

Cálculo de caudales hidrológicos de la subcuenca de río Ambi utilizando el programa HEC-HMS para la comprobación de su aplicabilidad en el Ecuador

CARRERA-VILLACRÉS, David, SANDOVAL-ERAZO, Washington, ANDRADE-ROSETO, Valeria, PIEDRA-LEÓN, Pablo y SÁNCHEZ-GÓMEZ, Viviana

D. Carrera`, W. Sandoval``, V. Andrade```, P. Piedra```` y V. Sánchez``````

`Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción, Grupo de Investigación de Contaminación Ambiental

``Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción

````Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción, Carrera de Ingeniería Civil

``````Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción, Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente  
dvcarrera@espe.edu.ec

F. Pérez, E. Figueroa, L. Godínez, J. Rocha (eds.) Ciencias de la Química y Agronomía. Handbook T-I.-©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

Abstract

The Ambi river sub-basin has an extension of 1129.8 km², it is located in the province of Imbabura-Ecuador. Due to its proximity to the city of knowledge Yachay and considering that it aims to boost agricultural and livestock production with the allocation of 1,000 ha hydrological basin flows are essential for consideration in future headworks and use of this water resource. In Ecuador the limited hydrometric information to obtain maximum flows generates the necessity to apply alternative methodologies for calculate them, in Ecuador there is not a political regulation. The objective in this research were to calculate hydrological flows using HEC-HMS software and compare them with the methodology for calculating flows in basins with little information proposed in Ecuador by Sandoval and Aguilera in 2014. Hydrological maximum flows were calculated for return periods of 10, 25 and 50 years, maximum flows were calculated by HEC-HMS shown values of 389.7, 691.2 and 950 m³ / s, respectively. Moreover, the flows calculated following the methodology of Sandoval were 330.36, 665.75 and 919.45 m³ / s, resulting in a percentage of average error between the two models of 7.3%. The obtained flows with HEC-HMS are slightly higher, the correlation of the results is very close to one, so it can be said that the ratio of the results is intense positive.

5 Introducción

La determinación de caudales hidrológicos de una cuenca resulta fundamental en la planificación de proyectos de abastecimiento, captación, control de inundaciones y demás proyectos, en donde la hidrología es necesaria para el conocimiento de la disponibilidad de agua y el diseño y seguridad de dichas estructuras, la obtención de estos caudales se los obtiene a partir de modelaciones hidrológicas (Rojas, 2009). Una modelación hidrológica es una herramienta de gran importancia para el estudio de avenidas, con este tipo de modelación se realiza el análisis y la prevención de las inundaciones; además, maneja hipótesis que ofrecen un cierto grado de confianza para la toma de decisiones, ya sea en la ordenación del territorio en torno a los ríos o para exigir criterios de diseño de obras e infraestructuras capaces de soportar y funcionar adecuadamente en situaciones de emergencia (Dueñas, C., 1997).

El mejoramiento de la tecnología ha permitiendo el desarrollo de nuevas herramientas que permiten la simulación de modelos hidrológicos como es el caso del HEC-HMS, que es un paquete de modelación desarrollada por el Cuerpo de Ingenieros de las Fuerzas Armadas de los Estados Unidos (USACE), que utiliza métodos de precipitación-escorrentía para estimar los hidrogramas de escorrentía directa generados por las precipitaciones en una cuenca o región durante un período especificado, para simular la respuesta hidrológica de una cuenca (Estrada, V., y Pacheco, R., 2012).

Desafortunadamente estos programas al ser desarrollados en otros países utilizan consideraciones y condiciones propias del país de desarrollo que no necesariamente son aplicables al territorio Ecuatoriano (Sandoval, W., Aguilera, E., 2014).

Por estas razones y debido a que en el Ecuador se dispone únicamente de datos de precipitaciones y, muy escasamente, de caudales registrados Sandoval y Aguilera (2014) desarrollaron una metodología para el cálculo de caudales máximos considerando el periodo de retorno y el área y la precipitación media de la cuenca, dicha metodología fue desarrollada y validada en cuencas del país por lo que la comprobación de los caudales máximos obtenidos en el software HEC-HMS con esta metodología permitieron corroborar la aplicabilidad del método en el Ecuador. La hipótesis en esta investigación fue que el programa HEC-HMS debido a sus condiciones de diseño y a los datos de entrada que requiere el programa no es aplicable al Ecuador.

