

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA

Escuela de Posgrado

**MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL Y
DESARROLLO SOSTENIBLE**

**“MODELACIÓN HIDROLÓGICA CON FINES DE
GESTIÓN DE RIBERAS EN LA CUENCA DEL
RÍO CAPLINA - TACNA”**

TESIS

PRESENTADA POR:

Ing. Alexander Nicolás Vilcanqui Alarcon

Para optar el Grado Académico de:

**MAESTRO EN CIENCIAS (*MAGISTER SCIENTIAE*)
CON MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL Y
DESARROLLO SOSTENIBLE**

TACNA - PERÚ

2016

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN-TACNA

Escuela de Posgrado

MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE

**“MODELACIÓN HIDROLÓGICA CON FINES DE
GESTIÓN DE RIBERAS EN LA CUENCA DEL
RÍO CAPLINA- TACNA”**

Tesis sustentada y aprobada el 25 de junio del 2016; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE:



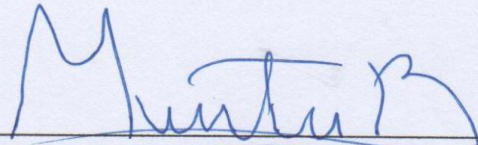
Dr. ALBERTO BACILIO QUISPE COHAILA

SECRETARIO:



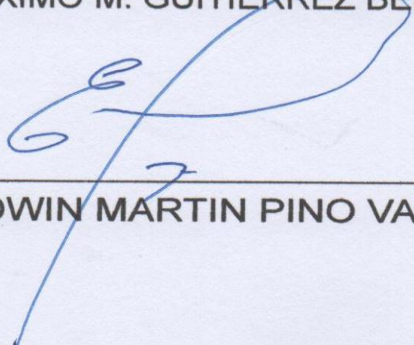
M.Sc. PEDRO MARIO GALVEZ BRICEÑO

MIEMBRO:



M.Sc. MAXIMO M. GUITIERREZ BERNAOLA

ASESOR:



Ph.D. EDWIN MARTIN PINO VARGAS

Dedicatoria:

A mi padre Pascual Vilcanqui Llanos, quien fue un gran apoyo emocional durante el desarrollo de mi formación profesional.

A mis hermanos, Vanessa y Alex, por estar conmigo y apoyarme siempre, los quiero mucho.

A todos los que me apoyaron para escribir y concluir esta tesis.

Para ellos es esta dedicatoria de tesis, pues es a ellos a quienes se las debo por su apoyo incondicional.

Agradecimiento:

Quiero agradecer sinceramente a aquellas personas que compartieron sus conocimientos conmigo para hacer posible la conclusión de esta tesis. Especialmente agradezco a mi asesor el Ph.D. Edwin Martín Pino Vargas por su asesoría siempre dispuesta.

CONTENIDO

Dedicatoria:	iii
Agradecimiento:.....	iv
ABSTRACT	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1 Formulación del problema	3
1.1.1 Descripción del problema.....	3
1.1.2 Problema general.....	5
1.1.3 Problemas específicos	5
1.2 Justificación e importancia de la investigación	6
1.3 Objetivos	8
1.3.1 Objetivo general.....	8
1.3.2 Objetivo Específicos	8

1.4	Hipótesis	9
1.4.1	Hipótesis general	9
1.4.2	Hipótesis específicas	9
1.5	Variables	10
1.5.1	Identificación de variables	10
1.5.2	Caracterización de las variables	10
1.5.3	Definición operacional de la variable	10
1.6	Limitaciones de la investigación	11
1.7	Descripción de las características de la investigación	11
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO		12
2.1	ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	12
2.2	Bases teóricas	18
2.2.1	Gestión de las riberas	18
2.2.2	Importancia de la gestión de las riberas	20
2.2.3	Aplicación de los Modelos Hidrológicos	27

2.3	Normativas	29
2.3.1	Definiciones básicas	30
2.4	Modelación hidrológica, gestión de riberas y SAT	45
CAPÍTULO III: MATERIALES Y METODOLOGÍA.....		46
3.1	Descripción general.....	46
3.1.1	Cartografía.....	46
3.1.2	Climatología.....	47
3.1.3	Descargas.....	51
3.1.4	Parámetros geomorfológicos	52
3.1.5	Hidrografía	55
3.1.6	Hidrología	57
3.1.7	Calidad de agua.....	59
3.2	Identificación y caracterización hidrológica.....	63
3.2.1	Información disponible	63
3.2.2	Estaciones de hidrometeorológicas	63

3.2.3	Análisis estadístico	65
3.2.4	Análisis de doble masa	75
3.3	Modelo de simulación hidrológica.....	77
3.3.1	Antecedentes.....	77
3.3.2	El HEC-HMS.....	81
3.4	Características geomorfológicas	83
3.4.1	Descripción	83
3.4.2	Algoritmo de cálculo.....	84
3.4.3	Preprocesado del terreno.....	86
3.4.4	Extracción de la cuenca de estudio.....	87
3.4.5	Procesado de cuenca	88
3.4.6	Características de cauces y subcuencas	89
3.4.7	Estimación de los parámetros hidrológicos	91
3.4.8	Tiempo de concentración.....	91
3.4.9	Número de curva	94

3.5	Modelación hidrológica.....	94
3.5.1	Modelo de cuenca.....	95
3.5.2	Modelo meteorológico.....	106
3.5.3	Especificaciones de control.....	108
CAPITULO IV RESULTADOS		110
4.1	Modelo obtenido.....	110
4.2	Resultados de simulación hidrológica.....	112
4.3	Calibración del modelo	115
CAPITULO V DISCUSIÓN.....		119
5.1	Gestión de riberas	119
5.1.1	Antecedentes históricos	119
5.1.2	Riesgo de inundación y gestión de riberas.....	121
5.1.3	Clasificación de la quebrada Palca con respecto al Riesgo	123
5.1.4	Inundabilidad o peligrosidad de inundación.....	130
5.1.5	Zonificación de áreas de peligrosidad	132

5.2 Sistema de Alerta Temprana	138
CONCLUSIONES	140
RECOMENDACIONES.....	144
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	146
ANEXOS	152

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Estaciones meteorológicas e hidrológicas automáticas (EMA y EHA).....	43
Tabla 2: Características hidrográficas cuenca Caplina	56
Tabla 3: Calidad de agua del río Caplina	61
Tabla 4: Clasificación del agua según uso actual y potencial del río Caplina.....	62
Tabla 5: Estaciones Hidrometeorológicas Cuenca Caplina.....	64
Tabla 6: Características físicas de los cauces. Capa “River.Shp”.	90
Tabla 7: Características físicas de las subcuencas. Capa “WaterShd. Shp”.	90
Tabla 8: Clasificación de suelos afectos a umbral de escorrentía	99
Tabla 9: Clasificación propuesta de grupos hidrológicos del suelo	101
Tabla 10: Clasificación de uso de suelo en función de las tablas originales del SCS.....	101

Tabla 11: Número de Curva clases A, B, C y D	103
Tabla 12: Valores de Tiempo de Retardo y CN Cuenca Caplina.....	104
Tabla 13: Hidrograma Observado Tabulado	116
Tabla 14: Clasificación de quebradas por riesgo	124
Tabla 15: Clasificación por Localización	125
Tabla 16: Clasificación por pendiente	126
Tabla 17: Clasificación por área.....	126
Tabla 18: Clasificación por Naturaleza del Suelo	127
Tabla 19: Valores de ponderación para los diferentes parámetros	128

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de funcionamiento de un SAT	37
Figura 2: Niveles de manifestación del peligro.....	41
Figura 3: Mapa de ubicación de estaciones automáticas.....	44
Figura 4: Variación mensual de temperatura	48
Figura 5: Diagrama de Holdrige.....	50
Figura 6: Hidrograma de la cuenca del río Caplina	51
Figura 7: Curva Hipsométrica de la cuenca	54
Figura 8: Gráfico comparativo de descargas de los ríos de la costa peruana	59
Figura 9: Pantalla principal HIDRODRAT	68
Figura 10: Histograma de descargas estación Bocatoma Calientes	69
Figura 11: Prueba de consistencia no paramétrica estación Bocatoma Calientes	70

Figura 12: Ajuste de las descargas Bocatoma Calientes a una distribución Normal.....	71
Figura 13: Ajuste de las descargas Bocatoma Calientes a una distribución Gumbel.....	71
Figura 14: Histograma de caudales medios históricos de la estación Bocatoma Calientes	72
Figura 15: Histograma de evaporación mensual Estación Calana	73
Figura 16: Histograma de evaporación mensual Estación La Yarada	73
Figura 17: Histograma de evaporación mensual Estación Bocatoma Calientes	74
Figura 18: Precipitación total mensual Estación Calana	74
Figura 19: Precipitación total mensual Estación Palca	75
Figura 20: Curva doble masa precipitación total mensual – Estación Calientes	76
Figura 21: Curva doble masa precipitación total mensual – Estación Palca	77

Figura 22: Pantalla oficial US Army Corps Of Engineers (HEC Geo HMS)	81
Figura 23: Diagrama triangular para la determinación del grupo hidrológico del suelo en función de la textura	100
Figura 24: Modelo de cuenca Caplina.....	105
Figura 25: Método de pérdidas y transformación	106
Figura 26: Pesos de las estaciones en la cuenca Caplina	107
Figura 27: Datos Pluviográficos para el modelo.....	108
Figura 28: Especificaciones de control.....	109
Figura 29: Modelo hidrológico cuenca Caplina	112
Figura 30: Resumen de resultados de simulación cuenca Caplina	114
Figura 31: Hidrograma de descargas a la salida de la cuenca Caplina	115
Figura 32: Hidrograma de descarga observado	117
Figura 33: Resultados de Simulación	117
Figura 34: Comparación de Caudales Simulados y Observados	118

