



**Pontificia Universidad
Católica del Ecuador**
Seréis mis testigos

MANABÍ

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR
SEDE MANABÍ**

TEMA:

**“SIMULACIÓN HIDROLOGICA CONTINUA EN LA
CUENCA CHIMBO EN BUCAY CON HEC-HMS”.**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

MANEJO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS NATURALES

**PREVIO AL TITULO DE
INGENIERA HIDRÁULICA**

AUTOR:

ROSA ANGÉLICA MENÉNDEZ SUÁREZ

TUTOR

ING. EDUARDO LUIS MIELES ESPINOZA, M.SC.

2023 – 2024

PORTOVIEJO – MANABI – ECUADOR

Certificación de la Tesis

Ing. Eduardo Luis Miele Espinoza, M.Sc.

Tutor del plan de investigación curricular

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.

Ing. Eduardo Luis Miele Espinoza

C.I. 1311854572

Aprobación del Tribunal

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

(F)_____

Ing. Eduardo Luis Mieles Espinoza, M.Sc.

Primer Lector

(F)_____

Ing. José Ramon Alarcón, M.Sc.

Segundo Lector

(F)_____

Ing. John Enrique Félix Mera, M. Sc.

Tercer Lector

Declaración de Originalidad

Este trabajo de investigación 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 citada 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.

Autor:

ROSA ANGÉLICA MENÉNDEZ SUÁREZ

C.I. 1317655429

Declaración de Derecho del Autor

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 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.

Autor:

F. _____

ROSA ANGÉLICA MENÉNDEZ SUÁREZ

C.I. 1317655429

Agradecimiento y Dedicatoria

En el presente trabajo agradezco a Dios, a mis padres, a mis seres queridos, amigos y a todas las personas que han estado apoyándome siempre en mis necesidades, brindarme siempre su soporte para seguir adelante y proporcionar los recursos necesarios para llevar a cabo esta investigación y toda mi formación profesional.

También agradezco al Ing. Limberg Macias Mendoza que gracias al apoyo de él y a la oportunidad de trabajar para poder cumplir con esta meta, agradezco a la Pontificia Católica del Ecuador Sede Manabí y a todos los docentes que fueron parte de mi formación académica, en especial a mis tutores Ing. Andy Giler Ormaza, e Ing. Eduardo Mieles por brindarme sus conocimientos, los cuales fueron necesarios para el desarrollo y perfeccionamiento del trabajo de integración curricular.

Rosa Angélica Menéndez Suárez

Resumen

Esta investigación cuantitativa tuvo como objetivo estimar de manera indirecta la relación entre la precipitación y la esorrentía de la cuenca del río Chimbo en las provincias de Bolívar y Chimborazo, dada la importancia de su estudio para poder conocer su comportamiento. Por lo tanto, en este estudio de alcance exploratorio ejecutado entre marzo y octubre de 2023, se recopilaron datos de precipitación y caudal obtenidos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) periodo 1998 - 2013, a partir de los cuales se generó el almacenamiento del suelo y acuíferos, infiltraciones máximas y caudales base. También se trabajó con la metodología *Soil Moisture Accounting (SMA)*, como base para la simulación hidrológica continua en el *software Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System (HEC-HMS)* y *CROPWAT*. Según los resultados, se observa que, en 1998 el modelo original alcanzó un caudal de 450 m³/s, mientras que en 2013 llegó a 300 m³/s. Asimismo, los resultados de precipitación registrados en el año 1998 corresponden a 120 mm, según el hidrograma medido, dando un caudal de 250 m³/s. Por otro lado, los hallazgos encuentran que, en el año 2005, a pesar de una precipitación máxima de 90 mm, el pico del hidrograma generó únicamente 55 m³/s, indicando una falta de correlación. Se recomienda recopilar datos de fuentes fiables y verídicas que se aproximen a la realidad y hacer el análisis de las estaciones más cercanas a la cuenca, para poder verificar los datos diarios de las lluvias.

Palabras clave: simulación, esorrentía, caudal, precipitación

Abstract

This quantitative research study aimed to estimate the relationship between precipitation and runoff in the *Chimbo* River Basin in the provinces of *Bolívar* and *Chimborazo* by using the indirect method, due to the significance of this kind of studies to understand river behavior. So, in this exploratory research study, which was conducted from March to October 2023, data on precipitation and flow were collected from the National Institute for Meteorology and Hydrology (*INAMHI*, for its initials in Spanish) for the period 1998 - 2013, in order to calculate soil and aquifer storage, maximum infiltration rates and base flows. Also, the Soil Moisture Accounting (SMA) method was used for continuous hydrologic simulation with the Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) and CROPWAT computer program. In accordance with the findings, it is seen that in 1998 the original model reached a flow rate of 450 m³/s, while in 2013 it reached a flow rate of 300 m³/s. In addition, the findings from the precipitation records in 1998 correspond to 120 mm, in line with the measured hydrograph, reaching a flow rate of 250 m³/s. In contrast, the findings reveal that in 2005, despite the maximum precipitation of 90 mm, the peak of the hydrograph generated only 55 m³/s, which indicates a lack of correlation. Collecting close-to-reality data from reliable and credible sources and analyzing the stations closest to the basin to validate daily rainfall data is recommended.

Keywords: simulation, runoff, flow, precipitation

Índice

Certificación de la Tesis	2
Aprobación del Tribunal	3
Declaración de Originalidad	4
Declaración de Derechos del Autor	10
Agradecimiento y Dedicatoria	11
Resumen	12
Abstract	13
Índice de Ilustración	16
Índice de Tablas	18
Índice de Fórmulas	19
Introducción	1
Objetivos	4
Objetivo General	4
Objetivos Específicos	4
Metodología	5
Parámetros Morfométricos de la Cuenca	5
Área de estudio	5
Perímetro	6
Longitud de Cauce	6

Cota Máxima – Mínima – Pendiente Media	6
Tiempo de Concentración.....	9
Precipitaciones del Estudio.....	9
Hidrógrafa Observada	11
Serie de Datos de Caudales Observados	11
Evapotranspiración.....	12
Modelación Hidrológica Inicial.....	18
Descripción del Método SMA	18
Parámetros Iniciales de Modelación hidrológica	26
Calibración de Modelación Hidrológica	29
Descripción del Método de calibración	29
Resultados	30
Modelación hidrológica Inicial.....	30
Modelación hidrológica Calibrada.....	32
Análisis y discusión de resultados	35
Conclusiones y Recomendaciones	38
Conclusiones	38
Recomendaciones	39
Bibliografía	40

Índice de Ilustración

Ilustración 1 Ubicación del área de estudio.....	5
Ilustración 2 Mapa de Elevación	7
Ilustración 3 Mapa de Pendiente.....	8
Ilustración 4 Datos de Precipitación – SATÉLITE TRMM 3B42 V7	10
Ilustración 5 Datos de Precipitación – SATÉLITE TRMM 3B42 V7	10
Ilustración 6 Datos de Caudales del INAMHI.....	11
Ilustración 7 Mapa de Polígonos de Thiessen	13
Ilustración 8 Datos de la estación San Carlos.....	14
Ilustración 9 Datos de la Estación San Simón	15
Ilustración 10 Datos de la estación Riobamba.....	16
Ilustración 11 Esquema de Método de contenido de Humedad del suelo.....	21
Ilustración 12 Mapa de Texturas.....	24
Ilustración 13 Mapa de Uso de Suelo	25
Ilustración 14 Método seleccionados para la simulación de la cuenca.....	26
Ilustración 15 Parámetros del método de pérdidas SMA	27
Ilustración 16 Flujo base – Datos del Método Recession.....	27
Ilustración 17 Parámetros de SCS Unit Hydrograph.....	28
Ilustración 18 Parámetros – Método Surface.....	28
Ilustración 19 Parámetros – Método Canopy	28
Ilustración 20 Representación gráfica de la cuenca Chimbo – Bucay.	30
Ilustración 21 Resultados de los datos medidos (TRMM) vs Datos Simulados.....	31
Ilustración 22 Resultados de optimización de los datos medidos (TRMM) vs Datos Simulados.....	32

Ilustración 23 Datos estadísticos	33
Ilustración 24 Parámetros Optimizados.....	34
Ilustración 25 Hidrograma de Resultados de Datos de Precipitación y Caudal	36
Ilustración 26 Correlación de datos precipitación y Caudal	37

Índice de Tablas

Tabla 1 Parámetros morfométricos.....	6
Tabla 2 Estaciones	12
Tabla 3 Datos de ETO Promedio Ponderado.....	17
Tabla 4 Parámetros con mayor sensibilidad en el modelo.....	29

Índice de Formula

Fórmula 1	Tiempo de concentración mediante Kirpich.....	9
------------------	---	---

Introducción

La utilización de modelos informáticos matemáticos en modelaciones hidrológicas para simular lluvias y escorrentías superficiales se ha catalogado como una herramienta útil para poder predecir y analizar flujos de cauces naturales y tomar estos parámetros de diseño para las obras hidráulicas. Existen softwares de modelos informáticos para simular una respuesta hidrológica de una cuenca y que son de dominio público, como el HEC-HMS, desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los EE. UU. (Buytaert W., 2011)

La aplicación de modelos hidrológicos se ha vuelto globalmente extendida debido a su gran utilidad en la predicción de inundaciones y en la generación de alertas tempranas. La importancia de esta investigación radica en su capacidad para desarrollar planes de acción ante emergencias provocadas por desastres naturales, lo que ayuda a líderes y especialistas de diversos sectores. Estudios como este tienen el potencial de proporcionar comprensiones más profundas y gestiones más efectivas de los fenómenos hidrológicos en la cuenca del río Chimbo – Bucay. Esto, a su vez, puede conducir a la toma de decisiones más informadas y proporcionar parámetros de diseño cruciales para la implementación de futuras obras hidráulicas en áreas específicas.

La precipitación, a pesar de formar parte del ciclo hidrológico y que es un componente del balance hídrico, corresponde a un factor principal en las zonas donde existe escasez y exceso de lluvia, que impiden el desarrollo de un país, por lo tanto, es primordial tener datos meteorológicos e hidrológicos de calidad, para la implementación de proyectos sostenibles, para su regulación y conservación. (Nouvelot J., 1993)

Los modelos hidrológicos analizan el comportamiento de las escorrentías generadas por las precipitaciones. Para llevar a cabo este estudio, se emplea el software HEC-HMS con el fin de simular las relaciones entre las precipitaciones y las escorrentías en la cuenca Chimbo Bucay, la cual se encuentra ubicada en las provincias de Bolívar y Chimborazo.

Para simular con precisión el evento de precipitación, analizar las escorrentías y determinar los caudales máximos, es crucial disponer de mediciones precisas de caudales y precipitaciones. La forma en que se realizan estas mediciones sigue evolucionando constantemente. Sin embargo, es importante señalar que, en contraste, lo que sucede debajo de la superficie del suelo sigue siendo una incertidumbre. Esto se debe a que los parámetros relacionados con la infiltración o percolación sub-superficial y subterránea se obtienen a través de mediciones indirectas.

En este contexto, la evolución constante de las técnicas de medición para las variables climáticas y fluviales contribuye a una mejor comprensión de los eventos hidrológicos. No obstante, la incertidumbre asociada con los procesos subterráneos subraya la importancia de abordar de manera cuidadosa y crítica la interpretación de los datos obtenidos, reconociendo las limitaciones inherentes a las mediciones indirectas. Esta consciencia sobre las incertidumbres subterráneas fortalece la necesidad de integrar múltiples fuentes de datos y adoptar enfoques que permitan una evaluación robusta y confiable de los fenómenos hidrológicos.

