



Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
SEDE MANABÍ**

CARRERA DE HIDRÁULICA

TRABAJO DE TITULACIÓN:

**SIMULACIÓN DE PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA USANDO UN
MODELO HIDROLÓGICO DISTRIBUIDO EN LA MICROCUENCA DE
LA MINA UBICADA EN MEMBRILLO**

PREVIO AL TÍTULO DE:

INGENIERA HIDRÁULICA

AUTORA:

MELISSA ANABEL ALCÍVAR COBEÑA

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:

MGTR. JOHN ENRIQUE FÉLIX MERA

ENERO 2020

CHONE – MANABÍ – ECUADOR

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de integración curricular, 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 la Normativa del Trabajo de Integración Curricular; en consecuencia, es apto para su presentación y sustentación.

Tutor

Ing. John Félix Mera, Mg.

C.I. 131363436-0

ACTA DE APROBACIÓN

El jurado examinador aprueba el presente trabajo de integración curricular en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí.

Tutor (Primer Lector)

Ing. John Félix Mera, Mg.

C.I. 131363436-0

Segundo Lector

Ing. Andy Giler Ormaza, Mg.

C.I. 131282032-5

Tercer Lector

Ing. José Alarcón Loor, Mg.

C.I. 130128820-1

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Este 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 soporte que ha sido debidamente citado en mi trabajo. Este trabajo es de total responsabilidad del autor, quien declara bajo juramento que ninguna sección de este trabajo de integración curricular infringe los derechos de autor de nadie.

Estudiante

Melissa Anabel Alcívar Cobeña.

C.I. 131335728-5

DECLARACIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a distribuir este manuscrito de investigación en medios físico y electrónicos con el fin de promover la divulgación de mis resultados a la comunidad científica y a la sociedad en general.

Adicionalmente autorizo 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.

Estudiante

Melissa Anabel Alcívar Cobeña.

C.I. 131335728-5

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a:

Dios por permitirme seguir adelante en cada uno de mis propósitos.

A mis padres, familiares, seres queridos.

A tres personas muy especiales para mí que me cuidan desde el cielo, mi abuelita Eulalia Cedeño,
mi abuelita Adelaida Cevallos mi abuelito Jacinto Malaquías Alcívar.

AGRADECIMIENTO

Me permito agradecer en las siguientes líneas a las personas que me brindaron su confianza y apoyo en el transcurso de mi carrera universitaria.

Agradezco a:

Dios por permitirme llegar a este punto tan importante de mi vida.

A mis padres, mi papi Robin Alcívar, a mi mami; Sully Cobeña, y a mi segunda madre; Jelma Cobeña, por apoyarme en mis estudios y siempre estar conmigo.

A mi hermano Smith por brindarme los ánimos con los que él cuenta.

A mi prima Fernanda por ofrecerme su apoyo incondicional.

A el joven Rudys Cusme por dedicarme su tiempo y ayuda.

A mis familiares.

Simulación mediante TETIS en la microcuenca La Mina

Resumen

Esta investigación mixta simuló la precipitación-escorrentía usando un modelo hidrológico distribuido en la microcuenca La Mina. Las simulaciones son muy importantes ya que con buenos resultados se puede determinar comportamientos de caudales y así tomar decisiones en obras hidráulicas. Siendo que el área de estudio en esta investigación no cuenta con estaciones, fue necesario instalar dos pluviómetros y un transductor de presión con el objetivo desarrollar dicha simulación mediante la utilización de un modelo llamado TETIS. Consecuentemente, se recolectaron datos de precipitaciones y caudales desde julio 26 de 2018 a enero 26 de 2019 con una escala temporal de 15 minutos. Además, se tomó como base la información topográfica, usos y tipos de suelo del área de estudio para la realización de los diferentes mapas (*inputs*) requeridos por el modelo, que cuentan con celdas de 50*50 metros. Sin embargo el modelo presenta la desventaja de no trabajar con datos de precipitación en las cuencas altas, lo que puede variar los resultados obtenidos. Los resultados determinan un caudal simulado de $0.599\text{m}^3/\text{s}$ que es menor al caudal observado de $3.418\text{m}^3/\text{s}$ provocando que el índice de *Nash-Sutcliffe Efficiency* –*NSE*– sea -0.0148. Esto permite concluir que el índice negativo refleja que el modelo utilizado no es el adecuado ya que la ubicación de los pluviómetros no considera toda el área de la microcuenca, por lo cual se recomienda reubicar los pluviómetros de manera estratégica para lograr abarcar toda el área de estudio.

Palabras clave: simulaciones hidrológicas distribuidas, microcuenca, modelo hidrológico TETIS, precipitación-escorrentía, caudal

Abstract

This mixed research simulated the rainfall-runoff process by using a distributed hydrological model at La Mina micro-basin. Simulations are highly important because based on good results, it is possible to determine river flow behaviour to make right decisions in hydraulic works. Given that the study area in research does not have any monitoring stations, it was necessary to install two rain gauges and a pressure transducer to develop a hydrological simulation by using the TETIS model. Consequently, rainfall and flow data were collected from 26 July 2018 through 26 January 2019 on a 15-minute timescale. Furthermore, topographic information, uses and soil types of the study area were taken as key for the realization of different maps (inputs) that were required by the model, which has 50- by 50-meter cells. However, the general drawback of this model is that it does not work with rainfall data collected from upper basins, all of which may vary the results. The findings determine a simulated flow of 0.599m³/s that is lower than the observed flow of 3.418m³ /s, which makes the Nash-Sutcliffe Efficiency –NSE- Index corresponds to -0.0148. Hence, it is possible to conclude that the negative index reveals that the model used is not appropriate for this study since the location of rain gauges does not cover all the micro-basin area; so, it is recommended to relocate the rain gauges strategically to cover the complete study area.

Keywords: distributed hydrologic simulations, micro-basin, TETIS

hydrological model, rainfall-runoff, flow

Tabla de Contenidos

Capítulo I Introducción e información general.....	1
Introducción	1
Capítulo II Problemática	3
Planteamiento del problema.....	3
Capítulo III Materiales y Métodos.....	5
Información de base.....	5
Elección de la metodología y escala.....	6
Descripción del modelo utilizado.....	9
Parámetros de entrada al modelo y caracterización de la microcuenca.....	11
Información topográfica.....	12
4.4.2. Características del terreno.....	14
Metodología utilizada	16
Velocidad del agua.....	26
Información meteorológica.....	28
Capítulo IV Resultados.....	29
Discusión.....	38
Conclusiones.....	39
Bibliografía	40

Simulación mediante TETIS en la microcuenca La Mina

Lista de tablas.

Tabla 1. Tipo de suelos (calicata 1 – estrato 1). Adaptado de (Donoso S & Zambrano L, 2018).	14
Tabla 2. Tipo de suelos (calicata 1 – estrato 2). Adaptado de (Donoso S & Zambrano L, 2018).	15
Tabla 3. Tipo de suelos (calicata 2 – estrato 1). Adaptado de (Donoso S & Zambrano L, 2018).	15
Tabla 4. Tipo de suelos (calicata 2 – estrato 2). Adaptado de (Donoso S & Zambrano L, 2018).	16
Tabla 5. Obtención del HU. Elaboración propia.....	17
Tabla 6. Obtención de la capacidad de infiltración KS. Elaboración propia.....	19
Tabla 7. Obtención de la capacidad de percolación KP. Elaboración propia.....	20
Tabla 8. Obtención de la conductividad hidráulica horizontal saturada del estrato rocoso. KPS. Elaboración propia.....	23
Tabla 9. Coordenadas de las estaciones utilizadas. Elaboración propia.....	28

Simulación mediante TETIS en la microcuenca La Mina

Lista de figuras

Figura 1. Delimitación de la microcuenca La Mina. Elaboración propia.	5
Figura 2. Clasificación de los modelos hidrológicos de acuerdo a la naturaleza de los algoritmos básicos. (Terán C, 2018).	8
Figura 3. Esquema conceptual de Tanques a nivel de celda del modelo TETIS. (Universidad Politécnica de Valencia, 2014)	9
Figura 4. Movimiento horizontal propuesto por el modelo TETIS. (Universidad Politécnica de Valencia, 2014).....	10
Figura 5. Elementos del sistema, áreas, umbrales y componentes de la escorrentía. (Universidad Politécnica de Valencia, 2014)	11
Figura 6. Microcuenca La Mina. Elaboración propia.	12
Figura 7. Mapa de pendientes. Elaboración propia.....	13
Figura 8. Mapa de direcciones de flujo. Elaboración propia.	13
Figura 9. Mapa de flujo acumulado. Elaboración propia.....	14
Figura 10. Capacidad de almacenamiento estático HU. Elaboración propia.....	17
Figura 11. Clases texturales de suelos. (Loyola C, Rivas J, & Gacitúa M, 2014).	18
Figura 12. Coeficiente de permeabilidad por el tipo de suelo. (Campo & Boada, 2018).	18
Figura 13. Capacidad de infiltración KS. Elaboración propia.	19
Figura 14. Capacidad de percolación KP. Elaboración propia.	20
Figura 15. Conductividad hidráulica para el interflujo KSS. Elaboración propia.	21
Figura 16. Conductividad hidráulica saturada del acuífero KSA. Elaboración propia.....	22

Simulación mediante TETIS en la microcuenca La Mina

Figura 17. Conductividad hidráulica saturada de estrato rocoso KPS. Elaboración propia.	24
Figura 18. Pendiente. Elaboración propia.	25
Figura 19. Velocidad. Elaboración propia.	27
Figura 20. Estaciones Pluviométricas. Elaboración propia.	28
Figura 21. Valores referenciales del criterio de Nash-Sutcliffe. (Cabrera, 2012).	30
Figura 22. Estados Iniciales. TETIS.	30
Figura 23. Factores correctores del modelo TETIS.	31
Figura 24. Datos de los resultados de la calibración.	32
Figura 25. Resultados de la calibración.	33
Figura 26 Based Hydrograph Analysis Tool	34
Figura 27. Comprobación de los resultados de la calibración mediante Based Hydrograph Analysis Tool.	35
Figura 28. Resultados de la calibración para un periodo de tiempo menor.	36
Figura 29. Comprobación de los resultados de la calibración para un periodo de tiempo menor mediante Based Hydrograph Analysis Tool.	37

Capítulo I

Introducción e información general

Introducción

La importancia de una adecuada gestión del recurso hídrico forma parte del abanico de tópicos actuales, debido a que es un recurso de vital importancia para la vida (Restrepo T, 2004). En la actualidad los estudios que se han realizado con respecto a este recurso tienen un enfoque en cuencas grandes, debido a la cantidad de agua que poseen; sin embargo, estas cuencas cuentan con grandes caudales gracias a las aportaciones de sub cuencas y microcuencas, que tienen un grado de importancia muy alto y cuya afectación es directamente proporcional con las cuencas y embalses (Donoso S & Zambrano L, 2018).

Existen diferentes herramientas computacionales para realizar simulaciones de precipitación-escorrentía, entre ellos TopModel, Hydro-BID, Hec-Hms y Tetis. En la actualidad se ha dado a conocer de una manera más notoria el BID (Banco internacional de Desarrollo). Este cuenta con un grupo de herramientas que permiten realizar simulaciones de cuencas como lo es Hydro-BID. (Rineer , Bruhn, Miralles, & Muñoz, 2014). Cada herramienta es diferente con parámetros relacionados a los aspectos de la zona de estudio. El modelo seleccionado para realizar esta investigación fue el modelo TETIS que nos proporciona la opción de realizar calibraciones de manera manual y automática (Ramírez , 2012).

La provincia de Manabí cuenta con dos grandes represas; Poza Honda y La Esperanza. La Esperanza esta interrelacionada mediante dos trasvases con los embalses de Daule Peripa y Poza Honda. Esta represa contiene el agua aportante de los ríos carrizal y Barros en su paso por el cantón Bolívar, con todos los caudales de las microcuencas que

Simulación mediante TETIS en la microcuenca La Mina

se encuentran en este Cantón, como lo es el caso de La Mina. La represa La Esperanza aportara agua para riego a los cantones manabitas de Bolívar, Tosagua, Junín y Chone con un área potencial de riego de 13.268 hectáreas (Mendoza Bruckne, 2011)

El presente trabajo se ha enfocado en la microcuenca La Mina, cuenta con un perímetro de 12.91km, una longitud axial de 4.246km, un ancho promedio de 1.825km, coeficiente de compacidad de 1.308, coeficiente de forma de 0.565, numero de orden de la microcuenca de 4, densidad de drenaje de 2.073 (Donoso S & Zambrano L, 2018). Con el fin de obtener información de la microcuenca se trabajó con un modelo hidrológico que nos brinde la oportunidad de predecir caudales. Con resultados favorables el modelo pueden ser utilizados para para gestionar el recurso aguas abajo, de manera que se pueda gestionar adecuadamente el recurso y predecir las avenidas máximas en los afluentes de la cuenca (Campo & Boada, 2018).

Esta investigación está conformada por cuatro capítulos, los cuales son: capítulo I introducción e información general, en donde se proporcionan datos básicos del proyecto realizado. El capítulo II denominado problemática, expresa los inconvenientes que se presentan en la actualidad para desarrollar este tipo de investigaciones, también los inconvenientes que se presentan en el manejo de los recursos hídricos. En el capítulo III denominado materiales y métodos se presentan los equipos que se utilizaron y su uso en la investigación, además la metodología que se utilizó para obtener los parámetros que requiere TETIS. Y en el capítulo IV denominado Resultados se presentan los resultados de la simulación, la discusión y además las conclusiones del estudio realizado.