Figura 35: Análisis Comparativo de Caudales Simulados y Observados	118
Figura 36: Descargas Extraordinarias del río Caplina en febrero 1998	119
Figura 37: Avenidas registradas en febrero de 1998.....	120
Figura 38: Evidencia de daños del río Caplina.....	120
Figura 39: La vista muestra la conformación de los diferentes tipos de lecho A: Lecho Mayor o de inundación B: Lecho Ordinario o aparente C: Lecho o canal de estiaje.	134
Figura 40: Colapso de los muros progresivas 0+670 y 0+680.	136
Figura 41: Sección de flujo para la progresiva 0+670 para periodos de retorno de 50 y 100 años	136
Figura 42: Zonas críticas identificadas por Tisnado (2013)	137
Figura 43: Bocatoma Calientes y Baños Termales	138

RESUMEN

Toda la información pluviométrica e hidrométrica existente en el área de estudio, así como, la información de evaporación y otros. La información hidrológica ha sido analizada estadísticamente utilizando pruebas estándar adecuadas, esto con la finalidad de evaluar su homogeneidad o consistencia. Es un programa de simulación hidrológica tipo evento, lineal y semidistribuido, desarrollado para estimar las hidrógrafas de salida en una cuenca y el modelo realizado sirve para pronosticar caudales. Desarrollando la modelación hidrológica, con fines de gestión de riberas en la cuenca del río Caplina, se concluye en cuanto a la caracterización geomorfológica superficial de la cuenca caplina, por su forma indica, una cuenca ligada estrechamente a crecientes súbitas. Se realizó análisis estadísticos de los cuales se obtuvo resultados favorables, en cuanto a la consistencia en la medida y variación de los registros, se lograron ajustes de distribuciones LOGNORMAL y LOGPEARSON TIPO III. Se logró analizar y comparar los caudales promedios mensuales de las riberas de la Bocatoma Calientes de río Caplina mediante la modelación hidrológica y las observaciones en estación hidrométrica Bocatoma Calientes.

Palabras clave: Modelación; Hidrológica y Gestión

ABSTRACT

All existing pluviometric and hydrometric information in the study area, as well as information evaporation and others. Hydrological information has been analyzed statistically using appropriate standard test, this in order to assess their homogeneity or consistency. Is a program of hydrological simulation event type, linear and semi-distributed, developed to estimate output hidrógrafas in a basin and the model used to forecast flows made. It developing hydrological modeling purposes management banks in the river basin Caplina is concluded as to the surface geomorphological characterization of the Caplina basin by way suggests a basin closely linked to sudden crescents. Statistical analysis of which favorable results were obtained was conducted as to the consistency and the extent of variation records, settings and LOGPEARSON distributions LOGNORMAL TYPE III were achieved. It was possible to analyze and compare the monthly average flow rates of the banks of the river Caplina Bocatoma Calientes by hydrological modeling and hydrometric station observations Bocatoma Calientes.

Keywords : Modeling ; Hydrologic and Management

INTRODUCCIÓN

Con cierta periodicidad la población e infraestructura ribereña sufre los embates de las crecidas invernales de estos ríos, debido a su dinámica torrencial que se caracteriza por avenidas súbitas y violentas en eventos de altas precipitaciones y una alta capacidad de acarreo y arrastre de materiales. Esto es lo que viene sucediendo con cierta frecuencia en la bocatoma Calientes del río Caplina, donde se ha observado avenidas de agua que han inundado todas las riberas y han generado desastres como la inundación del centro recreativo de Calientes, otros como la ruptura de los muros de contención. El panorama expone mayor peligro, ya que en los últimos tiempos se vienen instalando grupos de poblaciones en las riberas del río.

Entre los pocos estudios realizados en este sentido, Pino T. (2013) refiere a las corrientes fluviales que drenan los relieves del Sistema Hídrico de la cuenca Caplina, presentan una notable complejidad geomorfológica e hidrológica. Ello se debe a la dilatada y poli cíclica historia evolutiva de los relieves donde surgen, la considerable dimensión y diversidad litológica de las cuencas, y la irregular distribución espacio-temporal de las precipitaciones que las alimentan, lo que genera la

ocurrencia de eventos extraordinarios que producen desastres naturales como desbordes e inundaciones. Para evitar en el futuro estos desastres naturales se necesita realizar una buena gestión de las riberas del río Caplina, sobre la base de información que permita la toma de decisiones adecuadas, para esto, existen muchos métodos, sin embargo, un modelo hidrológico que busca representar los procesos involucrados en la distribución de la lluvia y la generación de caudales en una determinada cuenca, puede resultar útil.

El fenómeno de las inundaciones, de acuerdo con las características climáticas del lugar, puede estar presente en algunas zonas urbanas, suburbanas y rurales de un territorio, y sus efectos pueden ir progresivamente agravándose con impactos negativos de la vida y economía de la región de Tacna. Esta desagregación posibilita una mejor comprensión de los procesos y aporta una simplificación matemática-computacional; Un sistema integrado de flujos superficial-subsuperficial incluye una componente superficial, una subsuperficial, condiciones iniciales y de borde externas y en la interface. Siendo estas últimas las que permiten efectivizar el acoplamiento.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1 Descripción del problema

En el medio natural, quizás los corredores fluviales son los que adquieren mayor importancia en el paisaje, incluyendo el medio acuático y su banda de contacto con el medio terrestre, donde se asienta una vegetación característica. Estos corredores controlan los flujos de agua, sedimentos y nutrientes del entorno, y a partir de ellos se establecen unos gradientes de humedad y temperatura que influyen en las características y utilización de los terrenos adyacentes. Si bien estos ríos son fuente de riqueza y vida diversa, también lo son de desastres ambientales. Con cierta periodicidad la población e infraestructura ribereña sufre los embates de las crecidas invernales de estos ríos, debido a su dinámica torrencial que se caracteriza por avenidas súbitas y violentas en eventos de altas precipitaciones y una alta capacidad de acarreo y arrastre de materiales. Esto es lo que viene sucediendo con cierta frecuencia en la bocatoma Calientes del río Caplina, donde se ha observado avenidas de

agua que han inundado todas las riberas y han generado desastres como la inundación del centro recreativo de Calientes, otros como la ruptura de los muros de contención. El panorama expone mayor peligro, ya que en los últimos tiempos se vienen instalando grupos de poblaciones en las riberas del río.

Entre los pocos estudios realizados en este sentido, Pino T. (2013) refiere a las corrientes fluviales que drenan los relieves del Sistema Hídrico de la cuenca Caplina, presentan una notable complejidad geomorfológica e hidrológica. Ello se debe a la dilatada y poli cíclica historia evolutiva de los relieves donde surgen, la considerable dimensión y diversidad litológica de las cuencas, y la irregular distribución espacio-temporal de las precipitaciones que las alimentan, lo que genera la ocurrencia de eventos extraordinarios que producen desastres naturales como desbordes e inundaciones. Para evitar en el futuro estos desastres naturales se necesita realizar una buena gestión de las riberas del río Caplina, sobre la base de información que permita la toma de decisiones adecuadas, para esto, existen muchos métodos, sin embargo, un modelo hidrológico que busca representar los procesos involucrados en la distribución de la lluvia y la generación de caudales en una determinada cuenca, puede resultar útil.

Además, los sistemas hidrológicos son naturalmente continuos, es decir, los flujos de agua entre la atmósfera, la superficie y el subsuelo son continuos. Pero, las diferentes escalas temporales del flujo de agua en estos dominios permiten descomponer el ciclo hidrológico en tres componentes individuales. Esta desagregación posibilita una mejor comprensión de los procesos y aporta una simplificación matemática-computacional; Un sistema integrado de flujos superficial-subsuperficial incluye una componente superficial, una subsuperficial, condiciones iniciales y de borde externas y en la interface. Siendo estas últimas las que permiten efectivizar el acoplamiento.

1.1.2 Problema general

- ¿En qué medida la modelación hidrológica permite gestionar las riberas del río Caplina especialmente en la Bocatoma Calientes?

1.1.3 Problemas específicos

- ¿Caracterizar los caudales y precipitaciones de las riberas de la Bocatoma Calientes del río Caplina mediante la modelación con el software HECHMS?

- ¿Qué diferencias existen entre los pronósticos de los caudales promedios mensuales de las riberas de la bocatoma calientes del río Caplina mediante la modelación hidrológica y las observaciones en la estación hidrométrica?
- ¿Cuáles son los pronósticos sobre caudales de la Bocatoma Calientes del río Caplina, mediante la modelación hidrológica?

1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

El fenómeno de las inundaciones, de acuerdo con las características climáticas del lugar, puede estar presente en algunas zonas urbanas, suburbanas y rurales de un territorio, y sus efectos pueden ir progresivamente agravándose con impactos negativos de la vida y economía de la región de Tacna. La sedimentación en gran medida es el resultado de los fenómenos de erosión que se debe, en algunos casos, a la falta de medidas para la conservación de la cobertura vegetal de las cuencas hidrográficas. En estas condiciones, los lechos de los ríos de las cuencas sufren un proceso continuo y progresivo de azolvamiento, lo cual por una parte disminuye la sección del cauce y reduce la capacidad del río para conducir grandes caudales, y por otra parte, provoca cambios en el curso de los afluentes ramales principales del sistema fluvial: La pobre protección de las laderas en algunas zonas de riesgo sometidas a las

inundaciones, el insuficiente drenaje de los suelos de la zona alta de las cuencas obstruyen los cauces en algunas zonas provocando un alto riesgo de inundaciones, de ahí que la presente investigación justifica desde tres puntos de vista:

Teóricamente la investigación reviste importancia porque los resultados proporcionan conocimientos en prospectiva, sobre los caudales y probables inundaciones que se pueden ocasionar en las riberas del río Caplina de la ciudad de Tacna, conocimientos validos científicamente que además facilitará la información que permitirá la toma de decisiones para una mejor gestión de las riberas del río Caplina.

Desde la óptica metodológica, la investigación proporcionará criterios para la elaboración de pronósticos de avenidas y crecidas del río Caplina, además, aporta el diseño de instrumentos de recolección de datos y las estrategias para su obtención, los mismos que podrán ser utilizados por otros investigadores interesados en el estudio de caudales de los ríos.

