



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**Desarrollo de un modelo lluvia escorrentía distribuido, una aplicación
basada en el modelo concentrado de Témez.**

TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTOR: Calvas Malla, Roosevelt Ricardo

DIRECTOR: Oñate Valdivieso, Fernando Rodrigo, PhD

LOJA-ECUADOR

2018



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

2018

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

PhD

Fernando Rodrigo Oñate Valdivieso

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: “**Desarrollo de un modelo lluvia escorrentía distribuido, una aplicación basada en el modelo concentrado de Témez**”, realizado por **Roosevelth Ricardo Calvas Malla**, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, febrero de 2018

f).....

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Calvas Malla Roosevelt Ricardo** declaro ser autor del presente trabajo de titulación: Desarrollo de un modelo lluvia escorrentía distribuido, una aplicación basada en el modelo concentrado de Témez, de la Titulación Ingeniería Civil, siendo PhD Fernando Rodrigo Oñate Valdivieso director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f).....

Autor: Calvas Malla Roosevelt Ricardo

Cédula: 1104686884

DEDICATORIA

Dedicada con mucho amor a mi padre Rusbel Calvas, quien me ha demostrado la satisfacción de perseverancia, y ha sido mi claro ejemplo de que, lo material es innecesario cuando existe felicidad representada en salud y tranquilidad familiar. Siempre estará presente en cada una de las letras en este documento.

A mi querida madre Ana Malla, quien me conoce a la perfección y por eso siempre me ha apoyado en todas mis decisiones, ya sean buenas o malas; siempre me ha enseñado la importancia de adquirir experiencia y me ha demostrado que el mundo es un lugar demasiado pequeño.

Por último dedico mi trabajo a mis hermanos Valeria y Bruno por quienes cada día me esfuerzo en ser un mejor ejemplo, espero que este paso en mi carrera sea una de sus menores metas alcanzables.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios porque me ha permitido llegar hasta aquí con mucha alegría y tranquilidad.

Al cuerpo docente de la UTPL que me ha formado con carácter y conocimiento para desempeñar mi hermosa profesión.

A mis padres, hermanos y familiares que estuvieron presentes en toda mi vida estudiantil apoyándome y demostrándome lo buena que es la vida si cuentas con el apoyo familiar.

A todos mis amigos que influyeron en mi vida personal, a quienes debo muchas de mis experiencias más agradables; en especial a Verónica quien me dio fuerzas durante mis más tristes y problemáticos días.

INDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
INDICE DE CONTENIDOS	vi
INDICE DE FIGURAS	viii
INDICE DE TABLAS	ix
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
CAPITULO 1	5
ESTADO DEL ARTE	5
1.1. Cuenca Hidrográfica	6
1.2. Modelo Lluvia Escorrentía	6
1.2.1. Definición Lluvia Escorrentía	6
1.2.2. Precipitación Media en Simulación de Caudales	6
1.2.3. Distancia Inversa	7
1.2.4. Caudal Medio Mensual	7
1.2.5. Modelo Concentrado de Témez	7
1.2.6. Modelo lluvia escorrentía Témez Distribuido	8
1.2.7. Influencia del Método de Témez	8
1.3. Relación Modelo Témez e Hidrogramas	9
1.4. Variabilidad de Tiempo en Hidrogramas	9
1.4.1. Diferencia entre Hidrogramas diarios y mensuales	10
1.4.2. Interpretación de Hidrogramas mensuales	10
1.5. Tránsito de Avenidas	10
1.5.1. Descripción del problema de Tránsito de caudales	10
1.5.2. Definición Tránsito de Avenidas	11
1.5.3. Tránsito Hidrológico	11
1.5.4. Tránsito por Muskingum - Cunge	11
CAPITULO 2	13
MATERIALES Y METODOS	13
2.1. Zona de Estudio	14

2.1.1.	Subcuenca de los Ríos Pindo y Amarillo	14
2.1.2.	Subcuenca Río Teaone	17
2.1.3.	Subcuenca Río Jubones	17
2.1.4.	Subcuenca Río Chimbo	17
2.2.	Recopilación de Datos	18
2.2.1.	Datos de Precipitación, Temperatura y Caudal.	18
2.2.2.	Imágenes digitales	19
2.3.	Metodología	20
2.4.	Modelo Lluvia-Escorrentía Distribuido	21
2.4.1.	Método de Distancia Inversa	21
2.4.2.	Evapotranspiración por el método Thornthwaite	22
2.4.3.	Balance Hídrico método Thornthwaite - Matter	23
2.4.4.	Modelo Témez Distribuido	24
2.5.	Ajuste de Caudales Simulados	27
2.5.1.	Coefficiente de correlación Pearson	27
2.5.2.	Coefficiente de eficiencia Nash - Sutcliffe	28
2.5.3.	Coefficiente Rv basado en Muskingum-Cunge	29
CAPÍTULO 3		32
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		32
CONCLUSIONES		52
RECOMENDACIONES		54
BIBLIOGRAFÍA		55
ANEXOS		60

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación básica de un modelo de transformación lluvia escorrentía.	6
Figura 2. Interpolación Distancia Inversa para precipitaciones y Temperaturas.	7
Figura 3. Flujograma modelo de transformación lluvia escorrentía Témez.	8
Figura 4. Hidrograma Medio Anual.	10
Figura 5. Mapa de situación – área de estudio Subcuencas río Amarillo y Pindo.	15
Figura 6. Gráfica tramos de estudio Río Amarillo y Pindo.	15
Figura 7. Subcuenca río Amarillo.	16
Figura 8. Mapas de situación – área de estudio Subcuencas ríos Teaone, Chimbo y Jubones.	16
Figura 9. Estaciones Meteorológicas escogidas.	19
Figura 10. Registro Histórico Estaciones Teaone Esmeraldas/Teaone Tabiazo, 1995-2014	34
Figura 11. Hidrogramas Entrada y Salida reales año 1996, Teaone.	34
Figura 12. Hidrogramas Entrada y Salida reales año 1999, Teaone.	35
Figura 13. Hidrogramas Entrada y Salida reales año 2013, Teaone.	35
Figura 14. Registro Histórico Estaciones San Lorenzo/ Pangor, 1995-2014	36
Figura 15. Hidrogramas Entrada y Salida reales año 1996, Chimbo.	36
Figura 16. Hidrogramas Entrada y Salida reales año 2005, Chimbo.	37
Figura 17. Hidrogramas Entrada y Salida reales año 2010, Chimbo.	37
Figura 18. Registro Histórico Estaciones Ushcurrumi / San Francisco, 1995-2014	38
Figura 19. Hidrogramas Entrada y Salida reales año 1996, Jubones.	38
Figura 20. Hidrogramas Entrada y Salida reales año 1999, Jubones.	39
Figura 21. Hidrogramas Entrada y Salida reales año 2000, Jubones.	39
Figura 22. Hidrograma medio anual año 1966, Pindo.	40
Figura 23. Hidrograma medio anual subcuenca río Teaone, 1995-2014. Real vs Simulado.	41
Figura 24. Hidrograma medio anual Salida Real vs Salida Simulado año 1995, Teaone.	42
Figura 25. Hidrograma medio anual subcuenca río Jubones, 1995-2014. Real vs Simulado.	43
Figura 26. Hidrograma medio anual Salida Real vs Salida Simulado año 2000, Jubones.	43
Figura 27. Hidrograma medio anual subcuenca río Teaone, Distribuido. 1995-2014. Real vs Simulado.	44
Figura 28. Hidrograma medio anual Salida Real vs Salida Simulado año 1995, Teaone Distribuido.	45
Figura 29. Hidrograma medio anual subcuenca río Chimbo, 1995-2014. Real vs Simulado.	45
Figura 30. Hidrograma medio anual Salida Real vs Salida Simulado año 2005, Chimbo.	46
Figura 31. Hidrogramas medio anual 1965/1980, Amarillo.	48
Figura 32. Hidrogramas establecidos en el año 1997, Chimbo.	50

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas de estaciones Hidrológicas Y Meteorológicas en estudio.....	18
Tabla 2. Rangos de estimación factor Pearson.	28
Tabla 3. Rangos de estimación eficiencia Nash - Sutcliffe.	28
Tabla 4. Coeficientes Rv para corrección de Qt.	50
Tabla 5. Anomalías del Niño y la Niña durante 1989 a 2004.	51

RESUMEN

La dependencia por el agua en las actividades humanas alrededor del mundo ha creado la necesidad de saber cuánta lluvia y caudal existe en un lugar determinado. En este estudio se presenta un modelo de predicción lluvia-escorrentía aplicando el modelo de Témez en su forma distribuida.

Se recopiló información de precipitaciones, temperaturas y caudales en estaciones hidrológicas conjuntas. Se analizó la relación entre caudal medio mensual al inicio y final de la cuenca. Se aplicó el método distribuido de Témez con división en microcuencas. Luego se determinó la correlación Pearson y equilibrio Nash-Sutcliffe para los caudales simulados. Por último se intentó ajustar dichos caudales con un coeficiente obtenido de las ecuaciones de tránsito propuestas por Muskingum-Cunge.

La relación entre caudales medios mensuales al inicio y al final de la cuenca no reflejó desplazamientos del pico en el tiempo. Los caudales distribuidos se clasificaron en una correlación Pearson y un número de Nash-Sutcliffe muy bueno. No hubo necesidad de aplicar un ajuste por medio de Muskingum-Cunge. Finalmente se demuestra que el modelo lluvia escorrentía distribuido por microcuencas permite una simulación óptima.

PALABRAS CLAVE: Modelo Lluvia Escorrentía, Caudal Medio Mensual, Simulación de Caudales, atenuidad de la onda Muskingum-Cunge

ABSTRACT

The dependence on water in all human activities around the world has created the need to know how much rain and flow can exist in a given place. In this study, a rainfall-runoff prediction model is presented applying the T mez model in its distributed form.

Information on rainfall, temperatures and flows was collected in joint hydrological stations. The relationship between monthly average flow at the beginning of the basin and at the point of interest was analyzed, allowing the application of the distributed method of T mez with the microbasin division. Then the Pearson correlation and Nash-Sutcliffe equilibrium were determined for the simulated flows; and finally, an attempt was made to adjust these flow rates with a coefficient obtained from the wave attenuation equations proposed by Muskingum-Cunge.

The relationship between average monthly flows at the beginning and at the end of the basin did not reflect displacements of the peak flow in time. The distributed flows were classified into a Pearson correlation and a very good Nash-Sutcliffe number; and there was no need to apply an adjustment through Muskingum-Cunge. Finally, it is shown that the rainfall-runoff model distributed by microbasins allows an optimal simulation.

KEY WORDS: Rain Runoff Model, Monthly Medium Flow, Flow Simulation, wave attenuation of the Muskingum-Cunge

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural primordial en el planeta Tierra y es el elemento de mayor demanda. Solo el 2,53% del total es agua dulce, su mayoría se encuentra contenida en glaciares, y el restante corresponde a océanos (UNESCO, 2003). La sociedad humana como principal usuaria debe tomar medidas para proteger este recurso hídrico ante amenazas tales como, sequías, estrés hídrico, cambios sustanciales en el régimen hidrológico, etc. (Magrin, 2007; Rosenzweig, 2004). La escasa información de caudales afecta al control del agua en sectores urbanos, agrícolas, industriales, etc. Por este motivo es necesario saber la cantidad de lluvia y caudal en una cuenca aplicando métodos de simulación de caudal para su protección (Franquet, 2009). Por ello la importancia de esta investigación enfocada en el pronóstico de caudales mensuales a través de predictores climáticos, dado que estas herramientas ayudarán a generar medidas para la correcta utilización de este recurso (Pizarro et al., 2005; Sandoval y Aguilera, 2014; Sigala, 2015).

El modelo Témez (1978) ha servido durante décadas como un modelo simplificado de predicción de caudales; su versión distribuida divide la cuenca en celdas que determinan el flujo medio mensual utilizando variables climáticas del entorno, como la precipitación y temperatura (Pizarro et al., 2005; Ponce y Lugo, 2000). Aplicando este método se ha establecido relación entre escorrentía superficial y sedimentación en cauces sobre cuencas Uruguayas (Perumal y Sahoo, 2012; Heatherman, 2004). También es utilizado en la estimación de caudales mensuales para obras de control de captaciones sobre el río Tiétar en España (Ministerio del medio Ambiente Madrid, 2009; Fung, 2009). En base a esto se plantea un modelo lluvia escorrentía distribuido que divide la zona en microcuencas dependiendo de los cauces aportantes, y se determina el caudal total al final de la cuenca.

Este documento tiene como finalidad realizar un modelo lluvia escorrentía distribuido que simule el flujo medio mensual transitado, en base a datos básicos medidos dentro de la cuenca. Por eso se incluye mediante una hoja de cálculo el método de balance hídrico, que involucra variables de evapotranspiración, humedad del suelo, infiltración máxima del suelo, etc. (Nijssen, et al., 1997; Quito, 2015; Schroeter y Epp, 2016).

La presente investigación inicia estableciendo una relación existente entre caudales medios mensuales al inicio y salida de la cuenca; luego divide las zonas de estudio en microcuencas aportantes en las que se distribuye la precipitación y temperatura para consecuentemente simular los caudales medios mensuales por medio del modelo lluvia escorrentía Témez distribuido. Por último estos caudales se ajustan con un factor (R_v) obtenido en base a la ecuación de atenuación de la onda pico propuesta por Muskingum-Cunge para disminuir la variación entre los datos reales y los simulados (Gerald et al., 2016). La investigación se realiza sobre las subcuencas de los ríos Pindo, Amarillo, Teaone, Chimbo y Jubones

situadas a lo largo del Ecuador, las cuales poseen diferente clima, morfología e información meteorológica.

Este documento contiene cuatro capítulos: 1) Estado del arte en donde se definen teorías y antecedentes sobre importancia hidrológica, alcance de los métodos Témez concentrado y distribuido, y aplicación del método Muskingum para tránsito de caudales. 2) Datos y Materiales; aquí se describe la zona de estudio, materiales imprescindibles para el análisis, metodologías de apoyo, modo de utilización de la hoja electrónica y el proceso de comparación de resultados. 3) Resultados y Discusión, en donde se presentan los resultados obtenidos y se comparan con sus respectivos datos reales, 4) Conclusiones y Recomendaciones, aquí se establecen los aspectos relevantes de esta investigación, y sugerencias para futuros estudios.

CAPITULO 1
ESTADO DEL ARTE

1.1. Cuenca Hidrográfica

Según Gregory y Walling (1973) “Las cuencas hidrográficas son consideradas sistemas abiertos, que reciben energía y materia de la atmosfera y procesos endogénicos y la pierde a través del caudal y descarga de sedimento”. Una cuenca se puede dividir en subcuencas y microcuencas dependiendo de su área a desarrollar. Subcuenca se denomina a la región que drena directamente en el cauce principal; por otro lado microcuenca es la región que drena directamente en el cauce principal de una subcuenca (Faustino y Jiménez, 2005).

1.2. Modelo Lluvia Escorrentía

1.2.1. Definición Lluvia Escorrentía

Es la manera representativa del ciclo hidrológico y se trata de un modelo estadístico detallado de la escorrentía distribuida a lo largo de un cauce (Heatherman, 2012; Carmona et al., 2014). Ver Fig1.

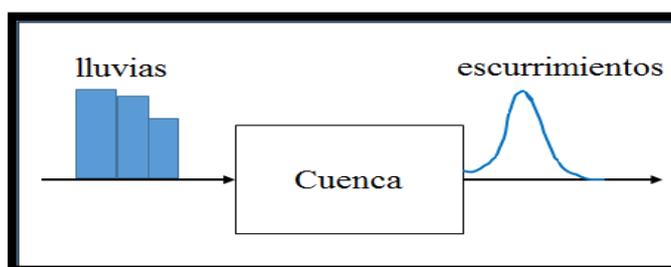


Figura 1. Representación básica de un modelo de transformación lluvia escorrentía.

Fuente: (Sigala, 2015).

Elaboración: (Sigala, 2015).

1.2.2. Precipitación Media en Simulación de Caudales

Según Monsalve (2006) “Precipitación es, en general, el termino que se refiere a todas las formas de humedad emanadas de la atmosfera y depositadas en la superficie terrestre, tales como lluvia, granizo, rocío, nieve o helada”. En conclusión la precipitación es toda muestra de humedad que caiga a la superficie terrestre.

Los valores de precipitación para este tipo de análisis hidrológico deben presentarse en una cierta cantidad para la región en análisis; es decir, como lámina de agua promedio obtenida en un punto de interés de la cuenca hidrográfica o precipitación media. La información puede ser diaria, mensual o anual (Armijos, 2012; Geraldí et al., 2010).

Modelos de simulación de caudales medios, como: Modelo t, ARMA, GR2M o Témez (Pizarro et al., 2005) se apoyan en precipitaciones medias areales a nivel mensual, las cuales se obtienen en base a métodos de estimación como Distancia Inversa (Sandoval y Erazo, 2014).

1.2.3. Distancia Inversa

El método de la distancia inversa permite asumir cada punto como un poseedor de influencia zonal, el cual disminuye correspondientemente a la distancia (Mitas y Mitasova, 1999); se ha utilizado en la estimación de caudales medios mensuales para las cuencas de los ríos Purapel y Achibueno ubicadas en Chile; se presentaron resultados aceptables para aquellas zonas y se estableció una variación mínima entre ambos métodos, por lo cual, este estudio recomienda el método de Distancia Inversa para la estimación de precipitaciones y temperaturas dentro de la simulación de caudales (Pizarro et al., 2003). Ver Fig2.

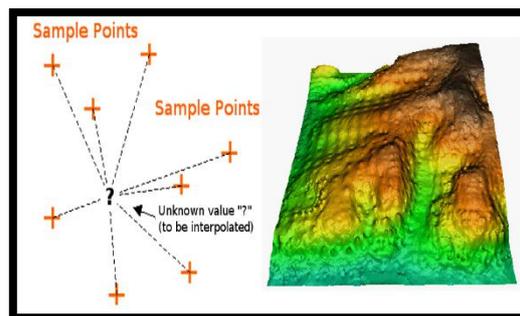


Figura 2. Interpolación Distancia Inversa para precipitaciones y Temperaturas.

Fuente: (Mitas y Mitasova. 1999).

Elaboración: (Mitas y Mitasova. 1999).

1.2.4. Caudal Medio Mensual

Se trata del caudal transportado de manera mensual, el cual resulta del promedio de los caudales diarios establecidos en los registros anuales (Aparicio, 1992). Según Pizarro et al. (2005), este tipo de caudal es indicado para representar las relaciones hidrológicas que ocurren en una cuenca. La figura 4 muestra los caudales medios mensuales, representados sobre un hidrograma medio anual.

1.2.5. Modelo Concentrado de Témez

El modelo concentrado de Témez es un método de predicción estadístico para caudales, el cual asume que el suelo funciona como un tipo de almacenamiento de agua. El modelo inicia con datos de precipitación y evapotranspiración potencial, mientras que, el almacenamiento de humedad al final del periodo viene dado por ecuaciones que involucran máxima infiltración del suelo y humedad máxima del suelo. De esta manera se produce un excedente cuando el nivel de agua sobrepasa el nivel entre la relación de humedad e infiltración máxima del suelo (Hill et al., 2008; Murillo, 2011; Témez 1978). La figura 3 demuestra el proceso inmerso en la metodología de Témez.

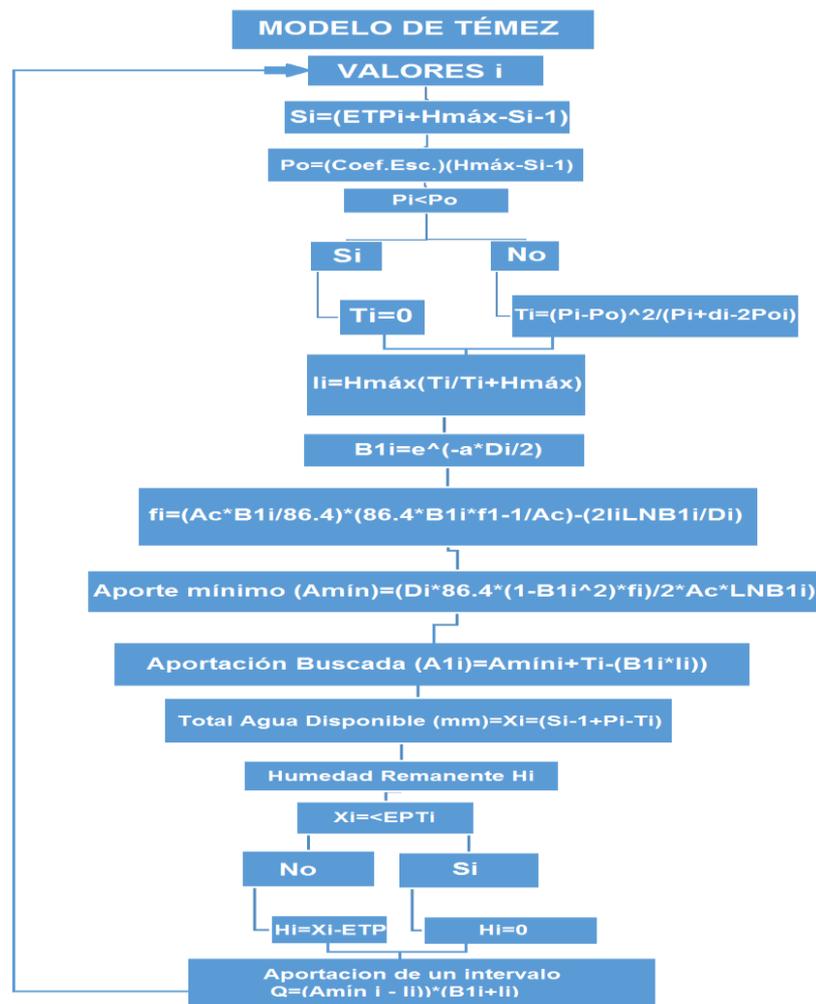


Figura 3. Flujograma modelo de transformación lluvia escorrentía Témez.
 Fuente: El autor.
 Elaboración: Propia.

1.2.6. Modelo lluvia escorrentía Témez Distribuido

Este modelo se basa en la metodología de Témez concentrado, el cual está fundamentado en el principio de conservación de masa y define leyes de transferencia en términos de balance hídrico. Por lo general, el modelo considera intervalos temporales de un mes. El método de Témez distribuido va enfocado a subcuencas y microcuencas, en donde estas se dividen en celdas de 1Km x 1Km para las cuales se proyectan los datos meteorológicos y se realiza la metodología propuesta. Su principal diferencia es la cantidad de resultados operados; mientras Témez concentrado maneja un caudal en el punto de interés, Témez Distribuido maneja un número n de caudales, el cual responde al número de celdas en que se divide la subcuenca (Gamazo et al., 2014).

1.2.7. Influencia del Método de Témez

El modelo de Témez demuestra un acercamiento aceptable con respecto a caudales reales; cuando existe la accesibilidad de datos necesarios (Juela, 2011).

La metodología de Témez se ha considerado en varias investigaciones, las cuales requieren una simulación integral de caudales. “Diseños Hidrológicos de Presas”, “Modelación de Cuencas Uruguayas utilizando un Algoritmo Genético Multiobjetivo”, “Balance Hídrico Cuenca del Plata”, entre otras. Estas investigaciones han presentado resultados confiables utilizando la metodología propuesta por Témez (Gamazo et al., 2014).

El Modelo Témez también se ha utilizado para dar pie a varias investigaciones como lo son la determinación de la aportación superficial y subterránea en distintas cuencas que conforman el sistema hidrológico Cornisa-Vega de Granada (sistema hidrológico que se ordena en torno a los ríos Genil, Cubillas y Cacán). Debido a la morfología de la cuenca el modelo es óptimo, porque, Témez modificado conceptualiza el suelo como único almacenamiento existente. En esta zona realizó la simulación de Caudal Subterráneo (Q_{sub}), dando buenos resultados comparables con los datos foronómicos registrados en estaciones de aforo (Murillo y Navarro, 2011).

Se ha establecido la relación entre el caudal subterráneo y el arrastre de sedimentos en base a la investigación realizada en Uruguay, incorporando el efecto del contenido de agua en el suelo modelado por USLE/RUSLE (Universal Soil Loss Equation), para luego estimar la erosión. El modelo lluvia-escorrentía Témez modificado relaciona precipitación y erosión, debido a que mantiene una conexión representada en el modelo USLE/RUSLE. (Hill et al., 2008). Por tal motivo, el modelo Témez en su versión semidistribuida es el mejor modelo lluvia-escorrentía calibrado para las cuencas del Uruguay. Mediante el proceso USLE (Modelo Ecuación de Perdida de Suelo) se validó la hipótesis la cual sostiene que, el efecto de contenido de caudal subterráneo sobreestima la pérdida de suelo; todo esto mediante la determinación de un factor estadístico (contenido de agua en el suelo) dentro del modelo USLE (Hill et al., 2008).

1.3. Relación Modelo Témez e Hidrogramas

La relación existente entre el modelo lluvia escorrentía (Modelo Témez) y los hidrogramas de crecida se establece al tener un registro de datos tabulados en un orden cronológico. Los resultados del modelo de Témez se muestran en una gráfica (hidrograma) que indica los caudales con una escala de tiempo y espacio (Xie et al. 2015).

1.4. Variabilidad de Tiempo en Hidrogramas

Los hidrogramas se pueden construir en base a datos correspondientes a una serie específica de tiempo, es decir, estos pueden ser diarios, mensuales, anuales, etc., depende del requerimiento de los proyectos de planificación o manejo ambiental de cuencas hidrográficas. Estos datos de caudal se pueden obtener por medio de instrumentos de medición como limnógrafos o limnímetros. Sin embargo, en numerosas ocasiones se

observa la ausencia de estos, por lo tanto, es necesario tomar medidas alternativas para generar dichos caudales a partir de información básica como precipitaciones y temperaturas (Carvajal et al., 2007).

1.4.1. Diferencia entre Hidrogramas diarios y mensuales

Las diferencias entre hidrogramas diarios y mensuales, se destacan en características como, poseer más de un pico (en algunos casos), o determinar características medias del río como lo son el régimen y la alimentación. Cuando se utilizan escalas de tiempo mensuales, se tiene una mejor comparación entre ríos y se comprende la cantidad de caudal a lo largo del año (Montoya et al., 2006).

1.4.2. Interpretación de Hidrogramas mensuales

Mediante la ampliación de tiempo en el hidrograma, las variables se extienden. En consecuencia el caudal generado por un evento diario no es igual a una acumulación de eventos registrados de manera mensual. Las variables que influyen en el comportamiento del hidrograma eventual, tales como: tiempo de concentración de la cuenca, tiempo pico, flujo base, etc. no serán igualmente estimadas en comparación con aquellas que consten en un hidrograma media anual, debido a que, las variables de caudales medios mensuales representan el promedio de todos los eventos ocurridos en un mes (Heatherman, 2012). La figura 4 representa el hidrograma medio anual de la estación Tabiazo en Esmeraldas.

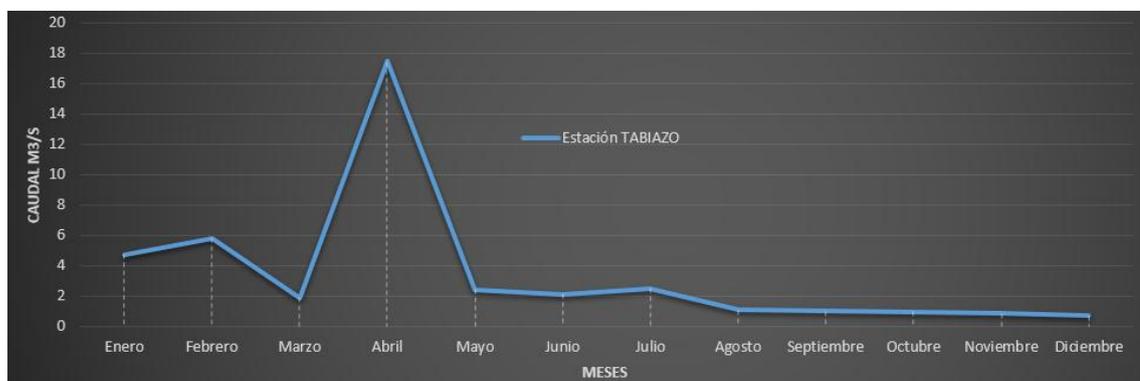


Figura 4. Hidrograma Medio Anual.
Fuente: El autor.
Elaboración: Propia.

1.5. Tránsito de Avenidas

1.5.1. Descripción del problema de Tránsito de caudales

El enrutamiento o tránsito de caudales es el nombre general de los métodos utilizados para estimar el tiempo de viaje y la atenuación de las ondas de inundación a medida que se mueven aguas abajo en un canal o cauce. Es la forma más común de manejo de flujo inestable por parte de los ingenieros, que se aplica para el análisis de ruptura de presas,

problemas de predicción de inundaciones en tiempo real, modelación de cuencas hidrográficas, entre otros (USACE, 1994; Henderson, 1966).

1.5.2. Definición Tránsito de Avenidas

Tránsito de avenidas se denomina al proceso matemático estadístico por medio del cual podemos predecir el comportamiento de un hidrograma, a una distancia Δx aguas abajo y en un lapso de tiempo Δt . Este tipo de modelos permiten obtener un segundo hidrograma (Hidrograma de salida) a partir de un hidrograma inicial que parte de condiciones establecidas. Es muy útil en el ámbito de protección de cauces, porque está relacionado directamente con la altura del caudal pico del hidrograma máximo de crecida (Xiong y Guo, 1999).