Capítulo II

Problemática

Planteamiento del problema

En la actualidad el tema de los recursos hídricos resalta constantemente debido a su uso no controlado, provocando que se genere la denominada “crisis del agua” (Restrepo T, 2004). En zonas áridas es necesario contar con una adecuada gestión de los recursos hídricos; técnicos en estas áreas dan a conocer que el problema de escasez del agua no es el único, sino también la inapropiada gestión hídrica (Francisco, 2013). Los modelos hidrológicos dan la posibilidad de generar componentes del ciclo hidrológico de manera digital, lo que permite al investigador realizar diversos ensayos que simulen su comportamiento, con estos resultados se pueden gestionar mejor los recursos (Onarte & Aguilar, 2003).

El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) es el encargado de procesar y registrar los datos meteorológicos e hidrológicos del país, sin embargo, debido a su limitada disponibilidad tanto presupuestaria como de personal, existe un déficit de datos tomados en una alta resolución temporal (Calles, 2016). Otro aspecto negativo es que muchas personas no se rigen a la Ley de Recursos Hídricos, y se basan en variedades de los derechos de agua locales y la independencia regulatoria de las organizaciones lo que genera una gran incertidumbre a los encargados de redactar las políticas, provocando que estas no se elaboren de manera correcta (Blones R, Guevara A, & Hendriks J, 2016).

En hidrología uno de los problemas principales es la falta de información de alta resolución temporal, generalmente los diseños hidrológicos requieren de series históricas de caudales, pero la red de estaciones que existe no es lo suficientemente amplia para abarcar las microcuencas existentes. Para obtener datos representativos se instalaron dos

Simulación mediante TETIS en la microcuenca La Mina

pluviómetros y un transductor de presión en la microcuenca La Mina y poder adaptar la alternativa de realizar simulaciones (Terán C, 2018). Es necesario establecer información de alta resolución temporal, de manera que se pueda establecer una correcta relación precipitación-escorrentía en las cuencas aportantes de los primeros embalses del país. Este es el caso de la microcuenca La Mina aportante a la represa La Esperanza principal embalse de la provincia de Manabí.

Capítulo III

Materiales y Métodos

Información de base

El sitio de Membrillo se encuentra situado en el Cantón Bolívar de la provincia de Manabí, en este sector se han realizado pocas investigaciones o investigaciones nulas con respecto a las microcuencas, por tal motivo se escogió una microcuenca que posee un caudal constante incluso en época de estiaje, considerando que este sea afluente del embalse “La Esperanza” la microcuenca seleccionada fue la de “La Mina”, para poder trabajar se realizó la descarga del DEM (modelo de elevación digital) mediante Earth Explorer. Con estos datos se pudo delimitar la microcuenca por medio del programa ArcMap con un tamaño de celda de 30*30 metros (Donoso S & Zambrano L, 2018).

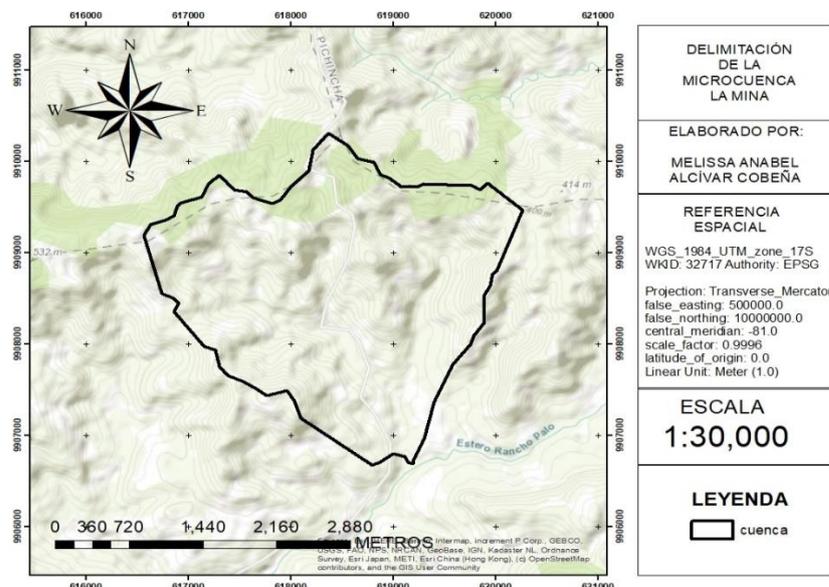


Figura 1. Delimitación de la microcuenca La Mina. Elaboración propia.

Los datos que se utilizaron en los parámetros de uso de suelos se obtuvieron de la tesis de Paul Donoso y Luis Zambrano titulada “Caracterización Hidrológica y Morfológica de la microcuenca del estero La Mina que alimenta el embalse La Esperanza”. Los datos observados para la simulación fueron recolectados de manera in situ mediante un transductor de presión y dos pluviómetros. El transductor de presión se

Simulación mediante TETIS en la microcuenca La Mina

encuentra ubicado una zona libre de impurezas para obtener una mejor toma de datos. Por medio de este equipo se logró obtener datos de presión y temperatura, con estos datos y la ecuación de Qhec-ras (ecuación 1) se logró calcular los caudales (Alarcón G & Zambrano V, 2019).

$$y = 3.0388(x^2) - 1.7252(x) - 0.7124$$

Ecuación 1

Los datos de precipitación se obtuvieron mediante los pluviómetros de presión los cuales se encuentran situados en cotas altas de la microcuenca, en un área que esté libre de árboles para que no se vea afectado la recolección de los datos de precipitación (Alarcón G & Zambrano V, 2019).

Elección de la metodología y escala

Se realizó un diagnóstico de la información existente en la zona previo a la selección del modelo, la microcuenca cuenta con dos pluviómetros y un transductor de presión que nos proporciona la altura de la lámina de agua que se traduce con la ecuación 1 a caudal. Es indispensable que en la zona de estudio exista un mínimo de una estación hidrológica que cuente con caudales observados para poder verificar los caudales que resulten de la simulación.

Existen diversos modelos que se pueden clasificar en dos grandes grupos; los cuales son determinísticos y estocásticos. Los determinísticos tienden a estar relacionados por formulas empíricas que tienen una salida específica para cierta entrada, a diferencia de los modelos estocásticos cuentan con muchas salidas o un rango de salidas ya que estos funcionan con la estadística y de las probabilidades (Terán C, 2018).

Simulación mediante TETIS en la microcuenca La Mina

Top Model es un modelo determinístico, trabaja de forma conceptual semi-distribuida con parámetros que se pueden obtener en campo y también pueden ser calibrados, es capaz de pronosticar la escorrentía (Morales, 2012).

Hydro BID es un modelo determinístico que trabaja con el GWLF (Factor Estándar de Carga de Cauces Generalizados), utiliza información de uso de tierras, tipos de suelos, precipitación y temperatura dentro del área de estudio, así como los flujos de corrientes observados para usarlos en calibración, también brinda la posibilidad de obtener la disponibilidad hídrica (Mamani, 2018).

HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center- Hydrologic Modeling System) es un modelo lluvia-escorrentía determinístico, simula hidrogramas de escorrentía que se generan en un lugar específico de la red fluvial como resultado de una precipitación (López J, y otros, 2012).

El modelo Tetis es un modelo determinístico, está situado entre conceptuales y físicamente basado. Conceptual ya que toma ecuaciones simplificadas que describen los procesos físicos. Físicamente basado ya que describe los fenómenos físicos con una expresión matemática (Terán C, 2018).

La presente investigación se desarrolló con el modelo TETIS, con el fin de poder obtener caudales simulados y determinar el grado de factibilidad con respecto a los otros modelos que se mencionaron previamente, los cuales han sido mayormente trabajados en diferentes investigaciones, a diferencia TETIS que es poco conocido y son pocas las investigaciones realizadas con dicho modelo en el país.

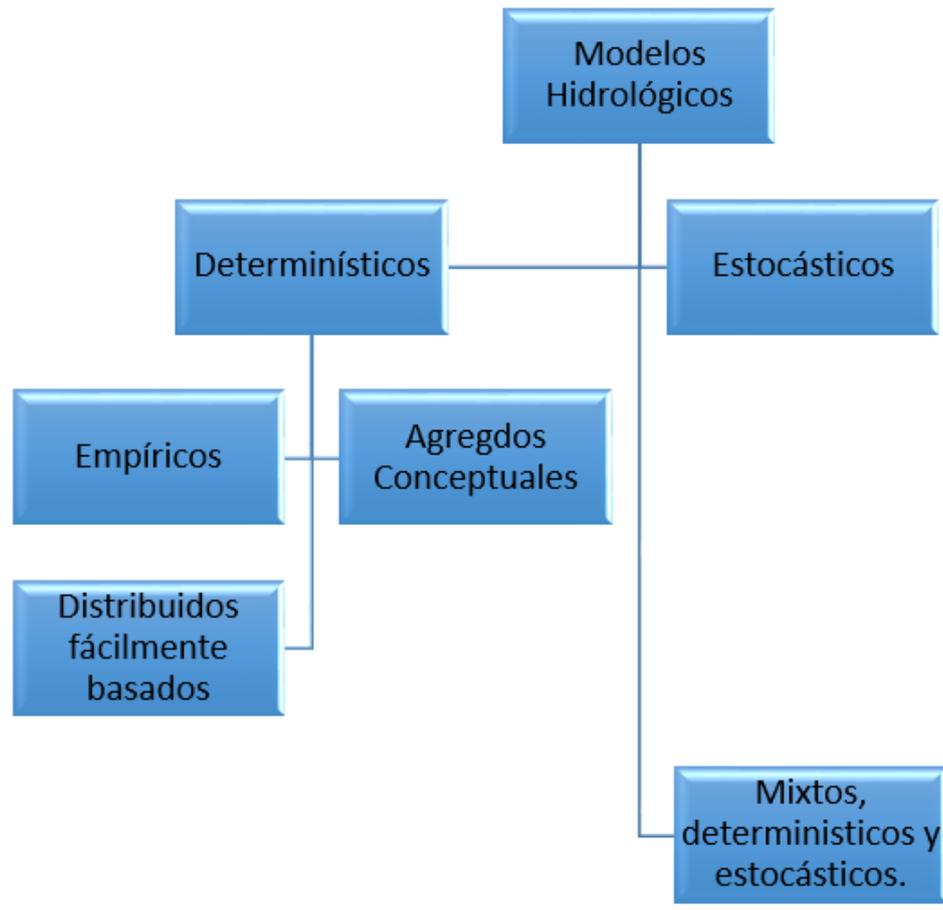


Figura 2. Clasificación de los modelos hidrológicos de acuerdo a la naturaleza de los algoritmos básicos. (Terán C, 2018).

La escala de celdas con las que se va a trabajar es un criterio muy importante debido a que si trabajamos con celdas muy grandes no se representa la variabilidad indicada, y por el contrario si la celda es muy pequeña el modelo puede tardar mucho en correr (Terán C, 2018).

La selección del tamaño de celdas se la realizó en base a las indicaciones que se encuentran en el manual del modelo, el cual nos indica que el terreno cuenta con una relación directa con la disponibilidad de la red de drenaje, como cada microcuenca presenta características diferentes no existe un tamaño de celda global, se considera que la celda debe de ser dos veces el ancho del cauce de la microcuenca, La Mina tiene un ancho de cauce de 25 metros, por tal motivo en el modelo se trabajó con celdas de 50*50 metros (Universidad Politécnica de Valencia, 2014).

Descripción del modelo utilizado

El modelo Tetis considera muy importante el ciclo hidrológico, sin embargo, tiene un enfoque principal en el tema de la escorrentía, ya que aquí nos presentan los valores de los caudales que en la escorrentía se encuentran como: las Cárcavas, las Laderas y el Cauce. En este modelo la escorrentía se basa en la realización de un Balance Hídrico en cada celda, suponiendo que el agua se distribuye en seis tanques de almacenamiento que se enlazan entre sí (Universidad Politécnica de Valencia, 2014).

Debido a que la microcuenca de estudio se encuentra en Manabí que es una zona cálida, no existe la presencia de nieve, y por tal motivo no se trabajó con este parámetro.

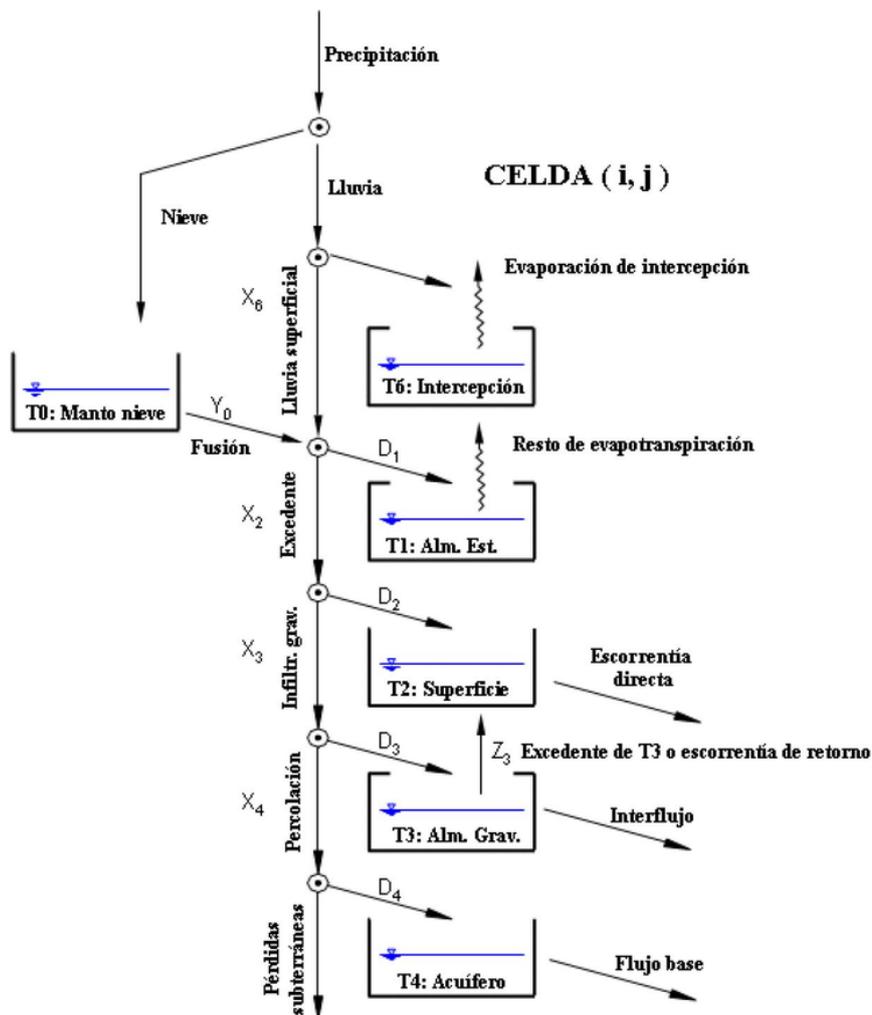


Figura 3. Esquema conceptual de Tanques a nivel de celda del modelo TETIS. (Universidad Politécnica de Valencia, 2014)

Según la Universidad Politécnica de Valencia (2014) “*El flujo entre los tanques es función del agua almacenada en ellos, por lo que las variables de estado son los volúmenes almacenados en cada uno de los tanques. La función que relaciona el flujo con estas variables de estado es función del esquema conceptual adoptado, del tipo de tanque y de las características morfológicas de la celda e hidrológicas del suelo en la misma*”

Básicamente el modelo TETIS cuenta con una malla que se encuentra relacionada en tres dimensiones, los cuales hacen referencia a los tanques dos, tres y cuatro que son para la generación del caudal. Al estar en celdas se puede observar la forma de elevación del modelo digital en los tres estratos correspondientes. En el tanque dos se encuentra la escorrentía superficial o flujo rápido, en el tanque tres el interflujo y en el tanque cuatro el flujo base (Terán C, 2018).