Desde el punto de vista práctico la investigación sirve por que permitirá probar que la modelación hidrológica es una herramienta de gran importancia para el estudio de avenidas que se ha extendido a lo largo del tiempo en las riberas del río Caplina. Y con el empleo de estos modelos, se realiza el análisis y la prevención de las inundaciones;

además, es posible manejar hipótesis suficientemente realistas o previsibles que ofrezcan un cierto grado de confianza para la toma de decisiones, ya sea en la ordenación del territorio en torno a los ríos o para exigir criterios de diseño de obras e infraestructuras capaces de soportar y funcionar adecuadamente en situaciones de emergencia. Incluso, alertar a los servicios de protección civil y establecer protocolos de actuación ante posibles situaciones de peligro por intensas lluvias.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

- Desarrollar la modelación hidrológica, con fines de gestión de riberas en la cuenca del río Caplina.

1.3.2 Objetivo Específicos

- Caracterizar en su estado actual la cuenca hidrográfica en la estación de la Bocatoma Calientes del río Caplina.
- Analizar y comparar los caudales promedios mensuales de las riberas de la Bocatoma Calientes de río Caplina mediante la modelación hidrográfica y las observaciones en estación hidrométricas.

- Pronosticar las avenidas y caudales del río Caplina en la estación de la Bocatoma Calientes mediante la modelación hidrográfica.

1.4 HIPÓTESIS

1.4.1 Hipótesis general

La modelación hidrológica es un método válido que permite gestionar adecuadamente las riberas del río Caplina mediante pronóstico a futuro y en tiempo real de caudales de avenidas en la estación de la Bocatoma Calientes, en la prevención de los riesgos y la toma de decisiones el desarrollo sostenible.

1.4.2 Hipótesis específicas

- La cuenca hidrológica del río Caplina en la Bocatoma Calientes se caracteriza por el deterioro de las riberas, debido a las erosiones producidas por las avenidas fluviales que discurren sin control. Según los registros meteorológicos.
- No existen diferencias significativas entre los pronósticos de la modelación hidrológica y las observaciones en la estación hidrométrica, de los caudales promedios mensuales de las riberas de la Bocatoma Calientes del río Caplina.

- En tiempo real existe crecidas y avenidas fluviales irregulares con aumento de caudal de la Bocatoma Calientes del río Caplina.

1.5 VARIABLES

1.5.1 Identificación de variables

Variable independiente: Modelación hidrológica

Variable dependiente: Gestión de las riberas

1.5.2 Caracterización de las variables

CLASIFICACIÓN	VARIABLE	INDICADORES
Variable independiente	Modelación hidrológica	Capacidad de prospectiva de los caudales
		Aplicabilidad del sistema
Variable dependiente	Gestión de las riberas	Control del riego por inundación
		Control de infiltraciones
		Manejo de la vegetación
		Protección de las riberas

Fuente: Elaboración propia

1.5.3 Definición operacional de la variable

V.I: Modelación hidrológica: Es un método matemático que sirve para representar los diferentes procesos involucrados en la distribución de la lluvia y la generación de caudales en una determinada cuenca.

V.D: Gestión de las riberas: conjunto de actividades para el manejo del riesgo de inundación, vegetación y la protección de los bordes o franjas de tierra que se encuentran junto a cuerpo de agua, como el río.

1.6 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación a nivel de proyecto no presenta limitaciones a no ser por el área geográfica seleccionada para modelación hidrológica, Bocatoma Calientes, del río Caplina. Su selección responde a que es la cuenca principal de la ciudad de Tacna y la cual representa alto riesgo por inundación a la población que se ubica en su alrededor.

1.7 DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA INVESTIGACIÓN

Tipo: La Investigación se caracteriza por ser una investigación de tipo aplicada debido a que se pretende aplicar los conocimientos para demostrar la eficacia de la modelación hidrológica en prospectiva para la gestión de las riberas del río Caplina, tomando como caso la Bocatoma Calientes.

Nivel de investigación: Predictivo, debido a que pretende realizar una modelación hidrológica para obtener conocimientos prospectivos, los cuales servirán para la toma de decisiones (gestión) sobre las riberas del río Caplina, Bocatoma Calientes.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

Desde la publicación, a finales de la década de 1970, del libro *The Fluvial System* (Schumm, 1977), las corrientes fluviales han sido entendidas y estudiadas como sistemas abiertos, dinámicos y complejos. Esta inclusión de la Teoría de Sistemas en el análisis geomorfológico de los ríos, arroyos y demás elementos de la red hidrográfica, llevó aparejada la profundización en otra serie de conceptos teóricos sobre los modelos de equilibrio geomórfico, ya iniciados por Gilbert y Powell, y que aún hoy en día son objeto de discusión.

Los antecedentes de esta visión sistemáticas del dominio fluvial pueden remontarse a los trabajos de geomorfólogos e hidrólogos de principios y mediados del siglo XX, cuando relevantes figuras como Horton y Strahler pusieron las bases de la morfometría de cuencas hidrográficas. A ellos sucedieron importantes trabajos en geomorfología fluvial cuantitativa y teórica, entre los que destacan *Fluvial Processes in Geomorphology* (Leopold, Wolman y Miller, 1964) y *geomorphology and*

General System Theory (Chorley, 1962), pilares fundamentales de las primeras propuestas sistemáticas explícitas de Chorley & Kennedy (1971) y Chorley (1972).

La consideración del sistema fluvial como un conjunto de elementos interrelacionados y de los diferentes niveles de análisis con que puede abordarse su estudio (Chorley, op, cit), llevan aparejadas una serie de consecuencias inmediatas: Las investigaciones que aborden temas fluviales deben hacerlo desde una perspectiva integrada, esto es, considerando sus elementos en el análisis y realizando síntesis con las relaciones entre ellos.

Es preciso hacer hincapié no sólo en los aspectos configuracionales (sistema morfológico), sino también en la dinámica del agente y sus acciones energéticas (sistema en cascada): esto es, la hidrología e hidráulica fluviales.

Al verificarse estrechas relaciones geometría-agente-acción, la investigación debe abordarse desde la perspectiva de sistemas morfogenéticos proceso-respuesta.

Por otra parte, la mayoría de los actuales sistemas fluviales no se encuentran en situación “natural”, sino que vienen interfiriendo con las

actividades humanas desde tiempos ancestrales, lo que hace más complejo el sistema de interrelaciones y su interpretación.

Los ríos han sido un elemento importante en la colonización biológica y humana de los territorios, pero de forma especial allí donde el clima les hace aparecer como una fuente de recursos naturales en un ambiente semiárido. En ocasiones, esta colonización ha llegado hasta extremos peligrosos para el propio río o sus colonizadores, al interferir con su dinámica y la de los ecosistemas que sustenta; por ellos cada día son más necesarios trabajos de planificación integral (cuencas fluviales) y de gestión en las proximidades de los cauces (riberas).

Para la planificación y gestión de riberas es preciso el conocimiento integral del río; aspectos que se enmarcan en el concepto del continuo fluvial y el carácter múltiple del río como medio, que relaciona la estructura y funcionamiento de las comunidades bióticas (vegetales, animales o humanas) con los procesos geomorfológicos y la hidrología fluvial.

Esta visión integral y sistemática del río Caplina es lo que persigue el presente trabajo, por lo que su aplicación a la gestión de riberas parece inmediata, tanto en el campo de la predicción y prevención de riesgos naturales (inundaciones fluviales) como en la prevención y corrección de

impactos ambientales (efectos de presas, urbanización, población en general). A este respecto, se puede recoger las recomendaciones dadas por el Juez D. Mariano Fustero, del juzgado de instrucción N°1 de Jaca (Huesca), en el auto por la riada que arrasó el camping “Las Nieves” de Biescas (4-10-1999): “A la vista de lo acontecido se demuestra la insuficiencia de la normativa vigente para calificar un terreno inundable no siendo suficiente el estudio estadístico del periodo de retorno sino que sería necesario completar la legislación administrativa con un criterio geológico, no bastando la prevención estadística prevista en dicho precepto para garantizar la seguridad de personas y bienes”.

De esta problemática se han hecho eco igualmente organismos internacionales, como la UNESCO, que en su programa “el hombre y la Biosfera” (MAB) estudia las interacciones terrestres-acuáticas en los valles fluviales; igualmente con la declaración de la década 1990-2000 como Decenio Internacional para la Reducción de Desastres Naturales por parte de la Asamblea General de las Naciones Unidas. La propia Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza ha constituido un grupo de trabajo sobre la ecología de los ríos. Así mismo, el Consejo de Europa ha creado una red de información, denominada “Large European Alluvial Rivers”, consagrada a la realización de trabajos de investigación y condicionamiento de los ríos.

Daly G. Palomino Cuya (2005) refiere que todas las áreas urbanas donde el hombre intensifica sus actividades económicas y sociales son consideradas problemas ambientales. Todos los desastres naturales deterioran el entorno ambiental del hombre porque degradan la calidad de vida de sus habitantes, la calidad de los recursos naturales renovables existentes y producen un desequilibrio ecológico substancial, y el hecho hace de que dichas áreas se hagan vulnerables a la actividad de los diversos desastres naturales, también el propio hombre deteriora su seguridad; así por ejemplo, el abandono de andenería en ciertas zonas, el sobrepastoreo con ganado caprino y por consiguiente la desaparición de pastos, arbustos y suelos pueden acelerar los procesos de avenidas de huaycos u otros flujos torrenciales.

Jorge A. Medina Rosell (2009) manifiesta que el fenómeno de las inundaciones, de acuerdo con la características climáticas del lugar, puede estar presente en algunas zonas urbanas, suburbanas y rurales de un territorio, y sus efectos pueden ir progresivamente agravándose con impactos negativos de la vida y economía de la región debido entre otros aspectos, a: La construcción de infraestructuras sociales de toda índole en el valle de inundación de los cauces, la disminución de la capacidad de evacuación de los cauces producto de la construcción de puentes en diferentes zonas de ellos, que los cauces se han ido progresivamente

obstruyéndose como resultado de un permanente proceso de sedimentación.

