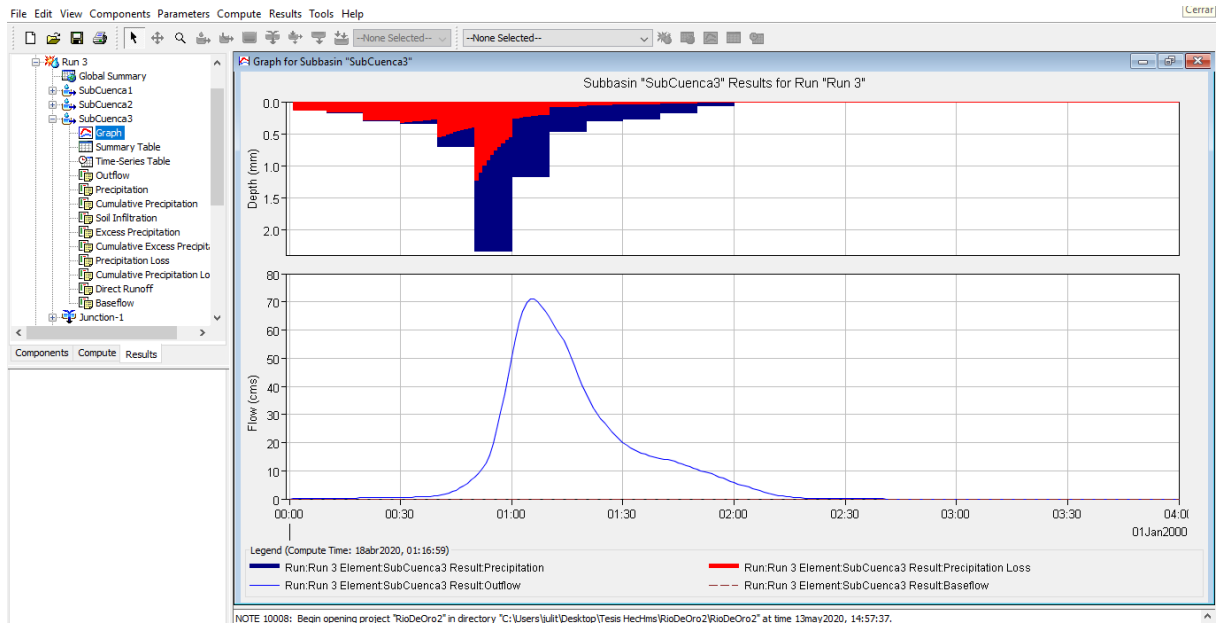
Anexo 2: Resultados de la microcuenca 1.



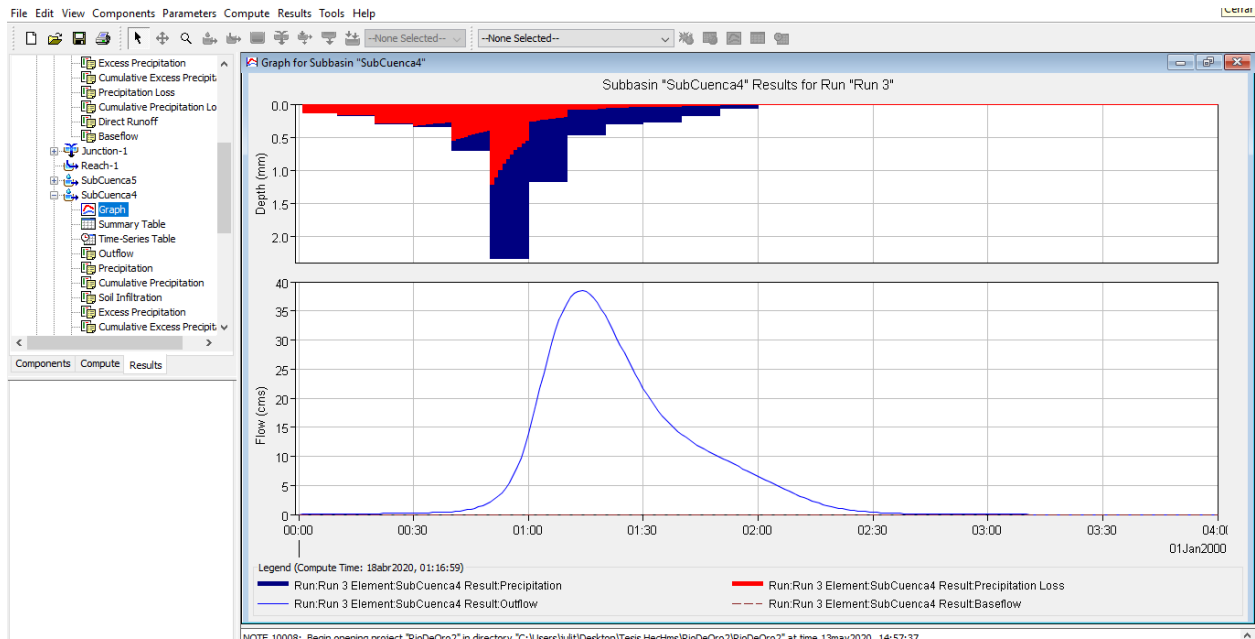
Anexo 3: Resultados de la microcuenca 2.