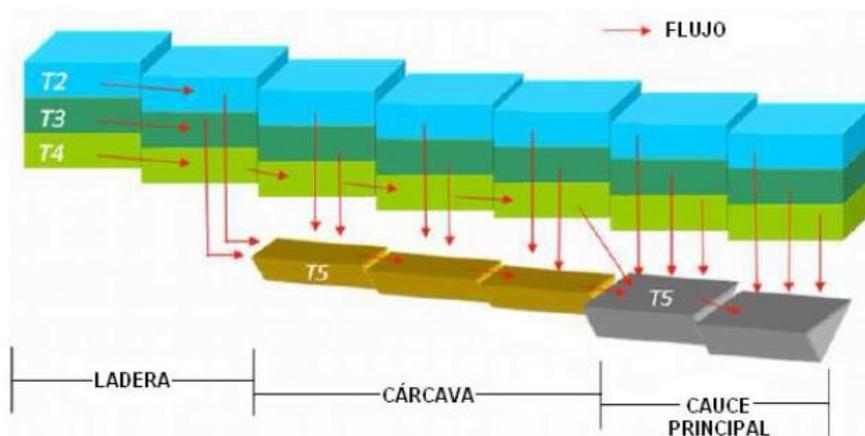


Figura 4. Movimiento horizontal propuesto por el modelo TETIS. (Universidad Politécnica de Valencia, 2014)

Existe un área denominada umbral para el interflujo que se da cuando se produce la escorrentía directa en las laderas, es cuando se deja de formar la escorrentía ya que se da un movimiento vertical convirtiéndolo en interflujo el cual se da en un nivel de cárcava,

Simulación mediante TETIS en la microcuenca La Mina

así mismo las cárcavas van acumulando todo lo anterior resultando un flujo más profundo que es el flujo base.



Figura 5. Elementos del sistema, áreas, umbrales y componentes de la escorrentía. (Universidad Politécnica de Valencia, 2014)

Parámetros de entrada al modelo y caracterización de la microcuenca

Para dar una mayor fluidez a la realización de la simulación del modelo se tomó en consideración lo antes mencionado respecto a las directrices del tamaño de celdas, se logró establecer que el tamaño de celda adecuado para esta microcuenca con el modelo TETIS es de 50 metros (Campo & Boada, 2018).

Simulación mediante TETIS en la microcuenca La Mina

Información topográfica

Con el DEM (modelo de elevación digital) descargado mediante (EarthExplorer), con una resolución de 30 metros de tamaño de celda se realizó la interpolación a un modelo de 50 metros de tamaño de celda. Con este recurso se generaron los mapas de: pendientes, dirección de flujo y flujo acumulado.

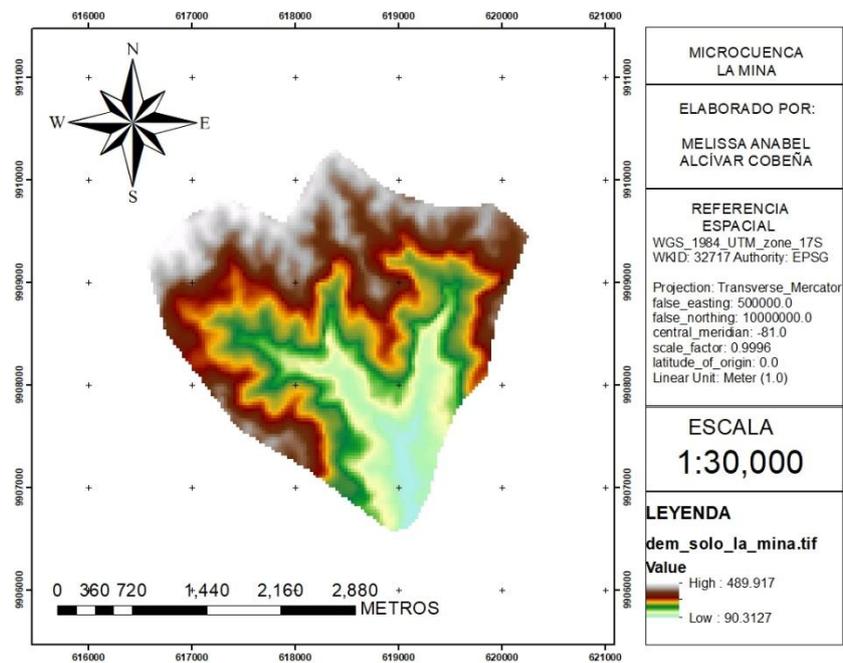


Figura 6. Microcuenca La Mina. Elaboración propia.

Simulación mediante TETIS en la microcuenca La Mina

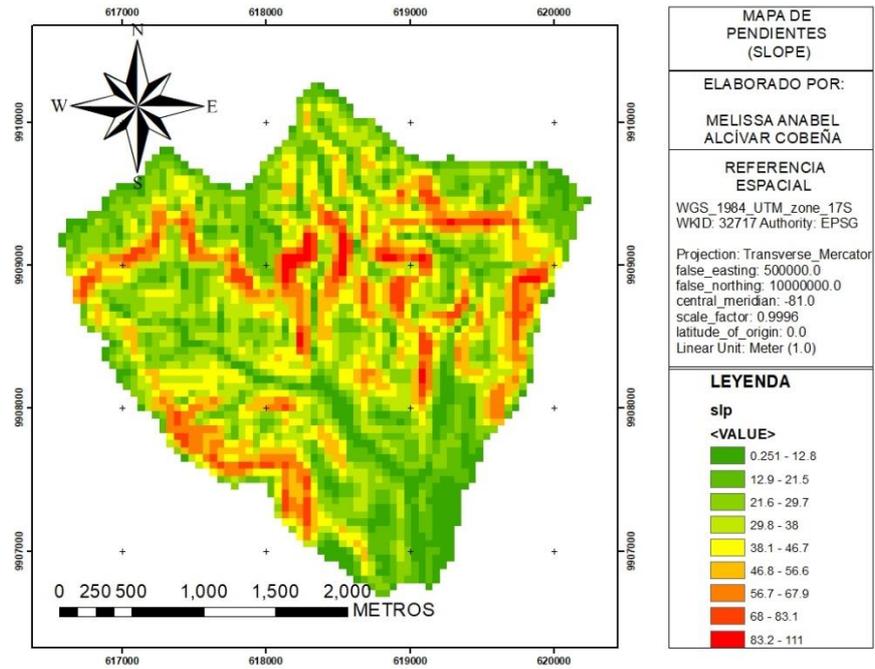


Figura 7. Mapa de pendientes. Elaboración propia.

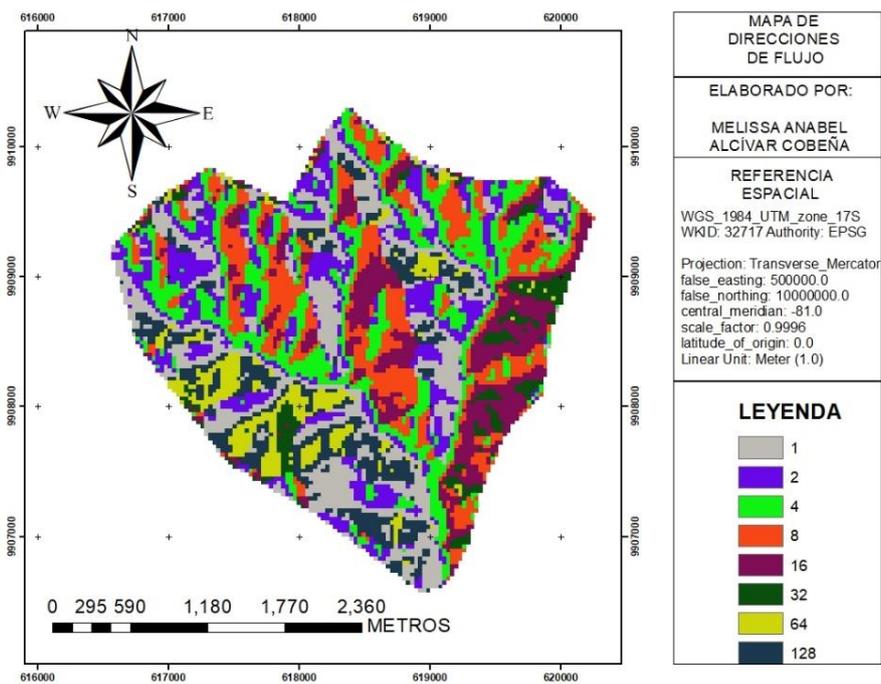


Figura 8. Mapa de direcciones de flujo. Elaboración propia.

Simulación mediante TETIS en la microcuenca La Mina

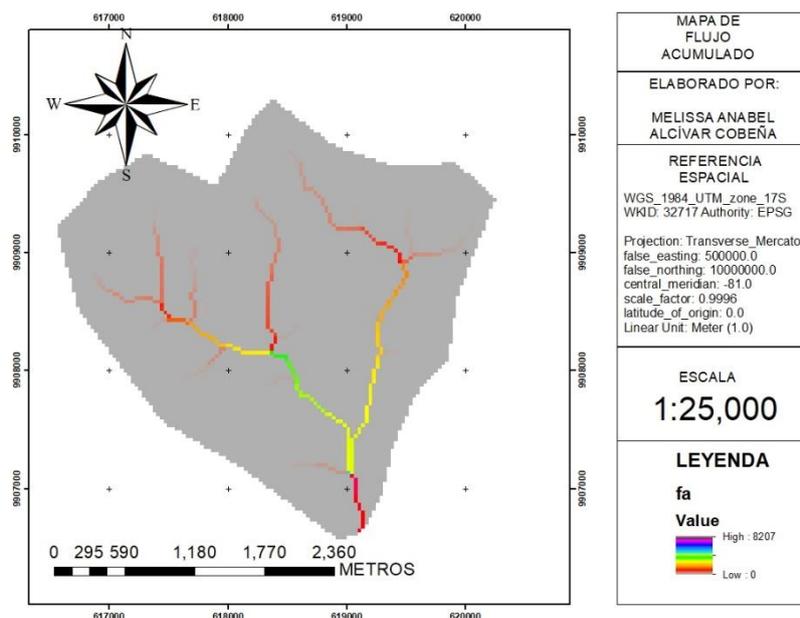


Figura 9. Mapa de flujo acumulado. Elaboración propia.

4.4.2. Características del terreno

La microcuenca La Mina se encuentra ubicada en el sitio Membrillo del Cantón Bolívar de la provincia de Manabí. En la microcuenca se había realizado previamente un análisis de suelo mediante calicatas en las partes alta media y baja de la microcuenca. Los resultados de los análisis fueron los siguientes:

Tabla 1. Tipo de suelos (calicata 1 – estrato 1). Adaptado de (Donoso S & Zambrano L, 2018).

Nombre típico: Limo de alta plasticidad	
Resultados y calificación	
Humedad natural	48%
Límites de Atterberg	
Límite líquido LL	64%
Límite plástico LP	41%
Índice de plasticidad IP	23%
Análisis Granulométrico	
Grava	0%
Arena	8%
Finos	92%
Clasificación SUCS: MH	
Se presenta como suelo limoso de arena fina de alta plasticidad, inaceptable en cimentaciones o bases (hinchable), saturado o con porcentaje moderado de humedad natural presente, color gris verdoso, con estructura muy blanda.	

Tabla 2. Tipo de suelos (calicata 1 – estrato 2). Adaptado de (Donoso S & Zambrano L, 2018).

Nombre típico: Limo de alta plasticidad	
Resultados y calificación	
Humedad natural	36%
Límites de Atterberg	
Límite líquido LL	52%
Límite plástico LP	29%
Índice de plasticidad IP	23%
Análisis Granulométrico	
Grava	0%
Arena	10%
Finos 92%	90%
Clasificación SUCS: MH Se presenta como suelo limoso de arena fina de alta plasticidad, inaceptable en cimentaciones o bases (hinchable), saturado o con porcentaje moderado de humedad natural presente, color café verdoso, con estructura muy blanda, y nivel de permeabilidad deficiente.	

Tabla 3. Tipo de suelos (calicata 2 – estrato 1). Adaptado de (Donoso S & Zambrano L, 2018).