La sedimentación en gran medida es el resultado de los fenómenos de erosión que se debe, en algunos casos, a la falta de medidas para la conservación de la cobertura vegetal de las cuencas hidrográficas. En estas condiciones, los lechos de los ríos de las cuencas sufren un proceso continuo y progresivo de azolvamiento, lo cual por una parte disminuye la sección del cauce y reduce la capacidad del río para conducir grandes caudales, y por otra parte, provoca cambios en el curso de los afluentes ramales principales del sistema fluvial: La pobre protección de las laderas en algunas zonas de riesgo sometidas a las inundaciones, el insuficiente drenaje de los suelos de la zona alta de las cuencas originado por la propia estructura de los mismos que infiltran poco y escurren casi toda la precipitación y la considerable obstrucción de los cauces en algunas zonas.

Monsalve (1995), la Escorrentía Superficial es el fenómeno más importante desde el punto de vista de ingeniería, y consiste en la ocurrencia y el transporte de agua en la superficie terrestre. La mayoría de estudios hidrológicos están orientados al aprovechamiento del agua superficial y a la protección contra los fenómenos provocados por su

movimiento. De la precipitación que alcanza el suelo, parte queda retenida ya sea en depresiones o como película en torno a partículas sólidas. Del excedente de agua retenida, parte se infiltra y parte escurre superficialmente. Se define como exceso de precipitación a la precipitación total caída al suelo menos la retenida e infiltrada.

Mejía (2006), La naturaleza de la escorrentía superficial en una determinada región es una función de las características físicas, hidrológicas, vegetativas y climáticas de la misma.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Gestión de las riberas

Las riberas son una parte esencial de los ecosistemas fluviales. Representan una zona de ecotono o transición entre el medio acuático, de caudales circulantes, y el medio terrestre de las inmediaciones del río, recibiendo la influencia hidrológica de ambos, al constituir un espacio compartido en el ciclo del agua, de los sedimentos y de los nutrientes.

La situación tan favorable de los espacios riparios para recibir aportes hídricos y acumular los materiales de los suelos erosionados de las laderas, hace que dichos espacios sean muy apreciados por la

agricultura, especialmente en un país “seco” como el Perú, donde el agua es quizás el factor más limitante para el desarrollo de la vegetación.

Este hecho ha motivado la ocupación casi generalizada de las riberas de los ríos españoles por los cultivos agrícolas, ya sea de secano o de regadío, y para ello se han canalizado muchos tramos fluviales, y eliminado gran parte de la vegetación riberas.

Aparte de la agricultura, se han producido en nuestro país otras ocupaciones o usos del suelo que han deteriorado o eliminado por completo la funcionalidad de las riberas.

El relieve favorable de la llanura de inundación en valles estrechos del norte de la península ha motivado el trazado de carreteras, de líneas de ferrocarril, servicios de agua, gas, etc. sobre los espacios riparios, y en numerosos municipios se ha permitido, o incluso fomentado, la ocupación urbana o industrial del dominio público hidráulico.

Se calcula que aproximadamente 2 millones de ha (4 % de territorio nacional) corresponderían potencialmente a vegetación de ribera, a lo largo de los 172 888 km de cauces naturales (Ibero, 1996).

La realidad es bien distinta, y aunque no se dispone de datos cuantitativos, puede decirse que en la mayoría de nuestros ríos la

vegetación de riberas se restringe a una estrecha franja de orilla, siendo mínima en las zonas de mayor producción agrícola (ej. vegas del Ebro, Tajo, Segura, Júcar, Guadalquivir).

2.2.2 Importancia de la gestión de las riberas

a) Razones hidrológicas

Son muchos los beneficios hidrológicos que ofrecen las riberas, cuando mantienen su estructura natural como corredores fluviales. Quizás la principal función hidrológica que cumplen es la de almacenamiento, formando parte de la llanura de inundación.

En general, las zonas más próximas a los cauces presentan unas condiciones muy favorables para la retención de agua y sedimentos. En cuanto a las escorrentías, contienen suelos profundos, generalmente con elevada capacidad de infiltración y retención, representando una gran reserva hídrica para la vegetación que contienen. En relación a los sedimentos, las riberas tienen una pendiente generalmente pequeña y corresponden a la zona más baja de la ladera, donde dominan los procesos de depósito.

A escala de cuenca vertiente, son las riberas de los ríos, junto a los espacios más próximos de las vegas, donde tienen lugar en mayor medida los procesos de almacenamiento mencionados, evitando que junto al agua y los sedimentos se exporten los nutrientes y demás compuestos relacionados con la fertilidad de los suelos, hacia otros tramos fluviales o cuencas de aguas abajo.

La existencia de amplias bandas riparias, con suelos permeables y bajo coeficiente de escorrentía, retrasa la formación de avenidas, disminuyendo considerablemente el porcentaje de agua de lluvia que llega a los cauces. Asimismo, la elevada rugosidad de los suelos riparios, debida a la frondosidad natural de la vegetación y a la presencia de residuos orgánicos, disminuye la velocidad de las escorrentías o aguas de inundación, favoreciendo su infiltración y la recarga de los acuíferos. Finalmente, la presencia de la vegetación contribuye a la estabilidad de las orillas a través de su sistema radical, disminuyendo el riesgo de erosión por la acción de la corriente. La presencia de raíces aumenta la cohesión del suelo y su resistencia, a la vez que disipa la energía y velocidad de las aguas.

De esta forma, las riberas cumplen una función muy positiva y clave en el funcionamiento hidrológico de las cuencas vertientes, que desaparece cuando se utilizan para usos no compatibles con la inundación, interrumpiendo los flujos de agua, sedimentos y nutrientes que tienen lugar de forma natural en las mismas (Risser, 1990).

b) Razones ecológicas

El funcionamiento ecológico de los tramos fluviales con vegetación riparia es muy distinto al de los tramos desprovistos de ella.

El sistema radical de esta vegetación, junto a la acumulación de materiales por sucesivas avenidas y desbordamientos, va formando cornisas y oquedades muy apreciadas por los peces, mamíferos acuáticos y numerosos invertebrados, constituyendo refugios necesarios para los ejemplares de mayor edad (ej. truchas) o limitantes para algunas especies (ej. nutria).

El aporte de materia orgánica de la ribera al cauce es en muchos tramos la principal fuente de energía para el inicio de las cadenas tróficas en el medio acuático. Cuando falta esta vegetación se reducen considerablemente determinados grupos de

macro invertebrados, y cambia la composición de las comunidades acuáticas.

La calidad de las aguas puede verse muy mejorada si existe un bosque ripario que actúa de filtro para los nutrientes, impidiendo su incorporación a las aguas del cauce, retrasando su eutrofización. Asimismo, en las riberas queda atrapado un porcentaje muy elevado de sedimentos, y con ello se reducen los sólidos en suspensión de las aguas.

También la presencia del bosque ripario sombrea el cauce, y con ello disminuye la temperatura de las aguas, con lo que mejora su contenido en oxígeno disuelto. Por último, la continuidad de la vegetación de las riberas permite la formación de corredores biológicos, a través de los cuales se favorece el movimiento y dispersión de muchas especies, encontrando refugio y alimento.

c) Razones económicas y sociales

Muchas de las razones hidrológicas y ecológicas antes apuntadas, que justifican la restauración de las riberas o su conservación, tienen una gran trascendencia económica, especialmente desde un punto de vista de gestión sostenible de los ecosistemas naturales.

Así, el retraso en la formación de avenidas, la recarga de acuíferos, la estabilización de las orillas, la retención de sedimentos y nutrientes, etc., como funciones de las riberas, tienen claramente un beneficio económico, suponiendo un enorme ahorro en inversiones para el mantenimiento de los cauces, y una riqueza natural de agua, suelo, vegetación y fauna riparia.

Pero estos beneficios son difusos, y no siempre se perciben por la Sociedad, aunque es toda ella la que se beneficia, contrariamente a lo que sucede cuando se realiza una canalización. En este caso hay un beneficio inmediato para el usuario o propietario de las márgenes, que al quedar desconectadas del funcionamiento hidrológico del río presentan menor riesgo de inundación a corto plazo, lo que permite su aprovechamiento como suelos muy fértiles, o como espacios de relieve favorable para urbanizaciones, industrias, etc.

Esta disminución del riesgo hidrológico a corto plazo va acompañada de una probabilidad acumulada de mayores daños a medio y largo plazo, al proceder a inversiones económicas más elevadas, en zonas donde se mantiene la misma probabilidad de inundación y de catástrofe.

Mantener los ríos año tras año en situaciones contrarias a su dinámica fluvial requiere gastos de mantenimiento periódicos, que con el paso del tiempo resultan muy costosos, y siempre contrarios al concepto de sostenibilidad.

La dinámica fluvial de los ríos responde a un equilibrio con el funcionamiento hidrológico de su cuenca vertiente, concretado en el régimen de caudales y sedimentos, y a una situación geomorfológica dentro del relieve general del valle, que condiciona la trayectoria principal de las aguas. Ambos factores, especialmente el segundo, se refieren a una escala espacial y temporal mucho más amplias que las que el hombre maneja cuando interviene o modifica las condiciones de un tramo de río, y se acaban imponiendo siempre, como lo demuestran los innumerables trabajos y experiencias de errores cometidos en la ingeniería hidráulica.

En este sentido, es importante resaltar las razones sociales por las que es necesario tratar de conservar las riberas fluviales en condiciones naturales, evitando ocupaciones que pueden entrañar grandes catástrofes.

Son muy recientes las tragedias de Biescas o de Badajoz, en las que se pone de manifiesto el gran riesgo de asentamientos urbanos, recreativos o de cualquier otra índole, ubicados en zonas “usurpadas” al dominio de las aguas, que éstas recuperan periódicamente causando grandes daños y la pérdida de vidas humanas.

d) Razones éticas

Por encima de esta visión interesada para justificar la conservación de las riberas, con un claro beneficio para el hombre en términos hidrológicos, ecológicos o económicos, subyacen o deben de prevalecer otras razones más profundas, de comportamiento ético de la especie humana frente a la Naturaleza.

El abuso surge cuando consideramos a la Tierra como una fuente de recursos que nos pertenece; pero esta perspectiva cambia cuando el hombre se siente parte de la comunidad biológica, y se amolda a las leyes naturales, entendiendo su integridad, estabilidad y belleza (Leopold, 1949).