El objetivo de esta investigación fue calcular los caudales hidrológicos aplicando el software HEC-HMS y compararlos con la metodología de cálculo de caudales en cuencas con poca información propuesta por Sandoval y Aguilera (2014), para comprobar la aplicabilidad del software en el Ecuador.

5.1 Materiales y métodos

El proyecto se llevó a cabo en el sistema hidrográfico del río Ambi ubicado en la provincia de Imbabura, La cuenca del río Ambi cubre un área de 1129.8 km² de extensión y está conformada por los Cantones: San Miguel de Urququí, Antonio Ante, Cotacachi, Otavalo, e Ibarra se encuentra limitada al norte por el río Chota- Mira al Sur por el nudo de Mojanda, al oriente por Pimampiro y el río Chota y al occidente por las estribaciones internas de la Cordillera Occidental de los Andes. Parte de la cuenca está conformada por La Ciudad del Conocimiento Yachay en las Parroquias de Urququí y Tumbabiro abarcando un área de 45.93 km² (Flores, 2010).

El río Ambi nace en el cerro Imbabura a 4000 m.s.n.m, con los afluentes Itambí que alimenta al lago Imbakucha- San Pablo que luego con el nombre de Jatunyacu se une al Blanco y al Yanayacu formándose así el río Ambi (A. B. L. Antonio, 2014).

En la Figura 5 se presenta el mapa de ubicación del sistema hidrográfico del río Ambi.

La modelación hidrológica se la realizó mediante el software HEC-HMS, la información de entrada requerida en el modelo se puede clasificar en cinco grupos que dependen directamente de los métodos de cálculo que se manejen en el programa. Para la selección de la metodología utilizada en este proyecto, se tuvo en cuenta la información disponible según los datos requeridos para cada metodología. El grupo de información, método escogido y la información requerida se encuentran detalladas en la Tabla 5.

Figura 5 Mapa de ubicación de la cuenca del río Ambi



Fuente: Autores

Tabla 5 Grupo de información, método escogido e información requerida en el programa HEC-HMS

| Grupo | Parámetro | Método | Información requerida |
|---|--|--|--|
| Morfometría de las subcuencas | Parámetros físicos y morfológicos de las subcuencas. | ArcGIS 9.2 | <ul style="list-style-type: none"> • Área de las subcuencas • Longitud y pendiente del cauce principal (para el cálculo del TC y Tlag) |
| Precipitación histórica o de diseño | Hietogramas de diseño | Datos de estaciones, ponderados por el usuario | <ul style="list-style-type: none"> • Registros de tormentas (Hietogramas de diseño). • Ponderación espacial y temporal de los datos de las estaciones para cada subcuenca (polígonos de Thiessen). |
| Condiciones de humedad del suelo | Perdidas de infiltración | SCS (número de curva) | <ul style="list-style-type: none"> • Pérdidas iniciales (mm). • Número de curva, calculado como promedio sobre la subcuenca respectiva. • Porcentaje de área impermeabilidad. |
| Transformación de lluvia en escorrentía | Transformación de lluvia en escorrentía | Hidrograma unitario sintético del SCS | <ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de retardo Tlag (minutos). |
| Hidráulica de los métodos de tránsito | Tránsito de caudales | Tiempo de retardo | <ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de retardo Tlag (minutos). |