Nombre típico: Arcilla de alta plasticidad	
Resultados y calificación	
Humedad natural	39%
Límites de Atterberg	
Límite líquido LL	58%
Límite plástico LP	27%
Índice de plasticidad IP	31%
Análisis Granulométrico	
Grava	0%
Arena	13%
Finos 92%	87%
Clasificación SUCS: CH Se presenta como suelo arcilloso de alta plasticidad, inaceptable en cimentaciones (hinchable), nivel de permeabilidad baja, con baja facilidad de tratamiento en obra.	

Simulación mediante TETIS en la microcuenca La Mina

Tabla 4. Tipo de suelos (calicata 2 – estrato 2). Adaptado de (Donoso S & Zambrano L, 2018).

Nombre típico: Limo Arenoso	
Resultados y calificación	
Humedad natural	29%
Límites de Atterberg	
Límite líquido LL	44%
Límite plástico LP	27%
Índice de plasticidad IP	17%
Análisis Granulométrico	
Grava	0%
Arena	31%
Finos 92%	69%
Clasificación SUCS: ML Se presenta como suelo limo arenoso de baja plasticidad, inaceptable en pavimentos, licuable, nivel moderado para facilidad de tratamiento en obra, pero deficiente en niveles de permeabilidad.	

Metodología utilizada

Para realizar la simulación lo primero que se realizó fue la descarga e instalación del software o modelo hidrológico TETIS en la página oficial, se llenó los datos necesarios y luego se realizó la descarga del modelo con la versión 8.3.0 ya que es la que no presenta irregularidades en el momento de realizar la corrida del software. En el momento que se realiza la descarga viene dos manuales; uno es el manual de usuario y el otro es la descripción del modelo, además de un ejemplo práctico. Posteriormente se descargó el DEM de earth explorer. Se trabajó con el software ArcMap en su versión 10.3.

Para el parámetro **HU** (La capacidad máxima de almacenamiento estático en la capa superior del suelo) en este punto el agua que se conduce por la cuenca se emerge mediante la evapotranspiración, por tal motivo no es considerada en el porcentaje de agua de escorrentía (Universidad Politécnica de Valencia, 2014). Se generó con el software ArcMap teniendo en consideración las altitudes de la microcuenca y la evapotranspiración, mediante una pequeña relación para poder generar el mapa correspondiente.

Tabla 5. Obtención del HU. Elaboración propia.

ALTURAS		EVAPOTRANSPIRACIÓN	
489.000	Msnm	3.380	Mm
473.111	Msnm	x	Mm
93.000	Msnm	4.410	Mm
396.000		-1.030	
15.889		3.380	- x
3.380	- x	=	-0.041
	X	=	3.421
$x=3.38-(489-z)*(-1.03)/(396)$			

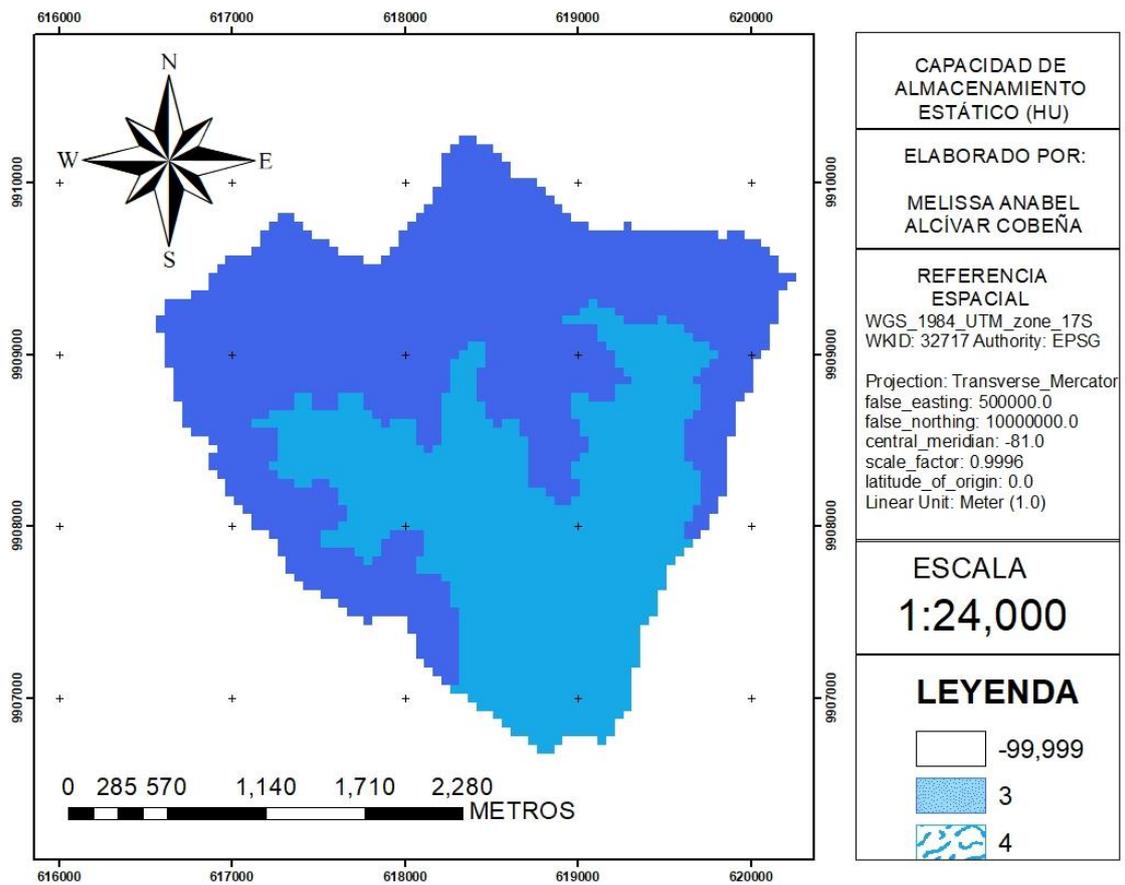


Figura 10. Capacidad de almacenamiento estático HU. Elaboración propia.

Simulación mediante TETIS en la microcuenca La Mina

El parámetro de **KS** (Capacidad de infiltración en el suelo) hace referencia a la infiltración gravitacional, (Terán C, 2018). Se denomina así a la máxima cantidad de agua que puede infiltrarse en el suelo por unidad de tiempo en un momento determinado (Martínez A, Pando V, Del Rio J, & Navarro J, 2006).

Nombres de los suelos (textura general)	Arenoso	Limoso	Arcilloso	Clase textural
Suelos arenosos (textura gruesa)	86-100	0-14	0-10	Arenoso
	70-86	0-30	0-15	Franco arenoso
Suelos francos (textura moderadamente gruesa)	50-70	0-50	0-20	Franco arenoso
Suelos francos (textura mediana)	23-52	28-50	7-27	Franco
	20-50	74-88	0-27	Franco limoso
	0-20	88-100	0-12	Limoso
Suelos francos (textura moderadamente fina)	20-45	15-52	27-40	Franco arcilloso
	45-80	0-28	20-35	Franco arenoso arcilloso
	0-20	40-73	27-40	Franco limoso arcilloso
Suelos arcillosos (textura fina)	45-65	0-20	35-55	Arcilloso arenoso
	0-20	40-60	40-60	Arcilloso limoso
	0-45	0-40	40-100	Arcilloso

Figura 11. Clases texturales de suelos. (Loyola C, Rivas J, & Gacitúa M, 2014).

Tipo de suelo	Coef Permeab K
ARCILLO-ARENOSO	0,9
ARCILLO-LIMOSO	0,25
ARCILLOSO	0,05
FRANCO	1,3
FRANCO ARCILLO-LIMOSO	0,8
FRANCO-ARCILLOSO	0,8
FRANCO ARENOSO	2,6
FRANCO LIMOSO	1
LIMOSO	0,9

Figura 12. Coeficiente de permeabilidad por el tipo de suelo. (Campo & Boada, 2018).

Simulación mediante TETIS en la microcuenca La Mina

Tabla 6. Obtención de la capacidad de infiltración KS. Elaboración propia.

ALTURAS		INFILTRACIÓN	
489.000	Msnm	177.500	mm/h
473.111		X	
93.000	Msnm	3.607	mm/h
396.000		173.894	
15.889		177.500	- x
177.500	- x	=	6.977
	X	=	170.523
$x=177.5-(489-z)*(173.8935)/(396)$			

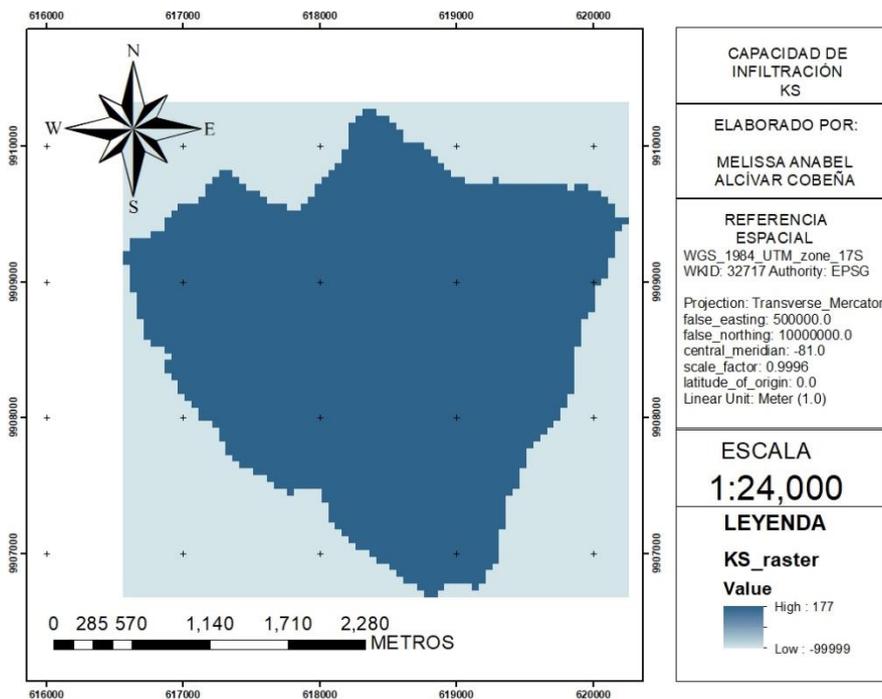


Figura 13. Capacidad de infiltración KS. Elaboración propia.

El parámetro **KP** (capacidad de percolación del sustrato), la percolación es el movimiento en dirección vertical del agua o en su defecto de una sustancia líquida mediante poros de una capa de suelo que sea permeable (Universidad Tecnológica de Panamá, 2006). Viene expresado en mm/h.

Tabla 7. Obtención de la capacidad de percolación KP. Elaboración propia.

ALTURAS		PERCOLACIÓN	
489	Msnm	159	mm/h
473.1111		X	
93	Msnm	9.3058	mm/h
396		149.6942	
15.8889		159	- x
159	- x	=	6.00625297
	X	=	152.993747
$x=159-(489-z)*(149.6942)/(396)$			

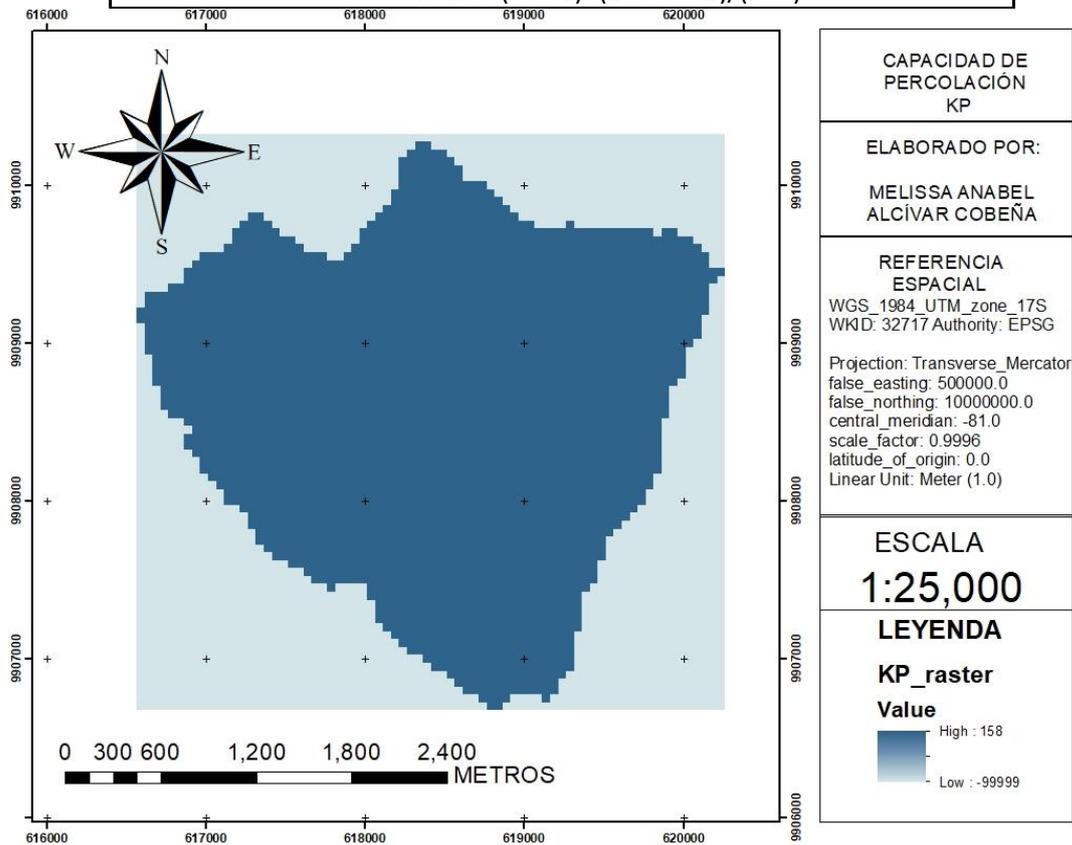


Figura 14. Capacidad de percolación KP. Elaboración propia.