Los fundamentos de la conservación de las riberas, como de los restantes ecosistemas naturales, deben de asentarse sobre este

planteamiento ético, de respeto y armonía del hombre con el medio, asegurando su permanencia para generaciones futuras.

2.2.3 Aplicación de los Modelos Hidrológicos

Según Pilco (2013), en el mercado existen múltiples herramientas para la realización de análisis hidrológicos. Algunos de ellos admiten información distribuida (más real) y otros no; algunos se pueden obtener fácil y gratuitamente mediante Internet y otros, sin embargo, son muy caros y no están al alcance de todo el mundo.

SHE (Sistema Hidrológico Europeo), es un modelo hidrológico matemático utilizado para simular el comportamiento general de una cuenca, tanto en los aspectos de cantidad como de calidad y maneja de manera conjunta las componentes de agua superficial y subterránea. Fue desarrollado y se hizo operativo en 1982, con el nombre de *Système Hydrologique Européen* (SHE). El modelo fue estandarizado y desarrollado por tres organizaciones europeas: El Instituto Hidráulico Danés (DHI), el Instituto Británico de Hidrología y la Compañía consultora francesa SOGREAH. Fue desarrollado por los departamentos de investigación y desarrollo en materias del agua, ya que fueron conscientes de que en muchos países europeos, la superficie del terreno y los recursos hídricos estaban siendo contaminados por fertilizantes y

pesticidas asociados a las prácticas intensivas de agricultura, el transporte de contaminantes y los efectos de la lluvia ácida, que amenazan la calidad del agua.

En 1990, HEC fue consciente del fenómeno creciente y de los avances en GIS. La capacidad de obtener datos espaciales de Internet acoplados con los poderosos algoritmos en software y hardware hizo del GIS una herramienta muy atractiva para los proyectos de investigación referentes al agua. El proyecto del Buffalo Bayou demostró que el desarrollo del modelo hidrológico casi-distribuido en el HMS es práctico con la ayuda del software de GIS y los datos espaciales.

Cely et al (2012), los estudios hidrológicos requieren cada vez mayor uso de modelos matemáticos como herramienta que apoya la planificación y la toma de decisión en aras de la implementación de la Gestión Integrada del Recurso Hídrico en las cuencas hidrográficas. Estos modelos posibilitan la cuantificación de los diferentes procesos que tienen lugar en el ciclo del agua, permiten realizar la estimación de caudales de avenida, la simulación de la respuesta de una cuenca en su escurrimiento superficial ante la ocurrencia de una serie de eventos de precipitación, teniendo en consideración las características fisiográficas.

HEC GeoHMS viene a ser una extensión de ARCGIS que permite incorporar HMS en el ARCGIS, lo que hace más versátil el trabajo y permite trabajar con esta interface que es muy interesante al momento de la modelación hidrológica.

2.3 NORMATIVAS

Ley 29664: ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD) Art. 13. Definición y funciones del INDECI - Desarrollar, coordinar y facilitar la formulación y ejecución del Plan Nacional de Gestión del riesgo de Desastres, en lo que corresponde a los procesos de preparación, respuesta y rehabilitación, promoviendo su implementación. - Elaborar los lineamientos para el desarrollo de los instrumentos técnicos que las entidades públicas puedan utilizar para la planificación, organización, ejecución y seguimiento de las acciones de preparación, respuesta y rehabilitación.

D.S. Nº 048-2011-PCM Reglamento de la Ley 29664. Art. 9. Funciones del INDECI - 9.5 Promover la Instalación y actualización de los sistemas de alerta temprana y los medios de difusión y comunicación sobre emergencias y desastres a la población. Artículo 29.- Preparación: La Preparación está constituida por el conjunto de acciones de planeamiento, de desarrollo de capacidades, organización de la sociedad,

operación eficiente de las instituciones regionales y locales encargadas de la atención y socorro, establecimiento y operación de la red nacional de alerta temprana y de gestión de recursos, entre otros, para anticiparse y responder en forma eficiente y eficaz, en caso de desastre o situación de peligro inminente, a fin de procurar una óptima respuesta en todos los niveles de gobierno y de la sociedad.

2.3.1 Definiciones básicas

Según la UNESCO (2011), se tienen las siguientes definiciones importantes.

2.3.1.1 Definición del SAT

Los Sistemas de Alerta Temprana, conocidos como SAT, son un conjunto de procedimientos e instrumentos, a través de los cuales se monitorea una amenaza o evento adverso (natural o antrópico) de carácter previsible, se recolectan y procesan datos e información, ofreciendo pronósticos o predicciones temporales sobre su acción y posibles efectos. Millones de personas en todo el mundo salvan sus vidas y sus medios de subsistencia gracias a la implementación de estos sistemas.

2.3.1.2 Importancia del SAT

La importancia de un SAT radica en que permite conocer anticipadamente y con cierto nivel de certeza, en que tiempo y espacio, una amenaza o evento adverso de tipo natural o generado por la actividad humana puede desencadenar situaciones potencialmente peligrosas. Por lo cual, las alertas deben difundirse con suficiente anticipación.

2.3.1.3 Objetivo del SAT

El objetivo fundamental de un SAT es reducir o evitar la posibilidad que se produzcan lesiones personales, pérdidas de vidas, daños a los bienes y al ambiente, mediante la aplicación de medidas de protección y reducción de riesgos. Los Planes de Gestión de Riesgo o Respuesta de Emergencias son medidas indispensables para que una alerta sea efectiva.

2.3.1.4 En qué eventos se aplica un SAT

Los Sistemas de Alerta Temprana son aplicables tanto a eventos naturales, como aquellos provocados por la actividad humana y por la interacción de ambos elementos, cuyas características permiten su vigilancia y monitoreo. Entre las amenazas o eventos más comunes a los cuales se aplican SAT están las inundaciones, deslizamientos de tierra,

huracanes, volcanes, tsunamis, incendios forestales, fenómeno del niño y la niña, entre otros.

2.3.1.5 Sistemas de Alerta Temprana – Inundaciones

Las inundaciones son aquellas condiciones en las que los ríos, debido al aumento excesivo de su caudal, se desbordan y salen de su cauce en forma temporal, afectando a las poblaciones y el entorno bajo sus zonas de influencia.

Los SAT son aplicables a diversas amenazas, cuyas características permiten su vigilancia y monitoreo.

Entre las posibles causas están las lluvias fuertes y constantes, obstrucción de los cauces, ruptura de presas y diques, entre otros. Los daños por consecuencia de las inundaciones, producen elevados costos sociales, económicos y ambientales. Basado en lo anterior los Sistemas de Alerta Temprana, para inundaciones, juegan un papel importante al monitorear las condiciones hidrometeorológicas y el comportamiento de los cauces de los ríos o cuencas hidrográficas, con lo cual se pronostican las probabilidades de una inundación sobre un área específica.

En los Sistemas de Alerta Temprana para inundaciones, se puede identificar dos modalidades: los automatizados y los operados por las comunidades.

2.3.1.6 Sistemas automatizados

Los sistemas automatizados se basan en la observación y monitoreo mediante la utilización de redes telemétricas, estaciones de lluvia y niveles de los ríos, modelos hidrológicos computarizados, sensores remotos, y / o satélites; con lo cual se vigila la cantidad de lluvia, los niveles de los ríos, para finalmente pronosticar crecidas en forma precisa.

Estos sistemas tienen aplicación en cuencas hidrográficas grandes y se deben apoyar en organizaciones de tipo técnico científico como los Centros Especializados en Hidrometeorología, Universidades, Sistema Nacional de Protección Civil, Gobiernos Locales y otros actores sociales.

2.3.1.7 Sistemas comunitarios

Estos sistemas tienen aplicación en cuencas hidrográficas medianas y pequeñas; son de fácil manejo, ya que sus instrumentos son básicos y no requieren de técnicos especializados; los recursos disponibles para su creación y funcionamiento son limitados; participan un conjunto de actores, en donde la comunidad organizada es el elemento fundamental,

y cuya participación se ejerce en forma voluntaria. Con estos sistemas las comunidades identifican sus riesgos, aumentan sus capacidades para enfrentar emergencias y reducen la posibilidad de pérdidas de vidas y daños materiales.

Por ello es indispensable la participación activa de las personas, en todos los aspectos del establecimiento y funcionamiento de los SAT, sean estos de tipo automatizado o comunitario, ya que ambos sistemas aportan y contribuyen al fortalecimiento de los procesos de desarrollo de las comunidades donde son implementados.

2.3.1.8 Instrumentos utilizados

La aplicación y utilización de equipos e instrumentos para un Sistema de Alerta Temprana dependerá de las características y particularidades de los eventos o amenazas, de su ubicación geográfica, y de los recursos disponibles.

En caso de sistemas automatizados se utilizan instrumentos sofisticados o tecnológicos como satélites, sensores remotos, redes telemétricas y otros que permiten transmitir información directa desde los equipos de medición hasta los centros de análisis y de toma de decisión. En cuanto a sistemas comunitarios se utilizan equipos de bajo costo y de fácil manejo.

En los Sistemas de Alerta Temprana (SAT) para inundaciones, se mide la cantidad de lluvia precipitada y el nivel de caudal de los ríos, para ello se utilizan dos instrumentos fundamentales:

La medición de la cantidad de lluvia precipitada se mide mediante un instrumento llamado “PLUVIOMETRO”, estos son recipientes graduados, que permiten medir la cantidad de agua que cae durante un tiempo determinado, pueden ser automatizados o manuales. En los sistemas comunitarios, los voluntarios se encargan de la lectura, registro y transmisión de los datos obtenidos en estos instrumentos de medición.

La medición de los niveles de los ríos, también se puede efectuar mediante la utilización de instrumentos automatizados con sensores ubicados en tubos que se colocan en zonas donde se pueda determinar los cambios de nivel de agua, la información se registra y es procesada automática y directamente.