Fuente: Autores

El modelo físico de la cuenca se lo realizó considerando 15 subcuencas, 15 nudos y 14 tramos, las subcuencas fueron trazadas en el programa ARCGIS 9.2 de las que se calculó el área y el tiempo de concentración de cada una partir de un promedio obtenido de las ecuación de Kirpich, california y Ven te chow. Para la información de la precipitación histórica o de diseño se utilizó el método de datos de las estaciones ponderados por el usuario, donde se requiere los hietogramas de precipitación de las estaciones en la zona del proyecto, los mismos que fueron desarrollados a partir de las curvas IDF por el método de bloques alternos propuesto por Chow et al, (1994). Para el cálculo de las curvas IDF se utilizó las ecuaciones dadas por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, INAMHI (2015), de las estaciones en donde no se contaba con dicha ecuación, se obtuvo la ecuación IDF a través de las precipitaciones máximas en 24 horas por el método de distribución de Gumbel a partir de la ecuación propuesta por Bernard en 1932 (Cereceda, 2008). Para la determinación de la ponderación espacial de cada estación se trazaron los polígonos de Thiesen y se calcularon las áreas de aporte de cada pluviógrafo para cada subcuenca (Nania, 2007).

Las pérdidas por infiltración, fueron calculadas por el método de Soil Conservation Service (SCS), que relaciona la escorrentía superficial, con la precipitación total y con la capacidad de almacenamiento, dicha capacidad de almacenamiento está relacionada con el número de curva CN el mismo que se lo cálculo para cada subcuenca a partir de la clasificación y el uso de los suelos propuesto por el método SCS que depende de la taxonomía y características del suelo en la zona del proyecto.

Para la información hidrológica del proceso de transformación de lluvia en escorrentía se utilizó el hidrograma unitario sintético del SCS, Para este método el único parámetro necesario fue el tiempo del retardo. Para el cálculo del mismo se aplicó la formula empírica propuesta en el manual de HEC – HMS que representa el 0.35 del tiempo de concentración. En la Hidráulica de los métodos de tránsito se utilizó el método de tiempo de retardo, este es el modelo de tránsito más simple del HEC-HMS en el cual el hidrograma del flujo de salida es el hidrograma de entrada, pero con todas las ordenadas trasladadas por una duración especificada, en este método el dato requerido es el tiempo de retardo del tramo que se calcula a partir de la formula empírica propuesta en el manual de HEC –HMS.

Para comprobar los resultados obtenidos de la modelación hidrológica mediante el software HEC-HMS y verificar la aplicabilidad del método en el Ecuador, se utilizó la metodología desarrollada por Sandoval y Aguilera (2014) para la determinación de caudales máximos en cuencas con poca información, dicho método depende del área de la cuenca la precipitación media y el período de retorno. Este método considera que el área de la cuenca es un factor predominante para el cálculo del caudal máximo, por lo que de acuerdo a la extensión de la cuenca se propone distintas ecuaciones de cálculo. La cuenca del río Ambi tiene una extensión mayor a 45 km² por lo que para el cálculo del caudal máximo se utilizó la Ecuación (5).

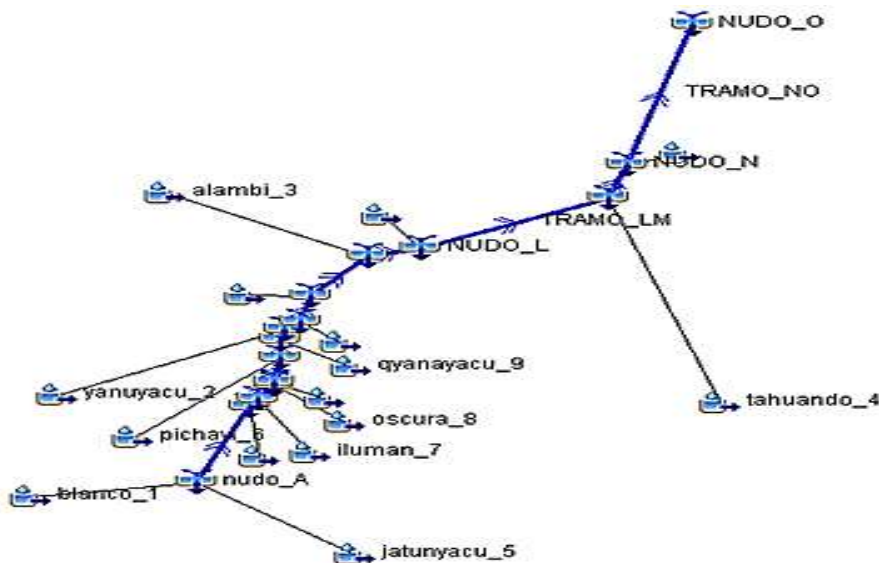
$$Q_{max} = a \frac{\overline{P}\sqrt{A}}{(1+lgA)} (0.5\ln T - 0.7) \quad (5)$$