Simulación mediante TETIS en la microcuenca La Mina

El parámetro **KSS** (La conductividad hidráulica para el interflujo) este es un parámetro importante, representa la trayectoria del agua sub superficial o subterránea lo que causa que su cuantificación sea poco accesible representando de esta manera una incertidumbre (Barbecho & Calle). Viene expresada en mm/h por su complicación en la obtención se duplicó del KS, entonces $KSS=KS$

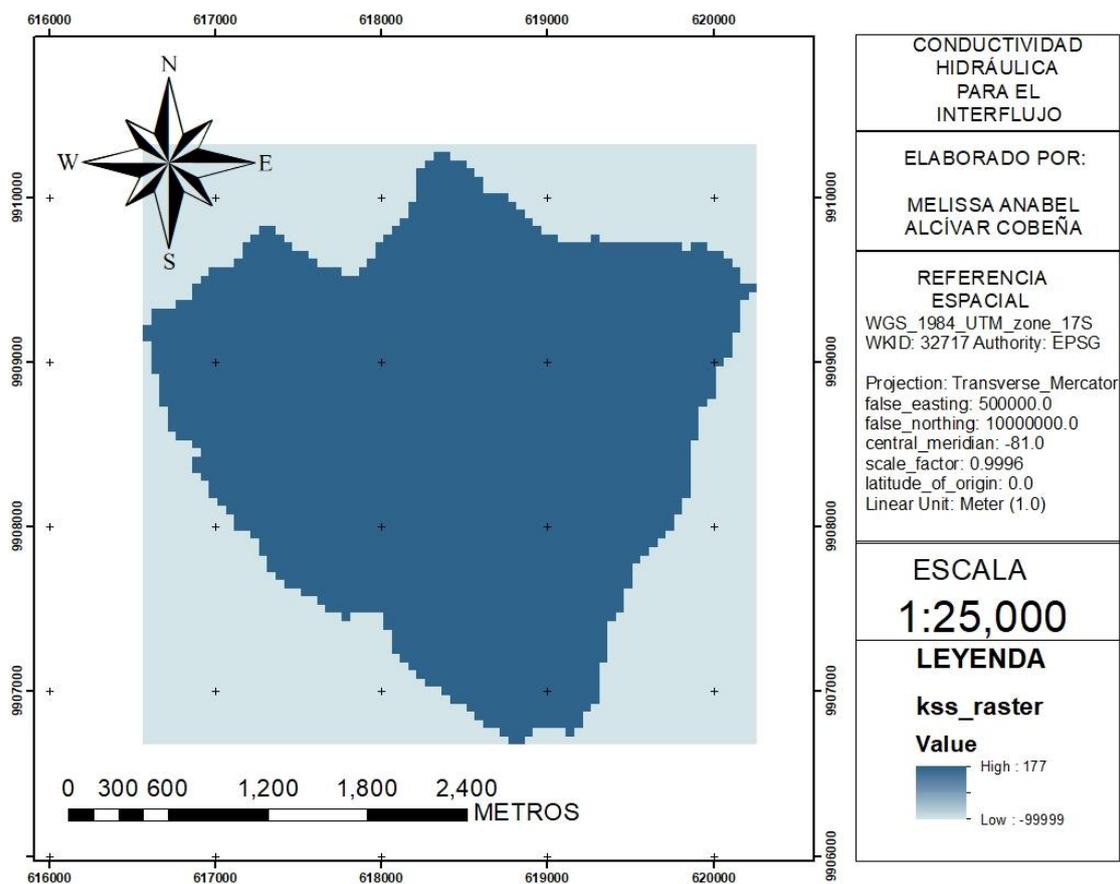


Figura 15. Conductividad hidráulica para el interflujo KSS. Elaboración propia.

Simulación mediante TETIS en la microcuenca La Mina

El parámetro **KSA** (La conductividad hidráulica saturada del acuífero) viene expresada en mm/h y se lo duplicó del KP, entonces $KSA=KP$

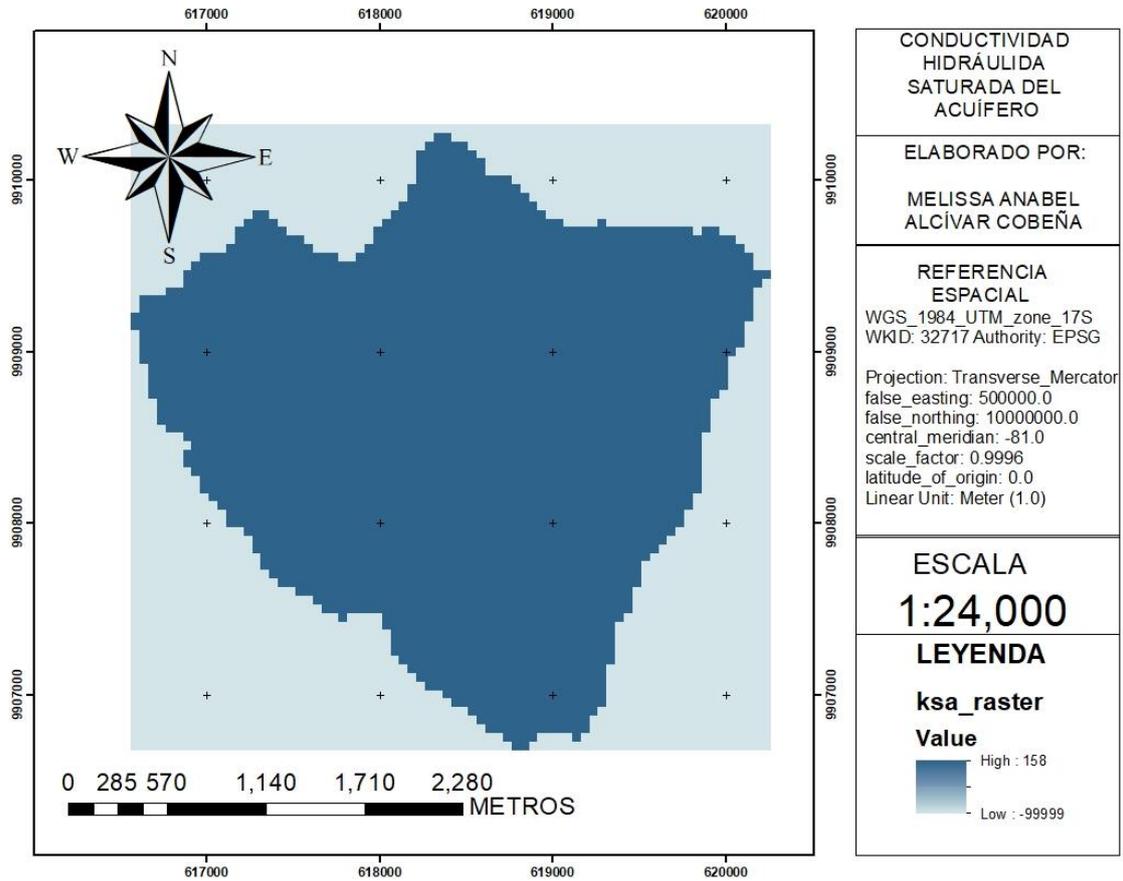


Figura 16. Conductividad hidráulica saturada del acuífero KSA. Elaboración propia.

Simulación mediante TETIS en la microcuenca La Mina

El parámetro **KPS** (Conductividad hidráulica horizontal saturada del estrato rocoso). A falta de datos se estiman en función de K_p , entonces $K_{sa}=K_p$.

Tabla 8. Obtención de la conductividad hidráulica horizontal saturada del estrato rocoso. KPS. Elaboración propia.

ALTURAS		CAPACIDAD DE PERDIDAS AL ACUIFERO PROFUNDO	
489	Msnm	0.5	mm/h
473.1111		x	
93	Msnm	0.1	mm/h
396		0.4	
15.8889		0.5	- x
0.5	- x	=	0.01604939
	X	=	0.48395061
$x=0.5-(489-z)*(0.4)/(396)$			

Simulación mediante TETIS en la microcuenca La Mina

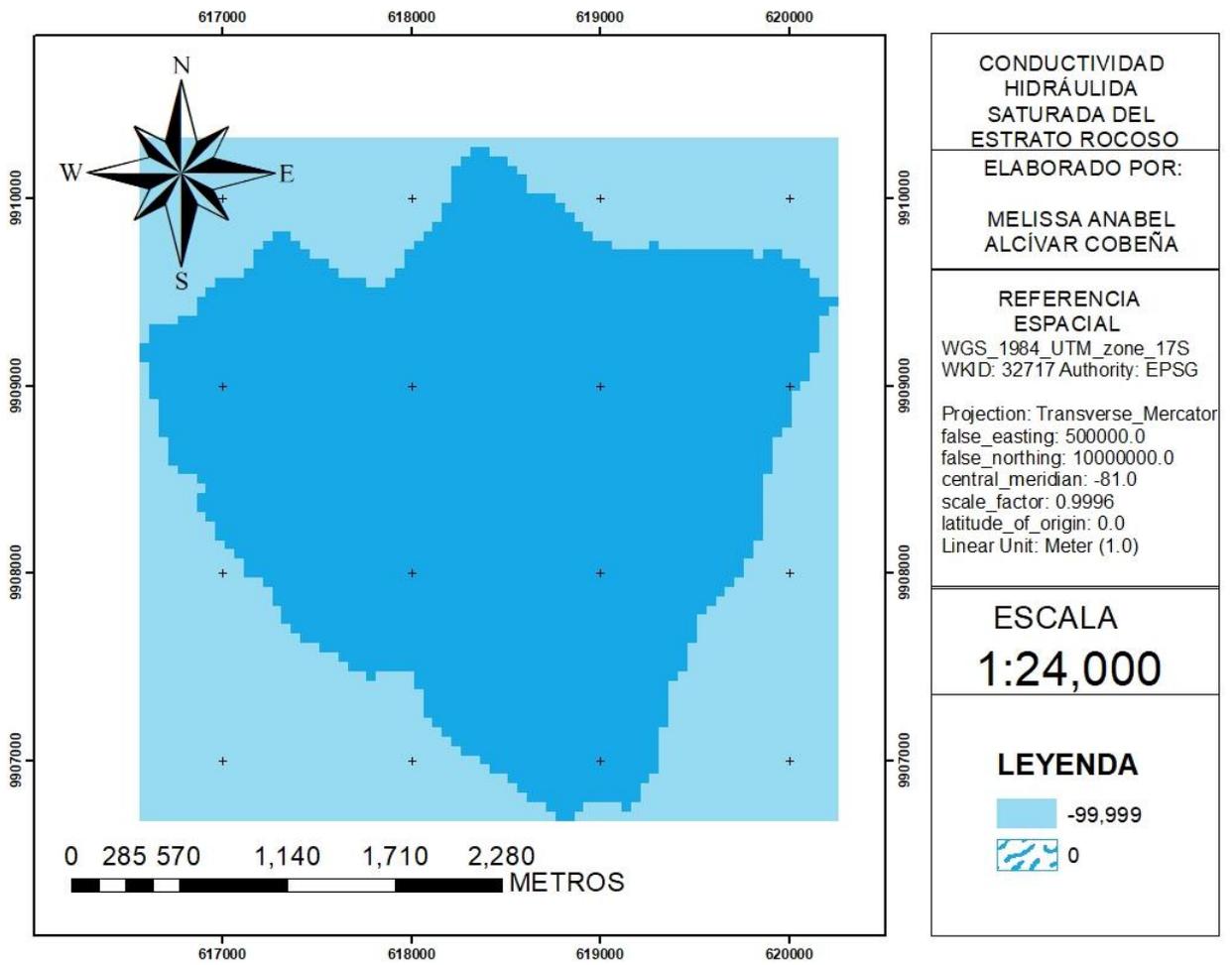


Figura 17. Conductividad hidráulica saturada de estrato rocoso KPS. Elaboración propia.

La pendiente se generó a partir del modelo de elevación digital DEM.

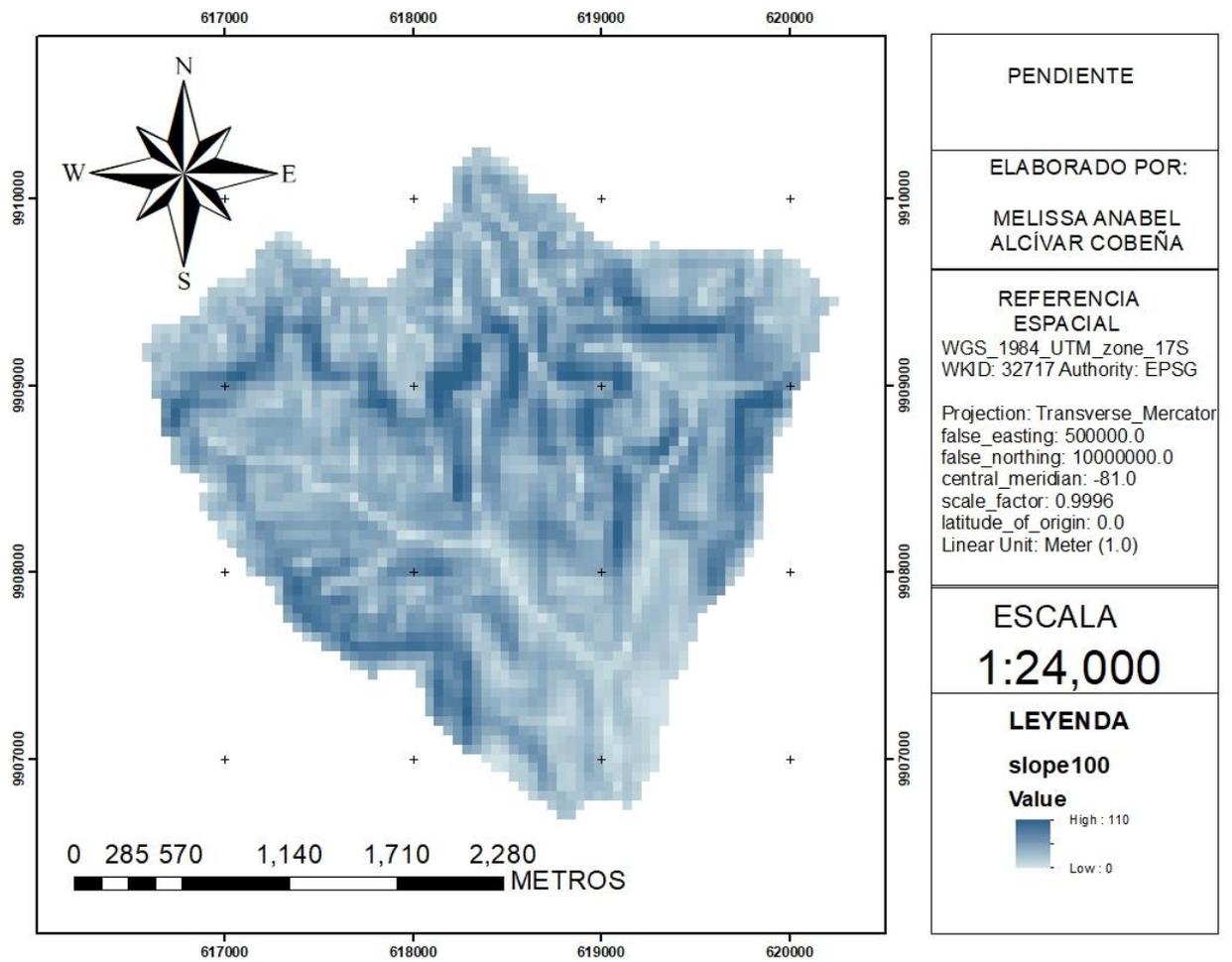


Figura 18. Pendiente. Elaboración propia.