Las predicciones de flujo de agua en una cuenca requieren el uso de modelos, los cuales deben ser evaluados para diferentes condiciones ambientales (climáticas, topográficas, geológicas). Los modelos hidrológicos buscan capturar los mecanismos físicos de generación de la escorrentía superficial y la recarga a los acuíferos subterráneos a partir de la precipitación y la evapotranspiración. (Olga Lucia Ocampo, 2013)

En este estudio, producto de una investigación cuantitativa de tipo descriptivo, realizada en la cuenca del río Chimbo Bucay, se analizarán los datos de precipitación, caudales observados por los anuarios meteorológicos localizados en la cuenca. La calibración y la validación me permiten seleccionar el modelo que representa el mejor proceso de lluvia-escorrentía en esta cuenca.

A partir del análisis estadístico de la información hidrológica de la cuenca del Río Chimbo - Bucay, avanzamos hacia su caracterización y digitalización completa. Posteriormente, creamos un Modelo Hidrológico en HEC-HMS y concluimos con su ajuste y optimización. Este proceso integral proporciona una comprensión detallada de la dinámica hidrológica, lo que permite tomar decisiones informadas en la gestión del agua y la prevención de eventos extremos.

Sin embargo, durante la realización del trabajo, se observó una notable escasez de información sobre la cuenca del río Chimbo - Bucay. Esta carencia constituye una limitación significativa al momento de llevar a cabo la modelación hidrológica de dicha cuenca, lo que, a su vez, dificulta la obtención de resultados más específicos.

Por lo tanto, la principal recomendación para mejorar el desempeño del modelo y obtener resultados más precisos en la generación de pronósticos hidrológicos es acceder a información más fiable y verídica que pueda representar mejor la ocurrencia temporal de la lluvia.

Objetivos

Objetivo General

Simular de forma continua la precipitación-escorrentía de la cuenca Chimbo – Bucay por el método SMA para la calibración de los parámetros del modelo hidrológico

Objetivo Específicos

Procesar los datos de precipitaciones, caudales, evapotranspiración, texturas y de usos del suelo en la cuenca de estudio

Ejecutar simulaciones hidrológicas continuas en la cuenca de estudio con el modelo hidrológico, tomando como referencia parámetros obtenidos mediante los objetivos específico uno.

Ejecutar una calibración de parámetros del modelo SMA en base a simulaciones hidrológicas continuas en la cuenca de estudio, ajustando el hidrograma de simulación al hidrograma real.

Metodología

Parámetros Morfométricos de la Cuenca

Área de estudio

El área de estudio está ubicada en la cuenca del río Chimbo tiene una extensión aproximada de 2200 km² y comprende parte de los territorios de dos provincias de la región altoandina de Ecuador (Bolívar y Chimborazo).

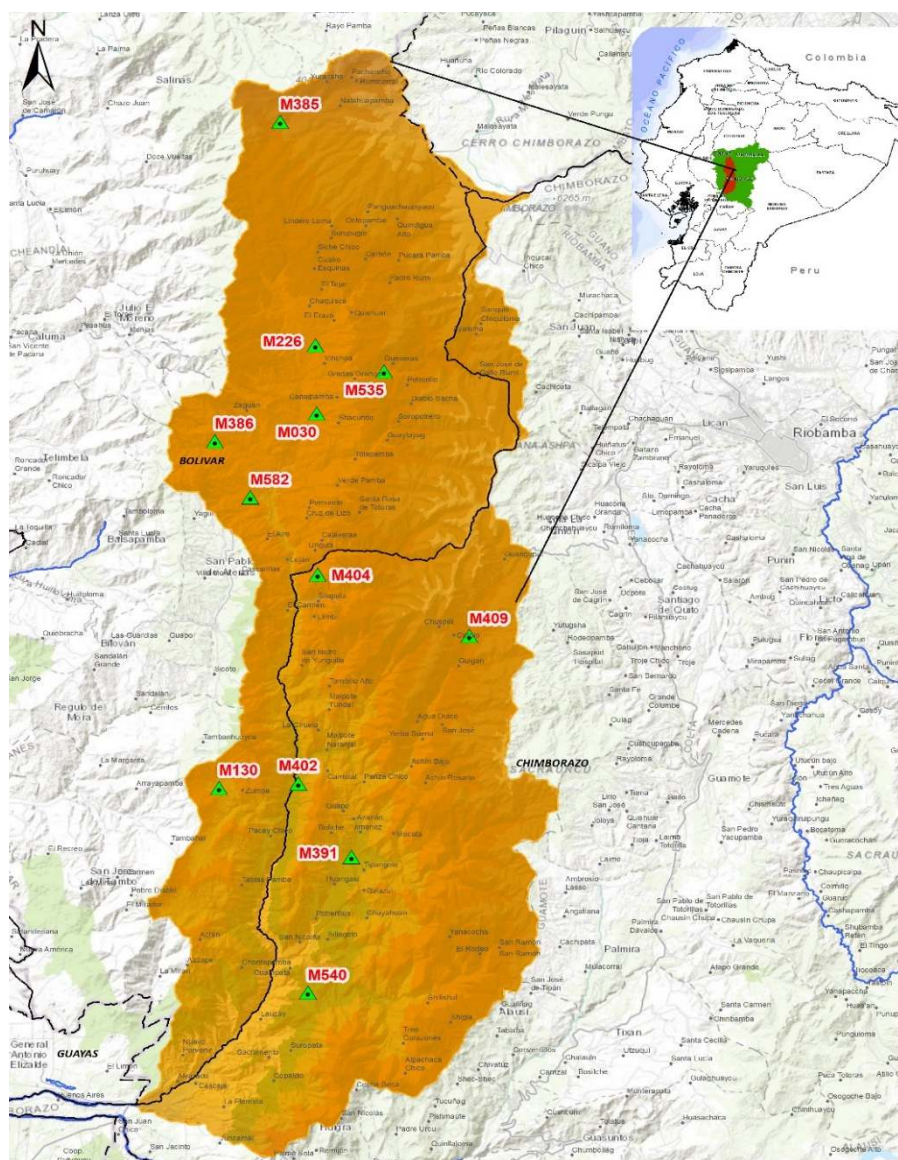


Ilustración 1 Ubicación del área de estudio

Fuente: Elaboración Propia

Perímetro

El perímetro es la distancia del área que rodea la cuenca hidrográfica, la unidad en medidas es en km.

Longitud de Cauce

La distancia equivalente que recorre el río entre el punto de desagüe aguas abajo y el punto situado a mayor distancia de aguas arriba de la cuenca hidrográfica se conoce como la longitud del río. Esta longitud se mide en kilómetros (km). Es una medida importante en hidrología y geomorfología para comprender la extensión y la dinámica de una cuenca fluvial.

Cota Máxima – Mínima – Pendiente Media

Cota mayor: Es la mayor altura a la cual se encuentra la divisoria de la cuenca (msnm.).

Cota menor de la cuenca. Es la cota sobre la cual la cuenca entrega sus aguas a un cauce superior (msnm.).

La pendiente de una cuenca hidrográfica es la relación existente entre el desnivel altitudinal del cauce y su longitud.

Parámetros Morfométricos			
Cota mayor	Cota menor	Longitud cauce	Pendiente
msnm	msnm	m	m/m
5360	320	146280	0.34

Tabla 1 Parámetros morfométricos

Fuente: Elaboración Propia

La información necesaria para el cálculo de cotas mínimas, máximas y pendientes fue obtenida a través del geoprocesamiento de imágenes DEM mediante el software ArcGis, de donde se obtuvieron los mapas de elevación y pendientes presentados a continuación