También se utilizan las “REGLAS LIMNIMÉTRICAS”, su uso es generalizado por su bajo costo y fácil manejo, no requiere de personal especializado, sólo de una comunidad organizada y comprometida con su propia seguridad, este instrumento consiste en colocar dentro o fuera de los ríos, postes o reglas graduadas en centímetros, y pintadas en tres colores relacionados a las alertas (verde, amarillo y rojo); como alternativa

se pueden pintar y graduar postes de las bases de puertos o embarcaderos, puentes, árboles, piedras, pisos u otros elementos del entorno que sirvan como regla y permita realizar una vigilancia adecuada de los cambios en los niveles de los ríos. Al igual que los pluviómetros, cuando la comunidad participa, los voluntarios se encargan de la lectura, registro y transmisión de los datos obtenidos en estas reglas.

2.3.1.9 Funcionamiento de un SAT

El funcionamiento de un Sistema de Alerta Temprana consiste en los siguientes pasos: lectura y registro de la medición de los instrumentos sobre el evento monitoreado; transmisión de los datos registrados; procesamiento y análisis de los datos transmitidos; pronóstico de la situación; establecimiento del nivel y tipo de alerta; difusión del nivel de alerta; activación de un Plan de Emergencias o Evacuación. La Figura No. 1, muestra el diagrama de flujo de funcionamiento de un SAT.

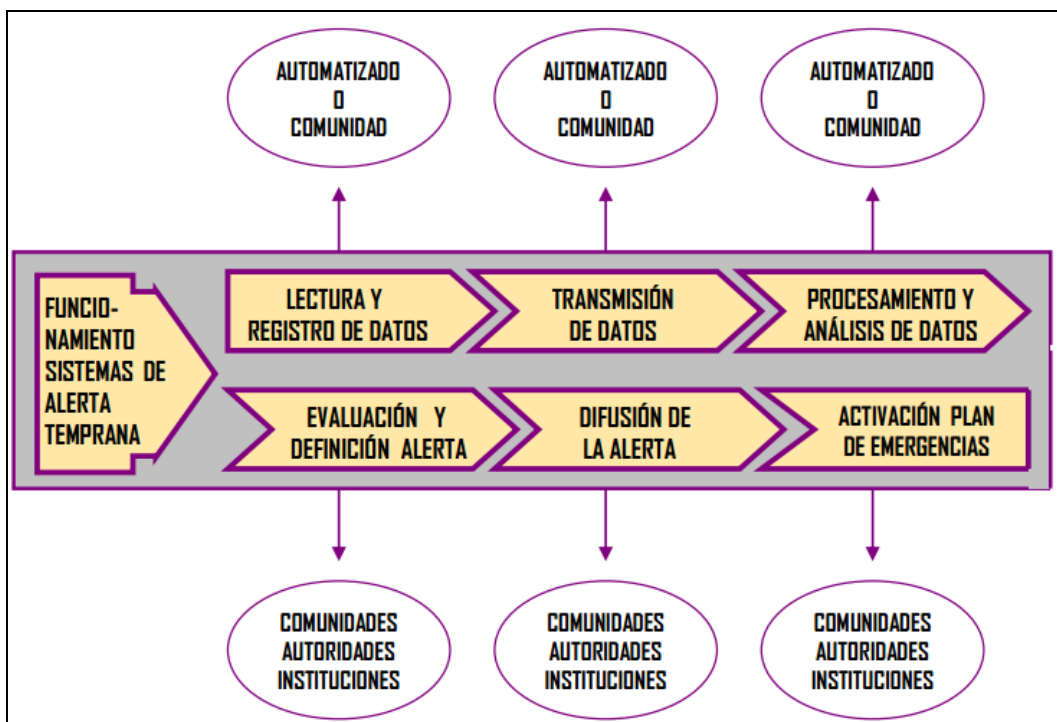


Figura 1: Diagrama de funcionamiento de un SAT

Fuente: Tisnado (2013). En la tesis Modelamiento Hidrodinámico para Determinar Zonas Vulnerables en el Cauce del Río Seco Zona Urbana – Tacna.

a) Lectura y registro

Cuando el fenómeno monitoreado produce alguna alteración, activación o manifestación de peligro, es registrado por los instrumentos, y se procede a tomar las lecturas correspondientes, manteniendo una vigilancia pormenorizada, continua y permanente para conocer sus cambios y evolución. Estas lecturas pueden realizarse con equipos tecnológicos, simples o manuales, operados

por instituciones especializadas, por las comunidades o entre ambos.

b) Transmisión de datos

Luego que las lecturas han sido tomadas y registradas, son transmitidas inmediatamente, para que los encargados o especialistas efectúen los cálculos necesarios y se realicen los pronósticos respectivos, sobre la posible ocurrencia o no de un evento adverso o destructivo. Si se trata de una institución especializada, la transmisión puede hacerse automáticamente mediante equipos sofisticados o tecnológicos como satélites, teléfonos móviles, sistemas computarizados, etc.; si es un sistema comunitario, se utilizarán los equipos que estén a su alcance, y se ajusten a las condiciones, presupuesto o cultura. En la mayoría de los casos se utilizan sistemas de radiocomunicación, radioemisoras, teléfonos o cualquier otro medio que permita en forma segura y rápida enviar los datos.

c) Procesamiento y análisis de datos

Los datos llegan a manos de expertos o encargados de procesarlos, quienes realizan sus cálculos y establecen si estos indican la posibilidad o no de manifestarse un evento adverso o

destruccion. Los datos pueden ser analizados automaticamente con la utilizacion de equipos tecnologicos, como sistemas computarizados que realizan pronosticos.

Si estos son operados por la comunidad, deben llegar a las personas responsables de los comites locales, quienes procesaran la informacion, para que las autoridades analicen la situacion y definan el nivel y tipo de alerta a declarar.

d) Evaluacion de la situacion y definicion de la alerta

Las instituciones encargadas o los miembros de los comites de emergencias de las comunidades evaluan la informacion o el resultado del analisis de los datos procesados y lo contrastan con un Mapa de Riesgo, determinando asi el dano potencial, nivel y tipo de alerta que se debe declarar y emitir. Comunmente se utilizan tres colores de alertas, en algunos paises se utilizan cuatro, incorporando el color anaranjado, cada una con un significado y acciones definidas, las cuales se describen a continuacion:

- Verde: indica que se debe estar atento al comportamiento y evolucion del fenomeno o evento monitoreado, y de las alertas que se continuen emitiendo. Esta alerta debe dirigirse

a los especialistas de las instituciones, los encargados del Plan de Emergencia y los habitantes de las comunidades en peligro.

- Amarilla: aumenta la alerta y los diferentes equipos e instituciones inician sus preparativos para ejecutar las acciones correspondientes, dirigidas a enfrentar el impacto del evento y sus consecuencias.
- Roja: significa que es inminente la llegada o materialización del evento, esta alerta es emitida a través de las instituciones responsables o entidades autorizadas, tanto nacionales como locales. Se activa el Plan de Emergencias y, en la mayoría de los casos, se ordenará la evacuación de los pobladores a zonas seguras o albergues, además otras acciones, según las condiciones en que se presenta el evento.

En algunos países se utilizan cuatro colores, en el cual el color naranja se sitúa después del color amarillo, representando la Alerta Naranja, que significa lo siguiente: Cuando se han concretado las condiciones necesarias para que se presente el fenómeno y sólo sea cuestión de minutos y horas para que se manifieste el fenómeno.

En la figura 2 se muestra los niveles de manifestación del Peligro, que van desde verde, amarillo, naranja y rojo.

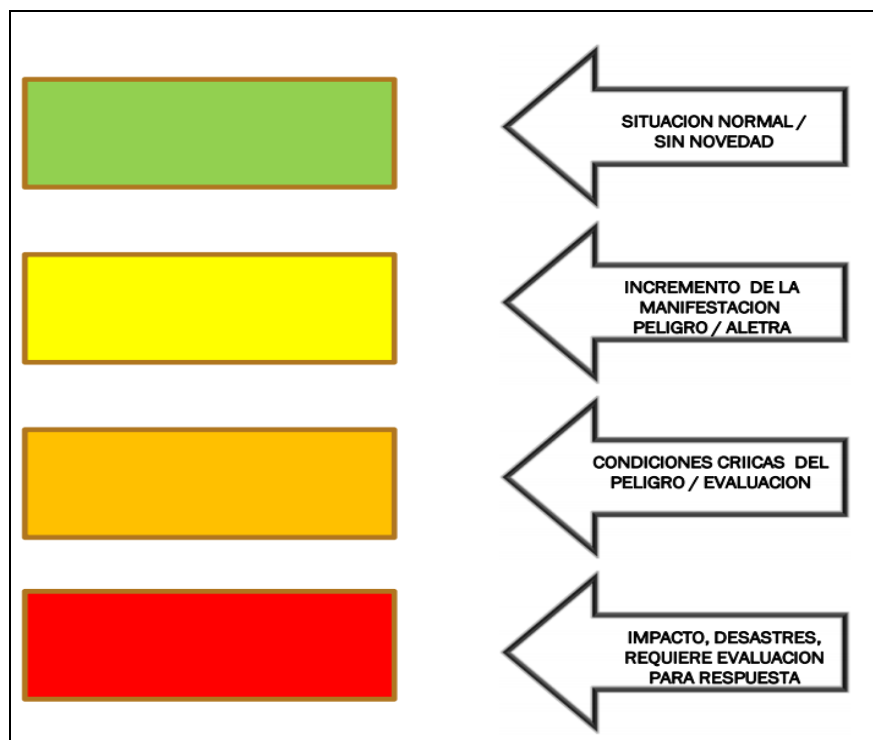


Figura 2: Niveles de manifestación del peligro

Fuente: Tisnado (2013). En la tesis Modelamiento Hidrodinámico para Determinar Zonas Vulnerables en el Cauce del Río Seco Zona Urbana – Tacna.

e) Difusión de la aleta

Al contar con la alerta oficial debidamente definida, emitida y comprobada, se procede a notificarla a la población. La alerta debe ser clara y oportuna, garantizando la confianza de las comunidades o beneficiarios. La alerta se podrá difundir utilizando radios de

comunicación, radio emisoras, teléfonos, radio parlantes, bocinas, sirenas, banderas, sonando pailas, campanas y cualquier otro instrumento que tenga el alcance, que permita informar rápidamente a la comunidad.

f) Activando el Plan de Emergencias o respuesta

Sin este paso, la alerta, no tendría sentido o ningún resultado, por lo tanto, es imprescindible que todos los centros educativos y las comunidades cuenten con planes o actividades de preparación para respuesta.

g) Sistema de Alerta Temprana en la Región Tacna

En la actualidad no se cuenta con un sistema de alerta temprana para ningún tipo de amenazas como inundaciones, erupciones volcánicas, deslizamientos de tierra y otros. El SENAMHI en la región Tacna ha venido trabajando para implementar estaciones hidrometeorológicas automáticas con la finalidad de implementar un SAT y otros usos.