El coeficiente “a” es variable entre 0,01 y 0,1 el cual tiene una relación variable con la precipitación media, con el fin de obtener una mejor correlación, se ha dividido a la función para determinar dicho coeficiente en dos partes: la primera corresponde a cuencas con precipitación entre 500 y 2500 y una segunda parte, para zonas con precipitaciones entre 2500 y 4000 mm (Sandoval, W., Aguilera, E., 2014).

5.2 Resultados y discusión

El modelo físico de la cuenca permitió representar todos los elementos hidrológicos que la conforman, cada uno de estos elementos usan modelos matemáticos que permitieron describir y modelar los procesos físicos que se producen en el sistema hidrográfico (Nania, 2007). En la Figura 5.1 se presenta el modelo físico de la cuenca usado en el programa HEC-HMS. Los datos morfológicos de las subcuencas y el tiempo de retardo son fundamentales para el proceso de transformación de lluvia en escorrentía y el cálculo de los hidrogramas unitarios en el programa HEC-HMS estos datos obtenidos para las 15 subcuencas que conforman la cuenca del río Ambi se presentan resumidas en la Tabla 5.1.

Figura 5.1 Modelo físico de la cuenca del Río Ambi



Fuente: Autores

Tabla 5.1 Tiempos de concentración y retardo de las subcuencas del río Ambi.

| Nombre | Área (km ²) | Long cauce (km) | Tc(min) | T Lag |
|---------------------|-------------------------|-----------------|---------|--------|
| Río Blanco | 92.97 | 19.37 | 142.95 | 50.03 |
| Río Yanayacu | 87.91 | 18.47 | 107.16 | 37.51 |
| Río Alambi-Cariyacu | 138.25 | 19.24 | 111.15 | 38.90 |
| Río Tahuando | 385.81 | 39.43 | 237.49 | 83.12 |
| Río Jatunyacu | 233.99 | 21.08 | 155.32 | 54.36 |
| Río Pichavi | 29.86 | 15.89 | 127.15 | 44.50 |
| Quebrada Iluman | 13.86 | 10.27 | 55.55 | 19.44 |
| Quebrada Oscura | 7.56 | 7.77 | 46.80 | 16.38 |
| Quebrada Yanuyacu | 8.27 | 7.95 | 57.78 | 20.22 |
| Quebrada Jijón | 10.40 | 4.18 | 45.52 | 15.93 |
| Quebrada Artizón | 8.59 | 6.01 | 42.61 | 14.91 |
| Quebrada Colimbuela | 10.38 | 5.32 | 45.67 | 15.99 |
| Quebrada Timbibiche | 22.73 | 8.71 | 56.12 | 19.64 |
| Quebrada Coñaquí | 25.76 | 7.54 | 61.94 | 21.68 |
| Quebrada La Virgen | 53.27 | 3.53 | 23.35 | 8.17 |
| Cuenca Río Ambi | 1129.6 | 68.49 | 435.25 | 152.34 |

Fuente: Autores

En la cuenca del río Ambi para determinar la precipitación de diseño en el programa HEC-HMS se desarrollaron los hietogramas de precipitación para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca es decir para un tiempo de 7 horas con intervalos de 30 minutos. A partir de las curvas IDF obtenidas de las estaciones meteorológicas de la zona del proyecto Inguincho (M001), Otavalo (M105), Cahuasqui-Fao (M107), La Victoria INERHI (M009) y Pimampiro (M 0315), se calcularon los hietogramas para los períodos de retorno de 10, 25 y 50 años los mismos que se observan en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2 Hietogramas de precipitación de las estaciones meteorológicas de la cuenca del río Ambi