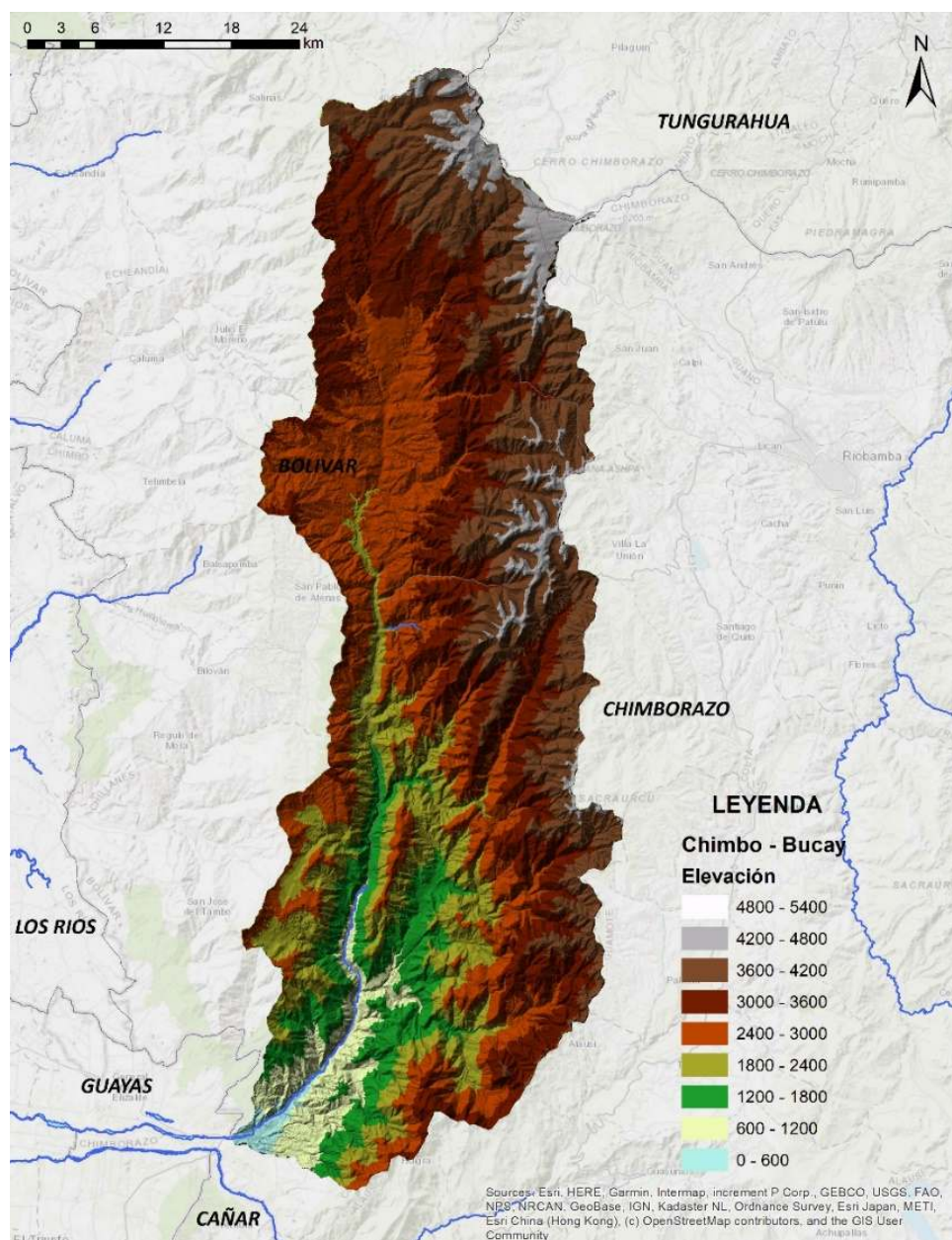


Ilustración 2 Mapa de Elevación

Fuente: Elaboración Propia

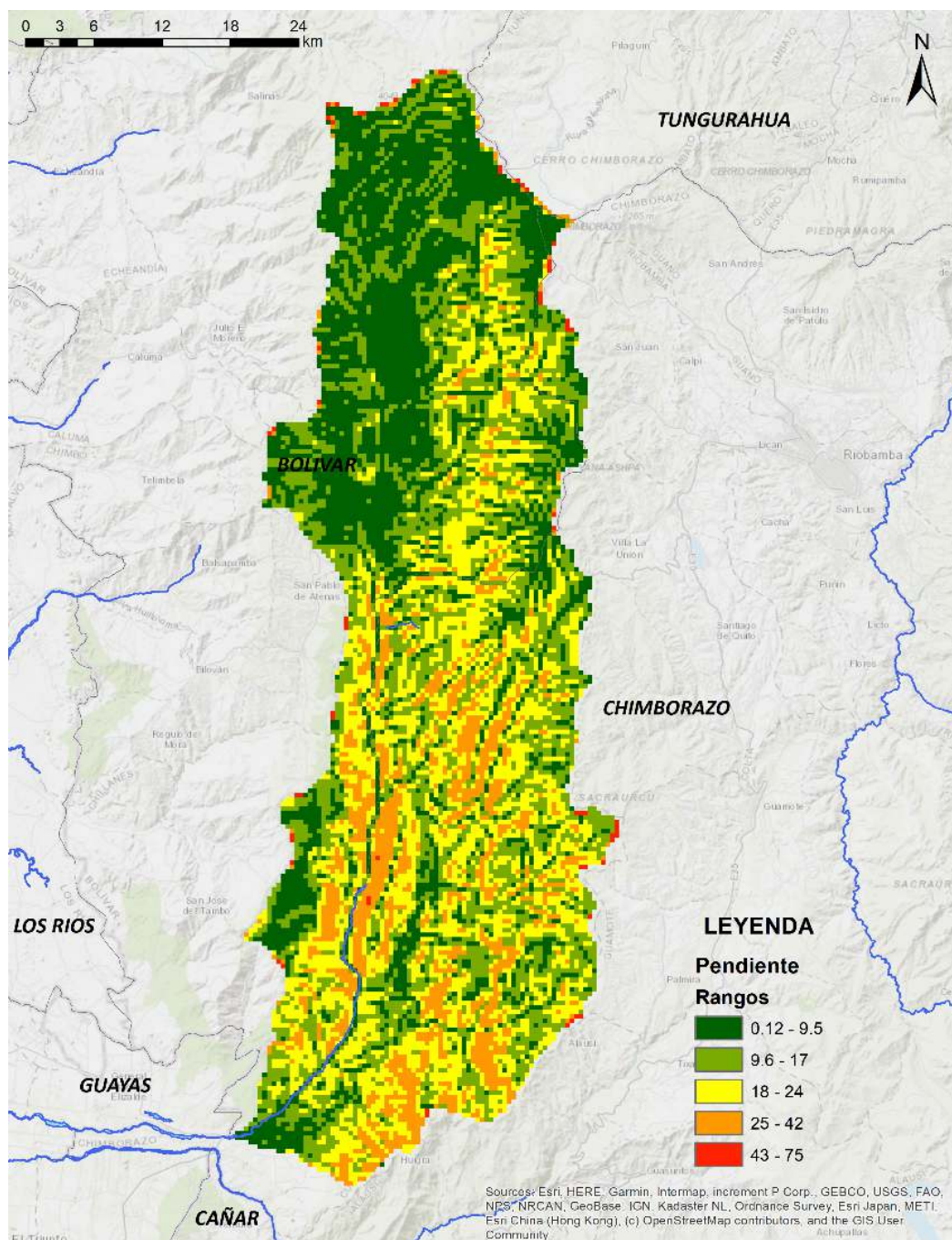


Ilustración 3 Mapa de Pendiente

Fuente: Elaboración Propia

Tiempo de Concentración

Para generar la simulación es necesario considerar el tiempo de concentración de la cuenca, por lo que se calculó mediante la fórmula de Kirpich.

$$T_c = 0,02 * L^{0,77} * S^{0,385}$$

Fórmula 1 Tiempo de concentración mediante Kirpich

Donde:

T= tiempo de concentración (minutos).

L= Longitud máxima a la salida (m).

S= pendiente media del lecho (m/m).

Precipitaciones del Estudio

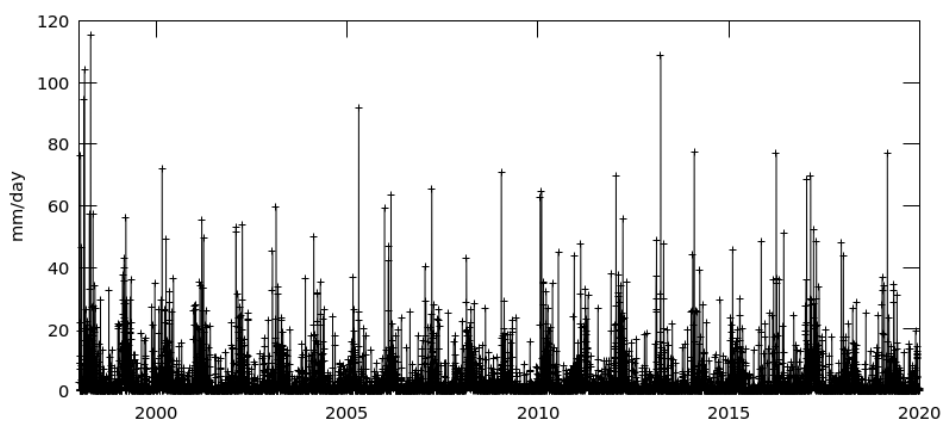
Para la ejecución de un modelo hidrológico es fundamental tener datos de las lluvias. El modelo que se ejecuta es un modelo continuo, por lo que se requieren datos promedios diarios históricos de precipitaciones.

Para realizar una simulación continua, se necesitará los registros de lluvias que fueron extraídos de la plataforma Giovanni del satélite TRMM 3B42 V7, del periodo de 1998 al 2019 con esos datos se podrá elaborar el hietograma para la modelación hidrológica.

Dado que la serie de datos de caudales observados en la cuenca abarca el período 1998-2013, es imperativo que la serie de datos de precipitación también abarque el mismo intervalo temporal asegurando la coherencia y consistencia del modelo. En consecuencia, se organizarán y procesarán los datos de precipitación disponibles comprendidos entre los años 1998 y 2013.

A continuación, se muestra una gráfica de las series de tiempo de la plataforma Giovanni.

Time Series, Area-Averaged of Precipitation Rate daily 0.25 deg. [TRMM TRMM_3B42_Daily_v7] mm/day over 1998-01-01 01:30Z - 2019-12-31 01:29Z, Shape Ecuador, Region 79.2107W, 2.0067S, 78.8317W, 1.5563S



- Selected date range was 1998-01-01 - 2019-12-31. Title reflects the date range of the granules that went into making this result.

Ilustración 4 Datos de Precipitación – SATÉLITE TRMM 3B42 V7

Fuente: Giovanni

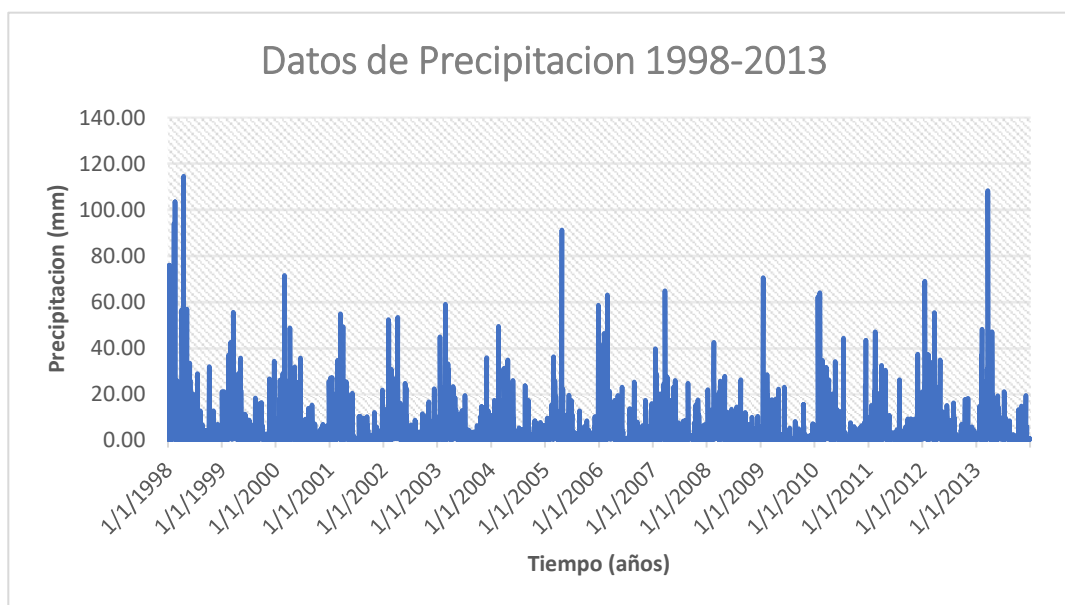


Ilustración 5 Datos de Precipitación – SATÉLITE TRMM 3B42 V7

Fuente: Elaboración Propia

Hidrograma Observado

Serie de Datos de Caudales Observados

La cuenca Chimbo - Bucay se encuentra monitoreada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y está ubicada en la Zona Hidrográfica 130.

Los datos meteorológicos disponibles para obtener caudales de descarga y niveles son extraídos de las estaciones meteorológicas del INAMHI.

Para este estudio se consideran datos diarios de caudal para el periodo de 1998 – 2013, debido a que en estos años se obtienen información de caudales y niveles para la construcción de la curva de descarga.

A continuación, se muestra una gráfica de datos de caudales desde el año 1998 hasta el 2013.



Ilustración 6 Datos de Caudales del INAMHI

Fuente: Elaboración Propia

Evapotranspiración

El enfoque de un modelo continuo busca simular la evolución completa del proceso hidrológico. Este cálculo implica determinar qué parte de las precipitaciones queda retenida en la superficie (tanto en la vegetación como en charcos), cuál se infiltra en el suelo y cuál genera escorrentía superficial. Tras la precipitación, es fundamental considerar si la cantidad almacenada en el suelo se evapotranspira o se infiltra hacia los acuíferos. Luego, desde estos acuíferos, parte del agua puede perderse a través de una circulación profunda, la cual está fuera del alcance del modelo, o puede contribuir al flujo de los cauces (HEC-HMS).

En cuanto a los datos de ETO (Evapotranspiración de referencia), se aplicó inicialmente el método de polígonos de Thiessen para determinar las áreas de influencia. Este proceso se llevó a cabo utilizando el software ArcGIS. A continuación, se muestra la gráfica que ilustra las áreas de influencia mediante el método de Thiessen en la cuenca.