En la actualidad se cuenta con una red de estaciones automáticas las cuales se muestran en la tabla 1 y en la figura 3 su ubicación espacial.

Tabla 1:
Estaciones meteorológicas e hidrológicas automáticas (EMA y EHA)

Nº	ID	NOMBRE ESTACION	CAT	SISTEMA HIDROG.	CUENCA	UBICACIÓN POLITICA			UBICACIÓN GEOGRAFICA			UBICACIÓN GEOGRAFICA			FECHA DE	
						DPT	PROV.	DIST.	LONG.	LAT.	ALT.	ESTE	NORTE	ALT.	INICIO	SENSOR
1	47E13530	CERRO BLANCO	EHA	Pacifico	Uchusuma	Tacna	Tacna	Calana	70°09'8.07"	17°58'6.4"	885.414	377987.416	8012902.910	885.414	04/12/2013	PIEZOMETRICO
2	47E195C8	CHALLATA	EHA	Pacifico	Caplina	Tacna	Tacna	Pachia	70°05'55.95"	17°48'54.36"	1482.000	383538.940	8029905.077	1482.000	2006	RADARICO
3	47E1A052	CORUCA	EHA	Pacifico	Sama	Tacna	Tacna	Inclan	70°27'16.41"	17°37'59.22"	834.755	345681.327	8049787.170	834.755	2000	PIEZOMETRICO
4	47E186BE	PUNTE VIEJO	EHA	Pacifico	Locumba	Tacna	J. Basadre G.	Locumba	70°45'38.25"	17°57'2.14"	574.472	313165.944	8051250.415	574.472	1965	PIEZOMETRICO
5	47E12646	ARICOTA	EHA	Pacifico	Locumba	Tacna	Candarave	Quilahuani	70°18'29.79"	17°22'14.58"	2788.654	361004.095	8078936.624	2788.654	2001	RADARICO
6	47E2C2BA	CANDARAVE	EMA	Pacifico	Locumba	Tacna	Candarave	Candarave	70°15'18.67"	17°16'1.48"	3476.140	366570.301	8090442.080	3476.140	1964	NO
7	47E1654C	CORANCHAY	EHA	Pacifico	Locumba	Tacna	Candarave	Candarave	70°17'17.92"	17°06'50.85"	4146.642	362936.026	8107343.295	4146.642	1972	BURBUJA
8	47E2A75C	VILACOTA	EMA	Pacifico	Maure	Tacna	Tarata	Susapaya	70°02'34.99"	17°04'43.69"	4465.406	389010.883	8111407.854	4465.406	2006	NO
9	47E100AA	VILACOTA	EHA	Pacifico	Maure	Tacna	Tarata	Susapaya	70°01'51.43"	17°09'48.32"	4465.000	390348.323	8102052.121	4465.000	1994	RADARICO
10	47E1763A	TUNEL KOVIRE	EHA	Pacifico	Sama	Tacna	Tarata	Susapaya	70°00'34.15"	17°14'15.74"	4356.179	392674.311	8093845.230	4356.179	1965	BURBUJA
11	47E18324	REPRESA JARUMAS	EHA	Pacifico	Sama	Tacna	Tarata	Tarata	69°56'55.08"	17°22'9.11"	4548.128	399216.389	8079329.272	4548.128	1964	RADARICO
12	47E292C8	CHUAPALCA	EMA	Pacifico	Locumba	Tacna	Tarata	Tarata	69° 39' 42.68"	17° 18' 30.49"	4204.000	429662.000	8086176.000	4204.000	1964	NO
13	47E2B42A	BOCATOMA EL AYRO	EMA	Pacifico	Uchusuma	Tacna	Tacna	Palca	69°37'36.18"	17°34'47.77"	4258.175	433495.133	8056154.265	4258.175	1975	NO
14	47E113DC	PAUCARANI	EHA	Pacifico	Uchusuma	Tacna	Tacna	Palca	69°45'53.47"	17°32'19.9"	4587.178	418816.463	8060921.466	4587.178	1977	RADARICO
15	47E143A0	CAPLINA	EHA	Pacifico	Caplina	Tacna	Tacna	Pachia	69°54'59.63"	17°41'26.57"	3561.000	402795.000	8043772.000	3561.000	06/01/2014	BURBUJA
16	47E2D1CC	TARATA	EMA	Pacifico	Sama	Tacna	Tarata	Tarata	70°02'11.07"	17°28'44.75"	3042.000	389956.000	8067121.000	3042.000	1964	NO
17	47E15008	TALAPALCA	EHA	Pacifico	Sama	Tacna	Tarata	Heroes Albarracin	70°10'19.67"	17°28'29.67"	2177.338	375541.034	8067501.338	2177.338	1964	BURBUJA

Fuente: Tisnado (2013). En la tesis Modelamiento Hidrodinámico para determinar Zonas Vulnerables en el Cauce del Rio Seco Zona Urbana – Tacna.

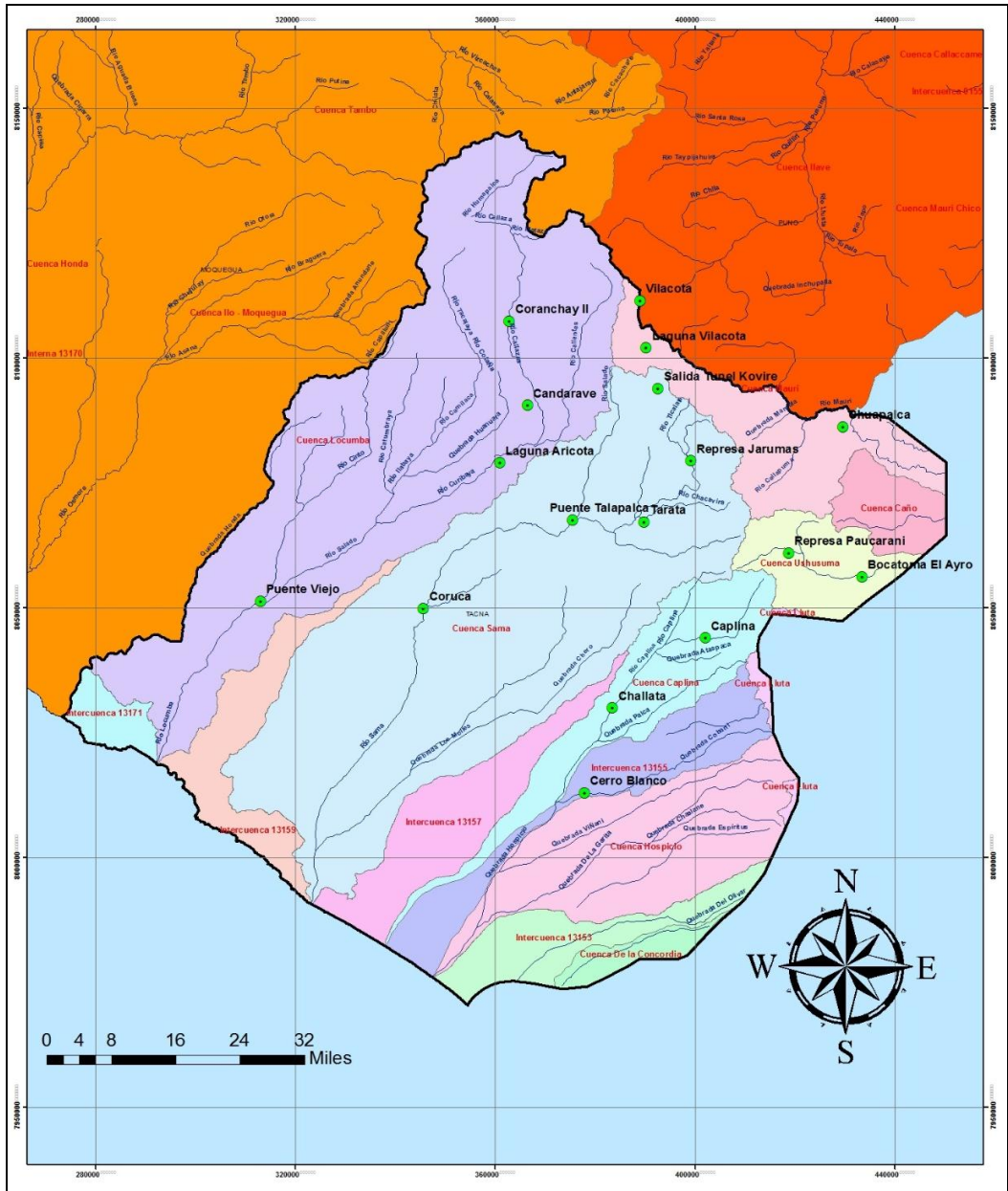


Figura 3: Mapa de ubicación de estaciones automáticas

Fuente: Pino, T.(2013). “Caracterización hidrogeomorfológica de la cuenca del río Caplina”. Tesis, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna.

2.4 MODELACIÓN HIDROLÓGICA, GESTIÓN DE RIBERAS Y SAT

Finalmente, se puede establecer importantes relaciones vinculantes entre los elementos Modelación Hidrológica, Gestión de Riberas y Sistemas de Alerta Temprana, la virtud de estas interrelaciones es vital para proteger la vida de las personas y reducir los daños a la propiedad pública y privada.