| t
min | EST M001 | | | EST M009 | | | EST M105 | | | EST M107 | | | EST M315 | | |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Tr
10 | Tr
25 | Tr
50 | Tr
10 | Tr
25 | Tr
50 | Tr
10 | Tr
25 | Tr
50 | Tr
10 | Tr
25 | Tr
50 | Tr
10 | Tr
25 | Tr
50 |
| | P
(mm) | P
(mm) | P
(mm) | P
(mm) | P
(mm) | P
(mm) | P
(mm) | P
(mm) | P
(mm) | P
(mm) | P
(mm) | P
(mm) | P
(mm) | P
(mm) | P
(mm) |
| 30 | 1.49 | 1.76 | 1.99 | 0.94 | 1.08 | 1.21 | 0.42 | 0.47 | 0.50 | 0.68 | 0.84 | 0.95 | 0.92 | 1.08 | 1.22 |
| 60 | 1.66 | 1.96 | 2.22 | 1.05 | 1.21 | 1.34 | 0.49 | 0.55 | 0.58 | 0.79 | 0.97 | 1.10 | 1.03 | 1.21 | 1.36 |
| 90 | 1.89 | 2.23 | 2.53 | 1.20 | 1.38 | 1.53 | 0.59 | 0.66 | 0.70 | 0.94 | 1.15 | 1.32 | 1.17 | 1.38 | 1.55 |
| 120 | 2.23 | 2.63 | 2.99 | 1.41 | 1.63 | 1.81 | 0.75 | 0.83 | 0.89 | 1.17 | 1.44 | 1.65 | 1.38 | 1.63 | 1.84 |
| 150 | 2.80 | 3.31 | 3.75 | 1.78 | 2.04 | 2.27 | 1.04 | 1.15 | 1.22 | 1.60 | 1.96 | 2.24 | 1.74 | 2.04 | 2.31 |
| 180 | 4.05 | 4.79 | 5.43 | 2.57 | 2.95 | 3.28 | 1.75 | 1.93 | 2.06 | 5.22 | 6.41 | 7.31 | 2.52 | 2.95 | 3.33 |
| 210 | 18.6 | 21.99 | 24.94 | 11.79 | 13.57 | 15.09 | 25.17 | 27.77 | 29.63 | 23.30 | 28.63 | 32.66 | 11.56 | 13.57 | 15.32 |
| 240 | 5.63 | 6.65 | 7.54 | 3.57 | 4.10 | 4.56 | 8.55 | 9.44 | 10.07 | 11.60 | 14.25 | 16.26 | 3.49 | 4.10 | 4.63 |
| 270 | 3.28 | 3.87 | 4.39 | 2.08 | 2.39 | 2.66 | 1.30 | 1.43 | 1.53 | 1.97 | 2.43 | 2.77 | 2.04 | 2.39 | 2.70 |
| 300 | 2.48 | 2.92 | 3.31 | 1.57 | 1.80 | 2.01 | 0.87 | 0.96 | 1.03 | 1.35 | 1.66 | 1.89 | 1.54 | 1.80 | 2.04 |
| 330 | 2.04 | 2.41 | 2.73 | 1.29 | 1.49 | 1.65 | 0.66 | 0.73 | 0.78 | 1.04 | 1.28 | 1.46 | 1.27 | 1.49 | 1.68 |
| 360 | 1.76 | 2.08 | 2.36 | 1.12 | 1.28 | 1.43 | 0.54 | 0.60 | 0.64 | 0.86 | 1.05 | 1.20 | 1.09 | 1.28 | 1.45 |
| 390 | 1.57 | 1.85 | 2.10 | 0.99 | 1.14 | 1.27 | 0.46 | 0.50 | 0.54 | 0.73 | 0.90 | 1.02 | 0.97 | 1.14 | 1.29 |
| 420 | 1.42 | 1.67 | 1.90 | 0.90 | 1.03 | 1.15 | 0.40 | 0.44 | 0.47 | 0.64 | 0.78 | 0.89 | 0.88 | 1.03 | 1.17 |

Fuente: Autores

Dentro de la modelación hidrológica el cálculo de las pérdidas de infiltración resultó fundamental. De acuerdo al método del SCS se requirió la determinación del número de curva de la cuenca el mismo que está en función del tipo y uso del suelo.