FID	CODIGO	ESTACION	ALTURA	X	Y	Área
1	M030	SAN SIMON	2530	723488.3	9818619	1939.66
2	M057	RIOBAMBA A	2760	761472.4	9817468	8.84
3	M218	ING SAN CARLOS	35	673150.3	9756740	278.53

Tabla 2 Estaciones

Fuente: Elaboración Propia

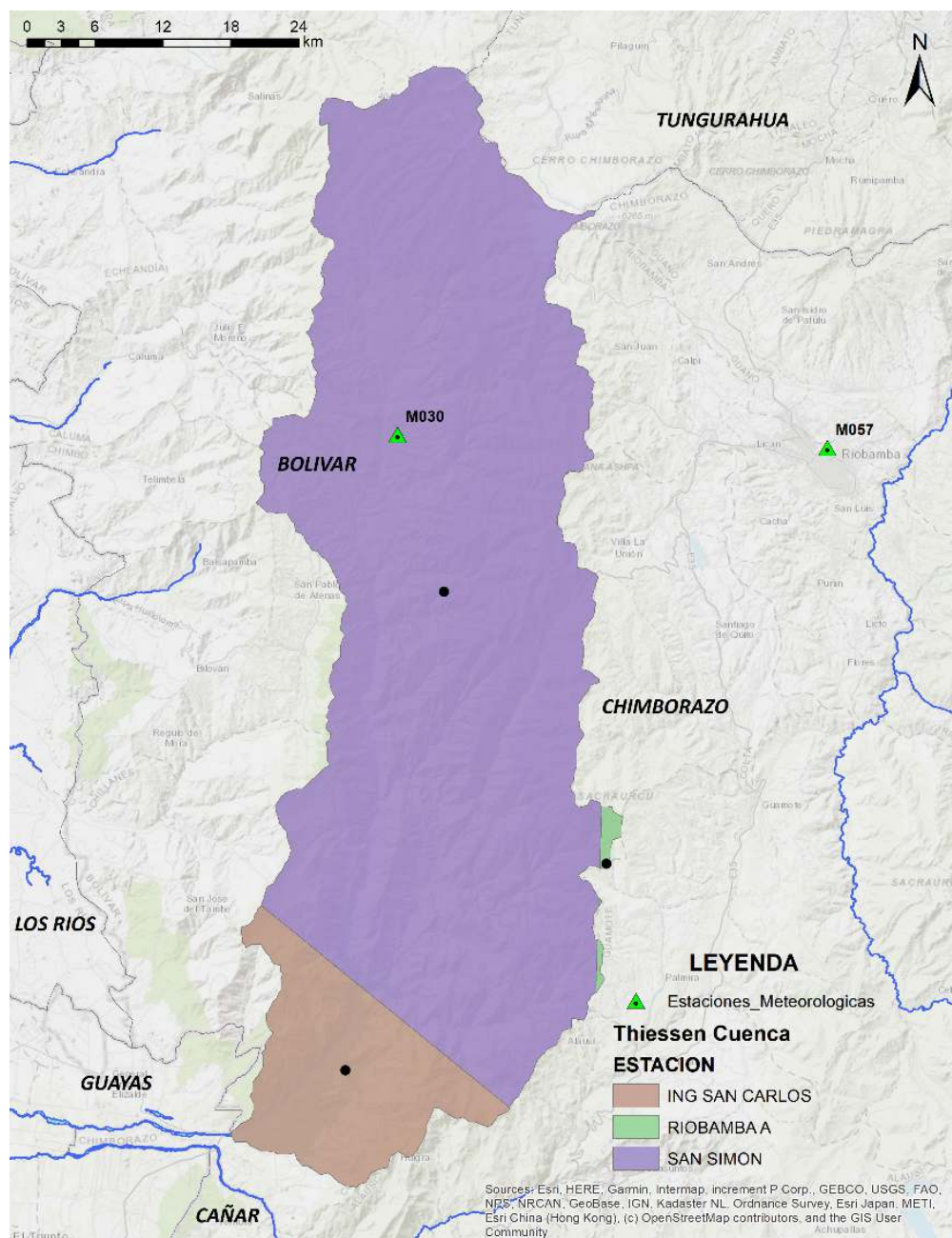


Ilustración 7 Mapa de Polígonos de Thiessen

Fuente: Elaboración Propia

Debido a la falta de disponibilidad suficiente de datos acordes al modelo hidrológico en las estaciones seleccionadas para la determinación de los valores de evapotranspiración, se tomó la decisión de emplear el programa CROPWAT, este programa permite obtener los datos de la evapotranspiración de referencia (ETO) de las estaciones, proporcionando así una alternativa para la obtención de los valores necesarios.

País		Location 54		Estación		SAN-CARLOS-INGEN	
Altitud		35	m.	Latitud		2.20	°S
				Longitud		79.41	°W
Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo
	°C	°C	%	km/día	horas	MJ/m²/día	mm/día
Enero	21.4	30.0	82	69	2.1	12.4	2.80
Febrero	21.7	30.2	85	69	2.0	12.7	2.83
Marzo	22.2	30.7	83	69	3.0	14.2	3.15
Abril	22.2	31.1	82	69	3.2	14.0	3.14
Mayo	21.6	29.6	82	52	2.3	11.7	2.62
Junio	20.8	28.2	84	52	1.3	10.0	2.23
Julio	19.8	27.2	84	52	1.3	10.1	2.19
Agosto	19.6	27.7	82	61	1.7	11.3	2.43
Septiembre	19.8	28.9	80	69	1.7	11.9	2.67
Octubre	20.0	28.2	80	78	1.4	11.7	2.66
Noviembre	20.3	28.6	79	78	1.6	11.7	2.66
Diciembre	21.1	30.0	78	69	2.3	12.6	2.87
Promedio	20.9	29.2	82	66	2.0	12.0	2.69

Ilustración 8 Datos de la estación San Carlos

Fuente: Software CROPWAT

ETo Penman-Monteith Mensual - E:\PUCEM\TESIS\CHIMBO BUCAY\DATOS\SAN-SIMON.pen

País Estación

Altitud m. Latitud °S Longitud °W

Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo
	°C	°C	%	km/día	horas	MJ/m²/día	mm/día
Enero	9.0	18.9	84	199	4.2	15.7	2.82
Febrero	9.4	18.9	85	173	3.5	14.9	2.74
Marzo	9.2	18.6	84	164	3.6	15.1	2.76
Abril	9.2	19.0	84	164	3.7	14.8	2.71
Mayo	8.6	19.4	84	173	4.3	14.7	2.67
Junio	7.5	19.8	81	173	5.1	15.3	2.78
Julio	6.2	21.0	76	225	5.7	16.3	3.19
Agosto	6.2	21.3	73	242	6.0	17.7	3.51
Septiembre	7.1	21.3	78	216	5.2	17.3	3.35
Octubre	8.0	20.8	79	199	4.8	16.9	3.23
Noviembre	8.2	20.6	77	173	5.0	16.8	3.22
Diciembre	8.1	20.1	80	173	4.8	16.3	3.05
Promedio	8.1	20.0	80	189	4.7	16.0	3.00

Ilustración 9 Datos de la Estación San Simón

Fuente: Software CROPWAT

ETo Penman-Monteith Mensual - E:\PUCEM\TESIS\CHIMBO BUCAY\DATOS\RIOBAMBA-CHIM...

País Location 41 Estación RIOBAMBA-CHIMBORAZO

Altitud 2796 m. Latitud 1.63 °S Longitud 78.66 °W

Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo
	°C	°C	%	km/día	horas	MJ/m²/día	mm/día
Enero	8.6	20.2	69	259	5.4	17.5	3.63
Febrero	8.8	20.2	66	225	5.1	17.4	3.68
Marzo	8.8	19.6	71	207	4.4	16.5	3.36
Abril	8.9	19.6	70	164	5.1	16.9	3.30
Mayo	8.8	19.3	70	199	5.4	16.3	3.24
Junio	7.8	18.4	72	216	5.4	15.6	3.02
Julio	6.8	18.6	68	259	5.1	15.5	3.19
Agosto	6.3	19.2	67	268	6.0	17.7	3.58
Septiembre	6.7	19.5	69	259	5.1	17.1	3.50
Octubre	8.1	20.3	68	233	5.4	17.8	3.65
Noviembre	7.9	20.8	68	199	4.8	16.5	3.48
Diciembre	8.2	20.8	68	225	5.5	17.3	3.62
Promedio	8.0	19.7	69	226	5.2	16.9	3.44

Ilustración 10 Datos de la estación Riobamba

Fuente: Software CROPWAT

Después de introducir estos datos, se realiza un cálculo considerando las áreas de influencia de la cuenca. El objetivo es obtener el Evapotranspiración de Referencia (ETO) PROMEDIO PONDERADO. Estos valores se utilizan posteriormente al ingresarlos en el software HEC-HMS para completar y afinar el modelo hidrológico.

AREA	1939.66	8.84	278.53	2227.03
Mes	SAN SIMON	RIOBAMBA	INGE SAN CARLOS	ETO PROMEDIO PONDERADO
	ETO	ETO	ETO	
	mm/día	mm/día	mm/día	
Enero	2.82	3.63	2.8	2.82
Febrero	2.74	3.68	2.83	2.75
Marzo	2.76	3.36	3.15	2.81
Abril	2.71	3.3	3.14	2.77
Mayo	2.67	3.24	2.62	2.67
Junio	2.78	3.02	2.23	2.71
Julio	3.19	3.19	2.19	3.06
Agosto	3.51	3.58	2.43	3.38
Septiembre	3.35	3.5	2.67	3.27
Octubre	3.23	3.65	2.66	3.16
Noviembre	3.22	3.48	2.66	3.15
Diciembre	3.05	3.62	2.87	3.03
Total	36.03	41.25	32.25	

Tabla 3 Datos de ETO Promedio Ponderado

Fuente: Elaboración Propia

Modelación Hidrológica Inicial

Descripción del Método SMA

En nuestra investigación hidrológica, hemos decidido emplear el software HEC-HMS, desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos. Este software será utilizado de manera constante en nuestro análisis. Aunque la metodología de análisis continuo que empleamos puede parecer menos relevante en comparación con los modelos de eventos únicos, para este estudio hemos optado por realizar una simulación continua utilizando el método de Contabilidad de Humedad del Suelo (SMA). Este método aplica una tasa de pérdida para cada subcuenca, lo que permite distinguir entre la escorrentía superficial y la escorrentía subterránea. (Bennett T., 2004)

El enfoque del modelo SMA consiste en representar la cuenca hidrográfica como un sistema de "tanques" distribuidos en varias capas, los cuales tienen la capacidad de almacenar un volumen específico de agua cada uno (ver Ilustración 11). Esta representación ilustra las pérdidas de agua en el sistema hidrológico de la cuenca debido a las características del suelo. Una vez que la capacidad de almacenamiento de cada una de estas capas alcanza el 100%, se produce un flujo superficial, provocando un exceso de precipitación que se refleja en un aumento del caudal en comparación con el flujo base de la cuenca. Este contenido de almacenamiento es influenciado por la serie histórica de precipitaciones. (Hydrologic Engineering Center, Hec Hms).

El software HEC-HMS nos brinda la flexibilidad de seleccionar diferentes métodos para modelar las pérdidas, el contenido de humedad del suelo, así como el almacenamiento superficial, incluyendo el método de almacenamiento superficial simple (canopy simple), que representa el agua retenida en la superficie sin penetrar en el suelo, y el método de

almacenamiento superficial (surface canopy), que modela el agua retenida en las capas superficiales del suelo que no están saturadas.

En el método de contenido de humedad del suelo, es importante considerar que hay 18 parámetros a modelar, los cuales están distribuidos en las pestañas Canopy, Surface y Loss. Inicialmente, se utilizarán valores de referencia para estos parámetros, y a medida que se realicen ejecuciones del modelo, se ajustarán para lograr un modelo calibrado dentro del período de tiempo asignado.

Para el método de transformación, se ha optado por el método SCS Unit Hydrograph, el cual convierte la precipitación neta en escorrentía. Este proceso permite obtener una representación efectiva del comportamiento hidrológico de la cuenca. Este método implica un proceso que abarca cinco niveles de retención y almacenamiento de agua, considerando cada etapa desde la interceptación en la cubierta vegetal hasta el almacenamiento en acuíferos. El programa identifica los parámetros correspondientes a cada proceso, y según los objetivos de la simulación, se puede determinar si se necesita un análisis detallado del movimiento y almacenamiento del agua a través de los componentes del sistema.

El proceso comienza con la precipitación, la cual completa la capacidad de retención de la vegetación, y la evapotranspiración utiliza este nivel primero antes que los otros. El agua no retenida por la vegetación se desplaza a la superficie del terreno, iniciando la infiltración sin superar la capacidad máxima de infiltración indicada. En caso de que no haya agua en el nivel anterior (Canopy), la evapotranspiración extraerá agua de esta retención superficial. Si, a pesar de la infiltración y la evapotranspiración, se supera el almacenamiento máximo en "Surface Storage", el exceso de agua se convierte en escorrentía superficial.

El agua infiltrada penetra en el suelo; una vez que la cantidad almacenada en el suelo excede el límite máximo definido en "tension storage", comienza la percolación hacia el acuífero superficial. Es importante destacar que la percolación no espera a que se alcance el valor máximo asignado al suelo en "soil storage"; tan pronto como haya agua gravitacional, puede empezar a percolar, sin superar el valor máximo especificado en "soil percolation".