Simulación mediante TETIS en la microcuenca La Mina

Velocidad del agua.

Para la velocidad del agua se toman en consideración diversas alternativas. Una es interpretar que la velocidad sea estacionaria y constante en la cobertura total de la microcuenca y establecer como rangos valores entre 1m/s y 0.01 m/s. Otra opción es considerar la velocidad del flujo como estacionaria, pero presentando desigualdades en las celdas tomando como referencia la pendiente contando con la siguiente expresión (ecuación 2). (Universidad Politécnica de Valencia, 2014).

$$Vt = 1.4142 * s^{0.5}$$

Ecuación 2

donde:

Vt : Es la velocidad (m/s)

S : Es la pendiente (m/m)

En la ecuación 2 se presenta el valor numérico de 1.4142, este valor es producto de realizar una apreciación realizada anteriormente para determinar un rango de velocidades, el rango fue entre 1m/s y 0.01m/s (Universidad Politécnica de Valencia, 2014).

Simulación mediante TETIS en la microcuenca La Mina

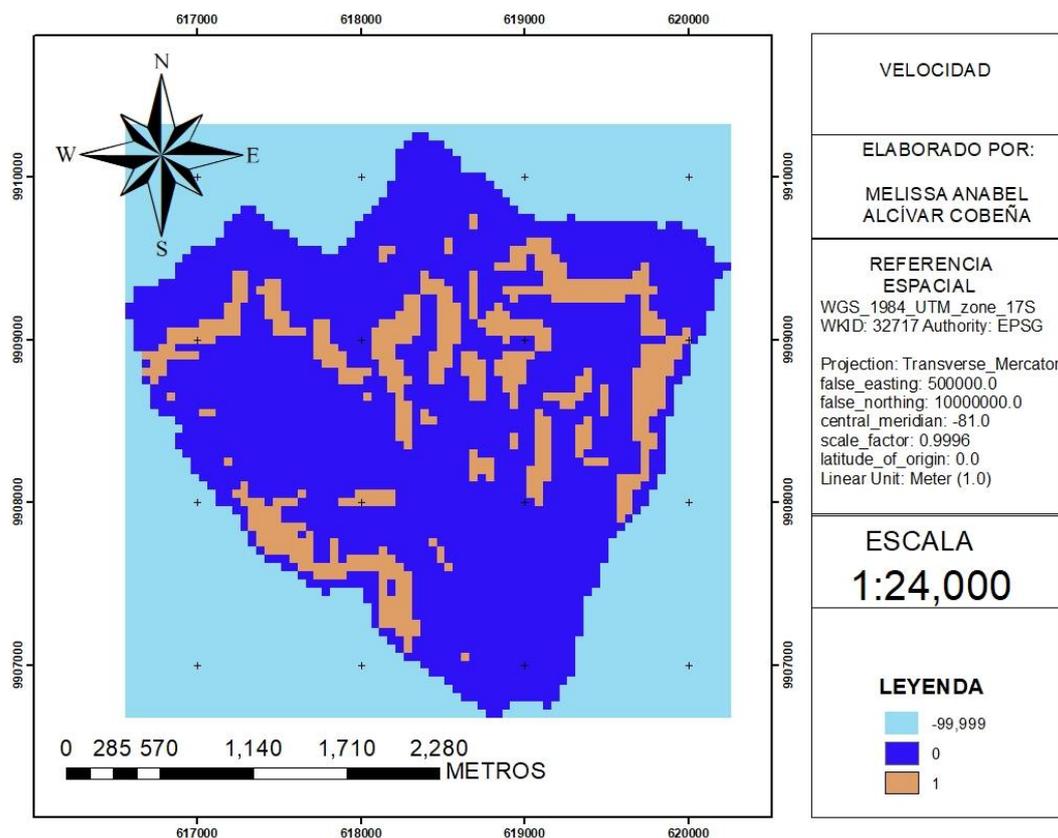


Figura 19. Velocidad. Elaboración propia.

El resultado que se expone en los rangos de velocidades es de 0,01 a 1 debido a que el modelo trabaja con estos rangos, considerando que la velocidad del flujo es estacionaria pero diferente en las celdas, esto se da debido a la pendiente (Universidad Politécnica de Valencia, 2014).

En el presente estudio se realizó un pequeño análisis de sensibilidad con el propósito de buscar la estabilidad de los parámetros que solicita el modelo TETIS, (Moreno J, Aguarón J, Cano F, & Escobar M, 2016), se ingresaron los valores referentes al área de estudio (almacenamiento estático, evapotranspiración, infiltración, escorrentía directa, percolación, interfolio, flujo subterráneo profundo, flujo base, velocidad del flujo, entre otros) los parámetros van variando continuamente, los que presentan un mayor grado de afectación en el caudal simulado son: percolación, interfolio y velocidad del flujo, esto se determinó mediante constantes pruebas (Alarcón G & Zambrano V, 2019).

Simulación mediante TETIS en la microcuenca La Mina

Información meteorológica.

Aquí se presentan los inputs de la información meteorológica que requiere el modelo hidrológico distribuido TETIS.

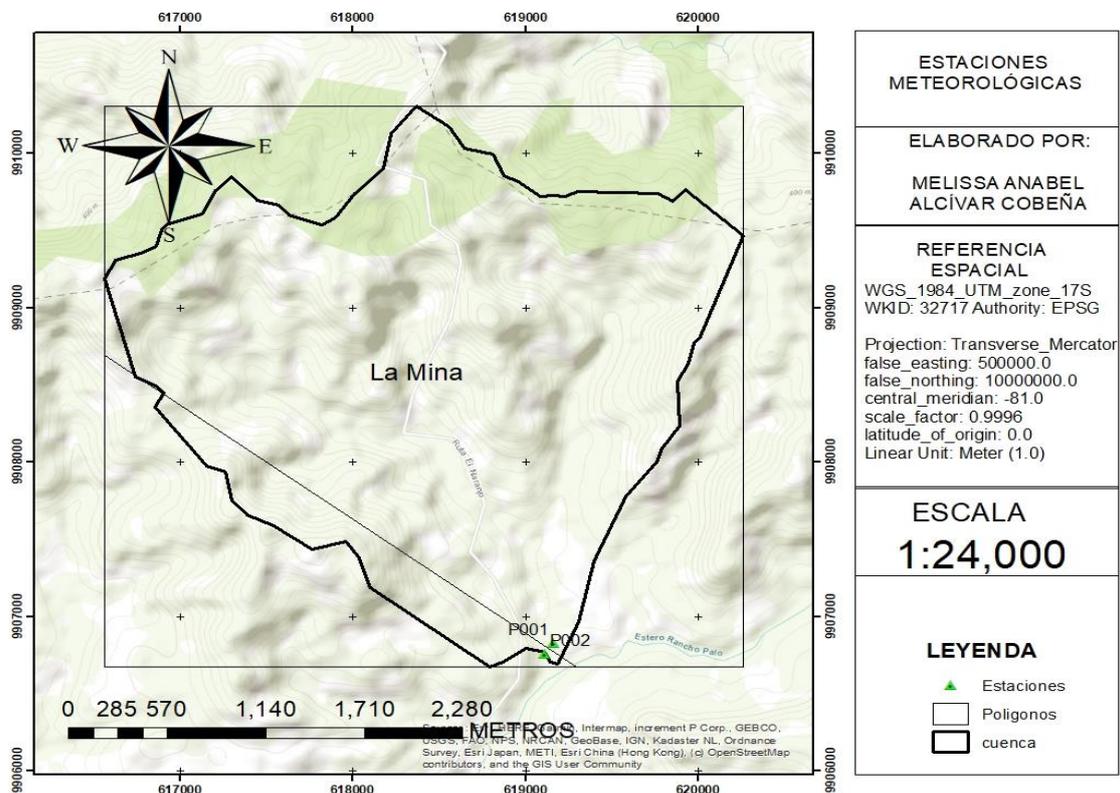


Figura 20. Estaciones Pluviométricas. Elaboración propia.

Tabla 9. Coordenadas de las estaciones utilizadas. Elaboración propia.

Sitio	Tipo	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)
La Mina	Pluviómetro 1	619160	9906828	130
La Mina	Pluviómetro 2	619109	9906759	150

Capítulo IV

Resultados

El modelo trabaja con una optimización automática conocida por sus siglas en inglés como “*Shuffled Complex Evolution – University of Arizona, SCE-UA*” (Universidad Politécnica de Valencia, 2014).

Como parámetro principal en esta simulación se trabajó con el Índice de Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE), buscando maximizar la función objetivo (Campo & Boada, 2018). El índice de NSE refleja el cambio que se presenta en una situación igual, pero una con datos tomados en campo y otra con datos simulados. Este índice tiene una gran acogida en temas hidrológicos, además cuenta con rangos ya establecidos (Cabrera, 2012).

Ecuación 3

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim,i} - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}$$

Donde:

Q_i = descargas medias observadas en el tiempo (m^3/s).

$Q_{sim,i}$ = son las descargas medias modeladas (m^3/s).

\bar{Q} = son las descargas medias observadas (m^3/s).

Utilizando el índice de NSE se puede obtener una gran variedad de resultados los cuales pueden ser desde $-\infty$ hasta 1, siendo 1 un resultado perfecto lo que quiere decir que los datos de la simulación concuerdan en todo con los datos obtenidos en campo, cuando el resultado es 0 nos indica que los resultados del modelo no tienen relación con los datos observados en campo, en los casos donde el resultado es menor a 0 nos indica que se debe de trabajar con los datos observados (Campo & Boada, 2018). Sin embargo,

Simulación mediante TETIS en la microcuenca La Mina

existen diversos motivos que pueden afectar este índice. Se puede clasificar los resultados obtenidos de acuerdo a la siguiente figura.

E	Ajuste
<0.2	Insuficiente
0.2 – 0.4	Satisfactorio
0.4 – 0.6	Bueno
0.6 -0.8	Muy bueno
> 0.8	Excelente

Figura 21. Valores referenciales del criterio de Nash-Sutcliffe. (Cabrera, 2012).

En la presente investigación que se realizó en el periodo del 26 de julio del 2018 al 26 de enero del 2019 cuenta con los siguientes factores correctores.

Region_1	
H1- Almacenamiento estático (0-100% del máximo)	11.000000
H2 - Agua en superficie (mm)	90.000000
H3 - Almacenamiento gravitacional (mm)	0.000000
H4 - Estado inicial del acuífero (mm)	15.000000
H5 - Caudal en el cauce (0-1000% del caudal a sección llena)	15.000000
H6 - Intercepción por la vegetación (0-100% del máximo)	75.000000

Figura 22. Estados Iniciales. TETIS.

Factores correctores del modelo	
[FC-1] Almacenamiento estático	1.301563
[FC-2] Evapotranspiración	1.410980
[FC-3] Infiltración	0.005630
[FC-4] Escorrentía directa	1.232813
[FC-5] Percolación	1.715030
[FC-6] Interflujo	1.746973
[FC-7] Flujo subterráneo profundo	80.000000
[FC-8] Flujo base	80.001671
[FC-9] Velocidad del flujo	0.000021

Figura 23. Factores correctores del modelo TETIS.

Con los factores correctores expuestos previamente se realizó la simulación de caudales obtenido como resultado un Índice de Nash-Sutcliffe de -0,0148, un error cuadrático (RMSE) con un valor de 0.154 (-50.188). A continuación, se presentan los resultados con la gráfica de los caudales simulados y observados en la cuenca durante el periodo en que se realizó el estudio (Campo & Boada, 2018).

Simulación mediante TETIS en la microcuenca La Mina

Principales características del evento	
Caudal max. obs. (m ³ /s)	3.418
Caudal max. sim. (m ³ /s)	0.599
RMSE	0.154
Tiempo al pico observado	14/11/2018 13:00
Tiempo al pico simulado	19/02/2019 06:30
Error tiempo al pico (dt)	9286
Volumen observado (Hm ³)	1.34
Volumen simulado (Hm ³)	0.667
Error en volumen (%)	-50.188
Indice Nash y Sut. (NSE)	-0.0148
Área acumulada (km ²)	7.765

Figura 24. Datos de los resultados de la calibración.