Estos métodos están adaptados para flujos pequeños y con naturaleza “serpenteante”. Existen métodos más avanzados como Muskingum (Takeuchi et al., 2004), los cuales permiten obtener un hidrograma de salida para tramos de mayor longitud y lapsos de tiempo mayores (Brunner y Gorbrecht, 1991; Schroeter y Epp, 2016).

1.5.3. Tránsito Hidrológico

Los modelos hidrológicos se usan a menudo por su simplicidad y facilidad de uso en comparación con los modelos hidráulicos. Las dos ecuaciones de almacenamiento importantes utilizadas son de diferencial ordinaria y en forma de discretización centrada, por lo tanto, la relación entre el flujo de salida y de entrada es resuelto por este tipo de métodos (Fenton, 2011).

Según Fung (2009), existen tres categorías de métodos hidrológicos:

- Por medio de Coeficientes de Tránsito
- Tránsito de depósitos
- Lag Routing (Tránsito lento)

1.5.4. Tránsito por Muskingum - Cunge

Cunge (1969) modificó el método de tránsito propuesto por Muskingum, el cual dio como resultado un tránsito hidrológico que se compone de tres coeficientes correlacionados con el flujo de entrada inmediato (Ponce y Lugo, 2001). El flujo de salida es el resultado de la relación entre coeficientes de atenuación de caudal y el último valor medido del flujo de entrada (dato real); los coeficientes se los obtiene en base a las propiedades físicas del canal y el tiempo de respuesta (Fung, 2009).

Barry y Bajracharya (1995), presentan un modelo de tránsito basado en Muskingum-Cunge para determinar un modelo del transporte químico reactivo en el suelo, incluyendo el equilibrio de Freundlich (Ponce y Yevjevich, 1978; Barry y Bajracharya, 1995; Price y Perumal, 2011), con la finalidad de manejar la gestión y el diseño adecuados de las

instalaciones de tratamiento y eliminación de residuos. Los caudales transitados finales fueron satisfactorios y se estableció una relación aceptable entre la metodología tipo Freundlich y Muskingum-Cunge. De acuerdo a esta investigación se demuestra el número extenso de combinaciones del método Muskingum-Cunge y de tamaños de pasos espaciales y temporales para los que la simulación es factible (Barry y Bajracharya, 1995; Perumal y Sahoo, 2012; Ponce y Chaganti, 1994).

El modelo hidrológico TR-20 se incorpora en el modelo del Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS), utilizado para analizar los impactos de cambio en las cuencas hidrográficas (uso de la tierra, construcción de reservorios, modificación de canales, etc.) en base al volumen de esorrentía y la descarga mensual obtenidos por medio del tránsito hidrológico propuesto por Muskingum-Cunge. En este modelo se analiza la celeridad de la onda de inundación como a un factor multiplicado por la velocidad promedio y se realiza una curva de calificación desarrollada a partir de un modelo de perfil de agua de flujo constante modificado por un factor (denotado m) (William, 2002). El modelo establecido por la (NRCS) propone una modificación de caudales por medio de un factor (m), para la calibración con el método TR-20; finalmente se observa una precisión favorable en la descarga máxima y el tiempo de máximo de descarga.

CAPITULO 2
MATERIALES Y METODOS

2.1. Zona de Estudio

Para el presente estudio se escogieron las subcuencas hidrográficas pertenecientes a las cuencas nacionales Esmeraldas, Jubones y Guayas (Figura 8); y de la cuenca binacional (Ecuador – Perú) Puyango Tumbes (Figura 5). Se han escogido estas subcuencas debido al gran aporte y disposición de datos que refieren, en cuanto a, precipitación, temperatura, caudales. Estas cuencas presentan diversos climas, variación en su geografía y diversidad regional; también tienen disposición de estaciones de aforo fundamentales para el estudio porque se presentan al inicio y salida del tramo principal de las subcuencas.

2.1.1. Subcuenca de los Ríos Pindo y Amarillo

Las subcuencas de los ríos Pindo y Amarillo pertenecen a la cuenca Puyango Tumbes que comprende las provincias El Oro (Ecuador), Loja (Ecuador) y Tumbes (departamento de Perú). Estas cuencas presentan altos relieves y fuertes pendientes, con zonas de páramo y bosques húmedos. También se puede destacar la importante actividad minera correspondiente al río Amarillo. La cuenca Puyango Tumbes cuenta con extensas llanuras en su parte baja en las cuales se observa importantes cultivos y pastizales; además es atribuida por los cauces principales río Amarillo y el río Pindo (Oñate et al., 2009).

Los ríos Pindo y Amarillo constan de una longitud de estudio de 1964.72 metros y 8046.57 metros respectivamente; uniéndose en las coordenada 9583222.27N, 650318.4519E (Punto de intersección). La longitud de estudio comprende los tramos desde el inicio de los cauces hasta el punto de ubicación de las estaciones de aforo de caudal, precipitación y temperatura de cada cauce. Las estaciones escogidas se detallan en la figura 6; y la división de la subcuenca del río Amarillo se puede ver en la Fig. 7.

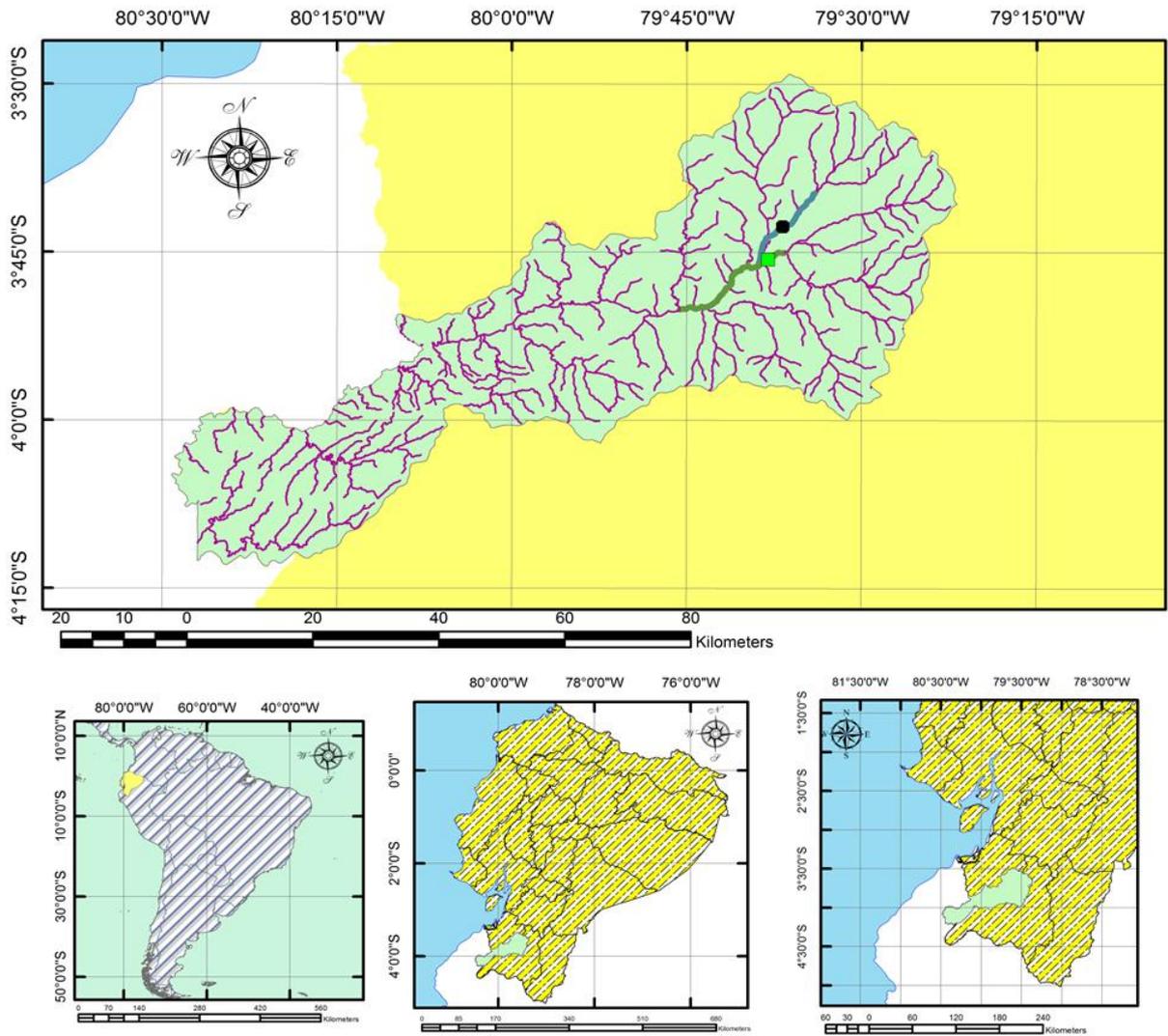


Figura 5. Mapa de situación – área de estudio Subcuencas río Amarillo y Pindo.
 Fuente: El autor.
 Elaboración: Propia.



Figura 6. Gráfica tramos de estudio Río Amarillo y Pindo.
 Fuente: El autor
 Elaboración: Propia

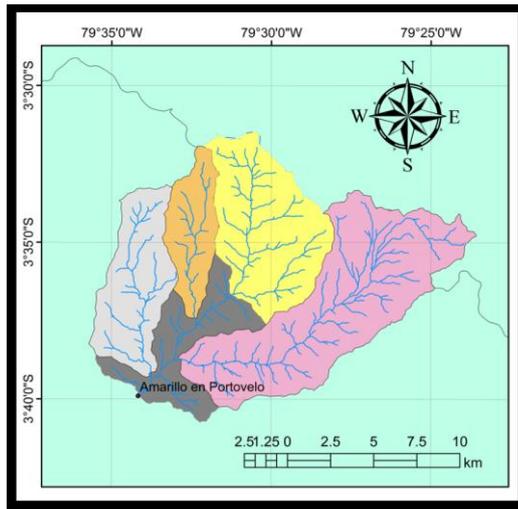


Figura 7. Subcuenca río Amarillo.

Fuente: El autor

Elaboración: Propia

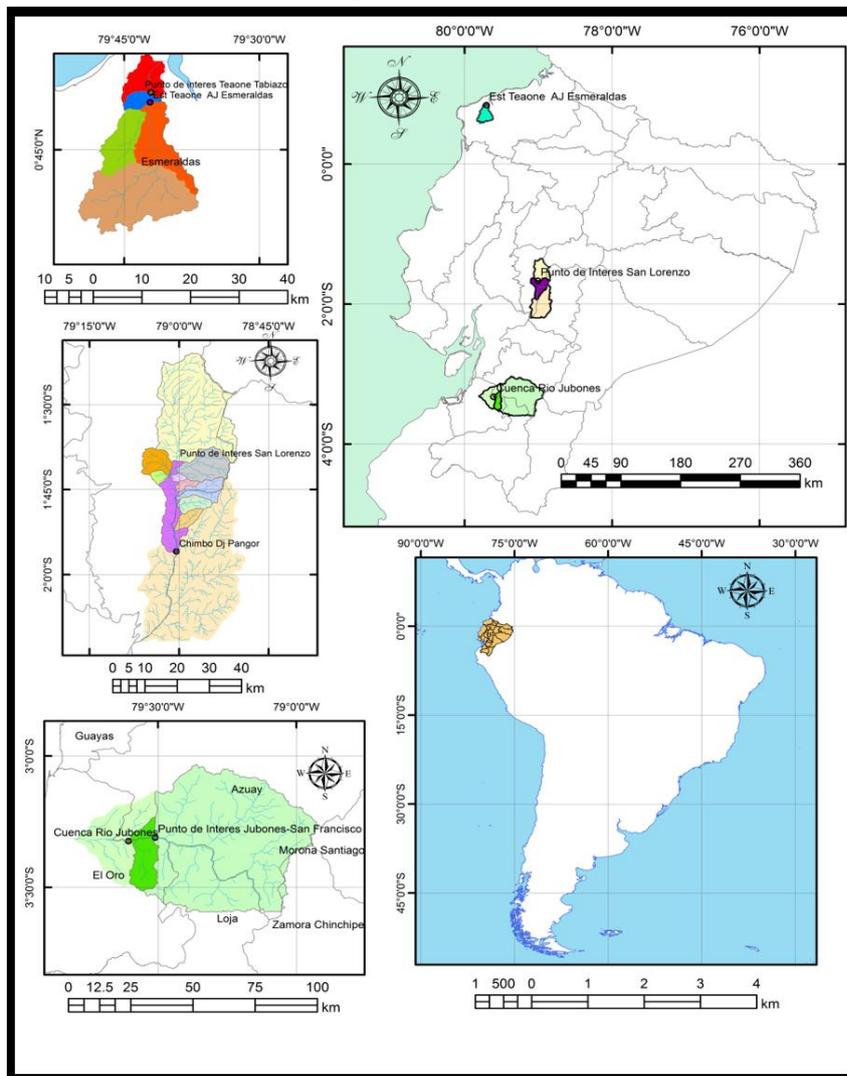


Figura 8. Mapas de situación – área de estudio Subcuencas ríos Teañone, Chimbo y Jubones.

Fuente: El autor.

Elaboración: Propia.

2.1.2. Subcuenca Río Teaone

La subcuenca del río Teaone pertenece a la demarcación hidrológica de la Cuenca Esmeraldas en Ecuador. La cuenca Esmeraldas tiene como cauce principal al río Teaone, en el que se asientan varias comunidades que se benefician de los servicios que ofrece dicho río; cabe recalcar que durante los últimos años se han notado algunos cambios en la morfometría e hidrología atribuidos a agentes naturales y antrópicos (Ortiz, 2015).

La deforestación masiva y desviación del cauce para usos de riego son causantes de posibles cambios en la cantidad del agua en la zona (Prado, 2015). En base a la disponibilidad de información hidrométrica se tomaron dos estaciones de aforo importantes mostradas en la tabla 1, las cuales tienen entre sí una distancia de 2.5 Km aproximadamente, ubicadas a lo largo del cauce. Para las precipitaciones y temperaturas se tomaron, la estación climatológica principal de Muisne y la estación pluviométrica San Mateo en Sague.

2.1.3. Subcuenca Río Jubones

Esta subcuenca hidrográfica pertenece a la demarcación hidrológica de la Cuenca Jubones ubicada en la cordillera occidental en Ecuador. Es la sexta vertiente occidental más grande y sus límites son: Norte: $x = 689973$ y $y = 9661137$ Sur: $x = 687645$ y $y = 9589552$ Este: $x = 728259$ y $y = 9631688$ Oeste: $x = 610,988$ y $y = 9639089$. Esta importante cuenca se ubica en los Andes ecuatorianos en la hoya del Jubones al Sur del Ecuador (Fajardo, 2010). Se conforma de las subcuenca Rircay (desde el cantón San Fernando); subcuenca del León (desde el cantón Nabón), subcuenca del Minas, San Francisco, Vivar, Uchucay, Ganacay, Chillayacu y Casacay; y desemboca en el Océano Pacífico (Fajardo, 2010).

Las estaciones de aforo de caudal escogidas se presentan en la tabla 1; tienen entre sí una distancia de 13.4 Km aproximadamente, y están ubicadas a lo largo del cauce. Para las precipitaciones y temperaturas se tomaron las estaciones pluviométricas Ushcurrumi y Hda. Sta. Lucia – Rircay.

2.1.4. Subcuenca Río Chimbo

La subcuenca del río Chimbo pertenece a la demarcación hidrológica Cuenca Guayas en Ecuador. Esta cuenca se encuentra en los paralelos $1^{\circ}15'S$ y $2^{\circ}15'S$ y los meridianos $78^{\circ}50'W$ y $79^{\circ} 5'W$. Localizada en la hoya del río Chimbo entre la zona de las regiones interandina y litoral (Orozco, 2010)

Situada en la parte centro occidente de Ecuador, esta subcuenca se encuentra localizada en la Provincia de Bolívar y su dirección de flujo es Norte/Sur. Ciudades principales como Guaranda, San José y San Miguel son las principales beneficiadas de su sistema hídrico;

que destaca como una de las zonas de mayor aportación en el ámbito agrícola y como productora de azúcar, papa trigo, maderas y demás (Orozco, 2010).

Las estaciones de aforo de caudal que se han escogido son presentadas en la tabla 1, las cuales tienen entre sí una distancia de 32.5 Km aproximadamente. Para las precipitaciones y temperaturas se tomaron las estaciones pluviométricas San Juan Chimborazo y Cañi - Limbe.

2.2. Recopilación de Datos

2.2.1. Datos de Precipitación, Temperatura y Caudal.

Inicialmente se escogieron los datos de precipitación, temperatura, y caudales aforados para el estudio. Para ello, se tomaron estaciones determinadas en base a la disponibilidad de datos, se recopiló esta información directamente de los anuarios hidrológicos y meteorológicos otorgados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2017).

El INAMHI como institución gubernamental se encarga de recopilar y publicar información de clima, y condiciones de recursos hídricos para determinados períodos. Esta organización presenta datos fidedignos de muchas estaciones hidrológicas y meteorológicas alrededor de todo el Ecuador; de estos registros se ha tomado la información histórica de caudales, precipitación y temperatura. Una vez obtenidos los anuarios hidrológicos y meteorológicos se tabuló cada uno de los años de registro necesarios para el estudio.

Estación	Tipo de Estación	Codigo	Zona Hidrológica	Cuenca	Subcuenca	Años Analizados	Latitud				Longitud			
							g	m	s		g	m	s	
Amarillo en Portovelo	Hidrológica	H0588	200	Puyango-Tumbes	Amarillo	1965-1980	3	42	44	S	79	36	45	W
Pindo Aj. Amarillo	Hidrológica	H0587	200	Puyango-Tumbes	Pindo	1965-1981	3	45	40	S	79	38	1	W
Teaone Aj Esmeraldas	Hidrológica	H0173	80	Esmeraldas	Teaone	1995-2014	0	50	38	N	79	41	52	W
Teaone Dj Tabiazo	Hidrológica	H0172	80	Esmeraldas	Teaone	1995-2014	0	51	29	N	79	42	18	W
Muisne	Meteorológica	M153	60	Emuisne		1995-2014	0	36	54	N	80	1	28	W
Sague (San Mateo)	Meteorológica	N441	80	Esmeraldas		1995-2014	0	53	13	N	79	37	54	W
Jubones en Ushcurrumi	Hidrológica	H0530	180	Jubones	Jubones	1995-2014	3	19	19	S	79	36	21	W
Jubones Dj. San Francisco	Hidrológica	H0529	180	Jubones	Jubones	1995-2014	3	18	26	S	79	30	33	W
Ushcurrumi	Meteorológica	M481	180	Jubones		1995-2014	3	19	16	S	79	35	0	W
Hda. Sta Lucía - Rircay	Meteorológica	M422	180	Jubones		1995-2014	3	16	20	S	79	15	26	W
Chimbo en San Lorenzo	Hidrológica	H0331	130	Guayas	Chimbo	1995-2014	1	40	1	S	79	0	15	W
Chimbo Dj. Pangor	Hidrológica	H0338	130	Guayas	Chimbo	1995-2014	1	55	56	S	70	0	26	W
San Juan Chimborazo	Meteorológica	M393	260	Pastaza		1995-2014	1	37	35	S	78	47	0	W
Cañi - Limbe	Meteorológica	M404	130	Guayas		1995-2014	1	46	18	S	78	59	25	W

Tabla 1. Coordenadas de estaciones Hidrológicas Y Meteorológicas en estudio.

Fuente: El autor.

Elaboración: Propia.

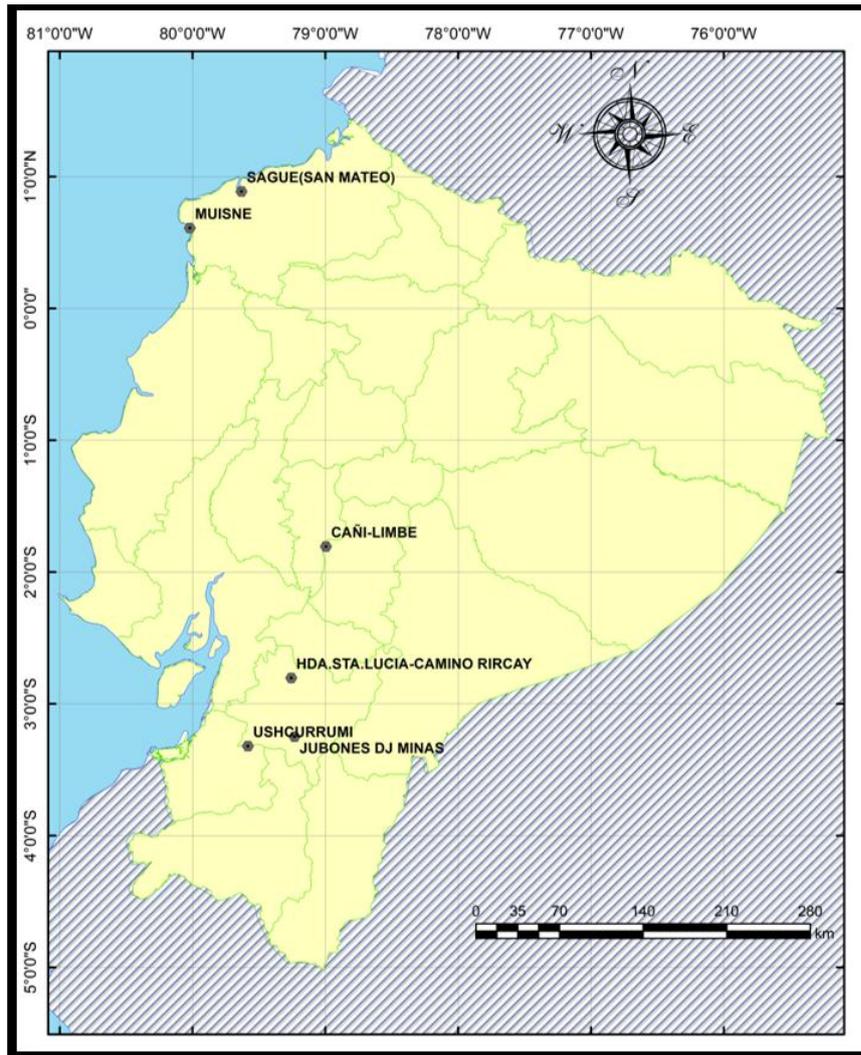


Figura 9. Estaciones Meteorológicas escogidas.
Fuente: El autor.
Elaboración: Propia.

Para la calibración del modelo lluvia escorrentía distribuido se escogieron los datos correspondientes a precipitación, temperatura, caudal y evapotranspiración de la subcuenca del río Pindo (estación Pindo Aj Amarillo), los cuales estaban incluidos en la investigación “Validación y Calibración de los Parámetros Hidrológicos del Polinomio Ecológico” (Samaniego, 2008). Estos datos fueron necesarios para comprobar el método de Balance Hídrico y Témez Distribuido, previo a su automatización.

En la figura 9 observamos las estaciones meteorológicas escogidas para la recopilación de precipitaciones y temperaturas necesarias en las subcuencas Teaone, Chimbo y Jubones.

2.2.2. Imágenes digitales

Para realizar el modelo lluvia-escorrentía distribuido se ubicó espacialmente las estaciones de aforo sobre los modelos digitales de elevación (DEM) con la ayuda de Arc Gis. Las imágenes digitales fueron otorgadas por la SENAGUA (2015).

2.3. Metodología

Se verificó la escala y unidades de medición presentadas en los modelos de elevación digital de las cuencas en estudio; se revisó el relieve, superficies, distancias y demarcaciones hidrológicas de cada subcuenca mediante un SIG (Arc Gis 10.2.1), consecuentemente se observó la correcta ubicación de las estaciones meteorológicas para la modelación.

Luego se estableció una relación entre caudales medios mensuales reales al inicio y al final de la cuenca, con la finalidad de observar la cantidad media mensual del agua en la entrada y salida del cauce principal. Esto se llevó a cabo en las subcuencas Teaone, Jubones y Chimbo. En la subcuenca del río Teaone se tomaron los caudales reales de las estaciones Teaone Esmeraldas (entrada) y Teaone Tabiazo (salida); en la subcuenca del río Chimbo se tomaron los datos de las estaciones hidrológicas San Lorenzo (entrada) y Pangor (salida); y en la cuenca del río Jubones se escogieron los caudales reales de las estaciones San Francisco (entrada) y Ushcurrumi (salida).

Después se estableció una comparación de caudales de salida en la cuenca, incluyendo los caudales determinados por el método Témez, en la zona comprendida entre las estaciones hidrológicas de entrada y salida. Esto se realizó con el propósito de encontrar desplazamientos en el tiempo por parte del caudal pico simulado. Para esto se utilizaron las subcuencas Teaone y Jubones. En la subcuenca Teaone se tomaron los caudales reales de la estación Teaone Tabiazo, y se los comparó con los valores obtenidos de la suma de los caudales de la estación Teaone Esmeraldas, más los caudales obtenidos por medio de Témez. Para la subcuenca del río Jubones se tomaron los caudales reales de la estación Ushcurrumi, y se compararon con el resultado de la suma entre los caudales de la estación San Francisco, más los caudales simulados por Témez.

Finalmente se aplicó el modelo lluvia-escorrentía distribuido en las subcuencas Teaone, Chimbo y Amarillo; dividiéndolas en microcuencas para las que se distribuyó la precipitación y temperatura. Para la subcuenca Teaone se tomaron las estaciones meteorológicas Muisne y Sague. Para la subcuenca del río de Chimbo se tomaron las estaciones meteorológicas Cañi Limbe y San Juan Chimborazo; y para la subcuenca del río Amarillo se tomó la estación meteorológica Amarillo en Portovelo.

Para la calibración del Modelo lluvia escorrentía distribuido se utilizó la metodología de Témez. Esta metodología necesitó valores de precipitación y temperatura, que se establecieron en cada microcuenca mediante el método de Distancia Inversa. Las estaciones meteorológicas utilizadas se encuentran en la tabla 1. También el modelo lluvia-

escorrentía necesito valores de evapotranspiración y reserva inicial del suelo, que se determinaron mediante los métodos Thornthwaite y Thornthwaite-Matter.

El método de Témez se comprobó mediante correlación Pearson y número Nash-Sutcliffe con los datos reales de la estación Pindo Aj Amarillo en la subcuenca del río Pindo, y posteriormente se automatizaron los métodos de Distancia Inversa, Thornthwaite y Témez mediante hojas electrónicas de cálculo. Para el modelo lluvia escorrentía distribuido se calibraron las subcuencas Teaone, Chimbo y Jubones con el primer año de registro (1995), con el que se determinaron los resultados de variables de Infiltración máxima del suelo, humedad inicial del suelo, humedad máxima del suelo, coeficiente de recesión del acuífero y coeficiente de escorrentía, de cada subcuenca. Para la subcuenca del río Amarillo, se aplicó el modelo distribuido con valores calibrados de la subcuenca del río Pindo.

2.4. Modelo Lluvia-Escorrentía Distribuido

Para la simulación de caudales medios mensuales se distribuyó las precipitaciones y temperaturas aportantes en el centroide de cada subcuenca. Para la estimación de estos datos se utilizó la metodología de Distancia Inversa, y para la obtención de evapotranspiraciones y reserva inicial del suelo se tomaron los métodos de Evapotranspiración Potencial propuesta por Thornthwaite y el Balance Hídrico por Thornthwaite–Matter respectivamente.

Se excluyeron aquellos datos que presentaban inconsistencias dentro del registro. No se tomaron en cuenta datos provenientes de una serie de meses incompletos, años incompletos o estaciones las cuales no coincidían con datos de precipitación, temperatura o caudal aforado el mismo año de registro.

2.4.1. Método de Distancia Inversa

Se distribuyó las precipitaciones y temperaturas en el centroide de cada microcuenca. Esta distribución se realizó con cada estación meteorológica durante cada periodo de registro.

El procedimiento de Distancia Inversa inició calculando el inverso de las potencias de peso y de las distancias, para cada uno de los valores dentro del registro en análisis. Luego se realizó la sumatoria del número total de datos calculados y se procedió con la ecuación 2.0 (Pizarro et al., 2003).

$$Z_j^* = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{h_{ij}^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{h_{ij}^\beta}} \quad (\text{Ecuación 2.0})$$

Donde:

Z_j^* = valor estimado en el punto j;

Z_i = valor en el punto i ;

i = índice para los puntos vecinos;

j = índice para el punto a ser estimado;

h_{ij} = distancia entre el punto a ser estimado (j) y los puntos vecinos (i);

β = potencia de peso;

n = número de estaciones.

2.4.2. Evapotranspiración por el método Thornthwaite

Se realizó el método indirecto de estimación de evapotranspiración potencial propuesto por Thornthwaite, con la finalidad de determinar la evapotranspiración potencial para luego incorporarla al modelo lluvia esorrentía distribuido (López, 2011).

Thornthwaite según López (2011):

Ecuación de evapotranspiración

$$ETP = K_T \times ETP(0) \quad (\text{Ecuación 2.1})$$

Donde:

K_T = constante de cada mes del año, variable en función de la latitud (Anexo Aii);

$ETP(0)$ = evapotranspiración potencial a 0° de latitud.

La evapotranspiración potencial en latitud 0° se calcula con la ec 2.2 (López, 2011).

$$ETP(0) = 1.6 (10 \times T_m / J_{te})^f \quad (\text{Ecuación 2.2})$$

Donde:

T_m = temperatura media mensual;

J_{te} = índice de temperatura eficiente;

f = coeficiente de temperatura eficiente.