Para la clasificación del tipo de suelo según el SCS se tomó en cuenta la taxonomía del mismo. Según el MAGAP-SIGAGRO la subcuenca del río Ambi presenta suelos de tipo inceptisoles y gran parte del área de la cuenca son suelos tipo molisoles.

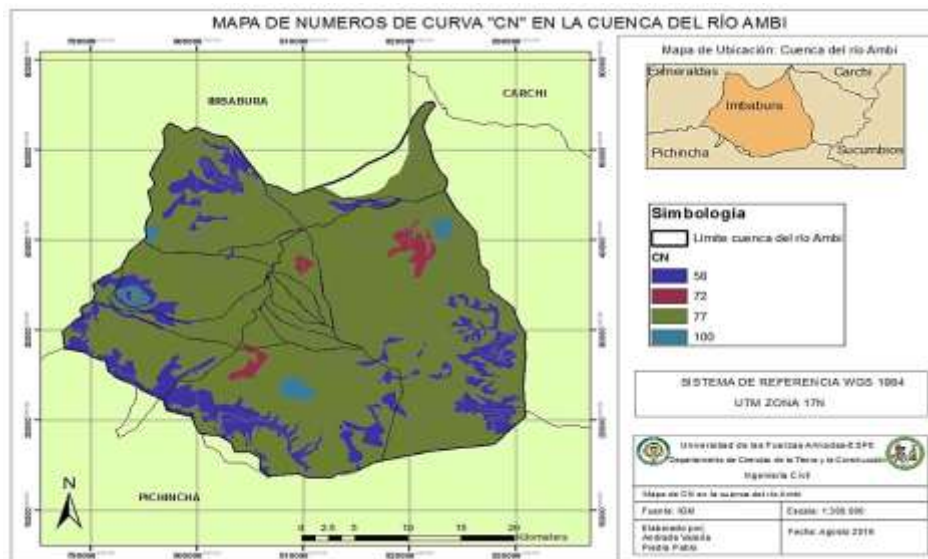
Los inceptisoles son un conjunto de suelos, negros, limosos con un porcentaje de arcilla menor al 30% poco ácidos, derivados de ceniza, mientras que los molisoles son un conjunto de suelos limoso o arenoso (Cabrera, 2002).

Según estas características y de acuerdo a la clasificación de suelos del SCS la cuenca del río Ambi tiene suelos tipo B, con una litología de arenas calcáreas con limos, un porcentaje de arcilla entre el 10-30%, una moderada permeabilidad, humedad y tasa de infiltración.

Esta información fue fundamental para el cálculo del número de curva, el mismo que toma valores desde 0 a 100 y es función de la textura del suelo, la cobertura el uso y los antecedentes de humedad (Red río Aburrá, 2011)

Este número de curva fue determinado para las 15 subcuencas consideradas en el río Ambi, el mismo que se presenta en la Figura 5.2. En el caso de la cuenca del río Ambi por tratarse de suelos con características tipo B los números de curva varían entre 100 y 58 siendo el valor más representativo en la cuenca 77 debido a que el uso del suelo característico de la zona es la agricultura.

Figura 5.2 Mapa del número de curva CN de la cuenca del río Ambi



Fuente: Autores

Con todos los datos de entrada ingresados en el programa HEC-HMS fue necesario definir el tiempo de control del modelo para realizar la modelación este dato es importante para el completo desarrollo del hidrograma (Nania, 2007).