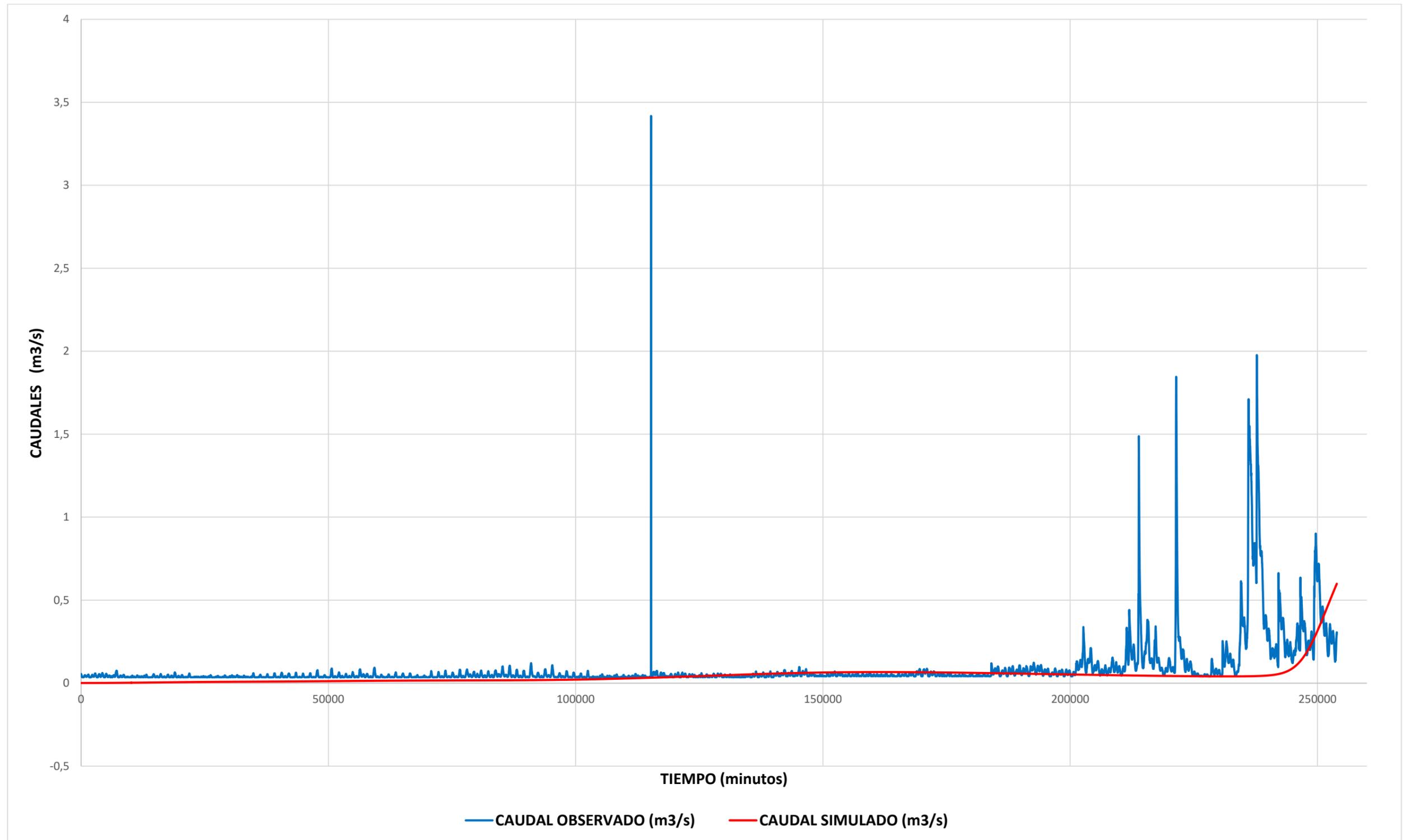


Figura 25. Resultados de la calibración.

Para una mejor visualización de la variación en los caudales simulados se cambió la escala lineal a escala logarítmica.

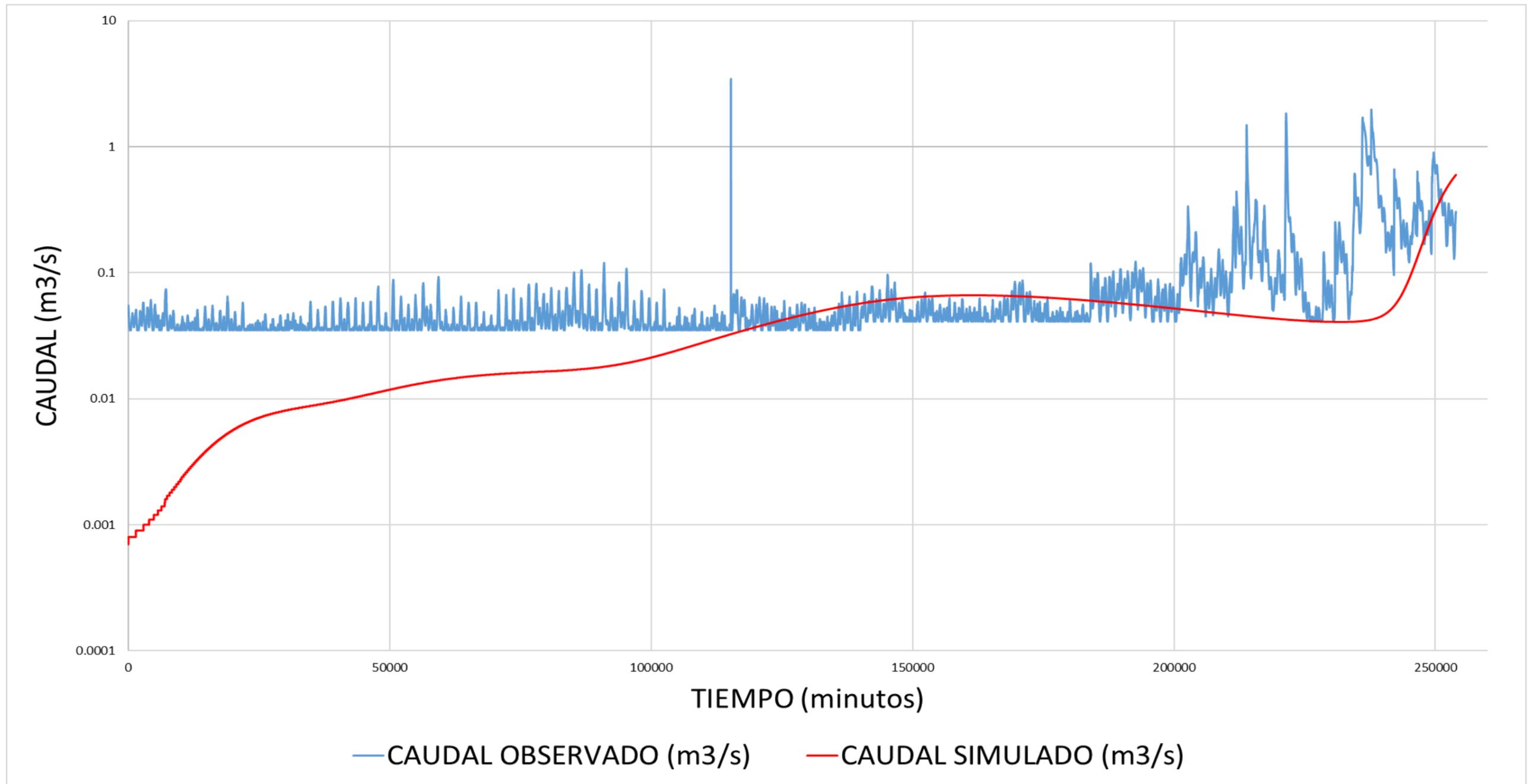


Figura 26 Based Hydrograph Analysis Tool

Simulación mediante TETIS en la microcuenca La Mina

Se realizó una comprobación del resultado mediante Based Hydrograph Analysis Tool, con los datos de la simulación realizada y se obtuvo un índice de Nash-Sutcliffe de -0.005 .

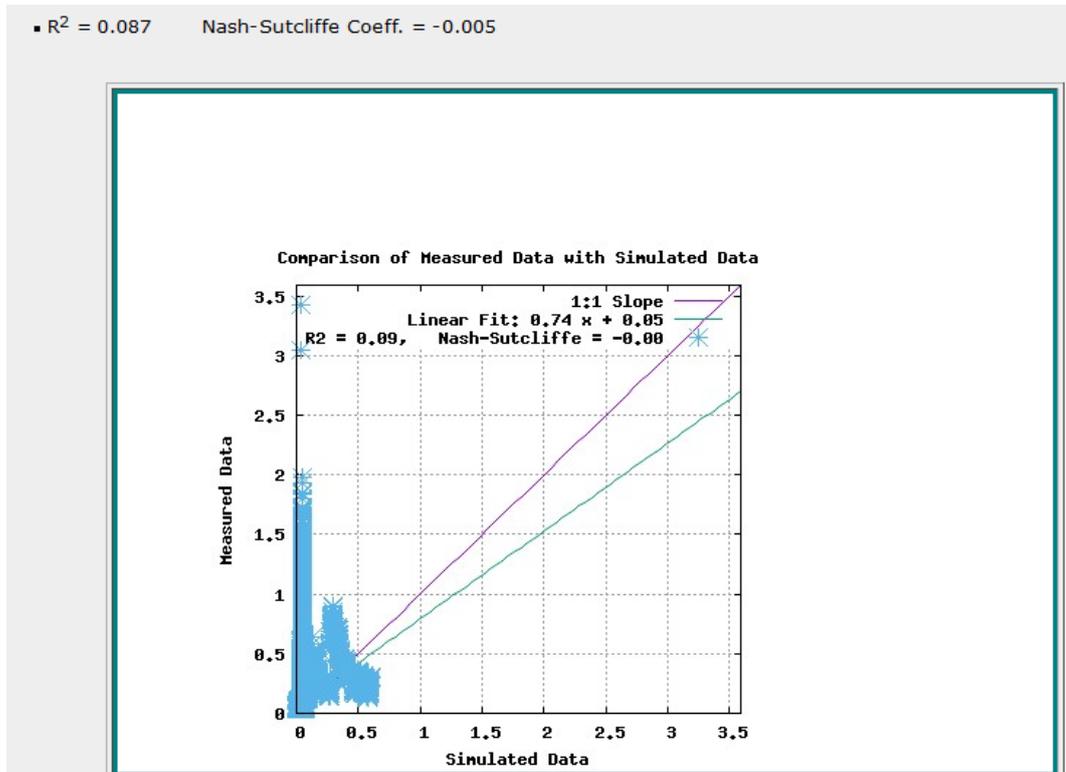


Figura 27. Comprobación de los resultados de la calibración mediante Based Hydrograph Analysis Tool.

Simulación mediante TETIS en la microcuenca La Mina

Se analizó la misma observación considerando el intervalo de tiempo en el cual los caudales simulados con TETIS se comportan mejor con respecto a los caudales mediante Based Hydrograph Analysis Tool, se obtuvo un resultado de índice de *Nash-Sutcliffe* de -1.828.

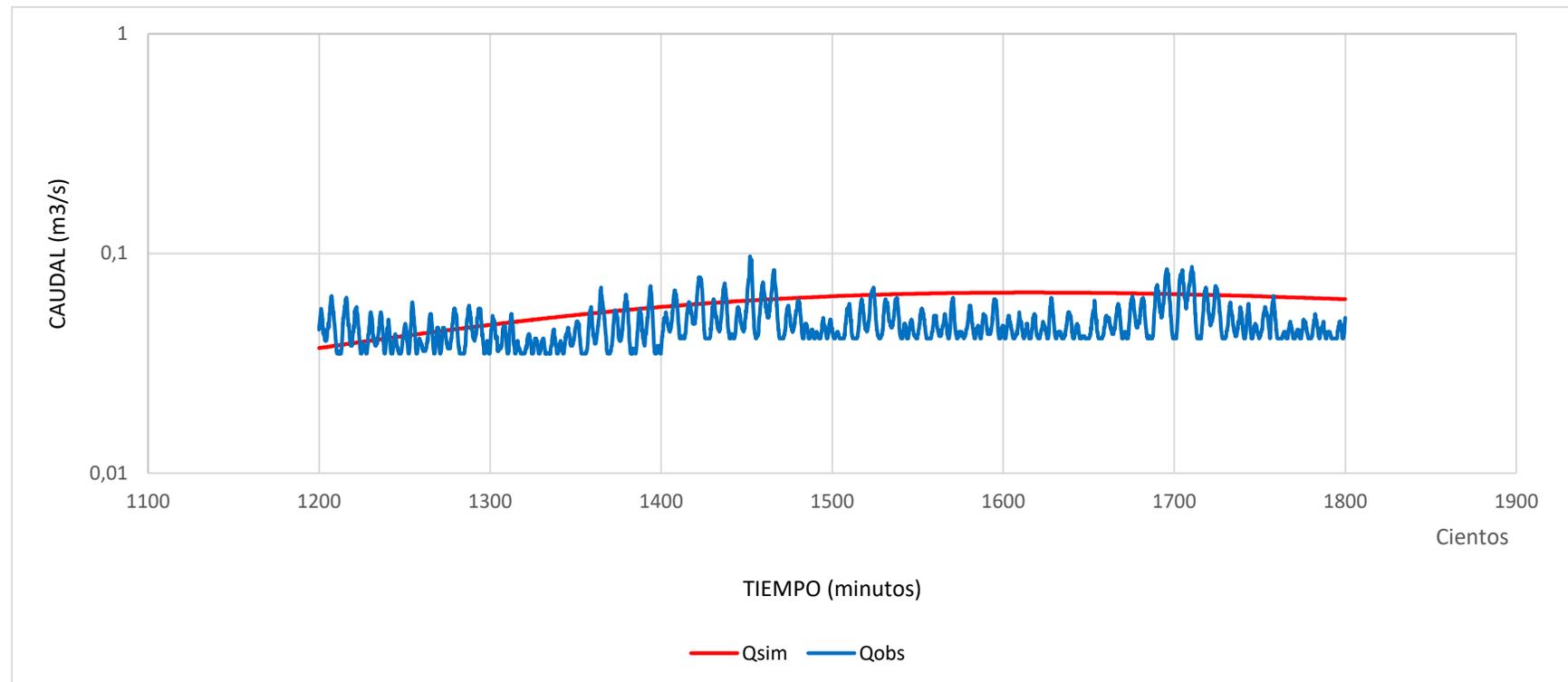


Figura 28. Resultados de la calibración para un periodo de tiempo menor.