Según López (2011) se obtuvo el coeficiente de temperatura eficiente a partir de la ecuación 2.3; y el índice de temperatura eficiente con la ec 2.4, que resulta de la sumatoria índice de calor para cada mes.

$$f = 0.000000675 J_{te}^3 - 0.0000771 J_{te}^2 + 0.01792 J_{te} + 0.49239 \quad (\text{Ecuación 2.3})$$

$$J_{te} = \sum_{i=1}^{12} I_c \quad (\text{Ecuación 2.4})$$

Donde:

Ic = índice de calor mensual

El índice de calor mensual se determinó con la siguiente ecuación.

$$Ic = (Tm/5)^{1.514} \quad \text{(Ecuación 2.5)}$$

La temperatura se mantiene en °C y los datos de evapotranspiración potencial resultan en mm/mes.

2.4.3. Balance Hídrico método Thornthwaite - Matter

Una vez distribuidas las precipitaciones y temperaturas, se utilizó balance hídrico que determinó los volúmenes de reserva en el suelo (humedad inicial del suelo); necesarios para el modelo lluvia escurrentía distribuido (Collazos, 2009).

Según Collazos (2009) se determinó si el mes en análisis es húmedo o seco, con las ecuaciones 2.6 y 2.7.

$$\text{Mes seco, } P - ET < 0 \quad \text{(Ecuación 2.6)}$$

$$\text{Mes húmedo, } P - ET > 0 \quad \text{(Ecuación 2.7)}$$

Para calcular la reserva se escogió el último húmedo, y se atribuyó un valor de 100 mm como máxima capacidad de almacenaje del suelo. Este valor inicial se recomendó en base Matter que establece un valor inicial del suelo para coeficientes de escurrentía menores a 0.5 (Collazos, 2009), Este valor de 100mm pudo ser modificado dependiendo de la calibración del modelo. Luego se continuó con la metodología representada en las ecuaciones 2.8, 2.9 y 2.10 para los meses siguientes. Los valores de Ri (reserva) disminuirán o aumentaran según el resultado de "P – ET".

$$Ri = Ri - 1 + (Pi - ETi) \text{ si } Ri - 1 + (Pi - ETi) < Rmax \quad \text{(Ecuación 2.8)}$$

$$Ri = Rmax \text{ si } Ri - 1 + (Pi - ETi) > Rmax \quad \text{(Ecuación 2.9)}$$

$$Ri = 0 \text{ si } 0 > Ri - 1 + (Pi - ETi) \quad \text{(Ecuación 2.10)}$$

Donde:

P = precipitación;

ET = evapotranspiración potencial;

R = reserva.

Luego se calculó la Variación de la Reserva con la ec 2.11 (Collazos, 2009).

$$VRi = Ri - Ri - 1 \quad \text{(Ecuación 2.11)}$$

Donde:

VR = Variación de Reserva.

Después se determinó la Evapotranspiración Real dependiendo de las condicionales incluidas en las ecuaciones siguientes.

$$\text{Mes Húmedo} \quad \text{ETR}_i = \text{ET}_i \quad (\text{Ecuación 2.12})$$

$$\text{Mes Seco} \quad \text{ETR}_i = P_i + |\text{VR}_i| \quad (\text{Ecuación 2.13})$$

Donde:

ETR= Evapotranspiración Real

Posteriormente se calculó el déficit de agua con la ecuación 2.14.

$$D_i = \text{ET}_i - \text{ETR}_i \quad (\text{Ecuación 2.14})$$

Donde:

D_i = Déficit de agua.

Por último se determinó el exceso de agua. Este sólo se presenta si la precipitación ha compensado previamente a la evapotranspiración potencial durante los meses anteriores.

$$\text{Ex}_i = (P_i - \text{ET}_i - \text{VR}_i) \quad \text{si} \quad (P_i - \text{ET}_i) > 0 \quad (\text{Ecuación 2.15})$$

$$\text{Ex}_i = 0 \quad \text{si} \quad (P_i - \text{ET}_i) > 0 \quad (\text{Ecuación 2.16})$$

Donde:

P = precipitación;

ET = evapotranspiración potencial o de referencia;

R = reserva;

VR = variación de la reserva

ETR = evapotranspiración real;

D = déficit;

Ex = exceso.

2.4.4. Modelo Témez Distribuido

Se estableció el modelo lluvia escorrentía distribuido para simulación de caudales medios mensuales en base a Témez (1978), para ello se tomó directamente las microcuencas como una celda completa, en ellas se distribuyó los datos de precipitación y temperatura hacia cada uno de los centroides. Esta distribución se realizó mediante el método de Distancia

Inversa y una vez obtenidos las precipitaciones para todas las subcuenca se aplicaron los pasos de cálculo siguientes.

Metodología impuesta por Témex, según Collazos (2009):

Se calculó el déficit máximo de humedad del suelo.

$$\delta_i = \varphi - S_{i-1} - E_{Pi} \quad (\text{Ecuación 2.17})$$

Donde:

φ = capacidad máxima de almacenamiento de humedad del suelo (mm);

S_{i-1} = humedad del suelo durante el mes anterior (mm);

E_{Pi} = evapotranspiración potencial.

Se procedió con el déficit de humedad del suelo modificado (umbral de escorrentía).

$$P_0 = C (\varphi - S_{i-1}) \quad (\text{Ecuación 2.18})$$

Donde:

C = coeficiente de escorrentía obtenido de la calibración. Valor entre 0.1 y 1.

Luego se determinó el Excedente de agua, depende de un condicional descrito en las ecuaciones 2.19 y 2.20.

$$T_i = 0 \quad \text{Si } S_i > \varphi \quad (\text{Ecuación 2.19})$$

$$T_i = (P_i - P_0)^2 / (P_i + \delta_i - 2P_0) \quad (\text{Ecuación 2.20})$$

Donde:

P_i = precipitación (mm);

P_0 = Umbral de escorrentía (mm).

Después se corrigió la humedad. Para esto se toma el valor máximo entre 0 y el calculado dentro de la ec 2.21.

$$S_i = \text{Max} (0; S_{i-1} + P_i - T_i - E_{Pi}) \quad (\text{Ecuación 2.21})$$

Donde:

S_{i-1} = Humedad del suelo el mes anterior (mm);

P_i = precipitación (mm);

E_{Pi} = evapotranspiración (mm);

T_i = Excedente de agua

Luego se obtuvo la evapotranspiración real. Se tomó el valor mínimo entre E_{Pi} y el calculado dentro de la ec 2.22.

$$E_i = \text{Min} (E_{Pi}; S_i - 1 + P_i - T_i) \quad (\text{Ecuación 2.22})$$

Donde:

E_i = Evapotranspiración Real;

S_i = Humedad del suelo (mm);

P_i = precipitación (mm);

E_{Pi} = evapotranspiración (mm);

T_i = Excedente de agua

Posteriormente se calculó de infiltración o recarga del acuífero (ec. 2.23).

$$I_i = I_{\text{max}} (T_i / (T_i - I_{\text{max}})) \quad (\text{Ecuación 2.23})$$

Donde:

I_{max} = Infiltración máxima del suelo;

T_i = excedente calculado durante el mes.

Con las variables anteriores se obtiene la escorrentía superficial calculada (m³/s), ecuación 2.24.

$$Q_{i \text{ sup}} = T_i - I_i \quad (\text{Ecuación 2.24})$$

Se obtiene también la escorrentía subterránea calculada (m³/s).

$$Q_{i \text{ sub}} = Q_i - 1 \left(\frac{1 - e^{-\alpha \Delta t}}{\Delta t} \right) + I_i \left(1 - \left(e^{-\frac{\alpha \Delta t}{2}} \right) \right) \quad (\text{Ecuación 2.25})$$

Donde:

α = coeficiente de recesión del acuífero (l/día).

Por último se determina la Escorrentía Total Calculada (m³/s).

$$R_i = Q_{i \text{ sup}} + Q_{i \text{ sub}} \quad (\text{Ecuación 2.26})$$

En base a Témex se conceptualizó un modelo de reservorios los cuales integran los procesos fundamentales del transporte de agua durante el transcurso dentro del ciclo hidrológico. El modelo planteó dos zonas; la primera proyectó el almacenamiento del agua en forma de humedad que origina un excedente; y la segunda reflejó el excedente o escorrentía superficial y la infiltración almacenada en el acuífero (Estrela, 1997).

2.5. Ajuste de Caudales Simulados

Los caudales simulados mediante el modelo lluvia escorrentía propuesto, se sujetaron a una correlación Pearson y un factor de eficiencia de Nash-Succliffe según Gorgas et al. (2011). Una vez que los coeficientes de ajuste presentaron una correlación muy buena, se incluyó un coeficiente de ajuste para el caudal mensual distribuido, nombrado Rv. Este coeficiente se determinó mediante las ecuaciones de atenuación de la onda pico establecidas en la metodología de Muskingum-Cunge.

2.5.1. Coeficiente de correlación Pearson

Se determinó el coeficiente de correlación Pearson para cada subcuenca en estudio. Este coeficiente midió el grado de covariación entre las variables en estudio (caudales simulados y caudales reales).

Según Gorgas et al. (2011) Pearson establece una ecuación general de la siguiente forma:

$$r_{xy} = \left(\frac{\sum ZxZy}{N} \right) \quad (\text{Ecuación 2.27})$$

Se determinó el coeficiente de Pearson con la ecuación 2.28 deducida de la ecuación 2.27.

$$r_{xy} = \left(\frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{N(SxSy)} \right) \quad (\text{Ecuación 2.28})$$

Las variables Sx y Sy representan la desviación estándar entre los datos reales y simulados, se rigen por medio de las ecuaciones 2.29 y 2.30.

$$Sx = \sqrt{\sum x^2 / N} \quad (\text{Ecuación 2.29})$$

$$Sy = \sqrt{\sum y^2 / N} \quad (\text{Ecuación 2.30})$$

Donde:

$\sum x$ = Sumatoria de caudal real;

\bar{x} = Promedio de caudales reales;

$\sum y$ = Sumatoria de caudal simulado;

\bar{y} = Promedio de caudales simulados.

N = número de datos.

Por último se caracterizó la correlación en base a la tabla 2, que muestra la estimación del factor Pearson, interpretado por valores absolutos que oscilan entre 0 y 1 (Gorgas et al., 2011; Cabrera, 2012).

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

Tabla 2. Rangos de estimación factor Pearson.

Fuente: El autor.

Elaboración: Propia.

2.5.2. Coeficiente de eficiencia Nash - Sutcliffe

Se estableció el coeficiente de eficiencia Nash–Sutcliffe, que establece un nivel de correspondencia entre valores observados y modelados (caudales medios mensuales) (Cabrera, 2012).

Basado en Molnar (2011):

Primeramente se realizó la relación del cuadrado de la diferencia entre el caudal simulado y real, y el cuadrado de la diferencia entre el caudal observado y su promedio, esto para cada uno de los valores simulados. Luego se suman todos los valores calculados y se incluyen en la ecuación 2.31.

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim} - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q - \bar{Q})^2} \quad (\text{Ecuación 2.31})$$

Donde:

Q_{sim} = caudal simulado en el mes i

Q_i = caudal observado en el mes i

\bar{Q} = promedio de caudales observados durante el período de análisis.

Por último se clasifica la eficiencia Nash – Sutcliffe según la tabla 3.

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

Tabla 3. Rangos de estimación eficiencia Nash - Sutcliffe.

Fuente: El autor.

Elaboración: Propia.

2.5.3. Coeficiente Rv basado en Muskingum-Cunge

Para el ajuste de caudales simulados mediante el modelo lluvia escorrentía, se determinó un coeficiente “Rv”. Este se dedujo de las ecuaciones de atenuidad de la onda propuestas en el método de Muskingum-Cunge; con la finalidad de atenuar los caudales obtenidos por el modelo distribuido de Témez; y disminuir la variación con los caudales reales.

Para obtener el coeficiente Rv se utilizaron los caudales reales y simulados de las subcuencas Teaone, Chimbo y Jubones. Se determinó la ecuación de ajuste para caudal simulado (caudal Témez Distribuido); esta ecuación indica que el caudal real aguas abajo es igual a la sumatoria entre el caudal real de entrada (aguas arriba) y el caudal simulado por Témez, este último multiplicado por un coeficiente de ajuste (Rv); como se propone en la ecuación 2.32.

$$Qa = Qb + Qt * Rv \quad \text{(Ecuación 2.32)}$$

Donde:

Qa. Caudal real Salida (Aguas Abajo) (m3/s);

Qb. Caudal real Entrada (Aguas Arriba) (m3/s);

Qt. Caudal Témez Distribuido (Simulado) (m3/s);

Rv= Coeficiente de Corrección para atenuación de Caudal Témez.

El coeficiente Rv se determinó en base a la ecuación de coeficiente de tránsito propuesta en la metodología Muskingum Cunge, ec 2.33.

$$Rv = \frac{(K*\varepsilon+0.5*\Delta t)}{DEN} \quad \text{(Ecuación 2.33)}$$

Donde:

K = Coeficiente (proveniente de Método Muskingum-Cunge);

ε = Coeficiente adimensional (proveniente de Método Muskingum-Cunge);

Δt = Variable de tiempo de trayectoria pico del hidrograma (Considerado entre períodos de caudal máximo);

DEN= Expresión calculada con la ecuación 2.34.

La expresión DEN se calculó con los parámetros K, ε y el tiempo de trayectoria pico del hidrograma. Debido a que se trata de un análisis mensual, se mantiene la hipótesis de que el tiempo durante pico se desplaza en un mes.

$$DEN = K * (1 - \varepsilon) + 0.5 * \Delta t \quad \text{(Ecuación 2.34)}$$

Donde:

ε = Coeficiente adimensional (proveniente de Método M-C)

Después se determinó el coeficiente ε con la ecuación 2.35, para la variable VQ (variación entre caudal real y simulado) se tomó la diferencia entre caudal real y caudal simulado, para cada uno de los meses dentro del registro analizado.

$$\varepsilon = \frac{\alpha p * VQ}{\Delta x^2 * w p} \quad (\text{Ecuación 2.35})$$

Donde:

αp = Parámetro de atenuación de Gasto Pico

VQ = Variación entre caudal real y simulado

$w p$ = Velocidad de propagación de pico

Δx = Distancia del tramo.

Luego se obtuvo el factor adimensional K con la ecuación 2.36.

$$K = \frac{\Delta x}{w p} \quad (\text{Ecuación 2.36})$$

Donde:

Δx = Distancia del tramo

$w p$ = Velocidad de propagación de pico

Posteriormente se calculó la velocidad de propagación de pico, la cual depende directamente del tiempo de trayectoria pico del hidrograma y la distancia del tramo en análisis.

$$w p = \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad (\text{Ecuación 2.37})$$

Donde:

Δx = Distancia del tramo;

Δt = Variable de tiempo de trayectoria pico del hidrograma (Considerado entre períodos de caudal máximo).

Luego se definió la atenuación de pico con la ecuación 2.38, aquí se incluyó la distancia del tramo en estudio, el ancho promedio del cauce y su pendiente media. Este parámetro adimensional sirve para disminuir o evitar cambios bruscos en los caudales resultantes.

$$\alpha p = \frac{\Delta x}{2 * B * m} \quad (\text{Ecuación 2.38})$$

Donde:

B = Ancho medio del cauce (m)

m = pendiente media del cauce (m)

Δx =Distancia del tramo (m)

Una vez aplicadas las ecuaciones de Muskingum-Cunge para atenuación de onda durante el tránsito de caudales, se separó los resultados de acuerdo al rango de caudal simulado al que pertenecían, tal y como se muestra en el Anexo E: Cálculo del Coeficiente R_v basado en Muskingum-Cunge. Posteriormente se realizó la acumulación de resultados para cada rango de caudal, y se promedió el resultado, obteniendo así un coeficiente R_v para cada rango de caudal simulado proveniente del modelo lluvia escorrentía distribuido Témez.

CAPÍTULO 3
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La precipitación, temperatura y caudales constituyeron los datos principales dentro del estudio, la disposición de dos estaciones ubicadas en un cauce en común y su completo registro para evitar errores dentro de la simulación fue de gran importancia. Hill et al., (2008) indica que estos datos deben encontrarse en el mismo cauce principal y con datos de caudal correspondientes a los años de registro precipitaciones y temperaturas.

Los datos de las estaciones correspondientes a las subcuencas de los ríos Teaone, Chimbo y Jubones, pertenecen al período 1995-2014 y fueron otorgados por el INAMHI. En el año 2012 se presentaron inconsistencias dentro del registro, como: meses de aforo incompletos, datos de precipitación y temperatura faltantes (mensuales o durante varias semanas). Estas inconsistencias no permitieron un relleno de datos; y se evitó una posible falla en la distribución de precipitaciones, temperaturas o en la simulación de caudales.

En el registro de las subcuencas de los ríos Pindo y Amarillo correspondientes a los años de 1981 al 2005, se presentaron inconformidades tales como, datos faltantes, datos no aforados o datos de lectura erróneos. Existieron años aceptables cuyos caudales fueron completos, pero no se tomaron en cuenta porque no hubo datos de precipitación o temperatura. Por eso para las subcuencas de los ríos Pindo y Amarillo se utilizó el registro de caudales, precipitaciones y temperaturas de los años 1965 al 1980.

Relación Caudales Medios Mensuales

- Registro Histórico Subcuenca Teaone

Se comparó los caudales del registro histórico entre estaciones Tabiazo y Esmeraldas, para establecer un modelo que represente el tránsito.

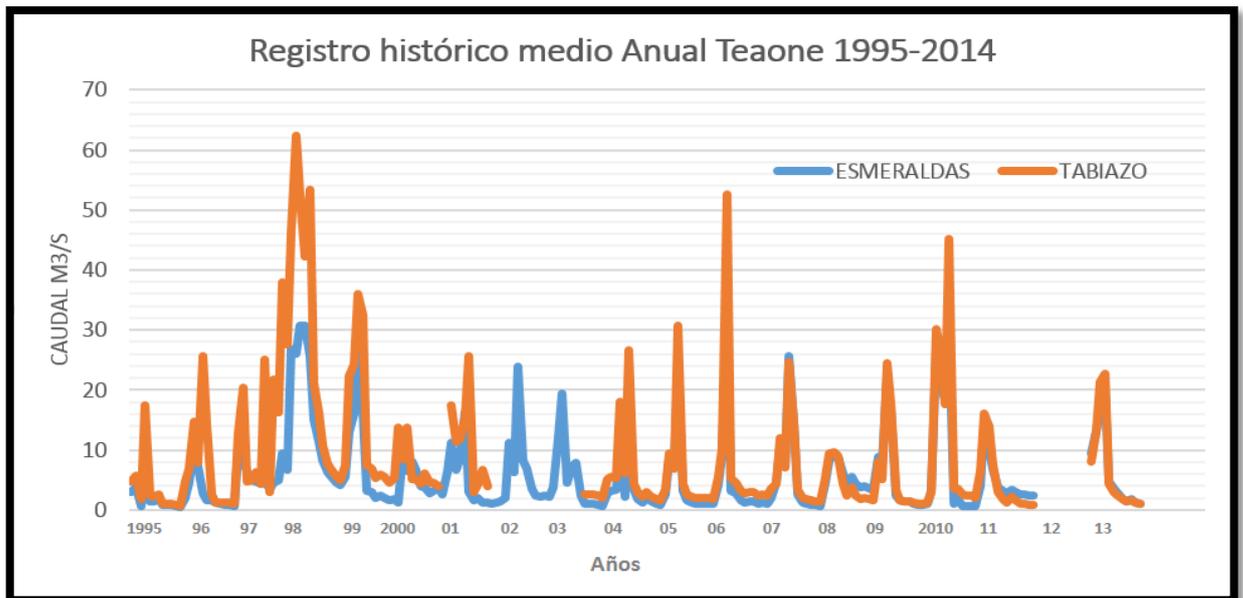


Figura 10. Registro Histórico Estaciones Teaone Esmeraldas/Teaone Tabiazo, 1995-2014
Fuente: El autor
Elaboración: Propia

En la figura 10 se observa las estaciones Esmeraldas (aguas arriba) y Tabiazo (aguas abajo), en esta se destaca la similitud en el comportamiento entre caudales medios mensuales. Los picos se mantienen durante el mismo mes tanto en la entrada como en la salida del tramo en estudio. Esto nos demuestra que existe una acumulación de caudal en el tramo de estudio.

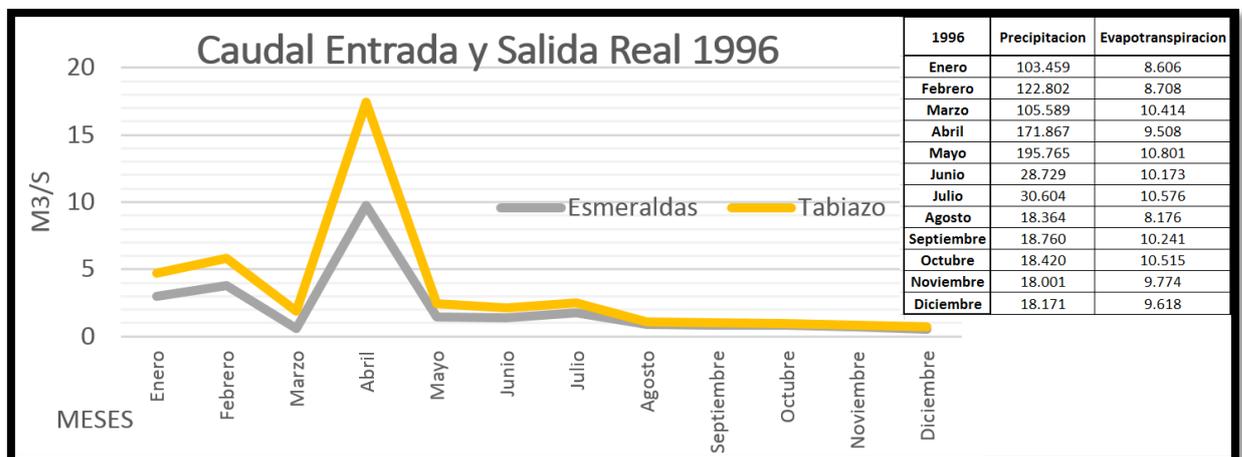


Figura 11. Hidrogramas Entrada y Salida reales año 1996, Teaone.
Fuente: El autor.
Elaboración: Propia.

Se demuestra en la figura 11 que el hidrograma aguas abajo posee el mismo tiempo pico, ya que dicho caudal se mantiene en el mismo mes. Existe una acumulación de caudal aguas abajo la cual no presenta desplazamientos en X (tiempo) solamente en Y (acumulación caudal).

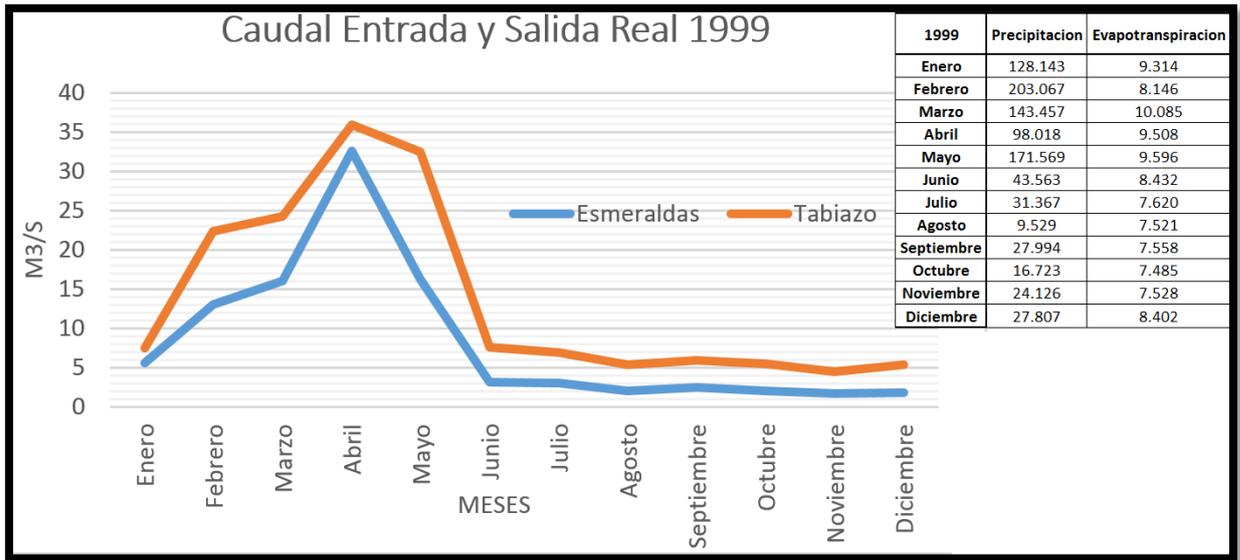


Figura 12. Hidrogramas Entrada y Salida reales año 1999, Teaone.

Fuente: El autor.

Elaboración: Propia.

Aquí se observa que existe variación de pico en algunos meses, esto es debido a la precipitación de la zona. Sin embargo tenemos que el caudal pico se encuentra en el mismo mes, y durante el resto del año tenemos una diferencia proporcional en cuanto a caudales, (Fig12); esto puede ser debido a datos erróneos dentro del registro histórico.

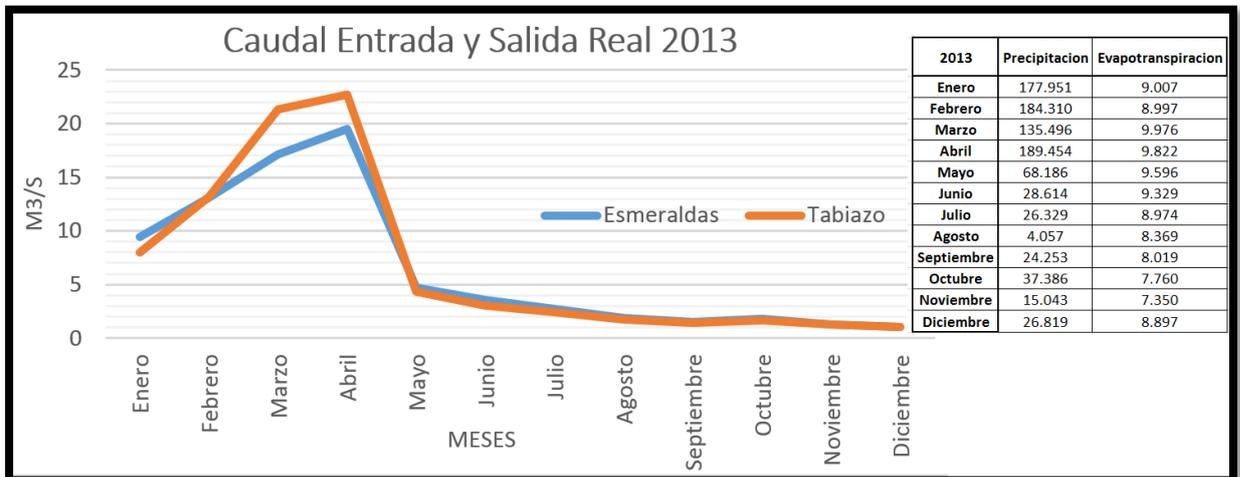


Figura 13. Hidrogramas Entrada y Salida reales año 2013, Teaone.

Fuente: El autor.

Elaboración: Propia.

En el año 2013, representado por la figura 13, se muestra que no existe variación pronunciada en cuanto a precipitación dentro del tramo, ya que los caudales a partir de mayo no presentan mucha diferencia.

- Registro Histórico Subcuenca Chimbo

Se comparó los caudales del registro histórico entre estaciones San Lorenzo y Pangor, para establecer un modelo que represente el tránsito en el tramo de estudio.

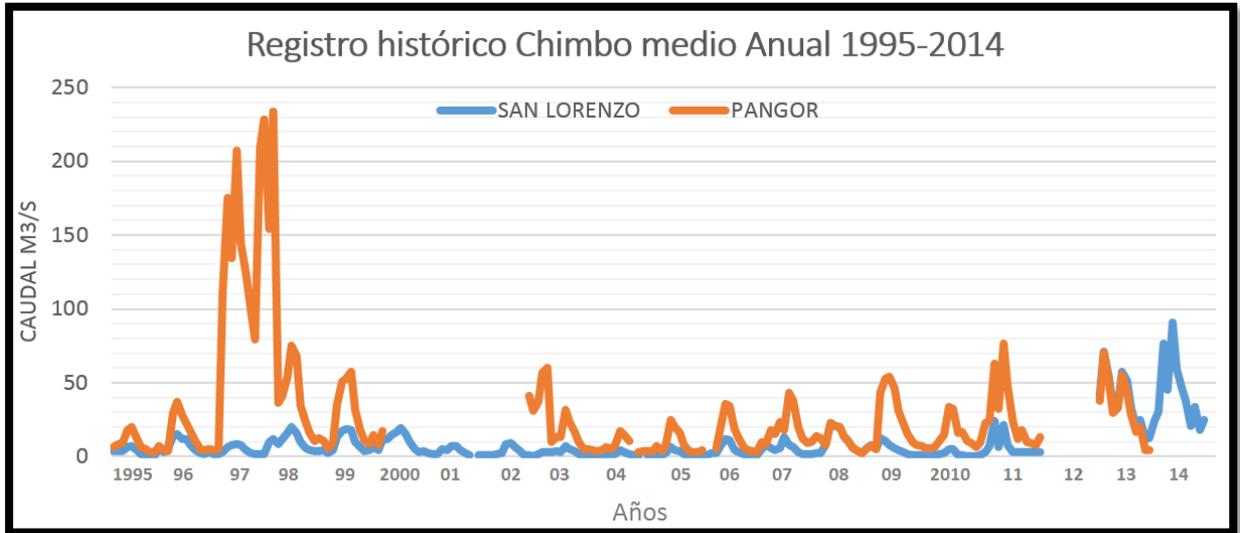


Figura 14. Registro Histórico Estaciones San Lorenzo/ Pangor, 1995-2014

Fuente: El autor

Elaboración: Propia

En la figura 14 se observa las estaciones San Lorenzo (aguas arriba) y Pangor (aguas abajo), en esta se destaca que los picos se mantienen durante el mismo mes tanto en la entrada como en la salida del tramo estudiado.