Este tiempo de control fue definido como dos veces el tiempo de concentración de la cuenca del río Ambi es decir 14h, este tiempo se lo escogió debido a que según Robedro (2014) en un hidrograma de avenida desde el pico del hidrograma donde se genera el caudal máximo al final del hidrograma ha transcurrido un tiempo igual al tiempo de concentración de la cuenca. Los resultados obtenidos del programa HEC- HMS son los caudales durante todo el tiempo de modelación de la lluvia para cada subcuenca nudo y tramo de la cuenca, así mismo el programa presenta un hidrograma para cada uno de los elementos de la cuenca y un cuadro resumen donde indica los caudales máximos y la hora en la que se produce cada caudal de toda la cuenca, para el efecto de la investigación se requería conocer el caudal máximo de la cuenca, estos caudales se los obtuvo para un periodo de retorno de 10, 25 y 50 años, los mismos que se presentan en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3 Caudales máximos obtenidos del modelo HEC-HMS

| Tr | HEC-HMS | Tiempo caudal máximo |
|----|-----------------------------|----------------------|
| | Q max (m ³ /seg) | |
| 10 | 389.7 | 6:00 |
| 25 | 691.2 | 6:00 |
| 50 | 950 | 6:00 |

Fuente: Autores

Para verificar los resultados obtenidos del programa HEC HMS y comprobar la aplicabilidad del método en el Ecuador, se calcularon los caudales máximos por el método de Sandoval y Aguilera (2014), para cuencas con extensiones mayores a 45 km², aplicando dicha metodología cuya ecuación está en función del área, la precipitación media y el periodo de retorno, en la metodología interviene un coeficiente a que depende de la precipitación media de la cuenca, dicha precipitación calculada por el método de las isoyetas es de 832 mm, de acuerdo a la investigación de Carrera, D., Guevara, P., Tamayo, L., Balarezo, A., Narvaez, C., Morocho, D, (2016), para la cuenca del río Ambi por el método aritmético se obtuvo una precipitación media de 788.49 mm, mientras que por el método de polígonos de Thiesen se calculó una precipitación de 864.25 mm, por lo que los valores de la precipitación media de la cuenca obtenidos en esta investigación concuerdan con otros estudios realizados en la zona, tomando en cuenta esta precipitación calculada por el método de isoyetas el coeficiente (a) es 0.106 para el cálculo del caudal máximo en todos los periodos de retorno.

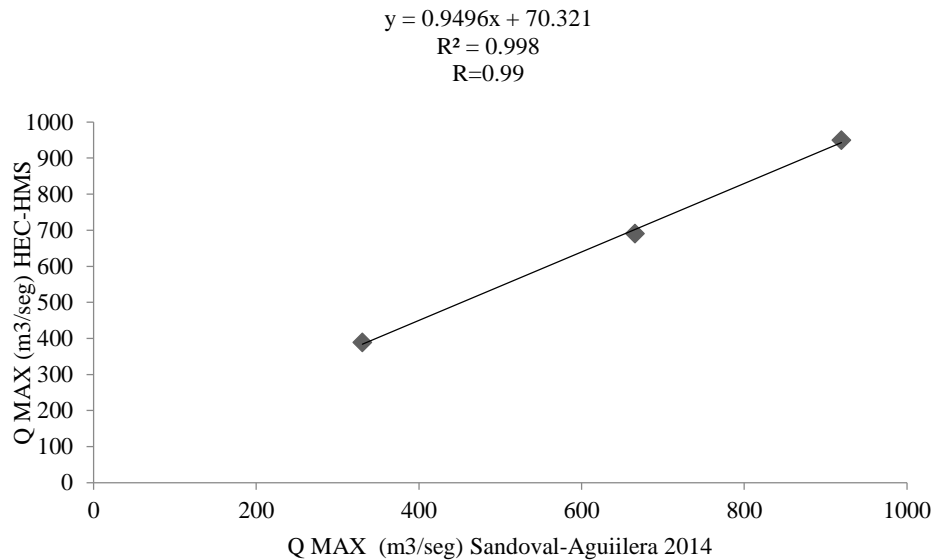
Se realizó una correlación entre los dos caudales calculados en donde en las abscisas se colocó el caudal calculado por el método de Sandoval y Aguilera, y en las ordenadas el obtenido por medio del programa HEC-HMS.

En la Tabla 5.4 se presentan los resultados obtenidos y el porcentaje de error entre ambos métodos, en el Gráfico 5 se presenta en grafico de dispersión y el valor de correlación R entre ambos métodos.