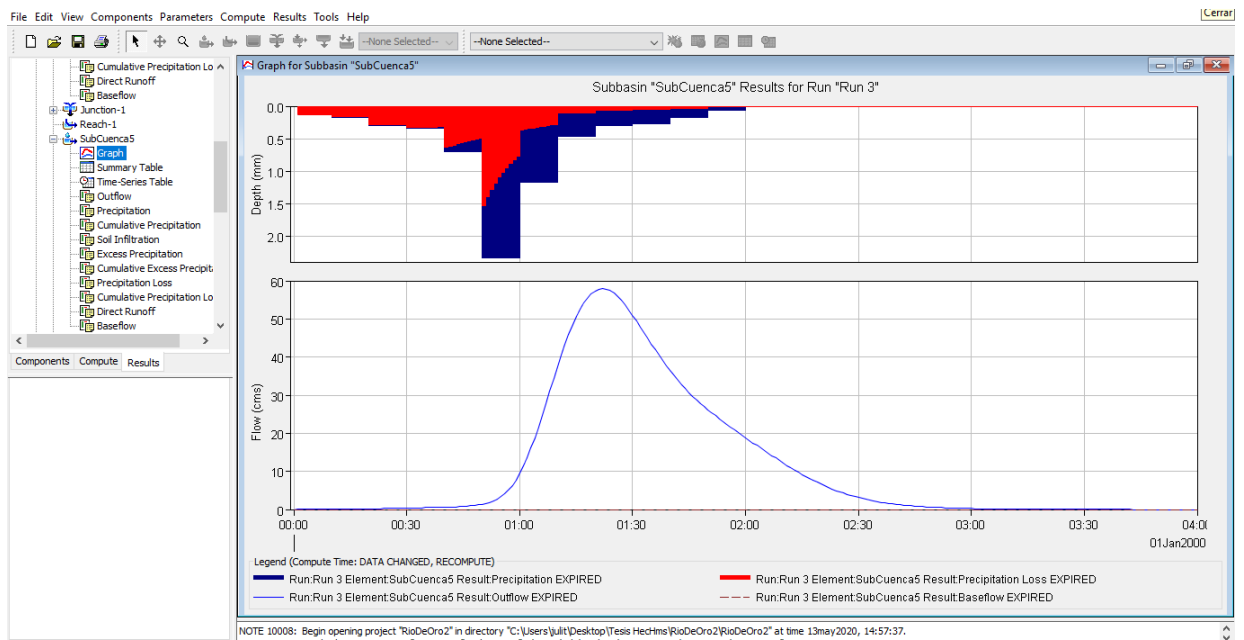
Anexo 4: Resultados de la microcuenca 3.



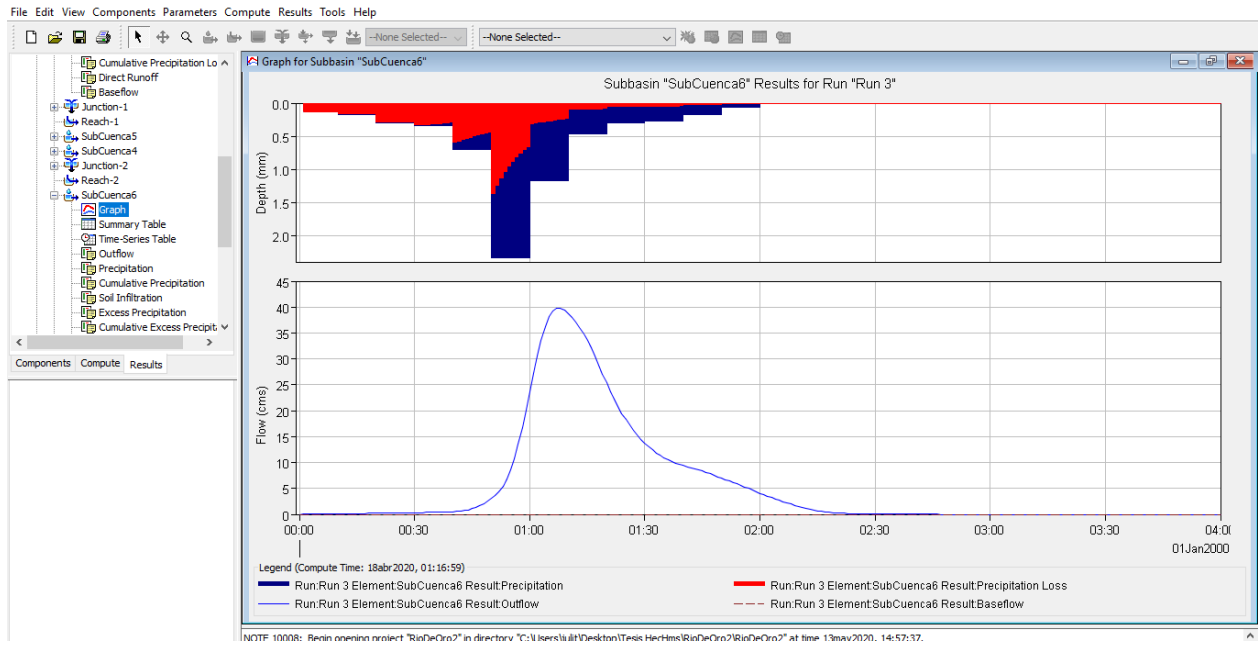
Anexo 5: Resultados de la microcuenca 4.



Anexo 6: Resultados de la microcuenca 5.



Anexo 7: Resultados de la microcuenca 6.



Anexo 8: Resultados de la microcuenca 7.