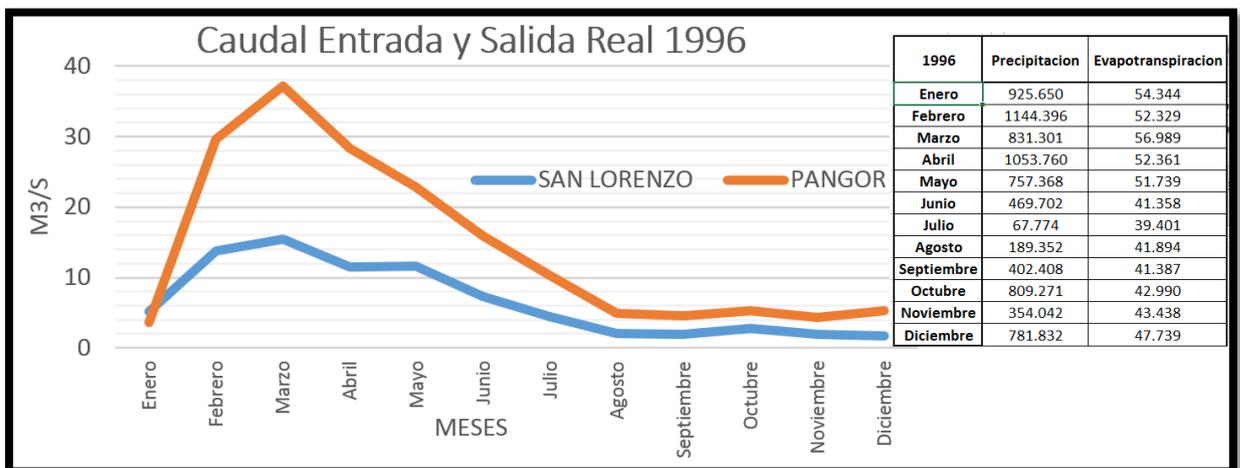


Figura 15. Hidrogramas Entrada y Salida reales año 1996, Chimbo.

Fuente: El autor.

Elaboración: Propia.

En la figura 15 se observa la existencia de mayor acumulación de caudal dentro del hidrograma de salida (estación Pangor).

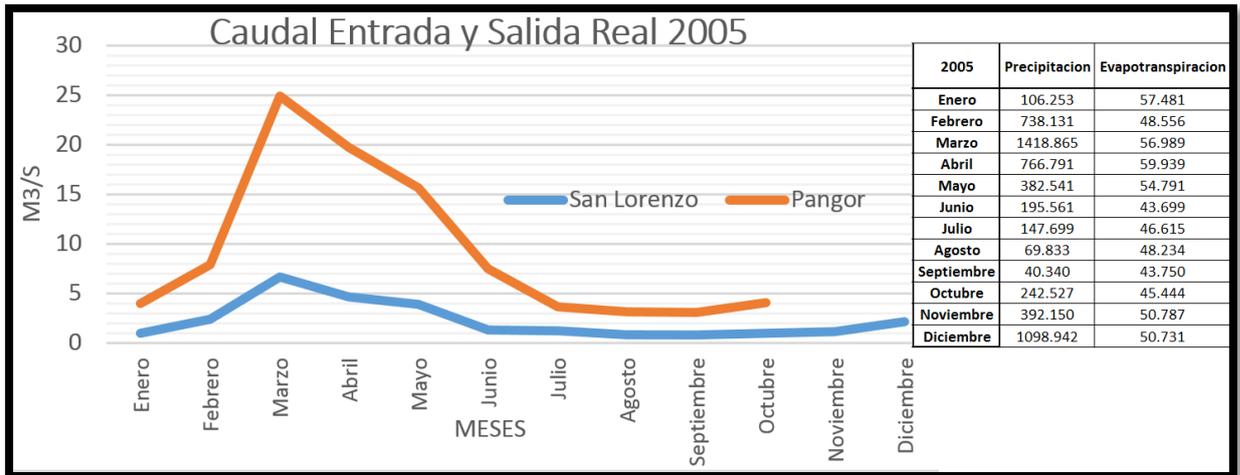


Figura 16. Hidrogramas Entrada y Salida reales año 2005, Chimbo.

Fuente: El autor.

Elaboración: Propia.

En el año 2005 (fig. 16), existe un cambio notable dentro de los meses Abril y Mayo, debido a la interacción directa de la precipitación dentro del tramo de estudio. El hidrograma de salida presenta la misma composición de picos presentado en el hidrograma de entrada.

En el año 2010, representado en la figura 17, existe un cambio notable dentro de los meses Abril y Mayo, se puede atribuir a la influencia directa de la precipitación en todas las microcuencas divididas. El hidrograma de transito presenta la misma composición de picos con el hidrograma de entrada.

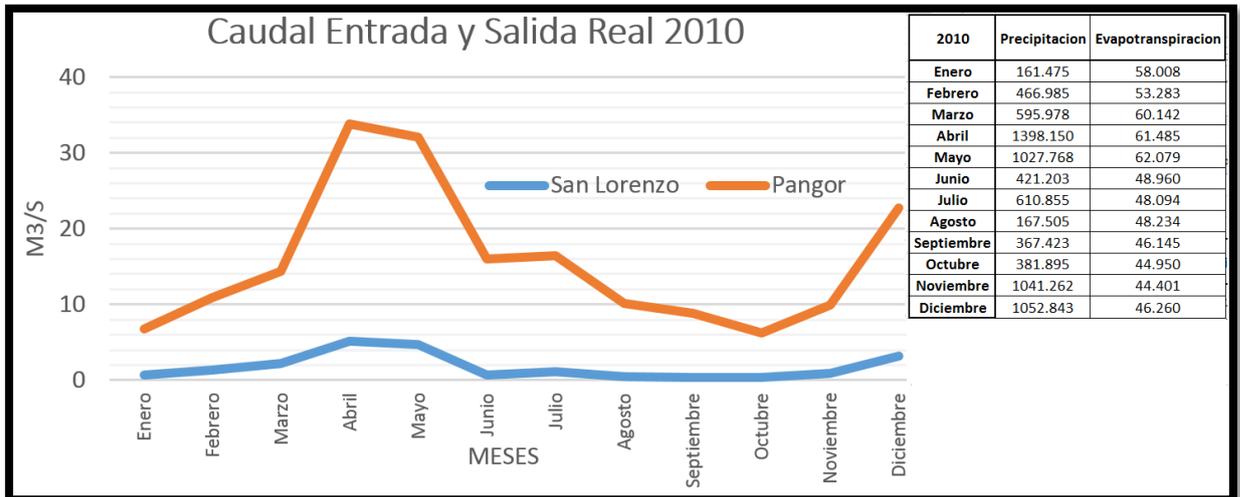


Figura 17. Hidrogramas Entrada y Salida reales año 2010, Chimbo.

Fuente: El autor.

Elaboración: Propia.

- Registro Histórico Subcuenca Jubones

En la figura 18 se muestra las estaciones San Francisco (aguas arriba) y Ushcurrumi (aguas abajo), en esta también se destaca que los picos se mantienen durante el mismo mes tanto en la entrada como en la salida del tramo.

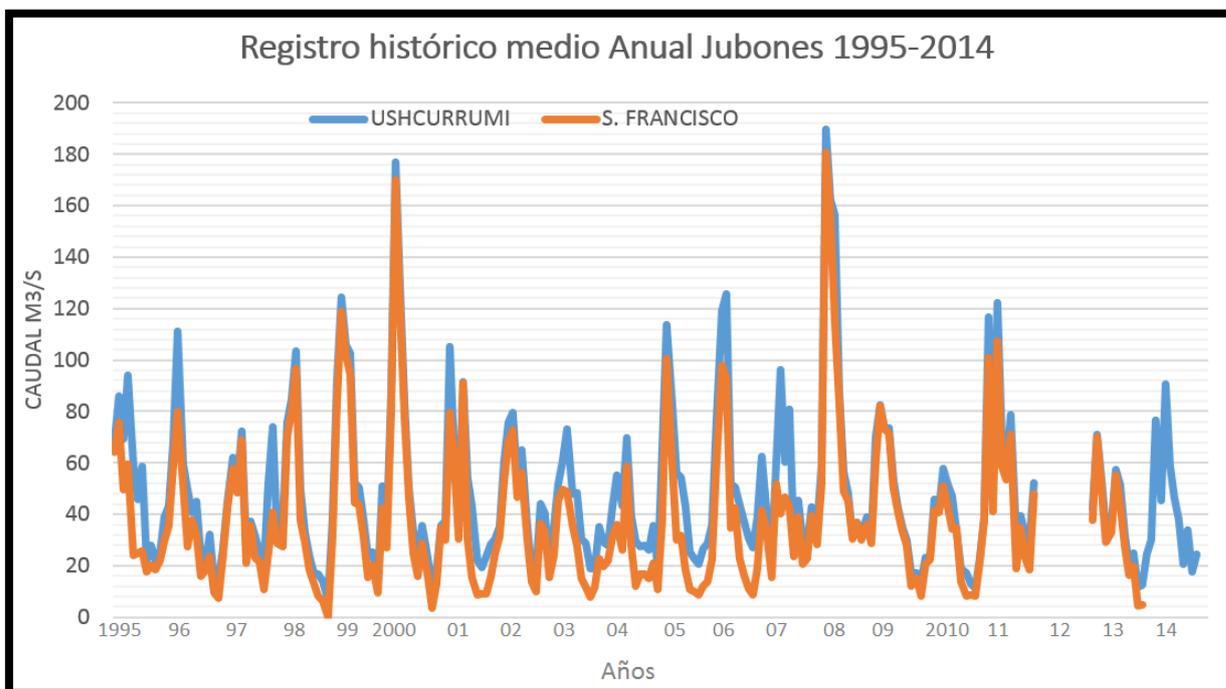


Figura 18. Registro Histórico Estaciones Ushcurrumi / San Francisco, 1995-2014

Fuente: El autor

Elaboración: Propia

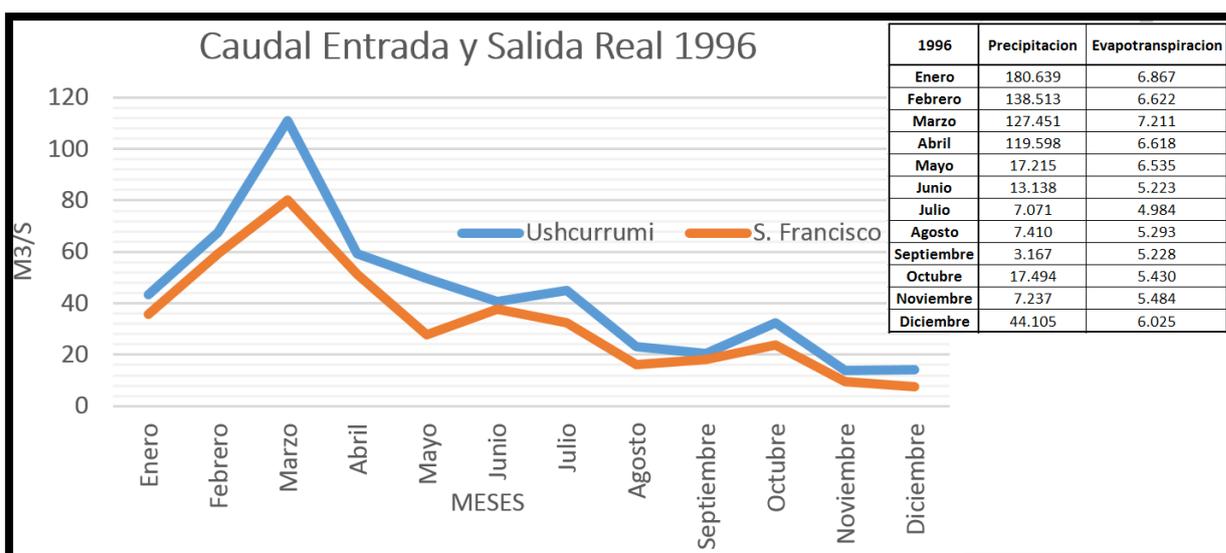


Figura 19. Hidrogramas Entrada y Salida reales año 1996, Jubones.

Fuente: El autor.

Elaboración: Propia.

No existen desplazamientos en el tiempo en cuanto a caudales picos, se muestra una disminución en el mes de Junio por parte del caudal de salida, este es directamente proporcional a la precipitación de la zona de estudio. Fig19.

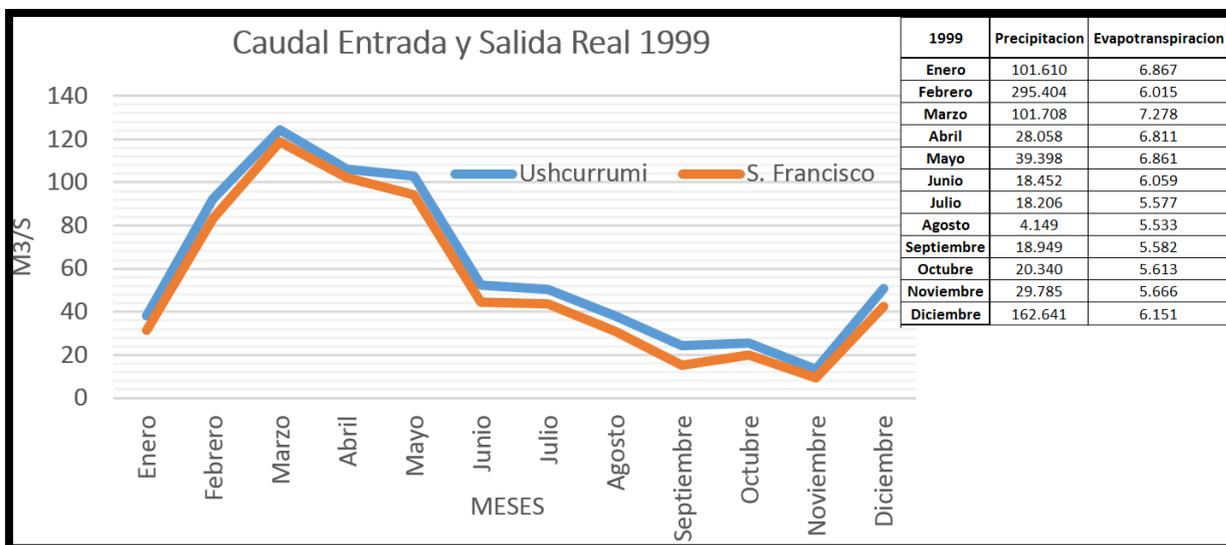


Figura 20. Hidrogramas Entrada y Salida reales año 1999, Jubones.

Fuente: El autor.

Elaboración: Propia.

El año 1999 (fig. 20) no presenta mayor variación dentro de las precipitaciones del tramo en estudio, el hidrograma de salida responde a una proporcionalidad de caudales acumulados.

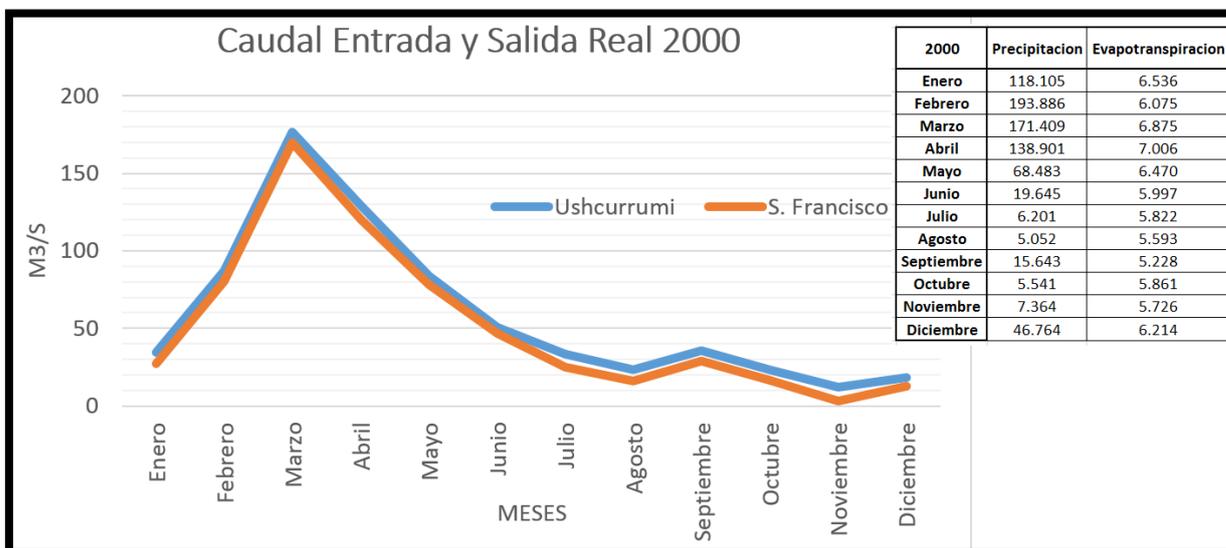


Figura 21. Hidrogramas Entrada y Salida reales año 2000, Jubones.

Fuente: El autor.

Elaboración: Propia.

En este año no existe acumulación mayoritaria dentro del tramo, puede atribuirse a que las precipitaciones han sido mínimas durante este período. (Fig21).

Modelación Témez en Subcuenca río Pindo

Se inició la calibración y automatización del Modelo Lluvia escorrentía Témez distribuido con la subcuenca del río Pindo. Se utilizaron los datos correspondientes al período 1965-1980. Una vez que se presentó una correlación Pearson mayor a 0.8 y un número de Nash-Sutcliffe mayor a 0.8, se establecieron las ecuaciones finales para que posteriormente sean automatizadas utilizando una hoja electrónica con ayuda de Microsoft Office Excel (versión 2013).

Los resultados arrojados se reflejan la naturaleza de crecida mediante el análisis distribuido de Témez. Se observa una crecida de caudal proporcional y sin variaciones altas entre meses. La figura 22 presenta los hidrogramas medios anuales de comparación entre un año aleatorio obtenido de la simulación en el río Pindo con su respectivo hidrograma real.

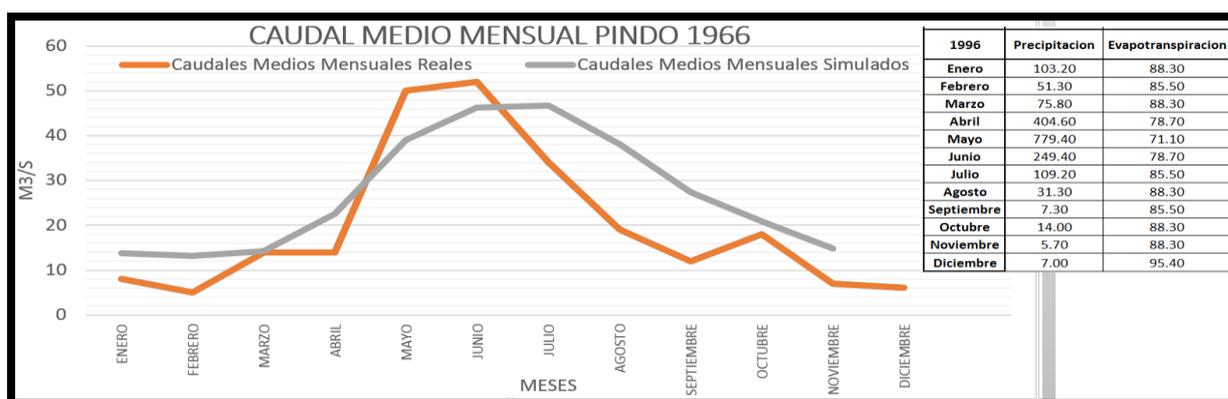


Figura 22. Hidrograma medio anual año 1966, Pindo.

Fuente: El autor.

Elaboración: Propia.

La principal observación se dirige al caudal pico, como se demuestra en la simulación no existe desplazamiento del mismo, con lo cual, se demuestra que la simulación mantiene el caudal medio mensual pico en el mismo mes en que se da realmente. Durante este año el caudal máximo se establece durante el mes de Junio con una creciente cercana en Mayo. Pese a la diferencia entre los caudales simulados y reales, se mantiene la similitud en cuanto a caudal de crecida, rama ascendente y rama descendente.

En algunos puntos del Hidrograma se encuentra una variación sobrestimada como es en el mes de Febrero, mientras que, en Junio se denota una clara subestimación de resultados por parte del método Témez distribuido. También se observa una caída suave por parte de la rama descendente del hidrograma simulado, mientras que, el hidrograma real posee una caída pronunciada. Esto demuestra que el método de Témez relaciona los caudales simulados en serie, es decir, no establece un cambio brusco de caudal entre meses conjuntos.

Comparación de Caudales en Salida de la Cuenca

- Modelo Témez entre estaciones Tabiazo y Esmeraldas

La calibración del primer tramo (Teaone Tabiazo - Esmeraldas) con una extensión de 19.87Km² se realizó con el año 1995 y presentó datos de Humedad máxima de 350mm, Humedad inicial del suelo de 50mm, Infiltración máxima del suelo de 350mm/mes, Coeficiente de recesión del acuífero de 0.04 y un coeficiente de excedencia de 0.45. Consecuentemente se analizó el registro completo obteniendo los caudales medios mensuales simulados y presentándolos mediante hidrogramas. Para toda la subcuenca se determinó un coeficiente de correlación Pearson de 0.9, lo cual nos refleja una correlación excelente, además se estimó una distancia entre estaciones de aforo (Teaone Tabiazo y Teaone Esmeraldas) aproximada de 2.5 Km.

Los hidrogramas presentados en la figura 23 representan los caudales reales de salida en la estación Teaone Tabiazo, comparados con los caudales de salida obtenidos mediante la acumulación entre el caudal aguas arriba de la estación Teaone Esmeraldas (Q_{real}) y el caudal simulado por Témez en el tramo de estudio. La principal similitud se encuentra en los caudales picos, los cuales no se desplazan. Esto indica que el método Témez conserva el tiempo de pico estable durante la simulación.

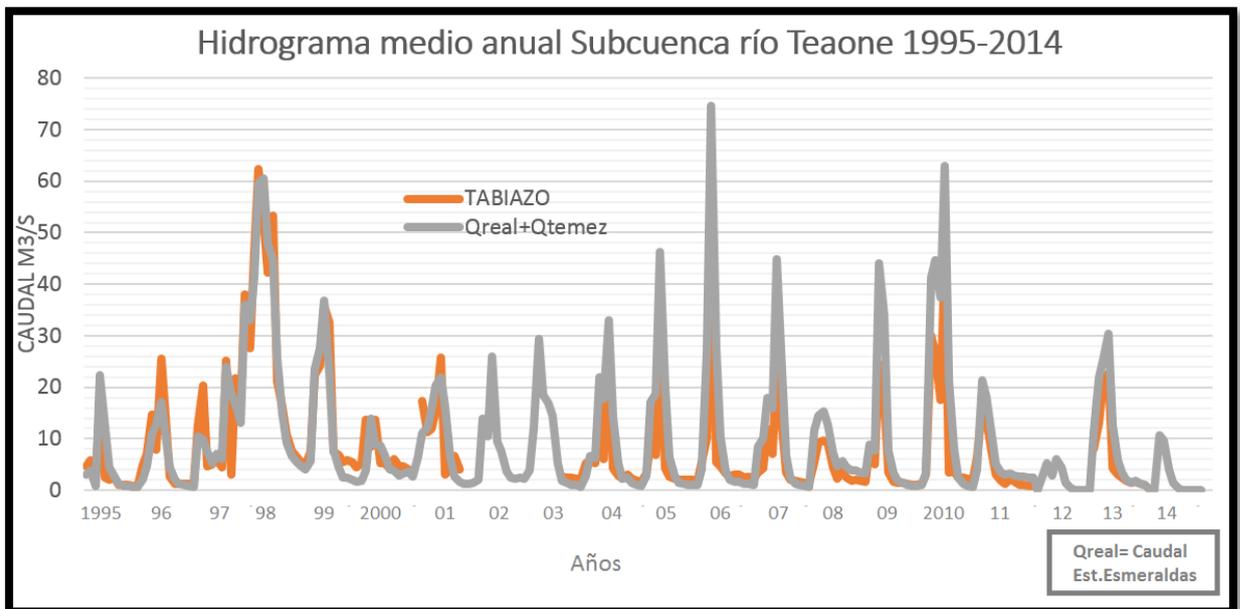


Figura 23. Hidrograma medio anual subcuenca río Teaone, 1995-2014. Real vs Simulado.

Fuente: El autor

Elaboración: Propia

En la figura 24 se puede observar el resultado de los caudales simulados aguas abajo en comparación con los caudales de salida reales del año 1995. Se observa una

sobreestimación de 7m³/s por parte del método de Témez distribuido, lo podemos atribuir a la estimación de las precipitaciones, o a los parámetros de calibración del método. También se nota que no existen desplazamientos en cuanto al caudal pico, es decir, el caudal medio mensual pico se mantiene durante el mes de Abril.

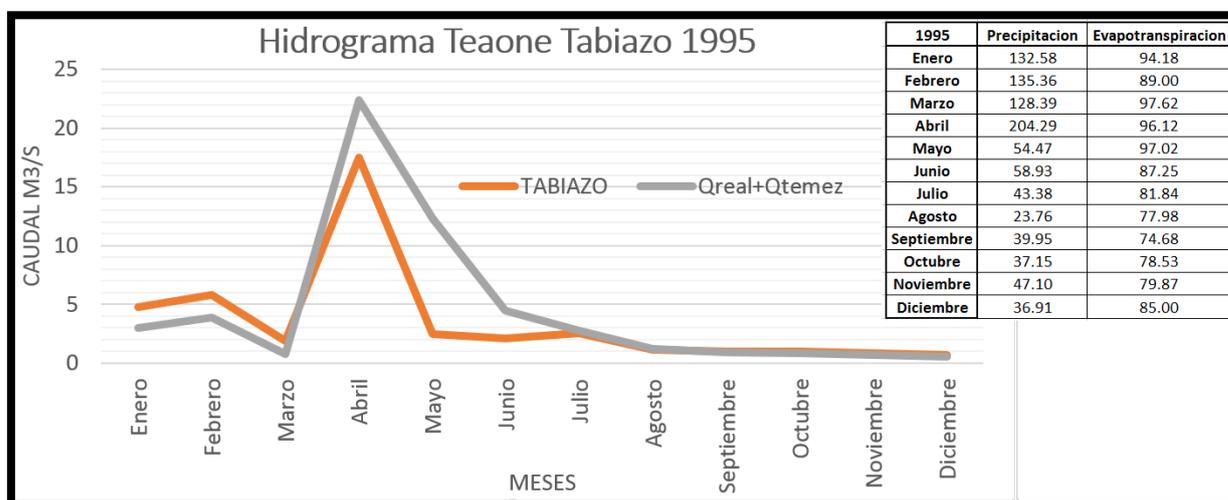


Figura 24. Hidrograma medio anual Salida Real vs Salida Simulado año 1995, Teaone.

Fuente: El autor.

Elaboración: Propia.

- Modelo Témez entre estaciones San Francisco y Ushcurrumi

Se determinó que la distancia entre estaciones fue 13.4 km aproximadamente, acorde a eso no se vio necesario la subdivisión de microcuencas de cauces aportantes. Los resultados arrojados en la subcuenca del río Jubones (251.5km²), luego de su calibración, presentaron datos de Humedad máxima de 260mm, Humedad inicial del suelo de 50mm, Infiltración máxima del suelo de 300mm/mes, Coeficiente de recesión del acuífero de 0.009 y un coeficiente de excedencia de 0.35. Consecuentemente se analizó el registro completo obteniendo los caudales medios mensuales simulados y presentándolos mediante hidrogramas (Fig35). Para toda la subcuenca se determinó un coeficiente de correlación Pearson de 0.95, lo cual nos refleja una correlación Excelente.

Los hidrogramas de la figura 25 representan los caudales reales de salida en la estación San Francisco, comparados con los caudales de salida obtenidos mediante la acumulación entre el caudal aguas arriba de la estación Ushcurrumi (Qreal) y el caudal simulado por Témez en el tramo de estudio.