El agua percolada desde el suelo llena el acuífero superficial hasta su máxima capacidad, establecida en "GW 1 Storage", y desde ese acuífero, el agua pasa al acuífero inferior sin que este flujo pueda sobrepasar el máximo indicado, "GW 1 Percolation". Una vez que el acuífero profundo se satura, el agua se pierde por percolación sin superar el límite indicado en el parámetro.

Los coeficientes "GW 1 Coefficient (HR)" y "GW 2 Coefficient (HR)" representan el tiempo de retardo necesario para que el agua almacenada en cada acuífero se libere lateralmente y contribuya al cauce como caudal base o flujo básico.

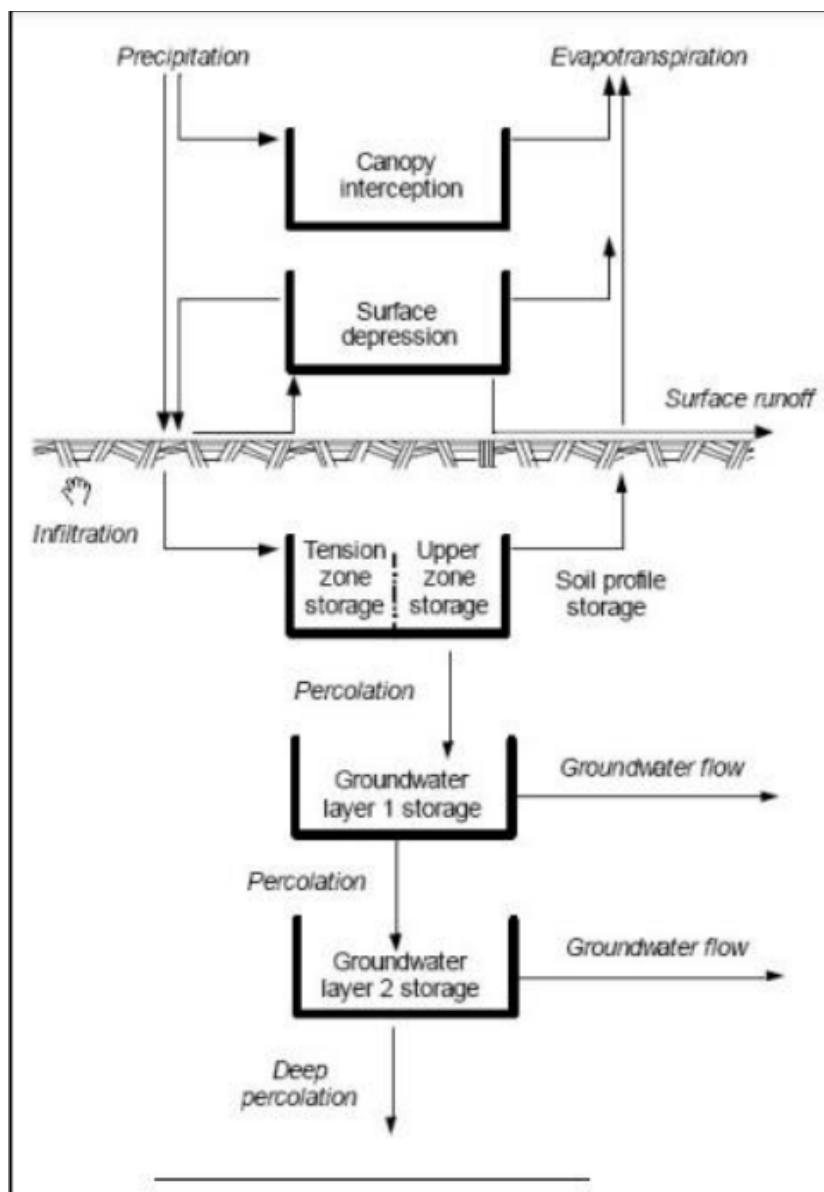


Ilustración 11 Esquema de Método de contenido de Humedad del suelo

Fuente: Manuel HEC-HMS

A continuación, se presentan los mapas que muestran e identifican las texturas y el uso del suelo en la morfología de la cuenca. Aquí están los parámetros de entrada requeridos por el modelo:

1. Soil (%), Groundwater 1 (%) y Groundwater 2 (%): Representan las condiciones iniciales para cada una de las tres capas. Indican el porcentaje del almacenamiento total de la capa que está lleno de agua al inicio de la simulación.

2. Max Infiltration (mm/hr): Indica el límite de infiltración desde el almacenamiento superficial hacia la capa de suelo.

3. Impermeable (%): Representa el porcentaje de zonas impermeables dentro de la subcuenca.

4. Soil Storage (mm): Representa el almacenamiento disponible en la capa de suelo.

5. Tension Storage (mm): Especifica la cantidad de agua almacenada en el suelo que no drena bajo los efectos de la gravedad.

6. Soil Percolation (mm/hr): Indica el límite de percolación desde el almacenamiento del suelo hacia el agua subterránea superficial.

7. GW 1 Storage (mm) y GW 2 Storage (mm): Representan el almacenamiento total en la capa superior e inferior de agua subterránea, respectivamente.

8. GW 1 Percolation (mm/hr) y GW 2 Percolation (mm/hr): La percolación GW1 indica la tasa de percolación desde la capa superior de agua subterránea hacia la inferior, mientras que la percolación GW2 es la tasa de percolación profunda hacia fuera del sistema.

9. GW 1 Coefficient (hr) y GW 2 Coefficient (hr): Son usados como condiciones de tiempo para transformar el agua almacenada en salidas laterales. Este caudal lateral se puede convertir en flujo base.

Para obtener ciertos parámetros, se requirieron datos de uso de suelo y otros datos específicos de la cuenca, obtenidos del Sistema de Información de Tierras e Infraestructuras Tecnológicas (SIGTIERRAS). Este sistema proporciona información morfológica del área de estudio de la cuenca, lo que permite identificar las texturas y obtener las diferentes clases con los valores respectivos para parámetros como Soil Storage y Max Infiltration.

A continuación, se presentan los mapas que muestran e identifican las texturas y el uso del suelo en la morfología de la cuenca.