Tabla 5.4 Comparación de caudales método Sandoval -Aguilera y HEC HMS

| Tr | Método Sandoval y Aguilera 2015 | HEC-HMS | % ERROR |
|----|---------------------------------|-----------------------------|---------|
| | Q Max (m ³ /seg) | Q Max (m ³ /seg) | |
| 10 | 330.36 | 389.7 | 15.07 |
| 25 | 665.74 | 691.2 | 3.65 |
| 50 | 919.45 | 950 | 3.21 |

Fuente: Autores

Gráfico 5 Comparación de caudales máximos entre los métodos Sandoval-Aguilera y HEC- HMS

Fuente: Autores

Como se observa los resultados obtenidos en ambos modelos presentan valores cercanos para los tres períodos de retorno. El caudal obtenido con HEC-HMS ocupando el modelo del SCS presenta un valor mayor, la correlación de los resultados obtenidos es muy cercana a uno, por lo que se puede decir que la relación de los resultados es positiva intensa (Lind, D.A, Marchal, W.G, Mason, R.D., 2004)

5.3 Conclusiones

De la modelación hidrológica realizada en HEC-HMS a partir del método del SCS, se concluyó que esta metodología si es aplicable a las cuencas del Ecuador ya que se logró obtener resultados muy cercanos a los obtenidos con la metodología de Sandoval y Aguilera (2014) que considera todas las particularidades de las cuencas del Ecuador.

5.4 Referencias

A. B. L. Antonio. (2014). “Una revisión de la evaluación de la calidad de agua de los ríos de la provincia de Imbabura,”. Universidad Técnica Particular de Loja.

Cabrera, W. (2002). PROPUESTA DE MANEJO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO AMBI, PROVINCIA DE IMBABURA. Tesis de ingeniería Agroforestal. Universidad Tecnológica Equinoccial.

Carrera, D., Guevara, P., Tamayo, L., Balarezo, A., Narvaez, C., Morocho, D. (2016). Relleno de series anuales de datos meteorológicos mediante métodos estadísticos en la zona costera e interandina del Ecuador, y cálculo de la precipitación media . IDESIA CHILE.

Cereceda, R. (2008). Propuesta de un método para la construcción de curvas IDF en estaciones pluviométricas en Chile central . Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales .

Chow, V., Maidment, D., Mays, L. (1994). Hidrología Aplicada. Mc Graw Hill.

- Dueñas, C. (1997). Marco normativo vigente ante el riesgo de inundaciones. La protección civil ante el riesgo de inundaciones, 7.
- Estrada, V., y Pacheco, R. (2012). Modelación hidrológica con HEC-HMS en cuencas montañosas de la región oriental de Cuba. RIHA vol.33 no.1 La Habana.
- Flores, F. (2010). Manejo integral de la Cuenca Hidrográfica del Río Ambi ubicado en la Provincia de Imbabura entre las poblaciones de Atuntaqui y Otavalo, sector Cantón Cotacachi. Tesis de grado ingeniería Civil Universidad San Francisco de Quito.
- INAMHI. (2015). Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación. Actualización del estudio de lluvias intensas. Quito, Ecuador.
- Lind, D.A, Marchal, W.G, Mason, R.D. (2004). Estadística para Administración y Economía. Colombia: Alfaomega.
- Nania, L. (2007). Manual Básico de HEC- HMS3.0 y HEC GEO HMS 1.0. Cálculo de Caudales de Avenida con HEC-HMS y SIG.
- Red río Aburrá. (2011). Diseño y puesta en marcha de la red de monitoreo ambiental en la cuenca hidrográfica del río Medellín en jurisdicción del área metropolitana. Metodologías para la estimación de caudales, capítulo 6.
- Robedro, J. C. (2014). Cálculo de caudales de avenida. Universidad Politécnica de Madrid.
- Rojas, R. (2009). Hidrología aplicada al manejo de cuencas. Bogota: Universidad de los Andes, Facultad de ciencias forestales y ambientales.
- Sandoval, W., Aguilera, E. (Diciembre de 2014). Determinación de Caudales en cuencas con poca información Hidrológica. Revista Ciencia UNEMI No 2, 100-110.