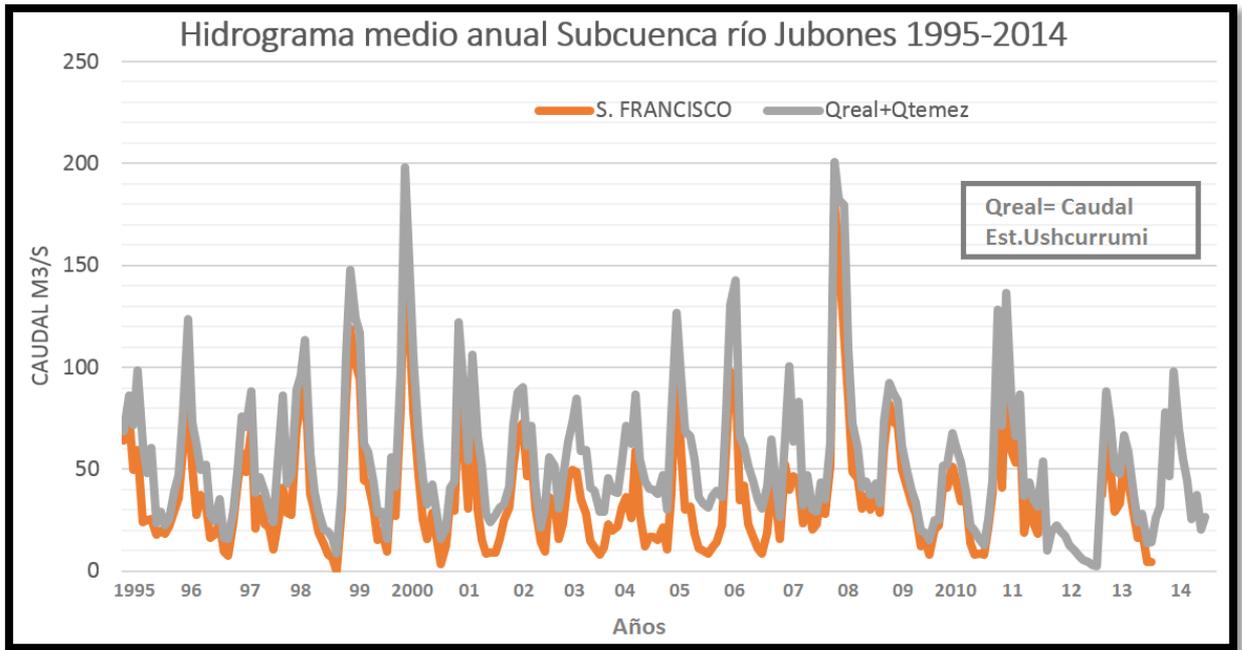


Figura 25. Hidrograma medio anual subcuenca río Jubones, 1995-2014. Real vs Simulado.
 Fuente: El autor
 Elaboración: Propia

En el Hidrograma de la figura 26 se observa el resultado de los caudales simulados aguas abajo en comparación con los caudales de salida reales durante el año 2000. No existen desplazamientos en los picos; la similitud entre simulación y caudales reales se atribuye a varios factores como la disposición de datos de precipitación y temperatura, a la corta distancia entre estaciones de aforo, al bajo número de aportantes al cauce principal entre ese tramo, y en parte a las condiciones de calibración como lo son la humedad máxima del suelo, coeficiente de recesión del acuífero, etc.

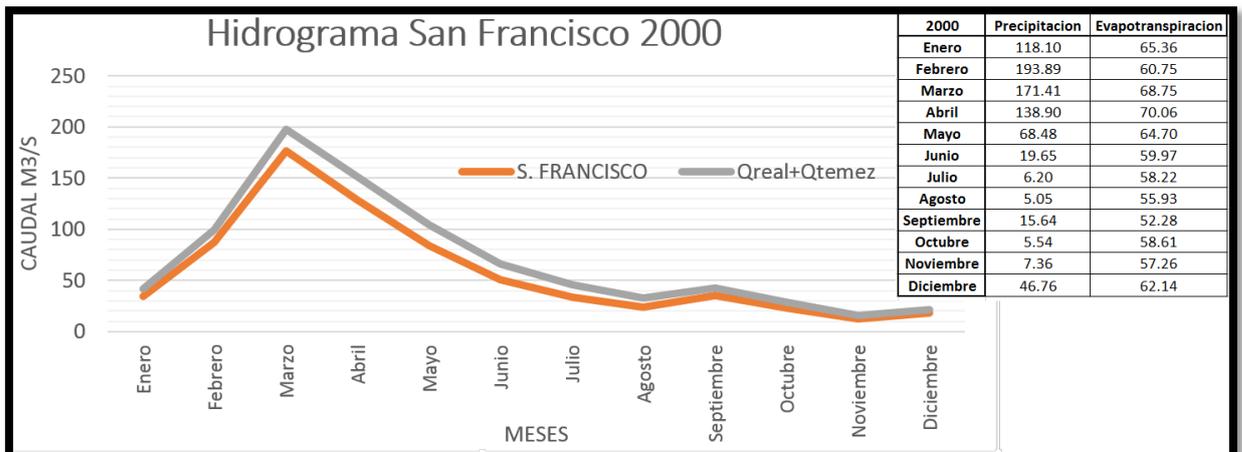


Figura 26. Hidrograma medio anual Salida Real vs Salida Simulado año 2000, Jubones.
 Fuente: El autor.
 Elaboración: Propia.

Método Lluvia-Escorrentía Distribuido

- Modelo Distribuido en Subcuenca Teaone

Establecidos los caudales simulados para el primer tramo de la subcuenca, se delimitó las microcuencas aguas arriba de la estación de aforo Teaone Esmeraldas, añadiendo 3 microcuencas más al análisis. Estos valores simulados presentaron diferencias mínimas y mantuvieron constancia en cuanto a criterios de desplazamiento y sobreestimación de caudales. Cabe recalcar que para el análisis de esta segunda división no se calibró nuevamente la cuenca, es decir, se utilizaron los mismos datos del primer tramo, debido a que la distancia entre estaciones fue relativamente corta.

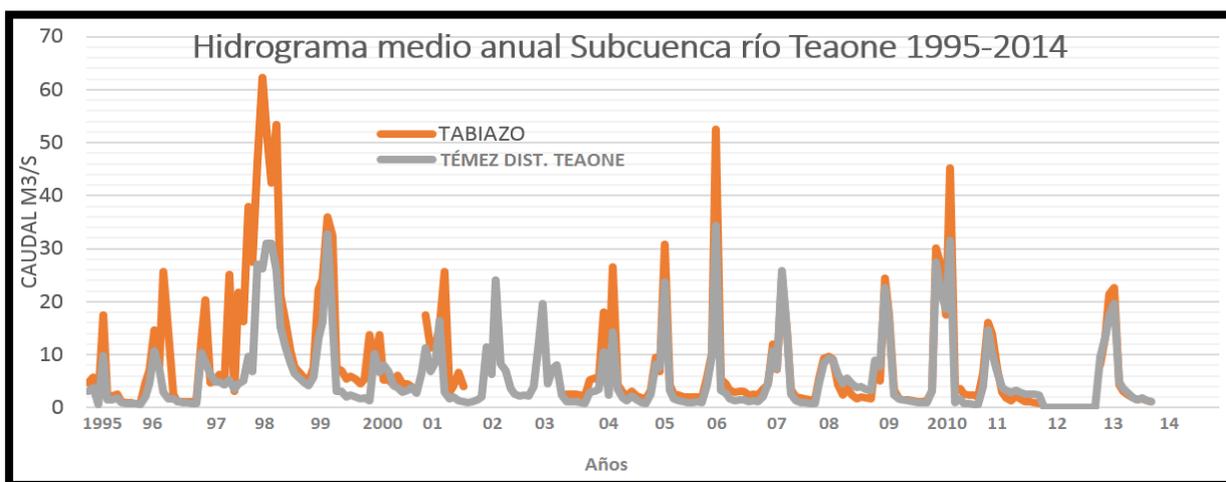


Figura 27. Hidrograma medio anual subcuenca río Teaone, Distribuido. 1995-2014. Real vs Simulado.
Fuente: El autor
Elaboración: Propia

En los resultados del método distribuido mostrados en la figura 27, se evidencia que el caudal pico medio mensual no sufre cambios en el tiempo, sin embargo, se observa gran variación durante los años 1997 y 1998, esto lo atribuimos directamente a la estimación de precipitaciones, dado que se ven afectadas por el fenómeno del Niño y la Niña.

En la figura 28 se denota el caudal pico establecido en el mes de Abril, y una variación de caudal de 8m³/s aproximadamente. Esto se puede atribuir a la calibración de las microcuencas establecidas para la distribución del Teaone.

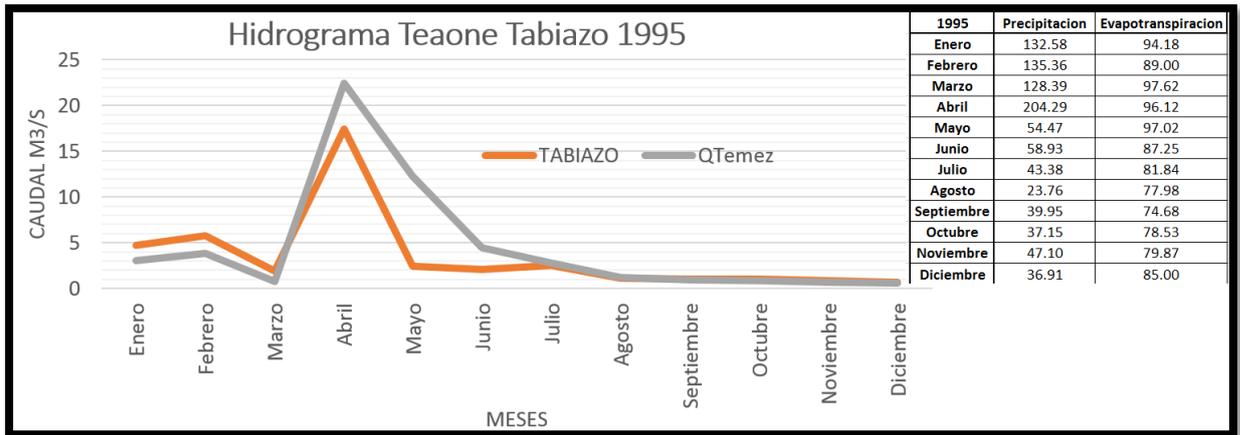


Figura 28. Hidrograma medio anual Salida Real vs Salida Simulado año 1995, Teaone Distribuido.
 Fuente: El autor.
 Elaboración: Propia.

- Modelo Distribuido en Subcuenca Chimbo

Debido a que la distancia entre estaciones exigía caudales aportantes significativos (32.5 Km aproximadamente), se dividieron 9 microcuencas para las cuales se aplicó distancia inversa a cada uno de los centroides para estimación de precipitación y temperatura aportante. La calibración con el año 1995 de la subcuenca del río Chimbo presentó datos de Humedad máxima de 350mm, Humedad inicial del suelo de 50mm, Infiltración máxima del suelo de 400mm/mes, Coeficiente de recesión del acuífero de 0.007 y un coeficiente de excedencia de 0.3. Consecuentemente se analizó el registro completo obteniendo los caudales medios mensuales simulados y presentándolos mediante hidrogramas. Para toda la subcuenca se determinó un coeficiente de correlación Pearson de 0.8, lo cual nos refleja una correlación muy buena.

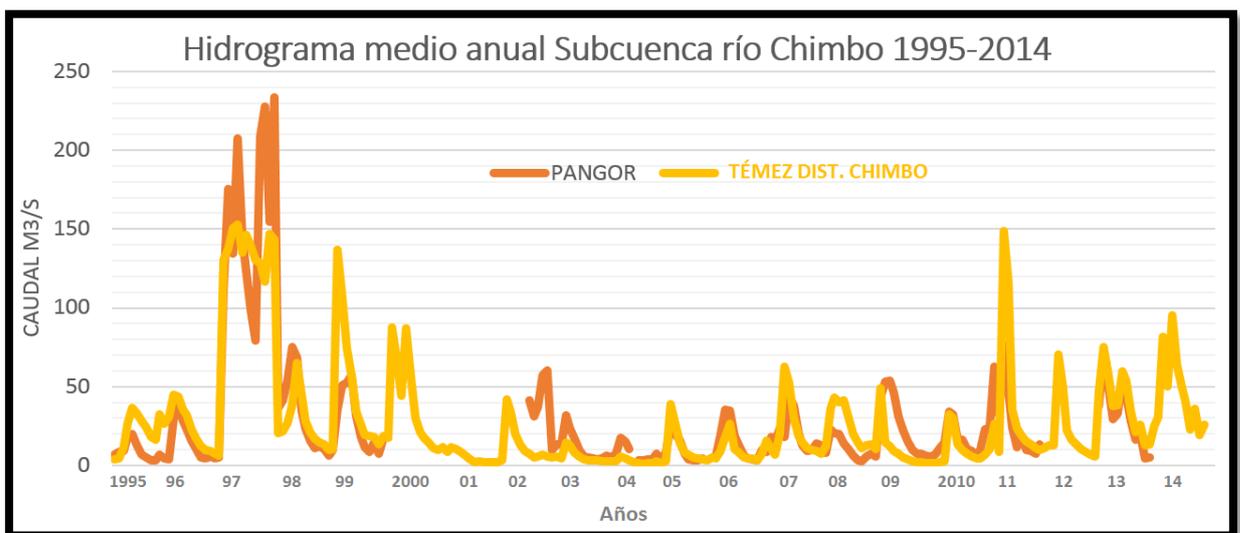


Figura 29. Hidrograma medio anual subcuenca río Chimbo, 1995-2014. Real vs Simulado.
 Fuente: El autor
 Elaboración: Propia

Los hidrogramas de la figura 29 representan los caudales reales de salida en la estación Pangor, comparados con los caudales de salida obtenidos mediante la acumulación entre el caudal aguas arriba de la estación San Lorenzo (Q_{real}) y el caudal simulado por Témex en el tramo de estudio. La principal similitud se encuentra en los caudales picos, los cuales no se desplazan, esto mantiene que el método Témex conserva el tiempo de pico estable durante la simulación.

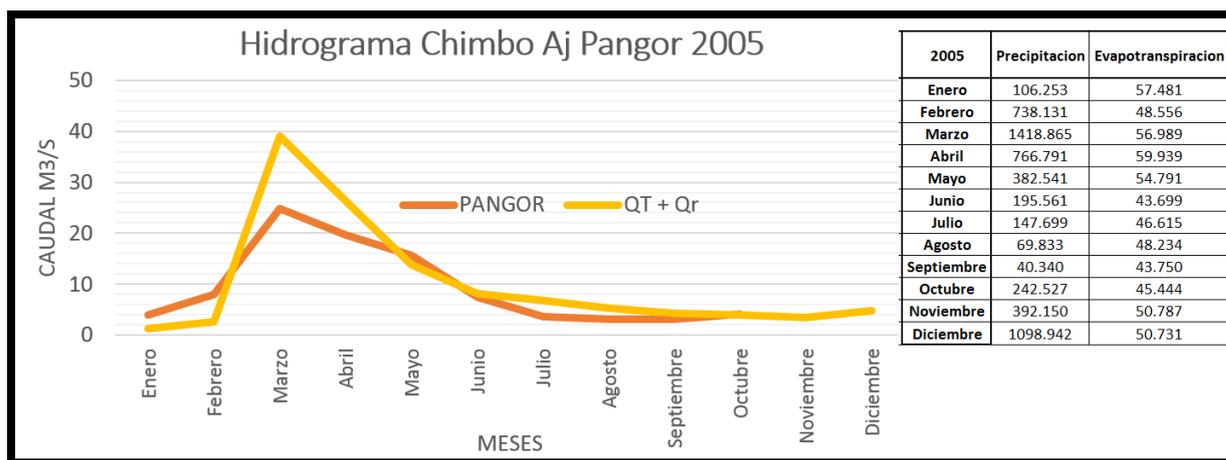


Figura 30. Hidrograma medio anual Salida Real vs Salida Simulado año 2005, Chimbo.

Fuente: El autor.

Elaboración: Propia.

Se observa en la figura 30 el resultado de los caudales simulados aguas abajo en comparación con los caudales de salida reales durante el año 2005. No existen desplazamientos en los picos, no obstante se denota que existe mayor diferencia entre caudales simulados y reales, que se atribuye al número de divisiones que presenta (9 microcuencas). La división fue necesaria debido a la distancia entre estaciones de aforo. Los caudales simulados presentan mayor sobreestimación en esta subcuenca en comparación con las subcuencas de los ríos Teaone y Jubones, que se puede imputar a una mala estimación de precipitaciones en las microcuencas. Existe una variación de 15m³/s en el caudal pico, y se mantiene en el mes de Marzo; también existe mayor diferencia entre sus ramas ascendentes y descendentes.

- Modelo Distribuido en Subcuenca Amarillo

Culminada la simulación de las cuencas Teaone, Chimbo y Jubones, se aplicó la metodología establecida en la subcuenca del río Amarillo. En ella contamos con datos de precipitación y temperatura correspondientes al período 1965-1980. Los datos de calibración se tomaron de la cuenca conjunta del río Pindo. La división resultó en 5 microcuencas (Fig.10) debido al número de cauces aportantes en la subcuenca. Para estas microcuencas

se establecieron los valores meteorológicos correspondientes con ayuda de la hoja de cálculo electrónica; y se graficaron los hidrogramas medios anuales en el punto de interés.

En la figura 31 podemos observar los caudales simulados mediante la metodología Témez distribuido durante los años 1965 a 1980, se demuestra la consistencia de los caudales picos y la proporcionalidad de los mismos ante los caudales reales dentro del registro hidrológico. En comparación con los resultados de las subcuencas anteriores, se puede observar una sobreestimación por parte de la metodología distribuida de Témez que se atribuye directamente a la calibración en zona de estudio.

Durante el año 1977 se observa la máxima variación entre el caudal aforado y el caudal simulado, esto se debe en parte a la mínima sobrestimación en la metodología Témez, y a la relación de precipitaciones y temperaturas con respecto de los caudales aforados durante el período.

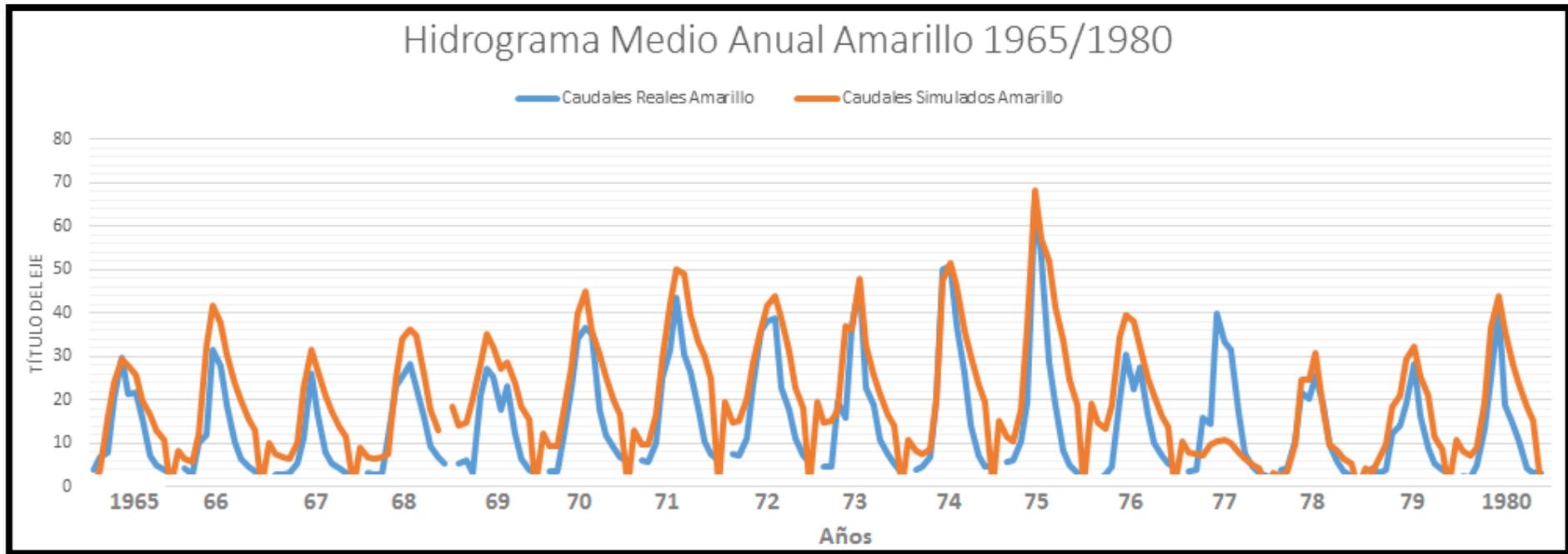


Figura 31. Hidrogramas medio anual 1965/1980, Amarillo.
 Fuente: El autor.
 Elaboración: Propia.

Coefficiente de Variación Pearson y número de Nash-Sutcliffe

La mayoría de caudales simulados presentaron una variación menor a 5 m³/s, pero había casos extremos que correspondían al 5% del total de los valores calculados, cuya variación alcanzaba los 15 m³/s. Entonces, para demostrar la aceptable dispersión de datos simulados se determinó el coeficiente de Pearson, el cual se obtuvo una vez simulada cada una de las subcuencas. Para Pearson se incorporaron todos los caudales simulados con sus respectivos datos reales, y se realizó la correlación que arrojó como resultado 0.9, el cual dentro de la categorización nos demuestra una correlación excelente.

Teniendo una correlación aceptable, se trabajó con el número de Nash-Sutcliffe para el cual se presentaron todos los caudales simulados y reales en dos tablas prestas a aplicarse el método, dando como resultado 0.8, que dentro de la categorización nos demuestra un ajuste muy bueno.

Coefficiente R_v basado en Muskingum-Cunge

Se estableció un coeficiente R_v, para ajuste de los datos simulados; este se presentó por medio de rangos de los caudales simulados por Témez, con aquel se intentó ajustar directamente dicho caudal simulado (ecuación de ajuste 2.32).

El coeficiente propuesto en la presente investigación (R_v) se basó en las ecuaciones de atenuación de la onda pico propuestas por Muskingum-Cunge; se establecieron algunos parámetros necesarios como, Distancia del tramo en estudio (Δx), Variable de tiempo entre períodos (Δt), Ancho medio del Cauce y Pendiente media del Cauce. Consecuente a la determinación de dichos parámetros, se prosiguió con la metodología propuesta por Muskingum-Cunge, hasta obtener un coeficiente R_v para cada uno de los caudales. Este se separó de acuerdo a los rangos de caudal y se promedió para tomar un valor representativo. Finalmente los resultados del coeficiente R_v se muestran en la tabla 4. Se observa que el coeficiente R_v es aproximadamente igual a uno, por lo tanto no fue necesario incluirlo en el ajuste de los caudales simulados. Esto nos demuestra que, los caudales simulados por medio del modelo lluvia escorrentía distribuido Témez, responden a una acumulación de caudal entre microcuencas.

COEFICIENTE R_v	
$0 < Q_t < 20$ (m ³ /s)	0.979
$20 < Q_t < 50$ (m ³ /s)	0.969
$50 < Q_t < 100$ (m ³ /s)	0.977
$100 < Q_t$ (m ³ /s)	0.990

Tabla 4. Coeficientes R_v para corrección de Q_t .
Fuente: El autor.
Elaboración: Propia

Influencia del Niño en el modelo Lluvia escorrentía

La variación de los caudales mensuales durante el año 1997 demuestra la influencia del Niño. Témez distribuido solo trabaja con caudales medios mensuales, este no trabaja con eventos extremos y no establece caudales máximos. En base a la tabla 5 obtenida de la página Cold and Warm Episodes by Season establecidas por la National Weather Service (2017), observamos que efectivamente se da la presencia del Niño con una anomalía oscilatoria de hasta 2.4; pasando este año tenemos que inmediatamente en 1998 se da la presencia de la niña, con una anomalía de hasta 2.2.

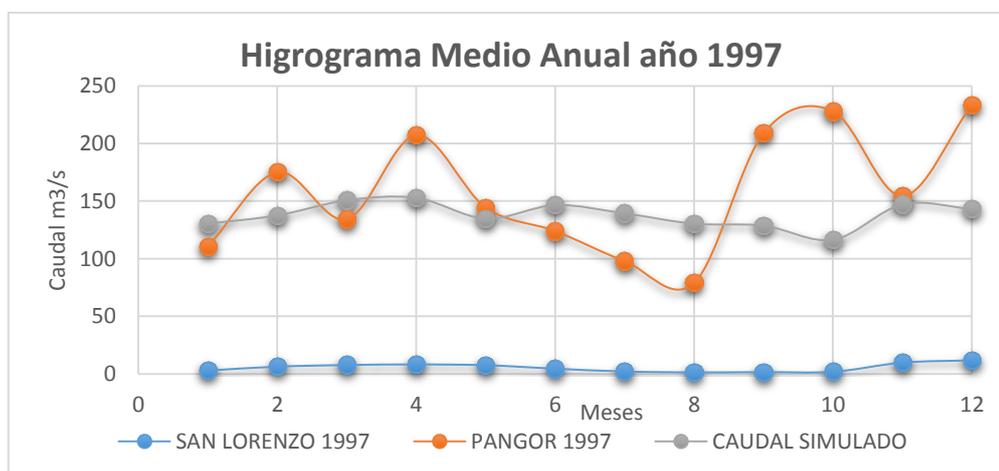


Figura 32. Hidrogramas establecidos en el año 1997, Chimbo.
Fuente: El autor.
Elaboración: Propia.

Durante el año 1997 se presentaron inconsistencias tanto para las estaciones de la región costa como para las demás. La figura 32 presenta el hidrograma medio anual simulado y real establecido en la subcuenca del río Chimbo en el año mencionado.

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1989	-1.7	-1.4	-1.1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1
1990	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4
1991	0.4	0.3	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	0.8	1.2	1.5
1992	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	0.7	0.4	0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1
1993	0.1	0.3	0.5	0.7	0.7	0.6	0.3	0.3	0.2	0.1	0.0	0.1
1994	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.7	1.0	1.1
1995	1.0	0.7	0.5	0.3	0.1	0.0	-0.2	-0.5	-0.8	-1.0	-1.0	-1.0
1996	0.0	0.0	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5
1997	-0.5	-0.4	-0.1	0.3	0.8	1.2	1.6	1.9	2.1	2.3	2.4	2.4
1998	2.2	1.9	1.4	1.0	0.5	-0.1	-0.8	-1.1	-1.3	-1.4	-1.5	-1.6
1999	-1.5	-1.3	-1.1	-1.0	-1.0	-1.0	-1.1	-1.1	-1.2	-1.3	-1.5	-1.7
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2000	-1.7	-1.4	-1.1	-0.8	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7
2001	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3
2002	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.4	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.1
2003	0.9	0.6	0.4	0.0	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4
2004	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7

Tabla 5. Anomalías del Niño y la Niña durante 1989 a 2004.
Fuente: Cold and Weather Episodes by Season.
Elaboración: National Weather Service.

Pese a que esta subcuenca es la más afectada, encontramos variación similar dentro de caudales mensuales pertenecientes a las subcuencas Teaone y Jubones.

CONCLUSIONES

- Se demostró que el modelo Lluvia esorrentía Distribuido Témez predice los caudales medios mensuales en un punto de interés de una subcuenca. Los resultados dependen directamente de la constancia de datos dentro del registro anual de precipitaciones y temperaturas.
- Se determinó que el coeficiente de ajuste propuesto (R_v) es aproximadamente igual a 1. Se concluye que los caudales medios mensuales aguas abajo de un punto de aforo, responden a la suma entre el caudal medio mensual de una estación aguas arriba, y el caudal simulado por medio de Témez durante el tramo en estudio.
- El Método Distribuido de Témez no permite variaciones extremas entre caudales de meses conjuntos. Se observó que los hidrogramas simulados presentaron sus ramas ascendentes y descendentes manteniendo una pendiente leve.
- Se observó que en 1997 existe una dispersión desfavorable tanto en caudales reales como simulados, esto debido a las anomalías presentadas en el transcurso de ese año, las cuales llegaban de hasta un valor de 2.4. Se llegó a la conclusión de que el modelo lluvia esorrentía distribuido arroja resultados aceptables siempre y cuando los datos de entrada (precipitación y temperatura) no se vean afectados por algún tipo de fenómeno meteorológico, como los son el Niño o la Niña.
- Los caudales simulados por medio de Témez no responden directamente a eventos horarios o diarios, ya que, este analiza las lluvias presentadas durante un mes completo y los incluye en un solo lapso de tiempo.
- Se concluye que el método de Témez en su forma distribuida se puede realizar con la subdivisión de microcuencas, tomando datos meteorológicos para cada una de ellas, es decir, no es completamente necesario subdividir la cuenca en celdas; con una estimación óptima de las microcuencas aportantes el estudio será factible.
- Esta investigación determinó que los caudales medios mensuales a una distancia X de un punto de aforo, pueden estimarse como la acumulación de los valores aforados más el caudal simulado durante el tramo en estudio; debido a que los caudales simulados mostraron un comportamiento tal y como una acumulación aguas abajo del punto de aforo.
- El coeficiente de recesión del acuífero es un dato de calibración muy sensible, Témez considera 0.01 como coeficiente óptimo para subcuencas con varios cauces aportantes.

- Para la calibración del modelo se ultima la necesidad de contar con al menos un año dentro del registro de datos reales para su comparación de resultados y adecuación de parámetros como Infiltración máxima y Humedad máxima del suelo.
- En base a la comparación entre hidrogramas reales de entrada y salida, podemos concluir que aguas abajo de una estación de aforo, el caudal medio mensual pico no sufre desplazamientos en cuanto al tiempo, es decir, se mantiene durante el mismo mes.
- La subcuenca Teaone presentó caudales simulados en un tramo del cauce y en toda la subcuenca, mediante este análisis se determinó una variación mínima entre resultados y se obtuvo la misma respuesta por parte de los caudales picos, en conclusión se dio una variación favorable entre las dos formas de estimación de la subcuenca.
- La subcuenca del río Jubones demostró mayor similitud entre caudales medios mensuales reales y simulados, esto se debió a la disposición de los datos de precipitación y temperatura, ya que las estaciones meteorológicas escogidas se encontraron muy cerca del punto de interés. Se afirma la importancia de los datos meteorológicos dentro del modelo Témez.
- Con la simulación de la subcuenca del río Amarillo se demostró que el tiempo pico dentro de caudales mensuales no varía con respecto a los datos reales; se mantiene en el mismo mes que el valor de caudal mensual real.