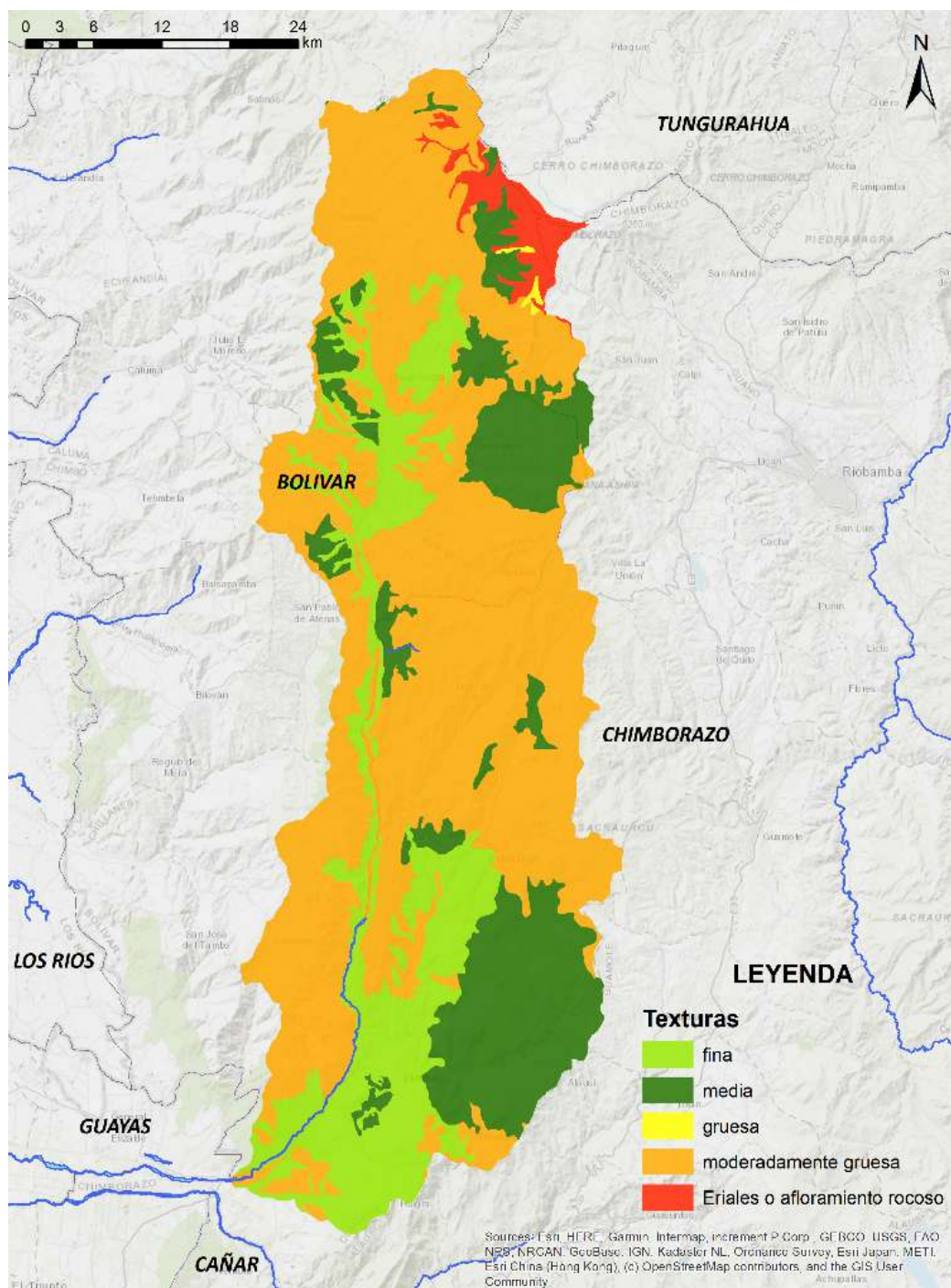


Ilustración 12 Mapa de Texturas

Elaboración Propia

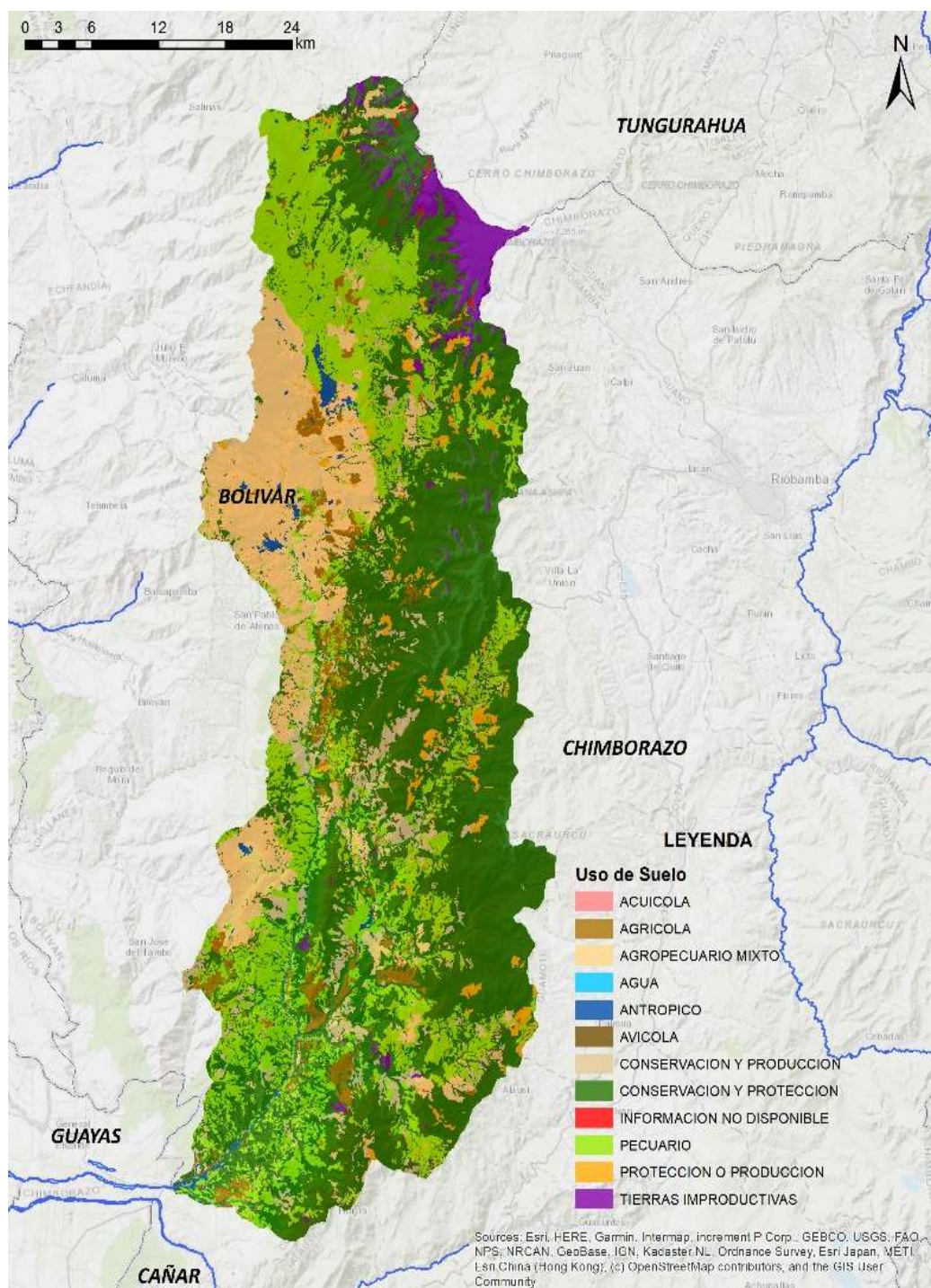


Ilustración 13 Mapa de Uso de Suelo

Elaboración Propia

Parámetros Iniciales de Modelación hidrológica

Para iniciar la modelación hidrológica, es necesario asignar valores a las variables consideradas dentro del modelo y seleccionar el método de transformación de la lluvia (SCS Unit Hydrograph) con el método de Contabilidad de Humedad del Suelo (SMA) ("Consideración de la humedad del suelo"). Las magnitudes de las variables iniciales incorporadas en el modelo se consideran generales para cuencas con características similares. Estas magnitudes actúan como referencia y se ajustarán durante el proceso de calibración definitivo. Las variables empleadas en el modelo son las siguientes:

Subbasin	Canopy	Surface	Loss	Transform	Baseflow	Op
basin name: Cuenca 1						
Element Name: Subbasin-1						
Description:						
Downstream: --None--						
*Area (KM2) 2200						
Latitude Degrees:						
Latitude Minutes:						
Latitude Seconds:						
Longitude Degrees:						
Longitude Minutes:						
Longitude Seconds:						
Precipitation Method: --None---						
Canopy Method: Simple Canopy						
Snow Method: --None--						
Surface Method: Simple Surface						
Loss Method: Soil Moisture Accounting						
Transform Method: SCS Unit Hydrograph						
Baseflow Method: Recession						

Ilustración 14 Método seleccionados para la simulación de la cuenca

Fuente: Modelo HEC-HMS

Basin Name: Cuenca1	
Element Name: Subbasin-1	
*Soil (%)	40
*Groundwater 1 (%)	70
*Groundwater 2 (%)	70
*Max Infiltration (MM/HR)	5,84
*Impervious (%)	5
*Soil Storage (MM)	37,41
*Tension Storage (MM)	32,01
*Soil Percolation (MM/HR)	3,42
*GW 1 Storage (MM)	133,82
*GW 1 Percolation (MM/HR)	0,85
*GW 1 Coefficient (HR)	1500
*GW 2 Storage (MM)	149,7
*GW 2 Percolation (MM/HR)	0,5932
*GW 2 Coefficient (HR)	3000

Ilustración 15 Parámetros del método de pérdidas SMA

Fuente: Modelo HEC-HMS

Subbasin	Canopy	Surface	Loss	Transform	Baseflow	Options
Basin Name: Cuenca1 Element Name: Subbasin-1						
Initial Type:						Discharge
*Initial Discharge (M3/S)	17,41					
*Recession Constant:	0,5					
Threshold Type:						Threshold Discharge
*Flow (M3/S)	17					

Ilustración 16 Flujo base – Datos del Método Recession

Fuente: Modelo HEC-HMS

Subbasin	Canopy	Surface	Loss	Transform	Baseflow	Options
Basin Name: Cuenca1 Element Name: Subbasin-1 Graph Type: Standard (PRF 484) ▼ *Lag Time (MIN) 675,73						

Ilustración 17 Parámetros de SCS Unit Hydrograph

Fuente: Modelo HEC-HMS

Basin Name: Cuenca1	
Element Name: Subbasin-1	
*Initial Storage (%)	30
*Max Storage (MM)	77

Ilustración 18 Parámetros – Método Surface

Fuente: Modelo HEC-HMS

Loss	Transform	Baseflow	Options
 Subbasin		Canopy	Surface
Basin Name: Cuenca1 Element Name: Subbasin-1 *Initial Storage (%) 30 *Max Storage (MM) 1 Crop Coefficient: 1,0 Evapotranspiration: Only Dry Periods ▼ Uptake Method: --None-- ▼			

Ilustración 19 Parámetros – Método Canopy

Fuente: Modelo HEC-HMS

Calibración de Modelación Hidrológica

Descripción del Método de calibración

La calibración es un proceso por el cual se identifican los valores de los parámetros del modelo para los cuales la serie de datos simulado se ajusta de manera óptima a la serie de datos observados. Para evaluar la bondad de ajuste del modelo se utiliza una “función objetivo”, que para el presente caso será la raíz del error medio cuadrático (RMSE). (Eng)

La calibración del modelo se lleva a cabo mediante la optimización de los parámetros seleccionados por el modelador en función de su sensibilidad. Para este estudio, se eligieron variables de los métodos de Canopy, Surface y flujo base con el fin de obtener las primeras aproximaciones visuales de las gráficas de caudal. Una vez que se ha alcanzado una aproximación inicial a estos valores, se inicia la calibración automática utilizando las herramientas proporcionadas por el software. Este proceso permite ajustar los parámetros del modelo de manera más precisa para que las simulaciones hidrológicas sean más precisas y se ajusten mejor a los datos observados.

Parámetros con mayor sensibilidad en el modelo

Parámetro	Descripción	U.M.
Simple Surface - Max Storage	Máximo Almacenamiento	mm
Soil Moisture Accounting - Max Infiltration	Máxima capacidad de infiltración en el suelo	mm/hr
Soil Moisture Accounting - Soil Storage	Capacidad de almacenamiento del suelo	mm
Soil Moisture Accounting - GW1 Storage	Capacidad de almacenamiento del depósito subterráneo n° 1	mm
Recession - Initial Discharge	El agotamiento gradual del caudal durante períodos	m3/s
Recession - Threshold Discharge		
Soil Moisture Accounting - Initial Soil Content	Pérdida de agua por medio de la infiltración dentro del área de una cuenca.	%

Tabla 4 Parámetros con mayor sensibilidad en el modelo

Fuente: elaboración propia

Resultados

Modelación hidrológica Inicial

Una vez ingresados todos los datos, se procedió con la modelación hidrológica inicial de la cuenca utilizando el software HEC-HMS, la cual nos dará una perspectiva referencial del comportamiento de la cuenca ante las variables ingresadas.

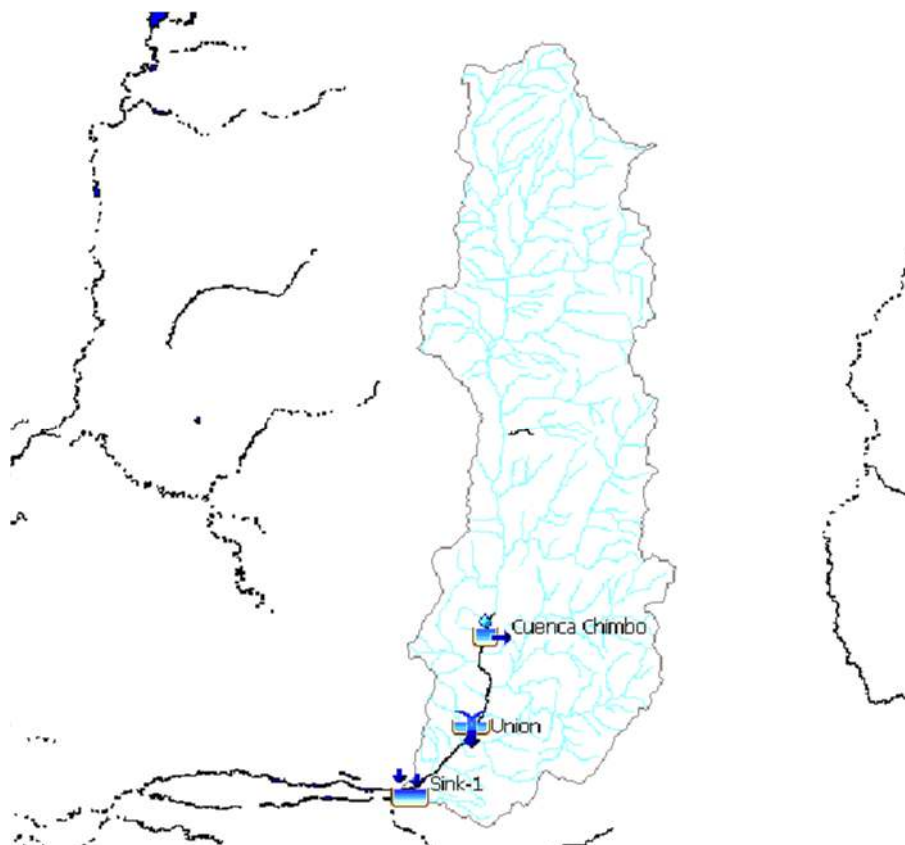


Ilustración 20 Representación gráfica de la cuenca Chimbo – Bucay.

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se presenta la ilustración 21 resultante de la modelación hidrológica. Esta ilustra el comportamiento del caudal a lo largo del tiempo e incluye datos como las precipitaciones obtenidas del satélite TRMM, las mediciones reales del caudal, así como el comportamiento de la infiltración y el flujo base.