Simulación mediante TETIS en la microcuenca La Mina

Se realizó una comprobación del resultado mediante Based Hydrograph Analysis Tool, con los datos de la simulación realizada y se obtuvo un índice de Nash-Sutcliffe de -1.810.

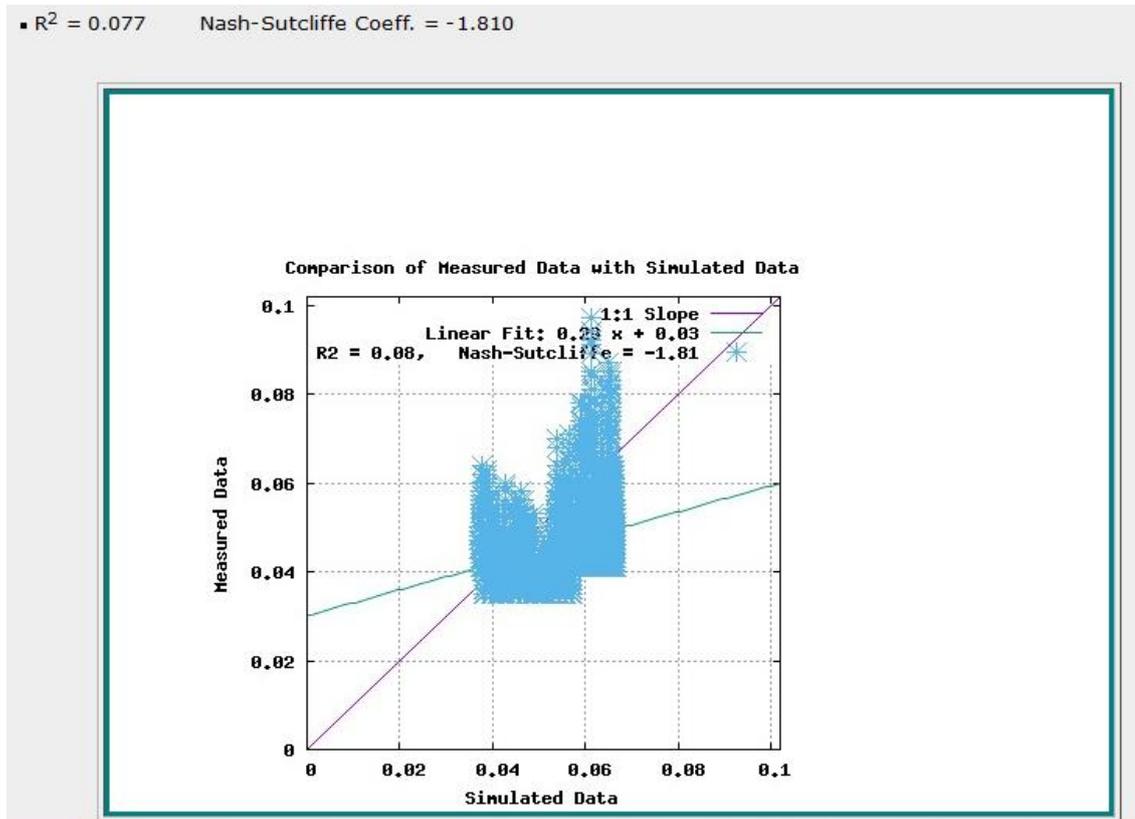


Figura 29. Comprobación de los resultados de la calibración para un periodo de tiempo menor mediante Based Hydrograph Analysis Tool.

Discusión.

En la presente investigación uno de los factores con mayor relevancia fue la precipitación, por tal motivo se recolectaron datos con una escala de 15 minutos registrando estos datos en los pluviómetros que se encuentran ubicados en la microcuenca La Mina. La ubicación de manera estratégica de los pluviómetros es muy importante debido a que aportan información de gran relevancia para la simulación (Tineo P, 2018).

En una cuenca hidrográfica existen niveles altitudinales, las cuales son muy importantes en el manejo integrado del sistema hidrográfico, en la parte más alta se infiltra una cantidad de agua importante producto de la precipitación proporcionando más caudal a la parte subterránea y también por sus altitudes pueden generar escorrentías considerables (GARRIDO A , PÉREZ J, DAMIÁN , & GUADARRAMA , 2010). La falta de información en la zona más alta de la microcuenca La Mina provocó que el resultado de la simulación se viera afectado ya que en dicha zona se presentaron precipitaciones que no están registradas provocando diferencias notorias entre caudales observados y simulados.

El modelo no se recomienda en cuencas que no cuentan con información de campo que aporten a los resultados de la simulación (Blade E, y otros, 2014). Sin embargo, teniendo los datos recolectados de los pluviómetros se puede tratar de ajustar debido a que estos parámetros se pueden modificar fácilmente, se puede realizar varias modificaciones buscando que el caudal simulado tenga similitud al observado.

Conclusiones.

En la simulación mediante el modelo hidrológico distribuido se obtuvo un índice de eficiencia negativo, esto se presentó debido a que en el periodo de tiempo simulado se presentaron precipitaciones en las partes más altas de la microcuenca, las cuales no se encuentran registradas por los pluviómetros que se utilizaron para la recolección de los datos, provocando variaciones elevadas.

Los pluviómetros se encuentran en la parte alta de la rivera, en una zona sin árboles para poder obtener buenos datos de precipitación. La cantidad de pluviómetros instalados en la zona no abarcan toda el área de la microcuenca.

Bibliografía

- Alarcón G, & Zambrano V. (2019). *Simulación continua de precipitación-escorrentía de la microcuenca "La Mina" en la parroquia Membrillo*. Portoviejo: PUCEM.
- Barbecho , J., & Calle, J. (s.f.). *UNIVERSIDAD DE CUENCA*. Obtenido de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/771/1/ti897.pdf>
- Based Hydrograph Analysis Tool. (s.f.). *Compute R2 and Nash-Sutcliffe coefficients*. Obtenido de The statistics module : https://engineering.purdue.edu/mapserve/WHAT/compute_r2_nash_sutcliffe.html
- Blade E, Sánchez H, Ripolles J, Sánches M, Domínguez R, Arganis M, . . . Juárez D. (2014). *INSTITUTO FLUMEN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA*. Obtenido de Estimación del hidrograma de salida en una cuenca usando un modelo hidrológico distribuido y un modelo hidráulico bidimensional en volúmenes finitos.: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/22709/informe%20propuesta%20de%20colaboraci%C3%B3n%20internacional%20v%20final.pdf>
- Blones R, Guevara A, & Hendriks J. (2016). *Congreso Internacional WALIR*. Obtenido de Pluralismo Legal , Reforma Hídrica y Políticas de Reconocimiento " Pluralismo Legal , Reforma Hídrica y Políticas de Reconocimiento Compilado por : Rutgerd Boelens (Vol. 13): <https://library.wur.nl/WebQuery/wupubs/fulltext/32477>
- Cabrera, J. (2012). *Calibración de modelos Hidrológicos* . Obtenido de Instituto para la Mitigación de los Efectos del Fenómeno El Niño. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Civil. : http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/modhidro_2.pdf

Simulación mediante TETIS en la microcuenca La Mina

Calles, J. (08 de 07 de 2016). *Monitoreo de la calidad y cantidad del agua*. Obtenido de

El Agua en el Ecuador.: <http://agua-ecuador.blogspot.com/2016/07/monitoreo-de-la-calidad-y-cantidad-del.html>

Campo, J., & Boada, M. (2018). Implementation of a hydrological model to optimize the operation of Baba Hydroelectric Power Plant. *Energía* .

Donoso S, & Zambrano L. (2018). *CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA Y MORFOLÓGICA DE LA MICROCUENCA DEL ESTERO “LA MINA” QUE ALIMENTA EL EMBALSE LA ESPERANZA*. PORTOVIEJO: PUCEM.

EarthExplorer. (s.f.). *USGS*. Obtenido de Science for a changing world:

<https://earthexplorer.usgs.gov/>

Francisco, R. (2013). *Journal of Chemical Information and Modeling*. Obtenido de

Importancia del conocimiento de la Huella Hidrológica para la Política Española del Agua: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

GARRIDO A , PÉREZ J, DAMIÁN , & GUADARRAMA . (2010). *DELIMITACIÓN DE LAS ZONAS FUNCIONALES DELAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE MÉXICO*. Obtenido de Instituto de Ecología de México Press, México,:

<https://micrositios.inecc.gob.mx/cuenca/diagnostico/04-delimitacion-zonas-funcionales.pdf>

López J, González M, Scaini A, Goñi M, Valdenebro J, & Gimena F. (2012). *SCielo Obras y Proyectos no.12* . Obtenido de Caracterización del modelo HEC-HMS

en la cuenca de río Arga en Pamplona y su aplicación a cinco avenidas

significativas: <https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718->

[28132012000200002&script=sci_arttext&tlng=en](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-28132012000200002&script=sci_arttext&tlng=en)

Simulación mediante TETIS en la microcuenca La Mina

- Loyola C, Rivas J, & Gacitúa M. (24 de 01 de 2014). *Permeabilidad del suelo de la cuenca del río Chillán, entre Estero Peladillas y río Ñuble, Chile**. Obtenido de REDALYC: <https://www.redalyc.org/pdf/2818/281832840006.pdf>
- Mamani, S. (2018). *Ministerio de Agricultura y Riego PERÚ. Autoridad Nacional del Agua*. Obtenido de Modelamiento hidrológico semidistribuido con aplicación de Hydro-BID: caso río Verde Puno - Perú:
<http://190.12.92.167/handle/20.500.12543/3729>
- Martínez A, Pando V, Del Rio J, & Navarro J. (2006). *Ecología, (20). Aproximación al Conocimiento de la Infiltración a través del Análisis Dimensional, 471-92*. Obtenido de *Ecología, (20)*.
- Mendoza Bruckne, C. (07 de 2011). *EL RIEGO Y LAS PERCEPCIONES DE EQUIDAD EN EL SISTEMA CARRIZAL-CHONE: REPRESA MULTIPROPÓSITO ESPERANZA, ECUADOR*. Obtenido de WAGENINGEN UNIVERSITY: <https://edepot.wur.nl/177357>
- Morales, E. (2012). *Repositorio Institucional*. Obtenido de Modelación hidrológica de los páramos andinos con topmodel: páramo de Chingaza, Colombia.:
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/11138>
- Moreno J, Aguarón J, Cano F, & Escobar M. (2016). *Universidad Complutense Madrid*. Obtenido de Validación, robustez y estabilidad en decisión multicriterio: análisis de sensibilidad en el proceso analítico jerárquico : <https://eprints.ucm.es/20720/>
- Onarte, F., & Aguilar , G. (2003). *Aplicación del modelo SWAT para la estimación de caudales y sedimentos en la cuenca alta del río Catamayo*. Obtenido de III Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas, 11.
- Ramírez , M. (06 de 2012). *Universidad Politécnica de València*. Obtenido de ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO HIDROLÓGICO

Simulación mediante TETIS en la microcuenca La Mina

DISTRIBUIDO CON INFORMACIÓN ESTÁNDAR EN ESPAÑA:

https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/27255/Tesina_LMRS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Restrepo T. (2004). *TENDENCIAS MUNDIALES EN LA GESTIÓN DE RECURSOS*

HÍDRICOS. Obtenido de

http://estomatologia.univalle.edu.co/index.php/ingenieria_y_competitividad/articulo/view/2289

Rineer , J., Bruhn, M., Miralles, F., & Muñoz, R. (12 de 2014). *Departamento de*

Infraestructura y Medio Ambiente - División de Agua y Saneamiento. Obtenido

de Base de Datos de Hidrología Analítica para América Latina y el Caribe. Parte

1: <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Base-de-Datos-de-Hidrolog%C3%ADa-Anal%C3%ADtica-para-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe.pdf>

Terán C. (2018). *Curso Virtual de Modelamiento Hidrológico Distribuido con TETIS*.

Obtenido de Larama Ingenieros S.R.L:

https://www.youtube.com/watch?v=8BC-NNDx_xk&feature=youtu.be

Tineo P. (2018). *Universidad César Vallejo*. Obtenido de Aplicación Del Modelo

Hidrológico Distribuido Tetis Para Estimar La Variabilidad Hidrológica En La

Cuenca Del Río Chancay Lambayeque:

<http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/32520>

Universidad Politécnica de Valencia. (2014). *DESCRIPCIÓN DEL MODELO*

CONCEPTUAL DISTRIBUIDO DE SIMULACIÓN HIDROLÓGICA TETIS v.8.

Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente.

Simulación mediante TETIS en la microcuenca La Mina

Universidad Tecnológica de Panamá . (31 de 05 de 2006). *Centro de Investigaciones*

Hidráulicas e Hidrotécnicas. Obtenido de :

<http://www.utp.ac.pa/documentos/2011/pdf/PCUTP-CIHH-AH-105-2006.pdf>

Anexos fotográficos.



Recolección de datos de pluviómetros.



Recolección de datos de pluviómetros.



Recolección de datos de pluviómetros.



Recolección de datos de pluviómetros.

Simulación mediante TETIS en la microcuenca La Mina



Recolección de datos de pluviómetros.



Transductor de presiones



Recolección de datos de pluviómetros.