RECOMENDACIONES

- En el Ecuador se presentan muchas estaciones meteorológicas e hidrológicas, las cuales contienen un registro incompleto; es muy difícil encontrar datos de caudales, precipitaciones o temperaturas para un período de años consecutivo. Se recomienda realizar una investigación que incluya la tabulación de todas las estaciones funcionales y que presenten datos concretos para estudios referentes.
- Se recomienda el estudio de un cauce principal, para complementar la investigación presente, así se tendrá estimación del modelo dentro de microcuencas, subcuencas, y cuencas completas, de acuerdo con esto se podrá establecer la magnitud de variación del modelos entre más cauces aportantes existan.
- Durante el análisis de algunos años se encontraron cantidades mínimas de caudal, durante los cuales se asumieron épocas de estiaje. Se recomienda el estudio de estos años en concreto para determinar las causas de estiaje, ya que pueden presentar a futuro un problema para la comunidad aledaña.
- Existen varios métodos hidráulicos e hidrológicos que predicen caudales máximos aguas abajo de un punto de aforo, uno de ellos es el método de “Confluencia entre dos ríos”; sería propicio analizar este tipo de metodologías de predicción con un enfoque hacia los caudales medios mensuales, y su posterior comparación de resultados y aplicación en campo.

BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio, J. (1992). *Fundamentos De Hidrología De Superficie*. *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Armijos, J. (2012). *Implementacion de un modelo lluvia escorrentia de un evento en Hydrolab*.
- Barry, D. A., y Bajracharya, K. (1995). Optimised Muskingum-Cunge solution method for solute transport with equilibrium Freundlich reactions. *Journal of Contaminant Hydrology*, 18(3), 221–238. [http://doi.org/10.1016/0169-7722\(95\)00004-F](http://doi.org/10.1016/0169-7722(95)00004-F)
- Brunner, G. W., y Gorbrecht, J. (1991). A Muskingum-Cunge Channel Flow Routing Method for Drainage Networks, (November).
- Cabrera, J. (2012). *Calibración de Modelos Hidrológicos*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Carmona, D., Delgado, G., Trucios, C., & Estrada, J. (2014). Adjustment and validation of hydrological model GR2M in upper basin Nazas. *American Journal of Environmental Protection*, 81–89.
- Carvajal, Y., Arango, D., y Henry, J. (2007). Estimación de caudales promedios mensuales por subcuencas hidrológicas mediante modelación con HEC-HMS. *Tecnura*.
- Collazos, G. (2009). Sistema Soporte de ecisión H2O, para planificación y gestión de recursos hídricos. <http://ssd-h2o.com.ar/>
- Estrela, T. (1997). Formulación teórica del modelo Témez. Publicaciones del CEDEX 18p.
- Fajardo Sánchez, J. (2010). *DESARROLLO DE UNA PROPUESTA DE GERENCIAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA DEL JUBONES*. Universidad Politécnica Salesiana Quito.
- Faustino, J., y Jimenez, F. (2005). Institucionalidad de los organismos de cuencas. Turrialba, CR, CATIE. 76p.
- Fenton, J. D. (2011). Accuracy of Muskingum-Cunge flood routing. *Alternative Hydraulics*.
- Franquet Bernis, J. M., (2009). El caudal mínimo medioambiental del tramo inferior del río Ebro, Edición Electrónica gratuita. www.eumed.net/libros/2009b/564/
- Fung, K. (2009). *Assessment of Channel Routing for WRIMS CalLite Application : North of the Sacramento Delta By*. Universidad de California.
- Gamazo, P., Failache, N., Bondarenco, M., Cánepa, P., y Soler, J. (2014). Comparación del

modelo de Témez en versión Integrada y Distribuida para la estimación de caudales en Uruguay. XXV Congreso Latinoamericano de Hidráulica Santiago, Chile. Universidad de la República.

- Geraldi, A., Piccolo, C., y Perillo, G. (2010). Delimitación y estudio de cuencas hidrográficas con modelos hidrológicos. *Investigación Geográfica*, 16(30), 215–225.
<http://doi.org/10.4067/S0718-09342002005100014>
- Geraldi, A., Piccolo, M., y Perillo, G. (2016). Drainage basin morphometry of the Encadenadas del Oeste lakes, Argentina. *Journal of Geography and Regional Planning*, 9(2), 12–27. <http://doi.org/10.5897/JGRP09.050>
- Gorgas García, J., Cardiel López, N., y Zamorano Calvo, J. (2011). *Estadística Básica para estudiantes de Ciencias*. (J. Gorgas, Ed.).
- Gregory, K. y Walling, D. (1973). Drainage Basin. Form and Process: A Gemorphological Approach. (Edward Arnold, Ed). London
- Heatherman, W. J. (2012). *FLOOD ROUTING ON SMALL STREAMS : A REVIEW OF MUSKINGUM-CUNGE , CASCADING RESERVOIRS , AND FULL DYNAMIC SOLUTIONS FLOOD ROUTING ON SMALL STREAMS : A REVIEW OF MUSKINGUM-CUNGE , CASCADING RESERVOIRS ,.* University of Kansas.
- Henderson, F. M., 196. Open Channel Flow. New York: MacMillan Publishing CO., inc.
- Hill, M., García Préchac, F., Terra, J. a., y Sawchik, J. (2008). Incorporación del efecto del contenido de agua en el suelo en el modelo USLE / RUSLE para estimar erosión en Uruguay Soil water content effect in the USLE / RUSLE model to estimate erosion in Uruguay. *Agrociencia*, XII(2), 57–67.
- Juela, O. (2011). *Estudio hidrológico y balance hídrico de la cuenca alta del rio Catamayo hasta la estación el arenal en el sitio el boquerón, provincia de Loja*. Universidad Nacional de Loja.
- López, M. L. (2011). *Análisis de los métodos de estimación de Evaporación y Evapotranspiración a las condiciones locales de la Ciudad de Córdoba*. Universidad Nacional de la Palma.
- Magrin, et. al. (2007). Latina America, Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Ministerio del Medio Ambiente Madrid. (2009). *Proyecto de Permeabilización Piscícola del*

Azud de Protección del Viaducto de la Carretera N-502 sobre el Río Tiétar.

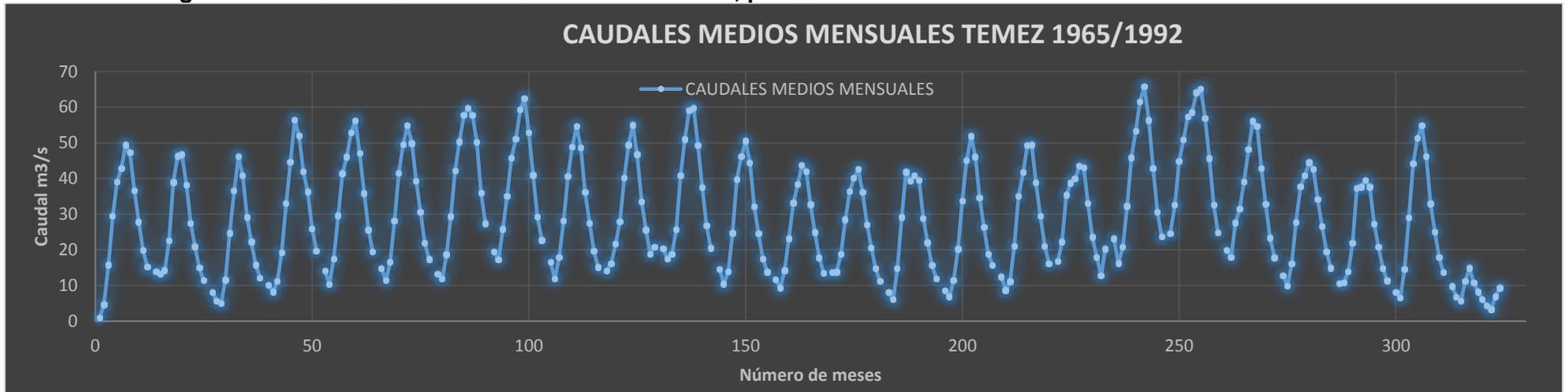
- Mitas, L., y Mitsova, H. (1999). *Spatial Interpolation, Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications*, Wiley. Longgley, M.F. Goodchild, D.J. Maguire, D.W. Rhind (Eds).
- Molnar, P. (2011). "Calibration". *Watershed Modelling, SS 2011*. Institute of Environmental Engineering, Chair of Hydrology and Water Resources Management, ETH Zürich. Switzerland.
- Monsalve Sáenz, Germán. (1999). *Hidrología en la Ingeniería. Segunda Edición*. EDITORIAL ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA.
- Montoya, D., Toro, M., Carvajal, L., y Vélez, I. (2006). Tránsito De La Onda De Choque En Canales De Alta Pendiente. *Avances En Recursos Hidráulicos*, 13, 55–70.
- Murillo, J. M., y Navarro, J. A. (2011). Aplicación del modelo de Témez a la determinación de la aportación superficial y subterránea del sistema hidrológico Cornisa-Vega de Granada para su implementación en un modelo de uso conjunto. *Boletín Geológico Y Minero*, 122(3), 363–388.
- National Weather Service. (2017). Cold and Warm Episodes by Season. Retrieved from http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml
- Nijssen, B., Lettenmaier, D. P., Liang, X., Wetzel, S. W., y Wood, E. F. (1997). Streamflow simulation for continental-scale river basins and radiative forcings) applications of the model to the Columbia and annual flow volumes to within a few percent . Difficulties in reproducing the Sacramento Model [Burnash is dominated using an. *Water Resources Research*, 33(4), 711–724.
- Oñate Valdivieso, F., Bosque, J., y Sastre, A. (2009). *Calibración, validación y evaluación de un modelo hidrológico concentrado* (Vol. 3).
- Orozco Coello, D. (2010). *Proyecto Hidrológico Río Chimbo*. Politecnica del Litoral.
- Ortiz Catro, M. (2015). *Caracterización de diatomeas como herramienta para el estudio de calidad del agua del río teañe*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Esmeraldas.
- Perumal, M., y Sahoo, B. (2012). Comparison of Variable Parameter Muskingum-Cunge and Variable Parameter Mc-Carthy-Muskingum Routing Methods. *American Society of Civil Engineers*, 1270, 314–320.

- Pizarro T, R., Ramirez B, C., y Flores V, J. P. (2003). Análisis comparativo de cinco métodos para la estimación de precipitaciones areales anuales en períodos extremos. *Bosque (Valdivia)*, 24(3), 31–38. <http://doi.org/10.4067/S0717-92002003000300003>
- Pizarro, R., Soto, M., Farías, C., y Jordán, C. (2005). Aplicación de dos Modelos de Simulación Integral Hidrológica , para la estimación de caudales medios mensuales , en dos cuencas de Chile central. *Bosque*, 26(2), 123–129. <http://doi.org/10.4067/S0717-92002005000200015>
- Ponce, V. M., y Chaganti, P. V. (1994). “Muskingum–Cunge method revised.” *J. Hydro.*, 163, 439–443.
- Ponce, V. M., y Lugo, A. (2000). Modeling Looped Ratings in Muskingum-Cunge Routing. *Journal of Transportation Engineering*, 126:6(December), 506–512.
- Ponce, V. M., y Lugo, A. (2001). “Modeling looped ratings in Muskingum–Cunge routing.” *J. Hydrol. Eng.*, 6(2), 119–124.
- Ponce, V. M., y Yevjevich, V. (1978). “Muskingum–Cunge method with variable parameters.” *J. Hydr. Div.*, 104(12), 1663–1667.
- Prado Villacreses, V. (2015). *ESTADO DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO TEAONE (CUENCA BAJA) ENTRE LA TERMOELÉCTRICA Y LA DESEMBOCADURA DEL RÍO ESMERALDAS , SECTOR DE LA PROPICIA I*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Price, R. K., y Perumal, M. (2012). “A fully volume conservative variable parameter McCarthy-Muskingum method: 1. Theory and verification.” *Water Resour. Res.* (Communicated).
- Quito, N. (2015). *Predicción De Caudales En La Cuenca Del Machángara*. Universidad de Cuenca.
- Rosenzweig, et.al. (2004). Water Resources for agriculture in a changing climate: International case studies. *Global Environmental Change* Vol 14 No 4.
- Samaniego Ortega, J. L. (2008). *Validación Y Calibración De Los Parámetros Hidrológicos Del Polinomio Ecológico*. Universidad Técnica Particular de Loja. Retrieved from <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/1430>
- Sandoval, W., y Aguilera, E. (2014). Determinación de Caudales en cuencas con poco información Hidrológica. *Revista Ciencia UNEMI*, 2, 100–110.

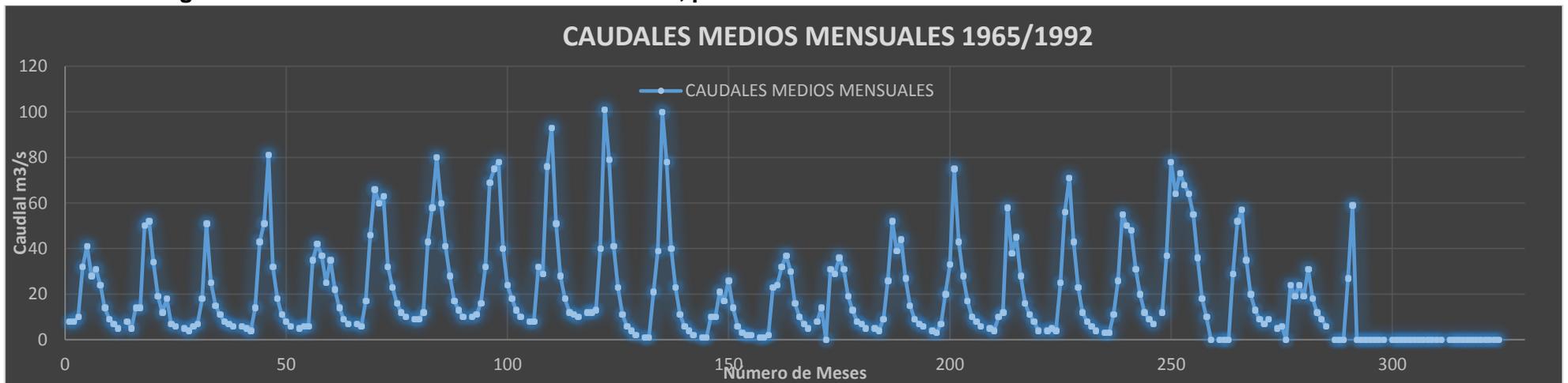
- Schroeter, H. O., y Epp, R. P. (2016). Muskingum-Cunge : A Practical Alternative to the HYMO VSC Method for Channel Routing Muskingum-Cunge : A Practical Alternative to the HYMO VSC Method for Channel Routing. *Canadian Water Resources Journal / Revue Canadienne*, 1784(April). <http://doi.org/10.4296/cwrj1304068>
- Takeuchi, K., Ao, T., y Ishidaira, H. (2004). Introduction of block-wise use of TOPMODEL and Muskingum-Cunge method for the hydroenvironmental simulation of a large ungauged basin. *Hydrological Sciences Journal*, 44(4), 633–646. <http://doi.org/10.1080/02626669909492258>
- UNESCO. (2003). La situación La crisis mundial del agua. *Onu- Wwap*, 36. Retrieved from <http://www.un.org/esa/sustdev/sdissues/water/WWDR-spanish-129556s.pdf>
- USACE, 1994. Engineering and Design: Flood-Runoff Analysis. US Army Corps of Engineers, Washington DC. Ch. 9.
- William, Merkel. (2002). Muskingum-Cunge Flood Routing Procedure in NRCS Hydrologic Models. *Journal of Hydraulica Research*, 20(July), 1–12.
- Xie, M., Zhou, J., Li, C., y Zhu, S. (2015). Long-term generation scheduling of Xiluodu and Xiangjiaba cascade hydro plants considering monthly streamflow forecasting error. *Energy Conversion and Management*, 105, 368–376. <http://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.08.009>
- Xiong, L., y Guo, S. (1999). A two-parameter monthly water balance model and its application. *Journal of Hydrology*, 216(1-2), 111–123. [http://doi.org/10.1016/S0022-1694\(98\)00297-2](http://doi.org/10.1016/S0022-1694(98)00297-2)

ANEXOS

A. Hidrograma Simulado medio anual subcuenca río Pindo, período 1965-1992.



B. Hidrograma Real medio anual subcuenca río Pindo, período 1965-1992.



C. Anexo de Calculo.

Se automatizó cada método aplicado en la investigación a través de un software incluido en el paquete Microsoft Office 2013, Excel.

i. Distancia Inversa en Aplicación

Debido al número de datos a procesar, la cantidad de estaciones y subcuencas en estudio, se incluyó la metodología de Distancia Inversa para precipitaciones y temperaturas en una hoja electrónica.

El procedimiento de utilización es el siguiente.

- 1) Colocar las precipitaciones y temperaturas en los casilleros correspondientes, de forma ordenada de acuerdo a las estaciones implicadas. Fig20.

PRECIPITACIONES TOTALES MENSUALES														
MUISNE		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
M0153	1995	447.7	127.0	9.8	96.1	170.4	73.7	49.7	57.8	32.5	70.5	60.4	25.9	MUISNE
M0153	1996	155.5	201.4	314.0	51.4	106.7	22.0	47.8	20.7	23.9	18.7	12.3	24.9	MUISNE
M0153	1997	224.2	284.1	242.0	189.8	124.8	269.4	349.7	204.4	164.6	602.0	650.3	702.6	MUISNE
M0153	1998	190.7	539.3	115.5	471.9	400.8	330.9	254.9	93.2	74.0	25.1	50.6	19.4	MUISNE
M0153	1999	344.1	504.0	245.7	427.9	174.7	151.6	60.9	27.6	47.2	29.2	72.0	137.9	MUISNE
M0153	2000	81.6	473.3	21.5	18.0	54.4	49.0	27.1	11.1	30.7	10.9	27.7	99.0	MUISNE
M0153	2001	339.8	26.7	109.0	267.4	14.3	18.8	25.0	16.2	21.8	0.6	4.0	66.3	MUISNE
M0153	2002	153.0	345.1	84.1	183.5	311.2	286.6	58.3	2.9	15.6	51.1	20.7	197.7	MUISNE
M0153	2003	316.5	241.0	253.0	439.3	393.0	138.4	94.5	393.7	12.8	67.5	89.3	184.5	MUISNE
TEMPERATURAS MEDIAS MENSUALES														
MUISNE		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
M0153	1995	25.6	26.0	25.9	26.0	25.8	25.1	24.3	23.9	23.8	24.0	24.4	24.7	MUISNE
M0153	1996	25.5	26.2	26.1	25.6	25.2	23.4	22.7	23.2	23.3	23.3	23.6	24.4	MUISNE
M0153	1997	24.8	25.8	26.5	25.9	26.8	26.5	26.6	24.3	26.6	26.6	26.2	25.8	MUISNE
M0153	1998	27.2	27.4	26.4	27.3	27.2	26.6	26.2	25.1	24.4	24.0	24.3	24.7	MUISNE
M0153	1999	25.5	25.2	26.2	25.9	25.7	24.8	23.7	23.6	23.9	23.6	23.9	24.6	MUISNE
M0153	2000	25.0	25.3	25.6	26.2	25.1	24.7	24.1	23.7	23.3	24.0	24.0	24.7	MUISNE
M0153	2001	25.2	26.2	26.4	26.1	25.5	23.9	24.0	23.8	23.4	23.7	23.5	24.9	MUISNE

- 2) Colocar información correspondiente a nombre y área de las subcuencas y estaciones meteorológicas. Fig21.
- 3) Colocar distancia entre estaciones y el punto a ponderar, en la casilla de su estación correspondiente. Fig21.

080 CUENCA ESMERALDAS-RIO TEAONE				
		Distancia Estacion/Punto de Interés (Km)		
		Estaciones		
		SAGUE M0441	MUISNE M0153	
TEAONE (TABIAZO/ESMERALDAS)	Subcuenca 1	19.85646 Km2	11.1653	42.1993
	Subcuenca 2			
	Subcuenca 3			
	Subcuenca 4			
	Subcuenca 5			
	Subcuenca 6			
	Subcuenca 7			
	Subcuenca 8			
	Subcuenca 9			
	Total	19.85646 Km2		

4) Revisar resultados al final de la hoja. Fig22

RESULTADOS													
TEAONE (TABIAZO/ESMERALDAS)													
Dist Inv2	MUISNE	0.000562											
Dist Inv2	SAGUE(SA)	0.008022											
		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
	1995	132.576	165.369	127.385	114.292	114.469	58.930	43.380	23.761	39.946	27.147	47.100	36.911
	1996	113.459	182.802	175.589	121.867	155.765	28.729	30.604	18.364	18.760	18.420	18.001	18.171
	1997	117.954	208.680	140.412	126.155	178.632	140.896	140.636	108.513	241.048	143.217	398.152	237.161
	1998	114.370	484.067	356.340	427.134	188.558	322.863	124.620	77.686	60.168	9.025	6.395	7.064
	1999	128.143	203.067	223.457	98.018	151.569	43.563	31.367	9.529	27.994	16.723	24.126	27.807
	2000	111.907	154.907	96.504	84.185	87.042	31.413	30.244	9.945	22.935	18.054	23.486	27.089
	2001	129.328	173.971	147.769	137.151	113.198	66.696	46.774	25.736	46.753	24.766	52.796	45.938
	2002	116.437	184.306	144.027	121.004	128.218	82.663	49.611	24.519	44.022	28.888	53.003	53.923
	2003	127.395	200.062	168.575	157.560	145.169	83.836	55.488	54.298	52.264	30.989	66.092	58.919
	2004	121.595	212.800	121.012	51.083	209.909	31.031	18.787	2.630	51.164	10.407	14.544	20.259
	2005	113.820	192.939	75.218	342.368	11.748	0.470	5.291	0.364	1.696	2.352	1.273	4.362
	2006	121.176	339.699	87.964	53.909	15.181	12.761	29.027	24.999	38.932	6.637	113.006	19.433

ii. Método Thornthwaite y Balance Hídrico en Aplicación

Dado el número de datos a procesar y la cantidad de estaciones en estudio, se incluyó la metodología de Thornthwaite para Evapotranspiración una hoja electrónica.

El procedimiento de utilización es el siguiente.

- 1) Colocar el año de registro inicial, grados y latitud (Fig24).
- 2) Colocar Precipitaciones y Temperaturas en las casillas correspondientes. Ver Fig23

Estacio n IUBRON	Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
PRECIPITACION	2002	47.645	101.364	217.244	158.153	30.878	36.049	5.569	6.773	56.877	110.559	94.704	94.830
	2003	59.736	54.587	88.489	179.000	72.040	50.428	4.969	0.717	8.323	51.226	60.775	68.776
	2004	50.957	96.409	100.710	131.795	92.799	7.341	7.869	7.915	56.904	63.319	61.505	54.003
	2005	20.457	102.358	202.360	110.409	91.539	21.797	23.440	8.131	14.012	27.758	41.173	112.778
	2006	90.623	149.168	174.000	121.804	45.784	37.532	7.942	28.534	21.506	31.619	138.603	133.778
	2007	119.355	36.530	191.348	225.905	138.463	65.062	14.137	29.633	5.263	76.269	50.451	56.282
	2008	137.188	210.051	205.596	161.025	151.341	56.759	28.239	51.146	39.747	132.639	79.709	54.024
TEMPERATURA	2002	14.1	14.6	15.3	15.2	14.9	13.7	12.9	12.1	12.2	13.3	13.2	13.8
	2003	14.3	14.1	14.8	14.8	14.3	12.9	12.6	13.0	12.6	12.9	13.6	13.8
	2004	14.6	14.7	14.7	14.5	14.1	12.7	12.3	12.4	12.7	13.3	13.8	13.8
	2005	14.6	13.9	14.6	15.6	14.3	12.4	12.7	13.0	12.3	12.3	13.6	13.5
	2006	14.6	14.5	14.7	14.7	13.8	13.3	13.5	13.5	13.6	14.1	13.6	14.2
	2007	14.6	14.6	14.6	15.1	14.1	13.4	12.7	12.3	11.9	12.5	12.7	13.1
	2008	13.4	14.1	14.7	15.0	14.0	13.7	13.8	13.4	12.7	12.7	12.5	13.3

- 3) Revisar resultados en las celdas adecuadas. Fig24

Evaporación												
	Ene	Fe	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
i (individual)	4.8279563	5.036157	4.9838276	5.0361574	4.9316838	4.5719353	4.1722757	3.9771459	3.9288611	4.0256305	4.221552	4.3705544
l	54.083737											
a	1.3413609											
kc	1.052	0.949	1.043	1.004	1.031	0.995	1.028	1.031	1.007	1.046	1.022	1.031
ETp	6.1121586	5.723876	6.2328878	6.0556075	6.104031	5.508546	5.2481949	5.0448236	4.8743516	5.1734628	5.2721218	5.4845351
T (°C)	14.14	14.54	14.44	14.54	14.34	13.64	12.84	12.44	12.34	12.54	12.94	13.24
P	69.061	60.496	147.251	108.005	80.936	23.300	49.872	17.283	25.228	63.686	125.714	70.812
P-ET	7.94	3.26	84.92	47.45	19.90	-31.79	-2.61	-33.17	-23.52	11.95	72.99	15.97
"---Et---"	Mes Humedo	Mes Humec	Mes Humedo	Mes Humedo	Mes Humedo	Mes Seco	Mes Seco	Mes Seco	Mes Seco	Mes Humedo	Mes Humedo	Mes Humedo
R	23.91	27.16	112.09	159.54	179.43	147.65	145.04	111.87	88.35	100.31	0.00	15.97
	197.21	200.46	285.39	332.83	352.73	320.94	145.04	111.87	88.35	100.31	173.30	189.27
	197.21	200.46	285.39	332.83	352.73	320.94	318.33	285.17	88.35	100.31	173.30	189.27
	370.50	373.76	450.00	450.00	450.00	418.21	415.60	382.44	261.65	273.60	346.60	362.56
Vr	7.94	-3.26	-76.24	0.00	0.00	31.79	2.61	33.17	120.79	-11.95	-72.99	-15.97
Etr	61.12	57.24	62.33	60.56	61.04	55.09	52.48	50.45	146.01	51.73	52.72	54.85
D	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-97.27	0.00	0.00	0.00
Ex	0.00	6.52	161.16	47.45	19.90	0.00	0.00	0.00	0.00	23.90	145.99	31.93

iii. Témez Distribuido en Aplicación

La metodología de Témez Distribuido se automatizó en una hoja electrónica con ayuda de Excel versión 2013; constó de celdas al inicio que permiten cambiar las variantes: Infiltración máxima del suelo, Humedad máxima del suelo, Coeficiente de excedente, Humedad inicial del suelo, Coeficiente de recesión del acuífero y superficie de la cuenca.

Los datos de precipitación, temperatura, y evapotranspiración necesarios para el modelo lluvia escorrentía, se tomaron automáticamente de la hoja de Evapotranspiración de Thornthwaite.

La aplicación cuenta con 4 paneles; en el primer panel de color verde se incluyen manualmente las variables dependientes para el análisis (Humedad máxima, Infiltración máxima, etc.), Fig25; en el segundo panel observamos el proceso metodológico de Témez distribuido como una aplicación de Témez concentrado, Fig25; en este se muestran los resultados de escorrentía simulados; en el tercer panel visualizamos los hidrogramas medios anuales generados con los datos de entrada, teniendo en cuenta que varía a medida que se calibran los datos del primer panel, Fig25; en el cuarto panel encontrado en la parte inferior de la hoja de cálculo se enfoca el gráfico ampliado de los hidrogramas medios anuales, se encuentran de manera extensa y detallada para verificar datos de caudales individualmente, Fig26.