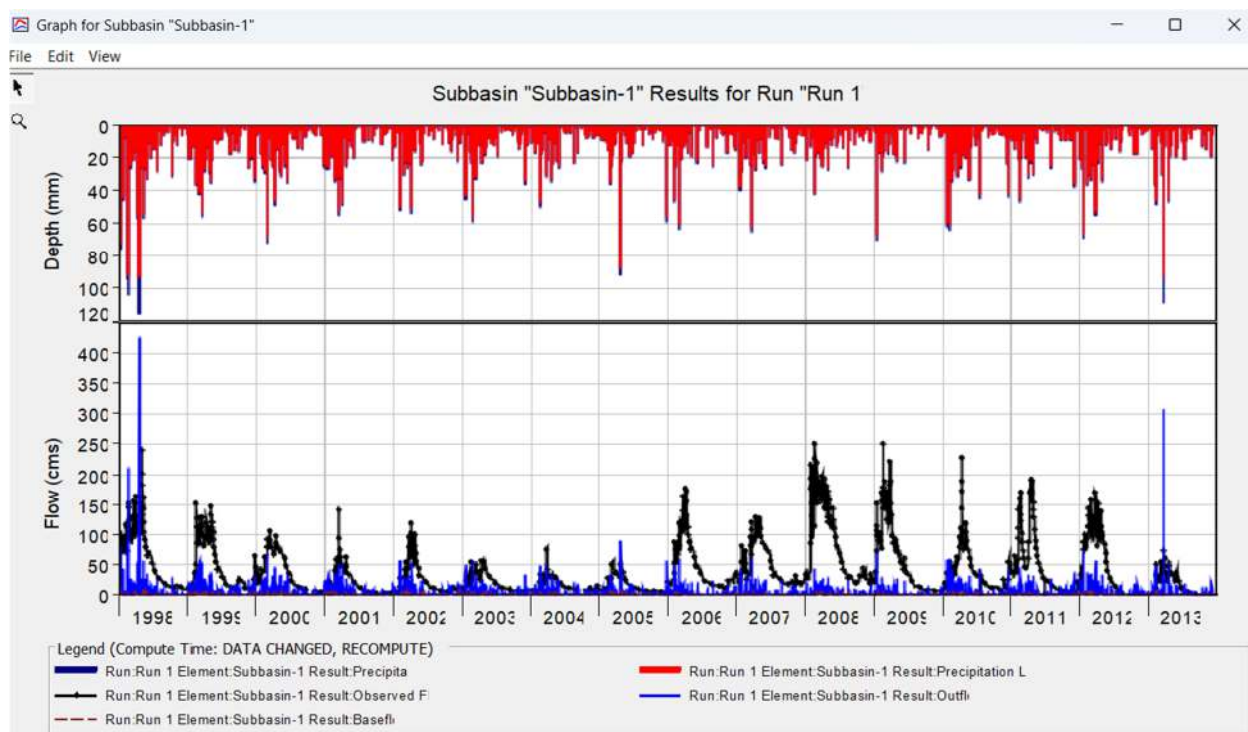


Ilustración 21 Resultados de los datos medidos (TRMM) vs Datos Simulados.

Fuente: Modelo HEC-HMS

Mediante un análisis visual general se observan datos de caudales pico situados muy por encima de los caudales pico observados (año 1998 y 2013); así mismo se observa un volumen escorrentía superficial modelado inferior a la observado, en donde la línea azul (caudal modelado) se sitúa en su mayoría por debajo de la línea negra (caudal observado). Dichos resultados evidencian un cambio drástico con respecto a la relación diaria entre el caudal observado y el caudal simulado, por lo que no son considerables para la validación de un modelo

hidrológico y que por lo tanto no resultan útiles para ser utilizado con fines de pronósticos hidrológicos.

Modelación hidrológica Calibrada

Una vez realizada la modelación hidráulica inicial, se procedió con la calibración de los parámetros. Los resultados obtenidos del modelo hidrológico calibrado para la cuenca Chimbo – Bucay se muestran a continuación:

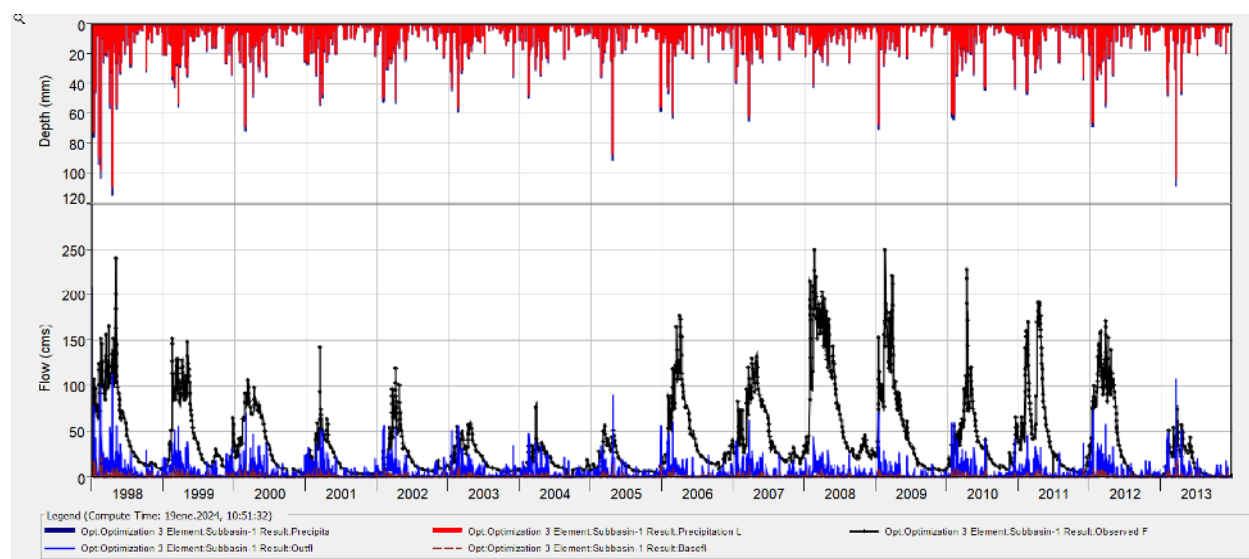


Ilustración 22 Resultados de optimización de los datos medidos (TRMM) vs Datos Simulados.

Fuente: Modelo HEC-HMS

De acuerdo con la Ilustración 22, el hidrograma calibrado refleja una disminución de los caudales pico encontrados en los años 1998 y 2013 y un volumen de escorrentía inferior a los datos observados por el INAMHI.

Project:Cuenca_Chimbo		Optimization Trial:Optimization 3		
Start of Trial: 31dic1997, 00:00		Basin Model: Cuenca1		
End of Trial: 31dic2013, 00:00		Meteorologic Model:Met 1		
Compute Time:19ene2024, 10:09:14				
Statistic at Basin Element "Subbasin-1"				
Goal:		Minimization		
Statistic:		Root Mean Square Error		
Start of Function:		31dic1997, 00:00		
End of Function:		31dic2013, 00:00		
Value:		49,50		
Volume Units: ☒ MM ☐ 1000 M3				
Measure	Simulated	Observed	Difference	Percent Difference
Volume (MM)	10953020963,00	84074609978,00	-73121589015,00	-86,97
Peak Flow (M3/S)	2090164568,0	2500269928,0	-410105360,0	-16,4

Ilustración 23 Datos estadísticos

Fuente: Modelo HEC-HMS

En la ilustración 23 se observan las estadísticas del Error Cuadrático Medio (Root Mean Square Error), con un valor de 49,50. Este indicador se utiliza para evaluar la eficacia de la optimización del modelo. Un valor ideal sería 0, lo que indicaría una calibración perfecta. A medida que este valor se aleja de 0, la confiabilidad del modelo disminuye, indicando una falta de calibración.

En cuanto a los valores de volumen, el porcentaje de diferencia de -86,97% indica que aún falta alcanzar una cantidad significativa de volumen de escorrentía para una calibración óptima. Además, en los caudales pico, se registra un -16,4%, lo que sugiere que se está aproximando a los valores óptimos, aunque aún hay margen de mejora para lograr una calibración más precisa.

Los resultados obtenidos se basaron en la calibración de las siguientes variables:

Project:Cuenca_Chimbo Optimization Trial:Optimization 3				
Start of Trial: 31dic1997, 00:00 Basin Model: Cuenca1				
End of Trial: 31dic2013, 00:00 Meteorologic Model:Met 1				
Compute Time:19ene2024, 10:09:14				
Element	Parameter	Units	Initial Value	Optimized Value
Subbasin-1	Simple Surface - Max Storage	MM	77	1295,2
Subbasin-1	Soil Moisture Accounting - Max In...	MM/HR	5,84	407,20
Subbasin-1	Soil Moisture Accounting - Soil Sto...	MM	37,41	1210,2
Subbasin-1	Soil Moisture Accounting - GW1 S...	MM	170,67	145,08
Subbasin-1	Recession - Initial Discharge	M3/S	17,41	209,02
Subbasin-1	Recession - Threshold Discharge	M3/S	17	111,63
Subbasin-1	Soil Moisture Accounting - Initial S...	%	40	3,5099

Ilustración 24 Parámetros Optimizados

Fuente: Modelo HEC-HMS

En términos generales, el modelo tiende a incrementar la capacidad de retención del suelo, acuíferos y superficie, así como a mejorar la capacidad de infiltración. El objetivo principal es reducir los picos de escorrentías y aumentar los caudales base, específicamente Recession – Initial Discharge y Recession – Threshold Discharge.

Con este enfoque, el modelo busca mitigar los picos de caudales máximos en el hidrograma (ilustración 21). Por ejemplo, en el año 1998, el modelo original alcanza un caudal de 450 m³/s, y en 2013 llega a 300 m³/s, valores bastante elevados. Por ende, el programa busca optimizar el sistema para reducir estos picos de caudales, aumentando la capacidad de retención del suelo, la superficie y los acuíferos, al mismo tiempo que incrementa los caudales base. Es por esta razón que estos valores desaparecen en el modelo ajustado.

Análisis y discusión de resultados

Como se puede evidenciar en los resultados del modelamiento hidrológico en el programa HEC – HMS realiza una simulación global de toda la cuenca.

Al analizar los resultados, se pudo observar en la (ilustración 25) que en ciertos años se presenta una discrepancia evidente. En particular, en el año 1998, se registra una precipitación de casi 120 mm, lo cual, según el hidrograma medido, resulta en un caudal de 250 m³/s. Por otro lado, en el año 2005, a pesar de una precipitación máxima de 90 mm, el pico del hidrograma genera únicamente 55 m³/s, indicando una falta de correlación.

En los años 2008, 2009 y 2010, a pesar de tener una precipitación promedio de 60 mm, se observa que el caudal generado es de 250 m³/s, igualando el valor obtenido en 1998, a pesar de que en ese año la precipitación fue de 120 mm. Similarmente, en el año 2013, con una precipitación de 110 mm, se obtiene un caudal de 60 m³/s. Esta falta de consistencia en las relaciones entre precipitación y caudal sugiere una falta de correlación en los datos, generando así incertidumbre y reduciendo la confiabilidad de los valores de precipitación registrados.

En respuesta a estos resultados hidrológicos estos valores la cuenca podría haber aumentado su porcentaje de escorrentía y con menos precipitaciones se reflejan la misma cantidad de m³/s, otros de los posibles factores que se observaron, en la cuenca Chimbo – Bucay es su crecimiento urbano, principales problemas ambientales como la deforestación, la disminución de las zonas de recarga hídrica, especialmente en las zonas más altas, pérdida de fertilidad de los suelos por procesos naturales de erosión y de malas prácticas agrícolas ya que son sus principales actividades productivas de la cuenca, debido a la extrema relación de caudales y precipitaciones y de estos potenciales fenómenos no podrían enumerar tanta diferencia entre los datos, ya que no hay una magnitud que cubra toda la zona de la cuenca como

para contribuir a esta discrepancia, aun así teniendo estos factores que puedan afectar a la cuenca la correlación de precipitación y caudal se mantendría por lo menos con los datos de los años que se detalló en la ilustración 25.