Imax Infiltración máxima--> (Tomada del ejemplo de Hidrolab)

350 mm/mes

ETP Evapotranspiración POTENCIAL (THORNTHWAITE)

Hmax Max capacidad de almacenamiento de humedad del suelo

350 mm

C Coef de excedente

0.45 (Tomado del libro de monsalve pag 214 el mayor en areas no desarrolladas)

Si-I Humedad inicial del suelo

60 mm Tomado del ejemplo de hidrolab

S Dficit máximo de humedad del suelo (mm)----> (Lo he tomado diferente al Dficit calculado con balance Hídrico)

R-> Si Tomamos la reserva como la humedad del suelo

Po Umbral de escorrentia

β (M/a) Coeficiente de recesión del acuífero--Coeficiente de la rama de descarga del acuífero mientras baja este coeficiente--aumenta el caudal

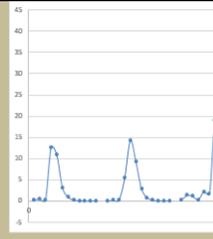
0.04

Δt Variación de tiempo transcurrido en i-1 hasta i

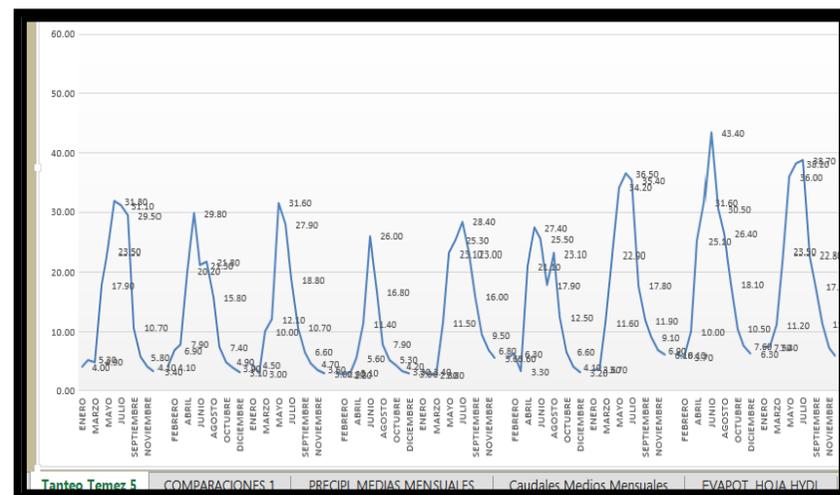
1

superficie cuenca km2

19.97



		1995												
Meses		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene
Días del Mes	P (1965+1)	30	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	31
Precipitación	ETP	132.58	135.36	128.39	204.29	54.47	58.33	43.38	23.76	39.95	37.15	47.10	36.91	103.9
Evapotransp. POT	ETP	94.18	89.80	97.62	96.12	97.02	87.25	81.84	77.90	74.66	78.53	79.87	85.00	ETP
Humedad--Reserva Thon R. + H		38.40	84.76	115.53	223.70	151.15	152.83	114.37	60.16	25.42	0.00	0.00	0.00	mm
Dficit maximo de hum suel. δ		394.18	400.60	362.86	330.59	223.32	256.10	279.01	313.60	364.53	403.11	429.67	435.00	mm
Umbral de ESC	Po	135	140.22064	119.35758	105.51153	56.834756	75.981985	88.72558	106.03225	130.42912	146.06081	157.5	157.5	mm
Excedente	ti	0	0	0.3227515	30.128315	0	0	0	0	0	0	0	0	mm
Infiltración Recarga	fi	0	0	0.0015957	0.1405322	0.0406670	0.0123469	0.0025646	0.0008259	0.0002039	0.948E-05	2.630E-05	7.793E-06	
Beta1	β1	0.5489164	0.5712091	0.5379444	0.5469116	0.5379444	0.5469116	0.5379444	0.5379444	0.5489116	0.5379444	0.5489116	0.5379444	0.54
fi definitivo	fi	0	0	0.0015957	0.1405322	0.0406670	0.0123469	0.0025646	0.0008259	0.0002039	0.948E-05	2.630E-05	7.793E-06	2.347
Aporte mínimo		0	0	0	0.121265	10.855919	3.0933214	0.9462112	0.2738196	0.0779219	0.0238663	0.0067917	0.0020802	m3/s
Aportación Buscada		0	0	0.1482891	15.0256	10.855919	3.0933214	0.9462112	0.2738196	0.0779219	0.0238663	0.0067917	0.0020802	m3/s
Total de agua disponible		182.58	173.76	212.82	289.69	278.17	240.08	196.21	138.13	100.10	62.57	47.10	36.91	mm
Humedad Remanente		88.3385688	84.76093	115.20718	193.57163	181.15114	152.83204	114.37278	60.157618	25.42043	0	0	0	mm
fi un intervalo (Q) m3/s por mes		0.2545	0.4854	0.1489917	12.637593	10.855919	3.0933214	0.9462112	0.2738196	0.0779219	0.0238663	0.0067917	0.0020802	0.00



Tanteo Tema 5 COMPARACIONES 1 PRECIP. MEDIAS MENSUALES Caudales Medios Mensuales EVAPOT. HOJA HYD1

D. Cálculo de Variación Método Témez, Teane 1995

Qa=Qb+Qt*K												
CUENCA	AÑO	MES	Qa REAL Aguas Abajo	Qb Aguas Arriba	Qt Temez	Qb+Qa	Variacion Real- Calculado	Variacion Negativa (<Calculado)	%	Variacion Positiva (>Calculado)	%	
CUENCA RIO TEAONE	1995	Enero	4.725	2.99	0.02	3.01	1.715			1.715	56.9767442	
		Febrero	5.802	3.811	0.035	3.846	1.956			1.956	50.8580343	
		Marzo	1.887	0.585	0.14899172	0.73399172	1.15300828			1.15300828	157.087369	
		Abril	17.46	9.76	12.6375902	22.3975902	-4.9375902	-4.937590201	22.045185			
		Mayo	2.436	1.425	10.8559192	12.28091918	-9.8449192	-9.844919184	80.1643512			
		Junio	2.123	1.397	3.08932137	4.486321373	-2.3633214	-2.363321373	52.6783789			
		Julio	2.525	1.788	0.94621116	2.734211159	-0.2092112	-0.209211159	7.65160945			
		Agosto	1.102	0.918	0.27381858	1.191818576	-0.0898186	-0.089818576	7.5362625			
		Septiembre	1.022	0.849	0.07792188	0.926921875	0.09507812				0.095078125	10.2574043
		Octubre	0.989	0.826	0.02386626	0.84986626	0.13913374				0.13913374	16.3712511
		Noviembre	0.851	0.703	0.00679174	0.709791737	0.14120826				0.141208263	19.8943233
		Diciembre	0.7	0.555	0.0020802	0.557080204	0.1429198				0.142919796	25.6551562

E. Cálculo de coeficiente Rv basado en Muskingum, Teaone 1995

i.

CUENCA	AÑO	MES	CAUDAL MEDIO MENSUAL m3/s		DIFERENCIA ENTRE RESULTADOS (REAL-ESTIMADO)	resultado	resultado	paramtros MC	
			Qa REAL Aguas Abajo	Qt TEMEZ + Qb Aguas Arriba		bajo el real	sobre el real	Δx	Δt
CUENCA RIO TEAONE	1995	Enero	4.72500	3.01	1.715		1.715	2230	2592000
		Febrero	5.80200	3.846	1.956		1.956	2230	2592000
		Marzo	1.88700	0.73399172	1.15300828		1.15300828	2230	2592000
		Abril	17.46000	22.3975902	-4.937590201	-4.9375902		2230	2592000
		Mayo	2.43600	12.28091918	-9.844919184	-9.8449192		2230	2592000
		Junio	2.12300	4.486321373	-2.363321373	-2.3633214		2230	2592000
		Julio	2.52500	2.734211159	-0.209211159	-0.2092112		2230	2592000
		Agosto	1.10200	1.191818576	-0.089818576	-0.0898186		2230	2592000
		Septiembre	1.02200	0.926921875	0.095078125		0.09507812	2230	2592000
		Octubre	0.98900	0.84986626	0.13913374		0.13913374	2230	2592000
		Noviembre	0.85100	0.709791737	0.141208263		0.14120826	2230	2592000
		Diciembre	0.70000	0.557080204	0.142919796		0.1429198	2230	2592000

ii.

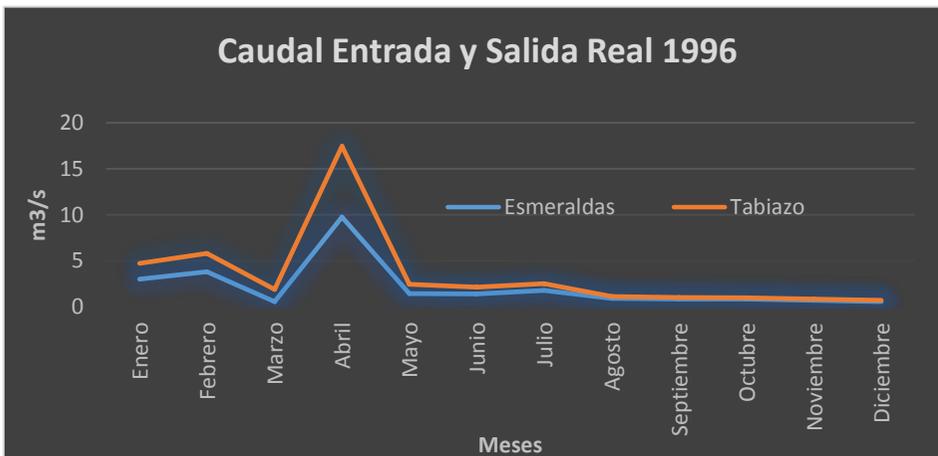
B	wp	m	ap	Curvatura Qp	Atenuacion de Pico Q*	k	E	DEN	Rv	COEFICIENTE POR CAUDAL				COEFICIENTE	
										0-20 (m3/s)	20-50 (m3/s)	50-100 (m3/s)	100-> (m3/s)		
40	0.00086034	0.01	3885.07813	2.55267E-13	1372432.637	2592000	0.31146861	3080673.36	0.682748993	0.68274899					
40	0.00086034	0.01	3885.07813	5.72452E-13	1203334.342	2592000	0.35523767	2967223.96	0.747087535	0.74708753				0-20 (m3/s)	0.979
40	0.00086034	0.01	3885.07813	1.0925E-13	2041374.736	2592000	0.20940285	3345227.82	0.549670243	0.54967024				20-50 (m3/s)	0.969
40	0.00086034	0.01	3885.07813	3.33374E-12	-476694.4759	2592000	-0.8967372	6212342.91	0.165532219		0.165532219			50-100 (m3/s)	0.977
40	0.00086034	0.01	3885.07813	1.82794E-12	-239079.8674	2592000	-1.7879786	8522440.52	0.391723534	0.39172353				100-> (m3/s)	0.990
40	0.00086034	0.01	3885.07813	6.6776E-13	-995938.1741	2592000	-0.4292131	5000520.29	0.036692124	0.03669212					
40	0.00086034	0.01	3885.07813	4.0697E-13	-11250460.92	2592000	-0.0379957	3986484.98	0.300393712	0.30039371					
40	0.00086034	0.01	3885.07813	1.77395E-13	-26205291.46	2592000	-0.0163123	3930281.59	0.318989462	0.31898946					
40	0.00086034	0.01	3885.07813	1.37966E-13	24755662.56	2592000	0.01726755	3843242.51	0.348861018	0.34886102					
40	0.00086034	0.01	3885.07813	1.26497E-13	16916974.83	2592000	0.02526868	3822503.57	0.356179243	0.35617924					
40	0.00086034	0.01	3885.07813	1.05648E-13	16668443.64	2592000	0.02564545	3821527	0.356525807	0.35652581					
40	0.00086034	0.01	3885.07813	8.29178E-14	16468830.99	2592000	0.02595629	3820721.31	0.356811864	0.35681186					

F. Cálculo de coeficientes Pearson y Nash-Sutcliffe, Teane 1995

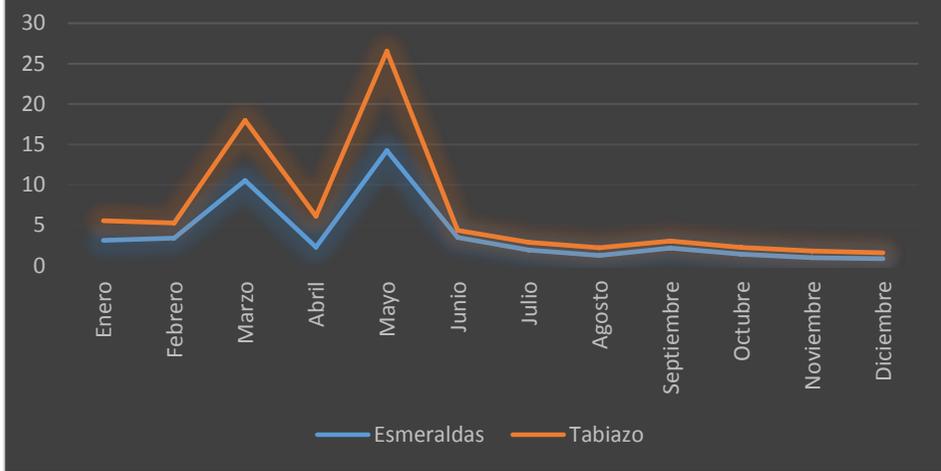
Coeficiente de Correlación PEARSON					NUMERO DE NASH SUTCLIFFE		
0.904844893					Valores referenciales del Criterio Nash Sutcliffe		
%	#Datos	#Datos Var Negativa	#Datos Var Positiva	$K=(Qa-Qb)/Qt$	$(Qsim-Qi)^2$	$(Qi-Qm)^2$	Numero Nash Sutcliffe
56.9767442	591	292	299	86.75	2.941225	615.186301	0.81493162
50.8580343				56.88571429	3.825936	562.920677	
157.087369				8.738740648	1.32942809	764.022086	
CUENCA RIO TEAONE				0.609293376	24.379797	145.635404	CUENCA RIO TEAONE
Coef Cor PEARSON				0.093128917	96.9224337	733.973724	$\Sigma Qsim-Qi$ $\Sigma Qi-Qm$ Numero Nash Sutcliffe
0.907967101				0.235003068	5.58528791	751.031254	7344.09325 106955.457 0.93133503
CUENCA RIO JUBONES				0.778895908	0.04376931	729.159278	CUENCA RIO JUBONES
Coef Cor PEARSON				0.671977783	0.00806738	808.034601	$\Sigma Qsim-Qi$ $\Sigma Qi-Qm$ Numero Nash Sutcliffe
10.2574043	0.955855396			2.220172441	0.00903985	812.589153	20435.617 282745.813 0.92772442
16.3712511	CUENCA RIO CHIMBO			6.829725235	0.0193582	814.471635	CUENCA RIO CHIMBO
19.8943233	Coef Cor PEARSON			21.7911854	0.01993977	822.367429	$\Sigma Qsim-Qi$ $\Sigma Qi-Qm$ Numero Nash Sutcliffe
25.6551562	0.821857736			69.70471659	0.02042607	831.050669	100206.391 301859.882 0.66803674

G. Hidrogramas Registro histórico, Caudal Entrada y Salida Real.

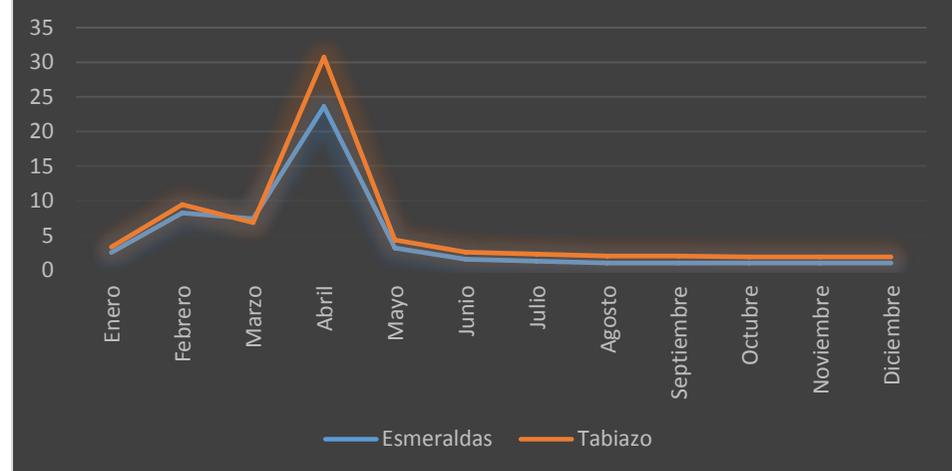
i. Teane, Estaciones Tabiazo-Esmeraldas



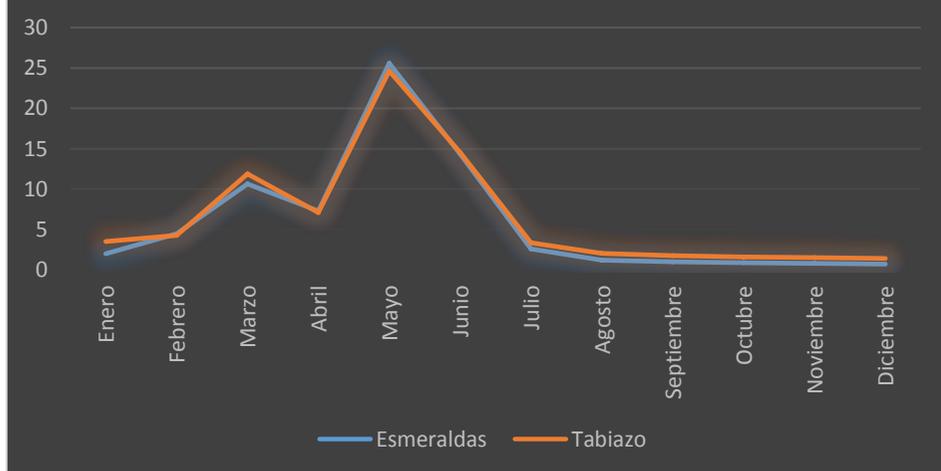
Caudal Entrada y Salida Real 2004



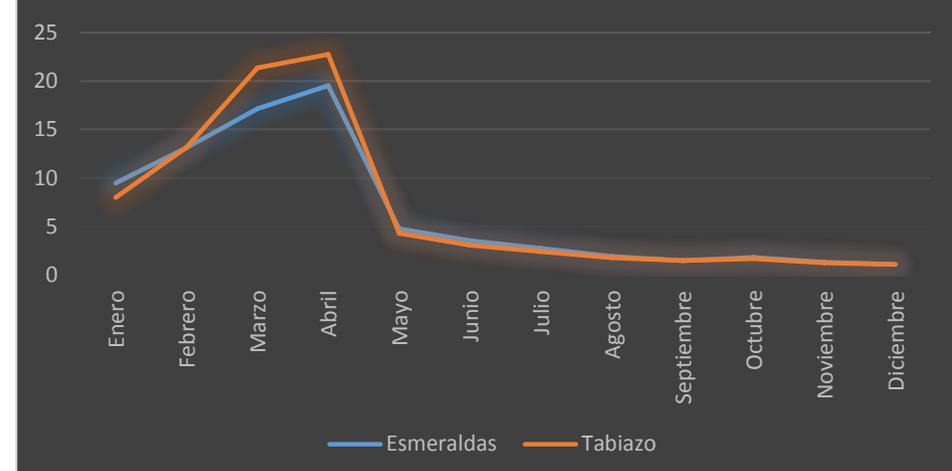
Caudal Entrada y Salida Real 2005



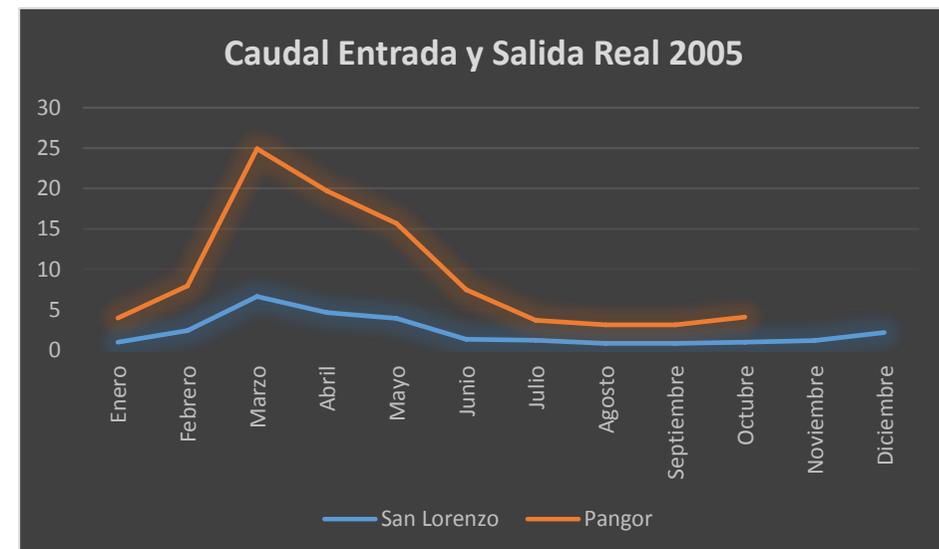
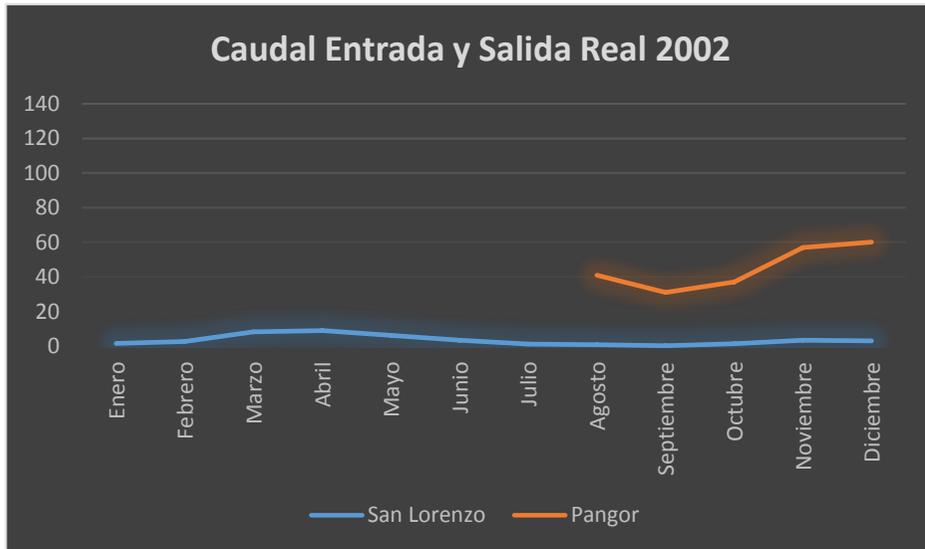
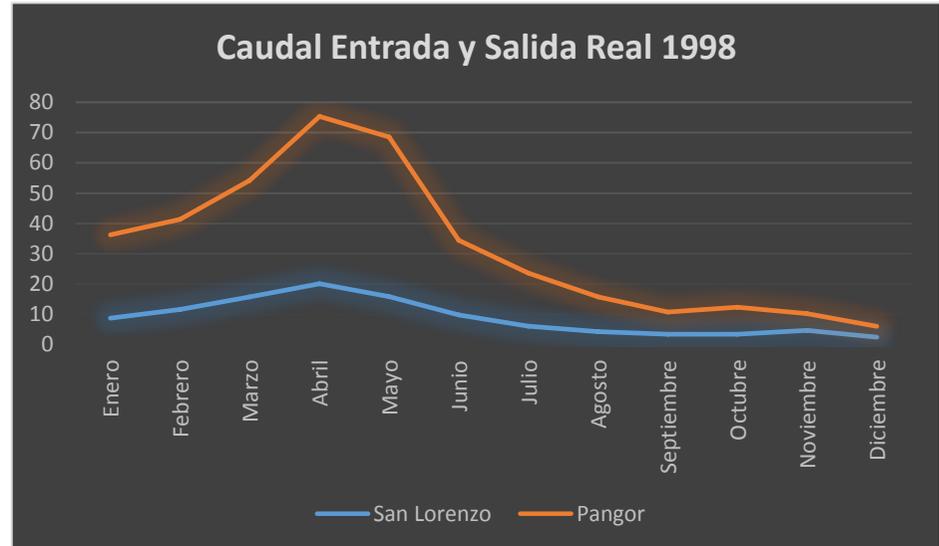
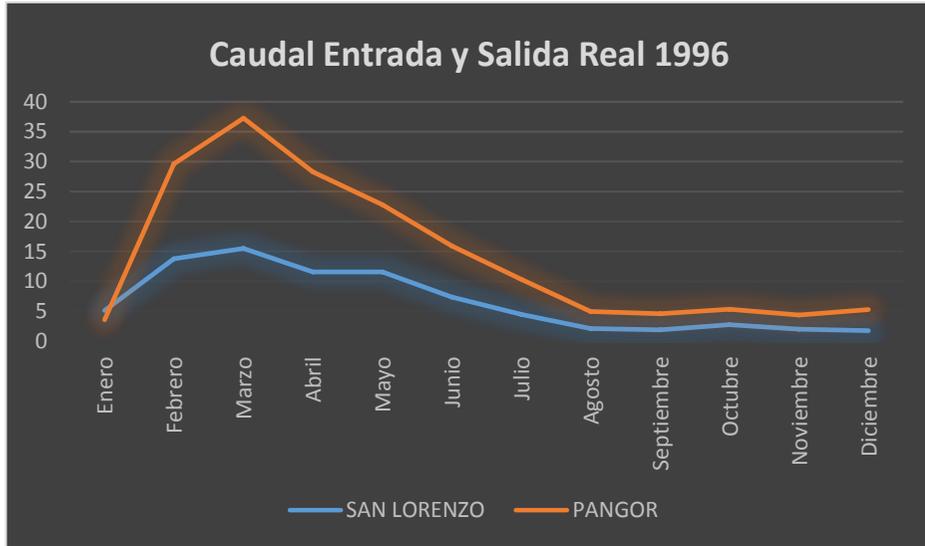
Caudal Entrada y Salida Real 2007

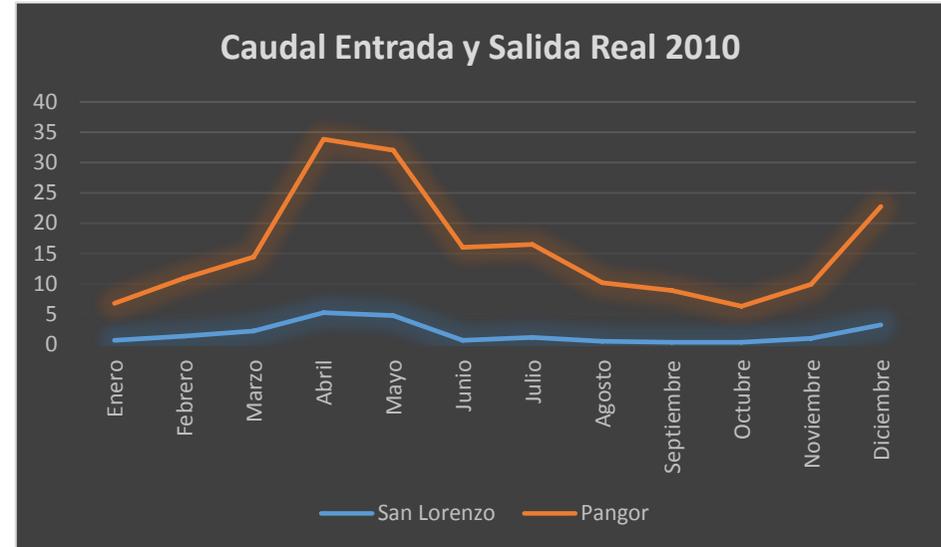
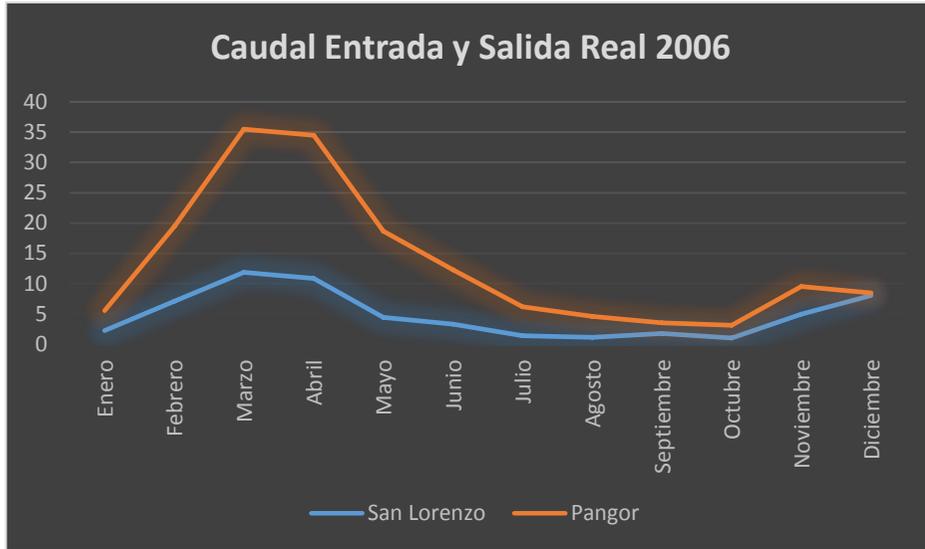