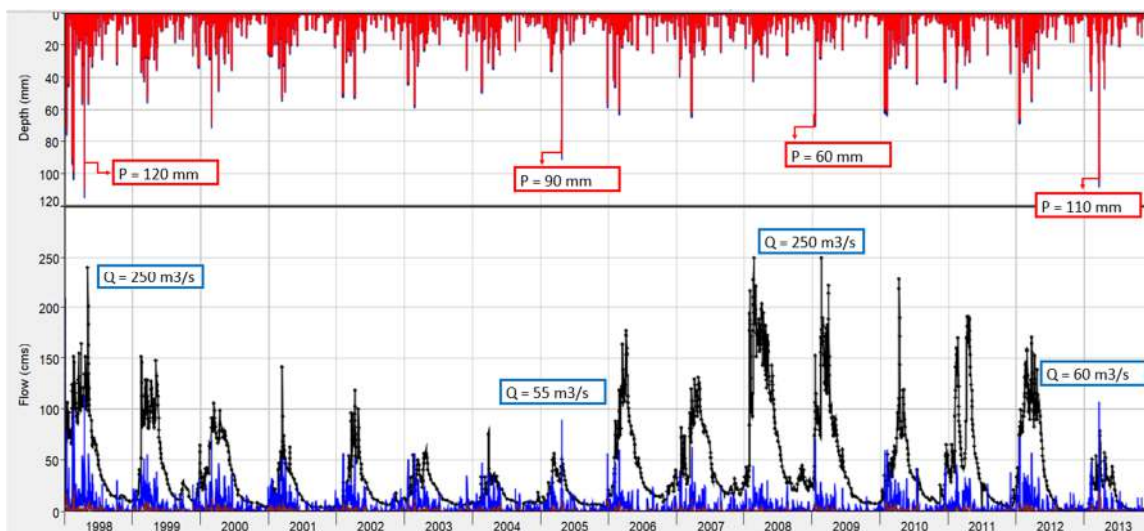


Ilustración 25 Hidrograma de Resultados de Datos de Precipitación y Caudal

Fuente: HEC- HMS y Propia

Debido a su baja calibración, este modelo podría considerarse únicamente como una referencia para la planificación hidrológica. Por lo tanto, sería recomendable utilizar diversas fuentes de precipitación con el fin de lograr un ajuste más preciso del modelo. Este enfoque mejorado nos permitirá gestionar de manera más eficiente los recursos hídricos de la cuenca en el futuro.

"Como evidencia de la hipótesis expuesta, se elaboró un gráfico de dispersión para medir la correlación entre los datos de precipitación del satélite TRMM 3B42 V7 y los caudales observados medidos por el INAMHI, en donde observa claramente la ausencia de una adecuada correlación entre los mismos, confirmando el débil ajuste del modelo hidrológico calibrado.

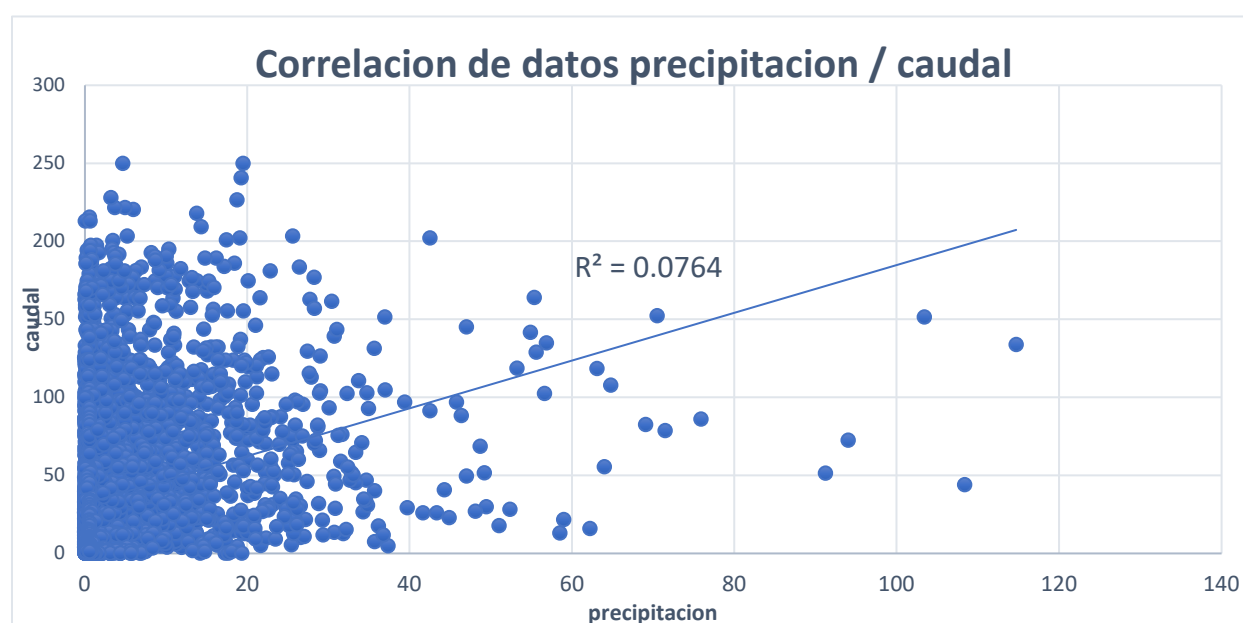


Ilustración 26 Correlación de datos precipitación y Caudal

Fuente: Elaboración Propia

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Se procesaron datos, características geomorfológicas de la cuenca Chimbo Bucay, se construyó un hidrograma observado con la ayuda de los anuarios hidrológicos del INAMHI y del satélite TRMM 3B42 V7 donde se ejecutó la corrida del modelo continuo SMA en un periodo de 15 años.

Se ejecuto la modelación hidrológica continua de la cuenca Chimbo Bucay, por el método SMA en el software HEC-HMS, con los parámetros hidrológicos procesados, obteniendo caudales y precipitaciones sin calibración donde se observaron resultados evidencian un cambio drástico con respecto a la relación diaria entre el caudal observado y el caudal simulado lo cual no son considerables para la validación de un modelo hidrológico.

Se ejecutó la calibración del modelo hidrológico utilizando 7 parámetros de optimización, donde se logró determinar el valor de la raíz del error medio cuadrático (49.50) el cual refleja un pobre ajuste del hidrograma modelado al hidrograma observado. Los resultados obtenidos no muestran una correlación significativa entre los datos de precipitación y caudal. Se observa que el programa tiene a optimizar valores elevados en un intento de lograr una calibración, sin obtener resultados satisfactorios.

Recomendaciones

Se recomienda la recopilación de datos de fuentes más fiables y verídicas para así acercarnos más a la realidad, hacer análisis de las estaciones más cercanas a la cuenca y así poder verificar los datos diarios de las lluvias, ya que en este estudio no se logró poder realizarla por la falta de información en las estaciones meteorológicas.

Utilizar software que sea libres, de fácil acceso y manejo. En este caso como HEC-HMS tiene su propio manual, es recomendable leerlo para así hacerlo más fácil y entendible los análisis.

Se recomienda hacer tratamientos estadísticos probabilísticos para ambos parámetros para lograr un mejor ajuste.

Bibliografía

A. Ochoa, L. P. (2013). *Evaluation of TRMM 3B42 precipitation estimates and WRF retrospective precipitation simulation over the pacific - andean region of Ecuador and Peru* .

Hydrol. Earth Syst. Sci., 18, 3179–3193, 2014.

A., G. J. (2018). *Homogenizacion Of Climatic Series with Climatol*. Obtenido de <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.27020.41604>

Angulo M., A. S. (2018). MODELACION HIDROLOGICA DE LA CUENCA MAYLANCO UTILIZANDO HEC- HMS INVESTIGACION Y DESARROLLO .

Buytaert W., K. B. (2011). *Models As Multiple Working Hypotheses* .

Eng, J. C. (s.f.). *Calibracion de Modelos Hidrologicos*. Universidad Nacional de Ingenieria . Obtenido de Fa.

(2007). *Estimacion de caudales promedios mensuales por subcuencas hidrologicas mediante modelacion con HEC-HEMS* . Tecnura .

Estrada, V. P. (2016). Modelacion Hidrologica con HEC HMS en cuencas montañosas de la region oriental de Cuba . *Ingenieria Hidraulica y Ambiental* .

HEC-HMS. (s.f.). *Manual elemental* .

Juan F. Weber, C. M. (2010). *DESARROLLO Y CALIBRACIÓN DE UN MODELO HIDROLÓGICO*. Buenos Aires, Argentina .

Kim, Y. E. (2017). *Fail-safe and safe-to-fail adaptation: decision-making for urban flooding under climate change*. . Obtenido de Climate Change : <https://doi.org/10.1007/s10584-017-2090-1>

Liden R., H. (2000). *Analysis of conceptual rainfall-runoff modelling performance in different climates* . Obtenido de Journal of Hydrology : [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00330-9](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00330-9)

Moya, E. s. (2015). *Aplicacion de modelos hidrologicos* .

Néstor Francisco–Nicolás^{1*}, A. T.–F.–L.–M.–Q. (Mayo de 2009). Estimación del escurrimiento superficial con el método SCS–CN en el trópico subhúmedo de México. *Scielo*.

Nouvelot J., G. P. (1993). *Analisis estadisticos y Regionalizacion de las precipitaciones en el Ecuador*. Obtenido de Goulven/Publication/32973438_analisis_estadistico_y_regionalizacion_de_las_precipitaciones_en_ecuador/Links/5ba9231f299bf13e60490e0a/Analisis-Estadistico-Y-Regionalizacion-De-Las-Precipitaciones-En-Ecuador.Pd

Nouvelot, J., Goulven, L., Patrick, Aleman, M., & Pourrut, P. (1993). Analisis Estadisticos y regionalizacion de las precipitaciones del Ecuador .

Olga Lucia Ocampo, J. J. (2013). *Análisis comparativo de modelos hidrológicos* . Medellín : Revista Ingenierías Universidad de Medellín.

Pak, J. R. (s.f.). ANALYSIS FOR SEDIMENT TRANSPORT IN THE HYDROLOGIC MODELING SYSTEM (HEC.HMS) .

Peters, B. y. (2004). CONTINUOS SOIL MOISTURE ACCOUNTING IN THE HYDROLOGIC ENGINEERING Center Hydrologic Modeling Systemen (HEC - HMS).

Quiros, B. E. (2014). Analisis Hidrologico de la cuenca del rio Toyogres Utilizando el modelo HEC-HMS . *Intituto tecnologico de Costa Rica Escuela de ingenieria en construccion* , 28.

Revell, N. L. (2021). *Modelling the Hydrological Effects of Woodland Planting on Infiltration and Peak Discharge*. Obtenido de Using HEC-HMS. Water 2021, Vol. 13, Page 3039, 13(21), 3039. : <https://doi.org/10.3390/W13213039>

Sartip F, R. F. (s.f.). In irrigation Sciences and Engineering . *Shahid Chamran Universitu of Ahvaz* .

Sartip, F. R. (2018). *Irrigation Sciences and Engineering (Vol. 41, Issue 3)*. Obtenido de Irrigation Sciences and Engineering (Vol. 41, Issue 3). Shahid Chamran University of ahvaz : <https://doi.org/10.22055/JISE.2018.13744>

Shewangizaw, D. &. (2010). *Assessing the Effect of Land Use Change on he Hydraulic Regime of Lake Awassa*. In *Nile Basin Water Science& Engineering*.

Sifones, E., V, & Pacheco Moya, R. (2015). Modelacion Hidrologica con HEC-HMS en cuencas montañosas de cuba . *Revista INGENIERIA UC*, 88-104.

Skougaard Kaspersen, P. H.-N. (2017). *Comparison of the impacts of urban development and climate change on exposing European cities to pluvial flooding*. *Hydrology and Earth System Sciences*,. Obtenido de <https://doi.org/10.5194/hess-21-4131-2017>

Ten Veldhuis, J. A. (2010). *Quantitative risk analysis of urban flooding in lowland* .

Victor Hugo Barrera, J. A. (2010). *Experiencias en el Manejo integrado de recursos naturales en la subcuenca del rio chimbo, Ecuador* . Quito- Ecuador .

W. Buytaer, B. B. (2004). *The use of the reservoir concept to quantify the impact of changes in land use on th hydrology of catchments in the Andes* . Belgium .

Wijayarathne, D. B. (2010). *Identification of hydrological models for operational flood forecasting in St. John's*, . Obtenido de Newfoundland, Canada. *Journal of Hydrology* : <https://doi.org/10.1016/J.EJRH.2019.100646>

Wyseure, P. G. (2014). *Comparative analysis of baseflow characteristics of two* .
Belgium: National Centre for Groundwater Research and Training, School of the Environment,
Flinders University, GPO Box 2100, Adelaide 5001 Australia.