Caudal Entrada y Salida Real 2013

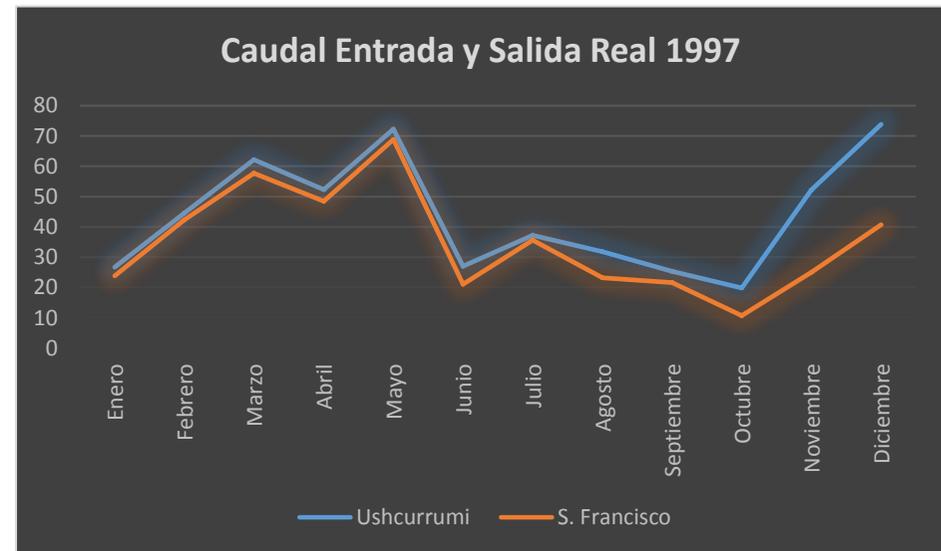
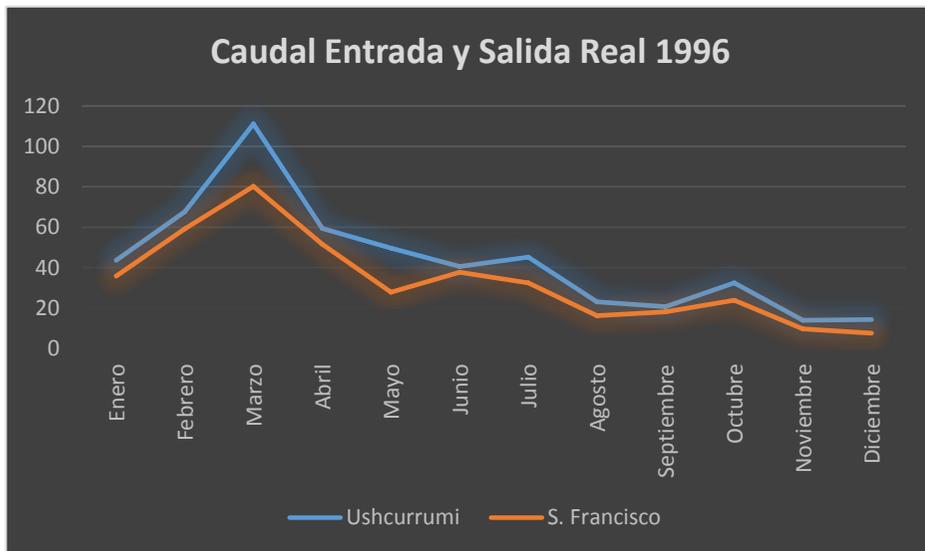


ii. Chimbo, Estaciones Pangor-San Lorenzo

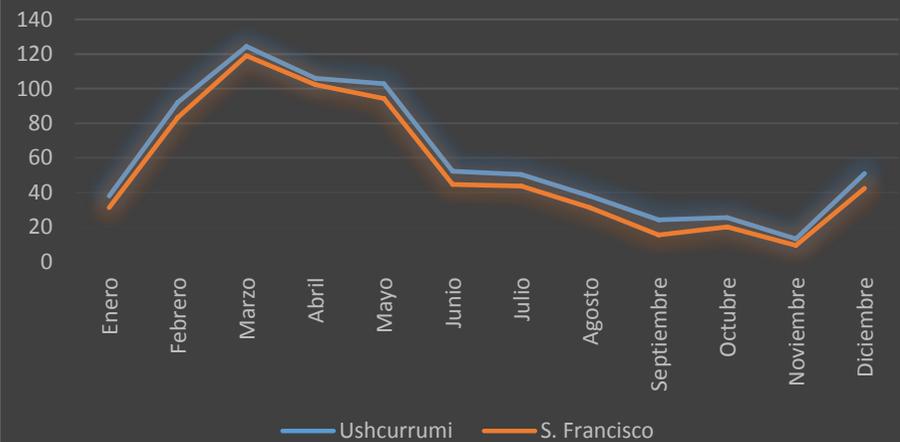




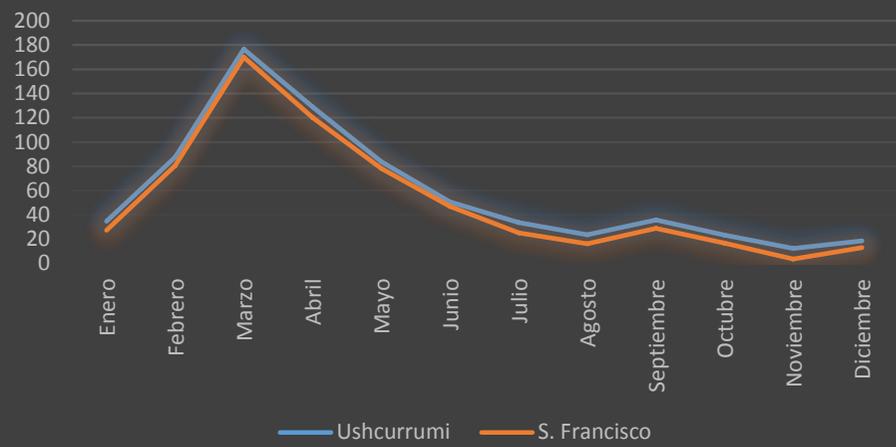
iii. Jubones, Estaciones Ushcurrumi-San Francisco



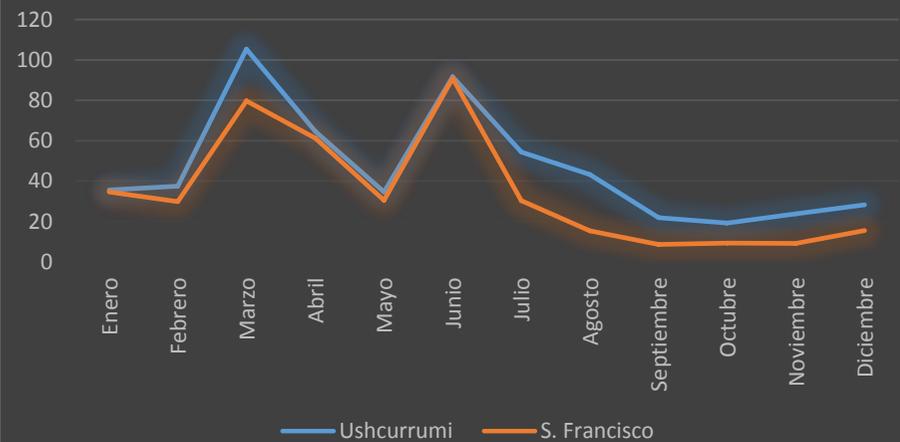
Caudal Entrada y Salida Real 1999



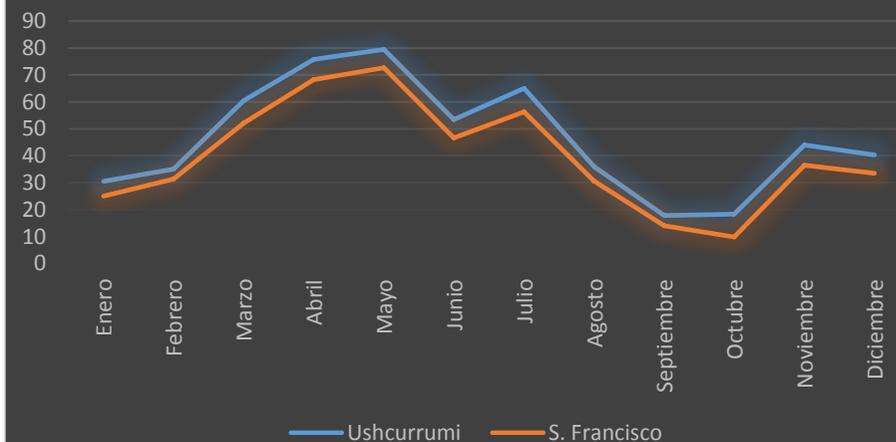
Caudal Entrada y Salida Real 2000



Caudal Entrada y Salida Real 2001

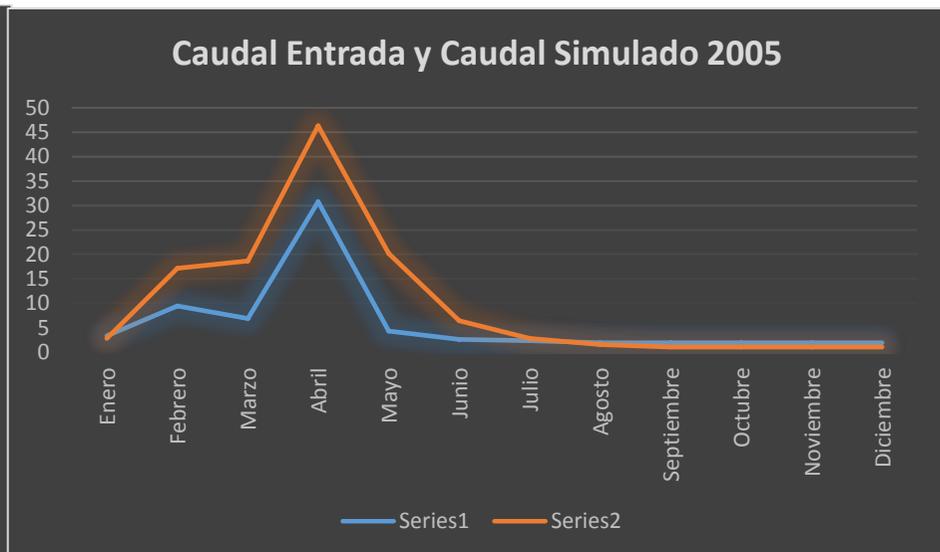
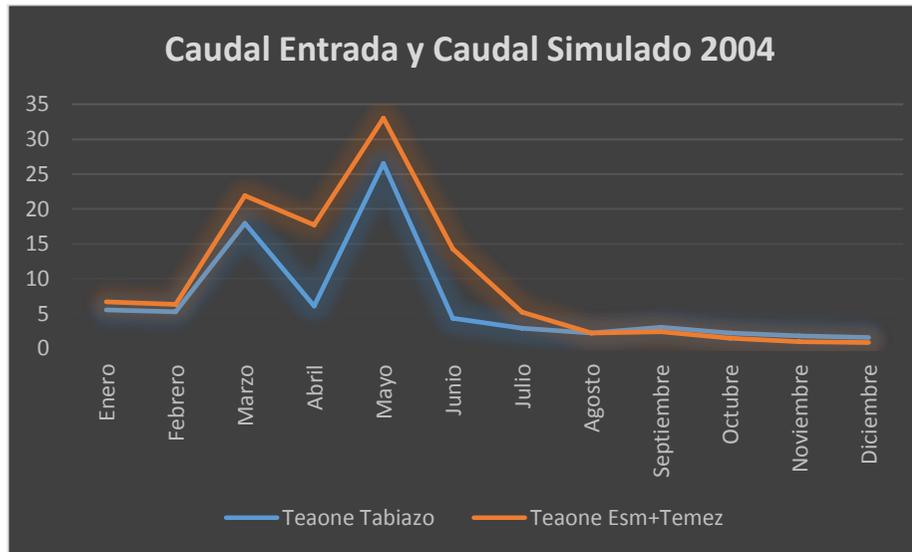
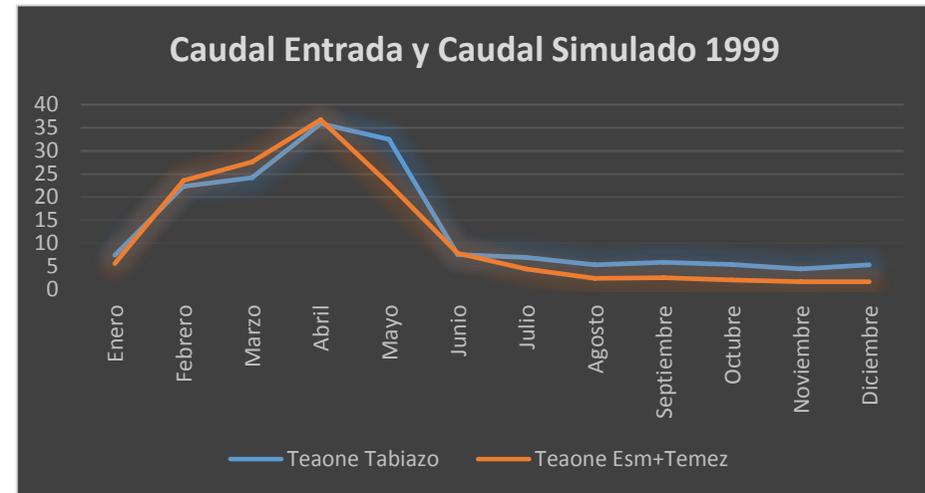
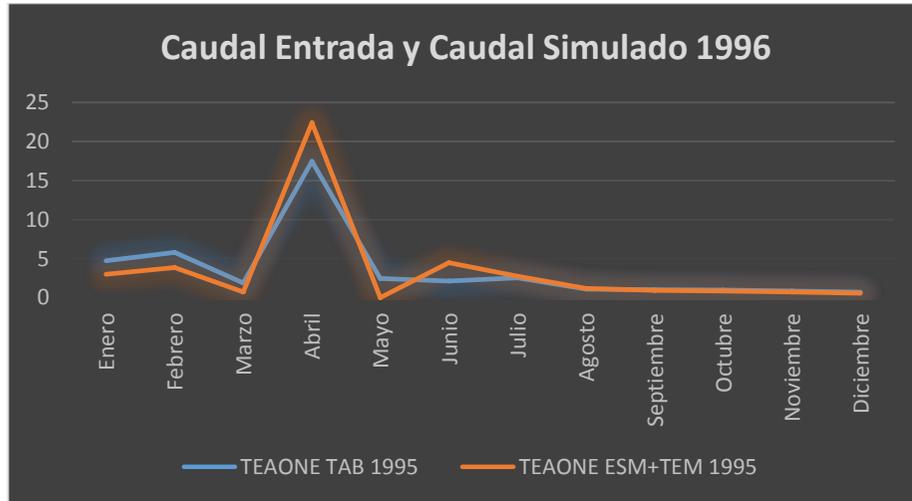


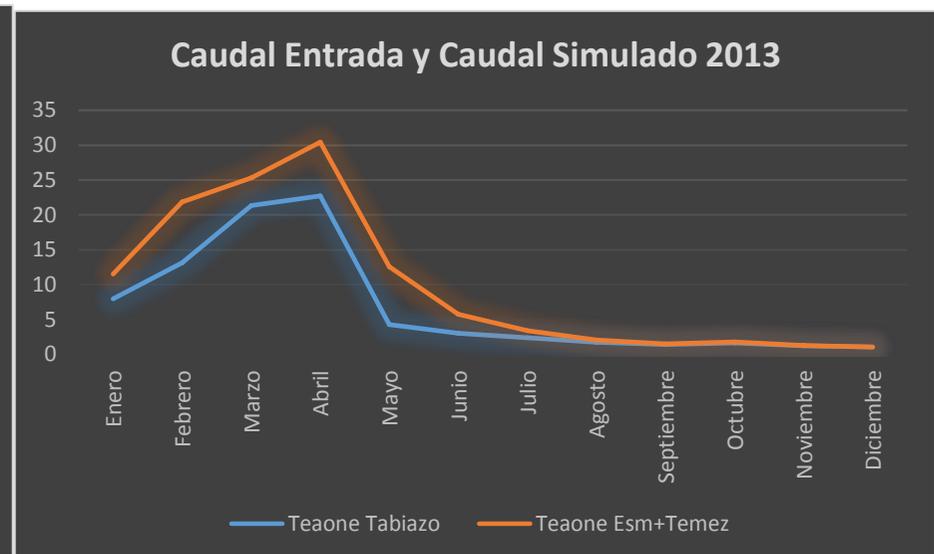
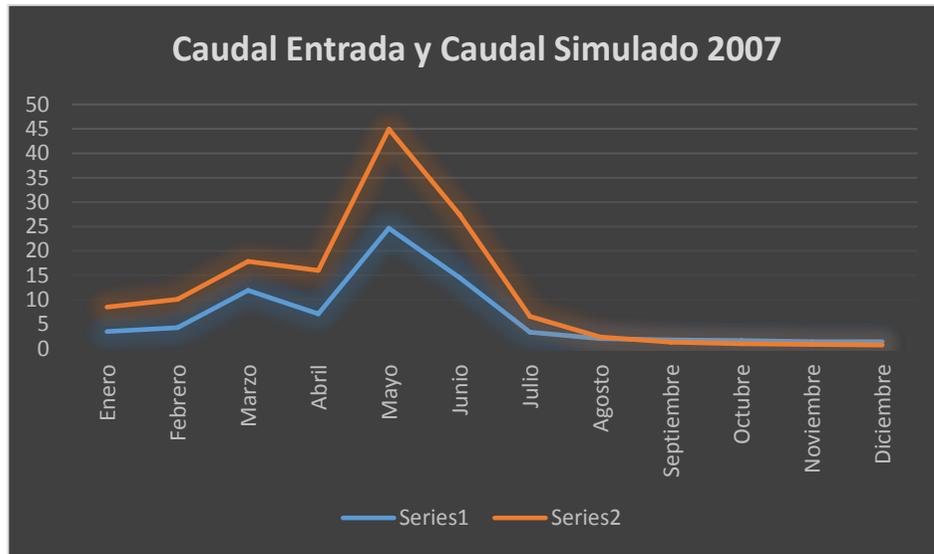
Caudal Entrada y Salida Real 2002



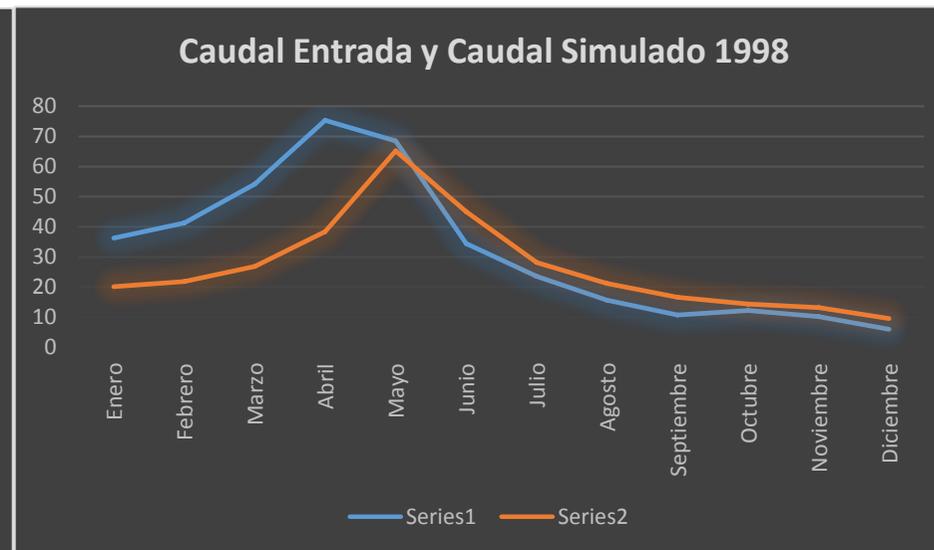
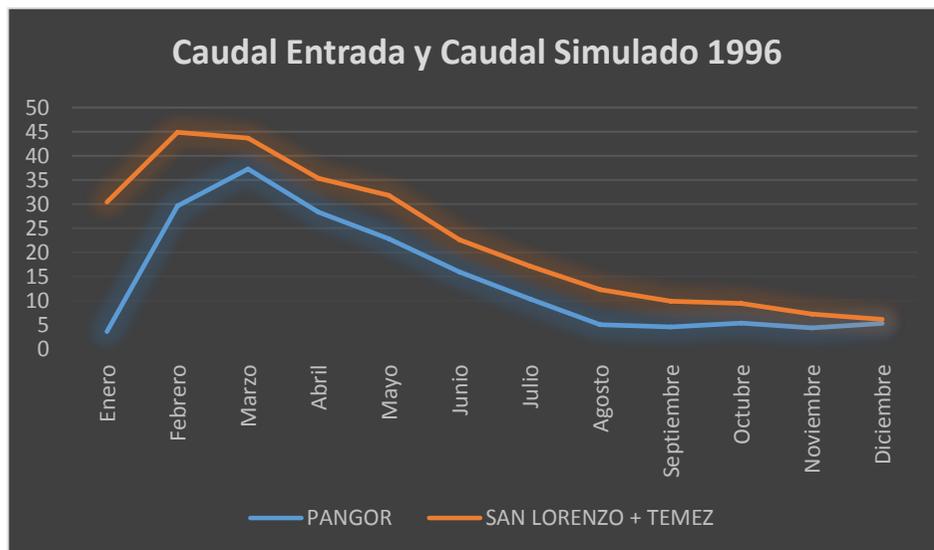
H. Hidrogramas Simulados, Caudal de salida Real vs Caudal de salida Simulado

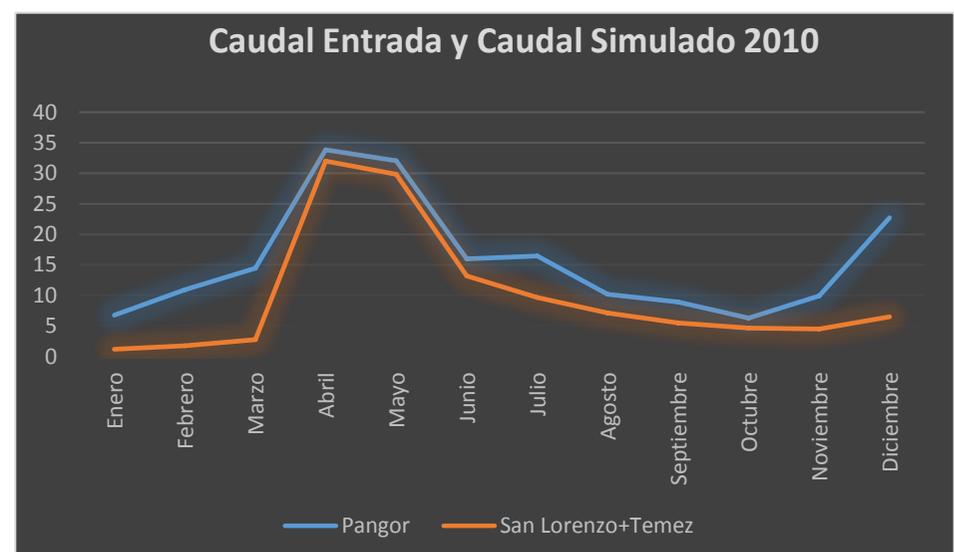
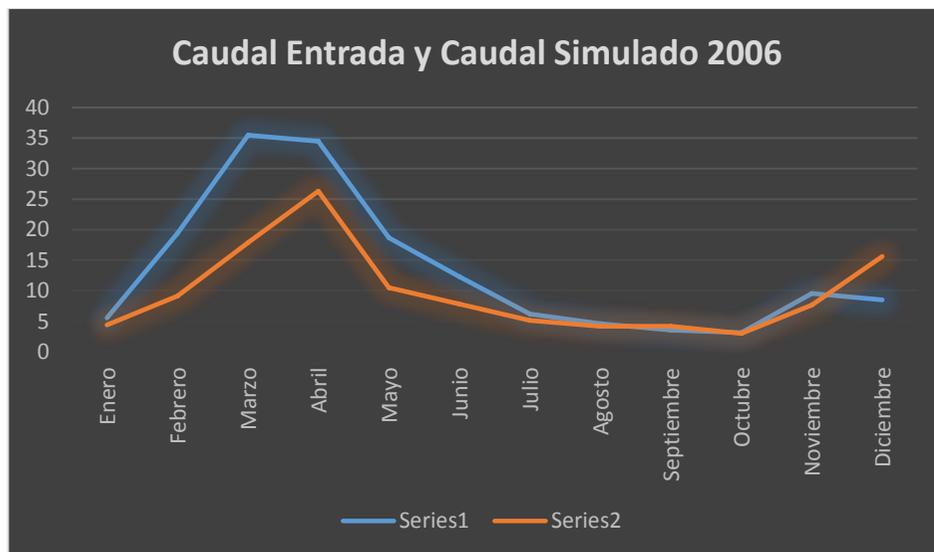
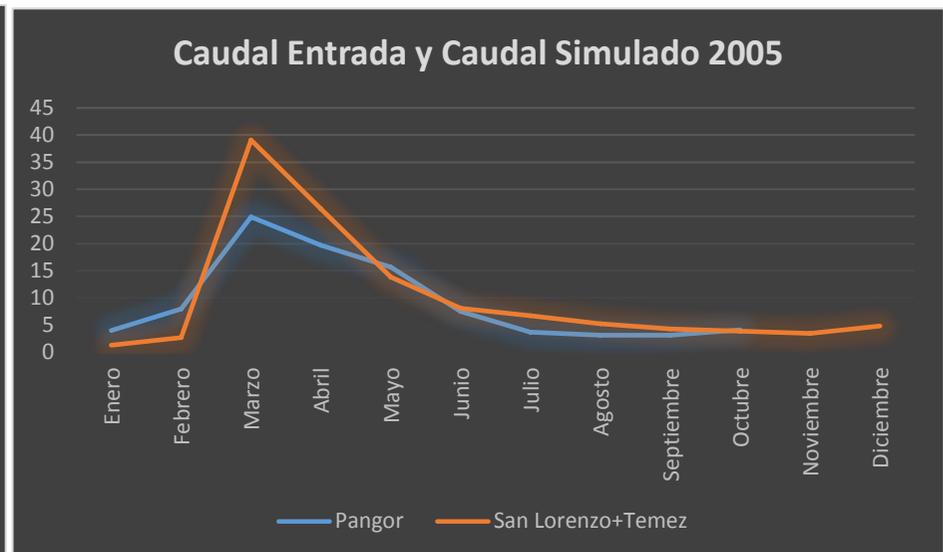
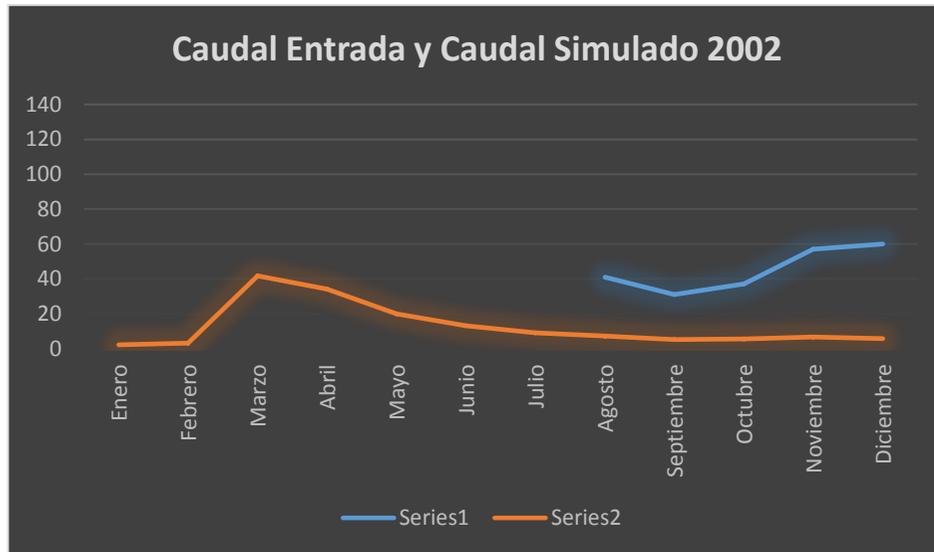
i. Teaone, Estación Tabiazo comparado con Esmeraldas + caudal Téméz





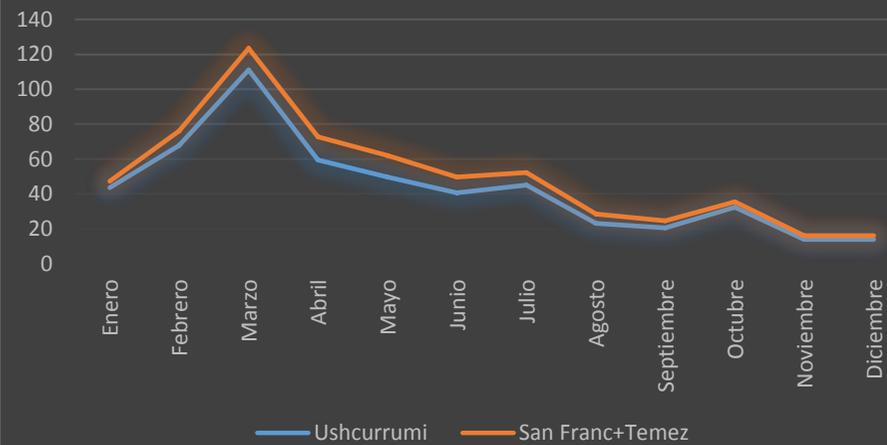
ii. Chimbo, Estacion Pangor comparado con San Lorenzo + caudal Téméz



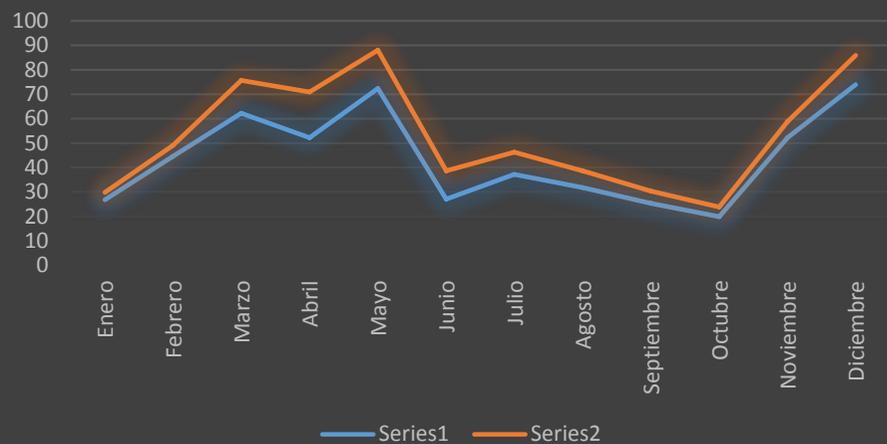


iii. Jubones, Estación Ushcurrumi comparado con Estacion San Francisco + caudal Téméz

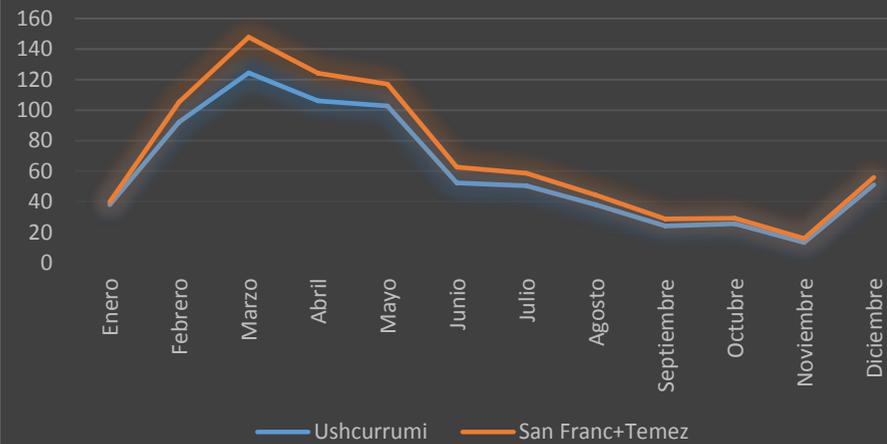
Caudal Entrada y Caudal Simulado 1996



Caudal Entrada y Caudal Simulado 1997



Caudal Entrada y Caudal Simulado 1999



Caudal Entrada y Caudal Simulado 2000