Al establecer un modelo hidrológico de la Cuenca Caplina, se esta en la posibilidad de contar con una herramienta necesaria para poder pronosticar en tiempo real los eventos extraordinarios que se sospeche sean dañinos o su magnitud supere eventos extraordinarios, esto se logrará gracias a la existencia en la región de estaciones automáticas que nos brindarán datos en tiempo real sobre las precipitaciones pluviales en la cuenca Caplina, información que puede ser transformada en descargas usando el modelo hidrológico desarrollado en la presente tesis.

En tal sentido, al ocurrir un evento de precipitación anómalo se puede estimar las descargas y si se prevé sea un evento dañino, se activarán las alarmas del SAT que debería ser establecido para la cuenca Caplina.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y METODOLOGÍA

3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

Para la presente tesis se ha recopilado toda la información pluviométrica e hidrométrica existente en el área de estudio, así como, la información de evaporación y otros. Asimismo, se ha efectuado una revisión de los estudios anteriores. El sistema de medición de descargas, conformado por estaciones hidrométricas de diversos tipos viene siendo inspeccionada en el campo en forma mensual, con el fin de lograr una buena calidad de datos registrados. La información hidrológica ha sido analizada estadísticamente utilizando pruebas estándar adecuadas, esto con la finalidad de evaluar su homogeneidad o consistencia.

3.1.1 Cartografía

Para la zona de estudio, se cuenta con la siguiente información cartográfica impresa y en formato digital: Carta Nacional (Formato digital: SIG Vectorial), Tipo de Archivo: DGN y SHAPE, Coberturas: Orografía (Ríos, Lagunas, Nevados, Cordilleras, etc.), Topografía (cada 50 m), Vías

existentes para el transporte terrestre, Carta digital: 35-x Maure, 36-v Pachía, 36-x Palca, 37-u La Yarada, 37-v Tacna, 37-x Huaylillas

3.1.2 Climatología

Según Siña (2010), de acuerdo a la evolución climatológica, se ha determinado que los factores más importantes del clima de la cuenca del río Caplina son la altitud y latitud, definiendo este último las características particulares del clima, y las amplias oscilaciones de temperatura y los fuertes vientos.

Como la cuenca Caplina se encuentra dentro del gran desierto de Atacama, es por ello que las precipitaciones anuales son muy escasas, hasta nulas. Dándose las mayores intensidades medias son en las estaciones de Palca y Toquela alcanzando hasta 129,05 mm. Mientras que las mínimas son en las estaciones de La Yarada, Magollo, Calana y Calientes con precipitaciones medias que no sobrepasan los 20,97 mm anuales.

La variación de la temperatura dentro la cuenca Caplina, depende estrechamente de la altitud y la morfología de la zona, además del cambio de estaciones y de la variación de las precipitaciones pluviales. Se ha hallado que la temperatura promedio de la cuenca es de 17,02 °C; y en la parte de la cabecera de la cuenca la temperatura promedio es de 3,30 °C.

También podemos observar que las temperaturas más altas se registran en los meses de enero, febrero y marzo, que alcanzan temperaturas entre los 21 °C y 23 °C; y las temperaturas más bajas se registran entre los meses de junio, julio, agosto y parte de septiembre, estos se encuentran entre los 13 °C y los 17 °C. Figura No. 4.

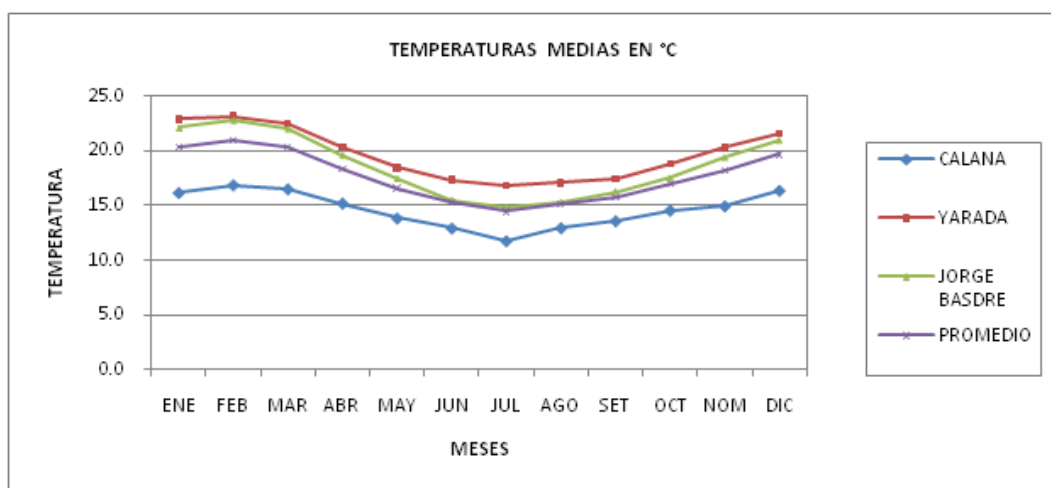


Figura 4: Variación mensual de temperatura

Fuente: Pino, T.(2013). "Caracterización hidrogeomorfológica de la cuenca del río Caplina". Tesis, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna.

La humedad relativa es la medida del contenido de humedad del aire; es indicador de la evaporación, transpiración y probabilidad de lluvia. La humedad relativa media anual en las pampas de la Yarada y en la ciudad de Tacna es de 75 %, con máximas mensuales que alcanzan el 90 % en los meses de invierno y una mínima mensual que llega a 55 % en los meses de verano. En la estación Calana, se ha observado un promedio

anual de 76 % con valores de 80 % en los meses más húmedos (mayo a octubre) y 73 % en los meses más secos (noviembre a abril). Los elevados porcentajes que se registran se deben a la cercanía del Océano y a los vientos que transportan el vapor de agua hacia la costa, que hace que la humedad en el aire aumente en la zona.

Para efectuar la clasificación climática de la zona de estudio se utilizó el “DIAGRAMA BIOCLIMÁTICO PARA LA CLASIFICACIÓN DE ZONAS DE VIDA EN EL MUNDO” propuesto por L. R. Holdridge. Dicho diagrama de clasificación climática utiliza para clasificar el clima valores de precipitación, temperatura y evapotranspiración potencial.

De los registros existentes se obtuvo los siguientes valores medios, diferenciando dos regiones principales de la cuenca, la zona media y alta y la zona baja. Para la zona Media y Alta se tiene la Precipitación Media Anual de hasta 129,05 mm, mientras que en la zona baja las precipitaciones medias no sobrepasan los 20,97 mm. La Temperatura Media Anual en la zona media y alta es de 3,50 °C, mientras que en la zona baja es de 20 °C.

De acuerdo a estos valores y utilizando el diagrama de Holdridge mostrado en la Figura No. 5, el clima de la cuenca puede clasificarse como matorral desértico para la zona media y alta con una provincia de

humedad tipo sub húmeda, y en el caso de la zona baja de la cuenca recibe una clasificación de Desierto con una provincia de humedad tipo desecada. Es característica de este tipo de clima la presencia de laderas inclinadas, conformantes en este caso de la cuenca hidrográfica del río Caplina. Suelos medianamente profundos en la zona alta, van desde litosoles, gleysoles y orgánicos. La vegetación está constituida de Ichu, pajonales, quinual, gynoxys y cactus yareta. En la Figura No. 5, se muestra el diagrama de Holdridge, con la clasificación climática respectiva.

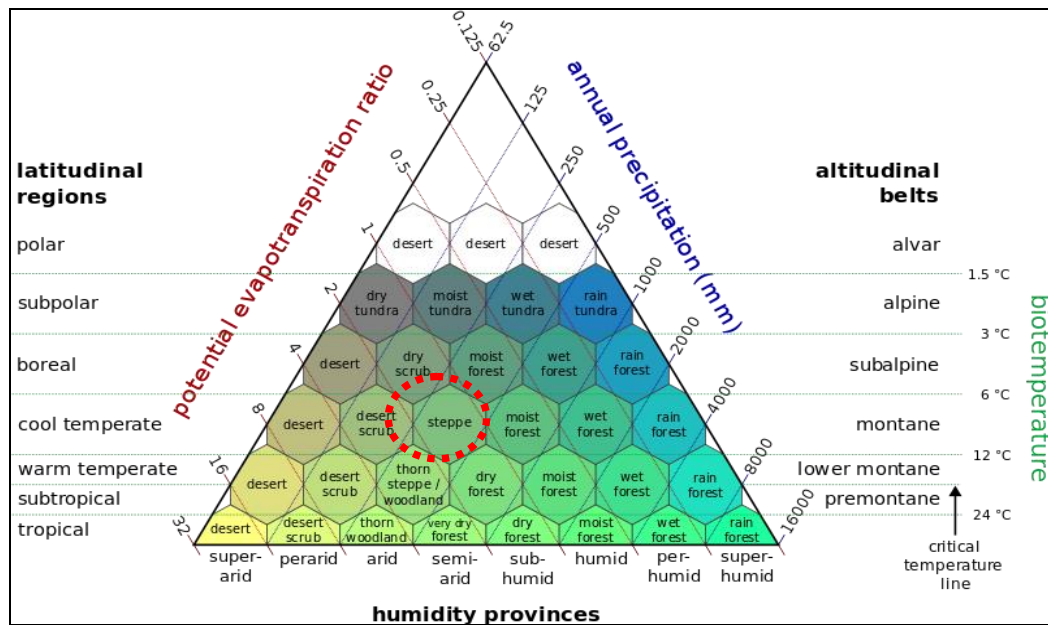


Figura 5: Diagrama de Holdridge

Fuente: Pino, T.(2013). "Caracterización hidrogeomorfológica de la cuenca del río Caplina". Tesis, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna.

3.1.3 Descargas

En cuanto al caudal de río Caplina, se ha tomado datos de los registros de caudales de los años 1939 al 2009, de la estación de la Bocatoma Calientes. El modo gráficamente se representa los registros de caudales es mediante hidrogramas. En la Figura No. 6 se puede apreciar el hidrograma de caudales medios anuales de la cuenca del río Caplina, donde existe una notoriedad entre los años secos y años donde ha existido mayor cantidad de agua. Por ejemplo, en los años 1991, 1992 el caudal promedio fue de 0,42 m³/s y en los años donde ha existido mayor caudal han sido entre los años 1999 y 2000.

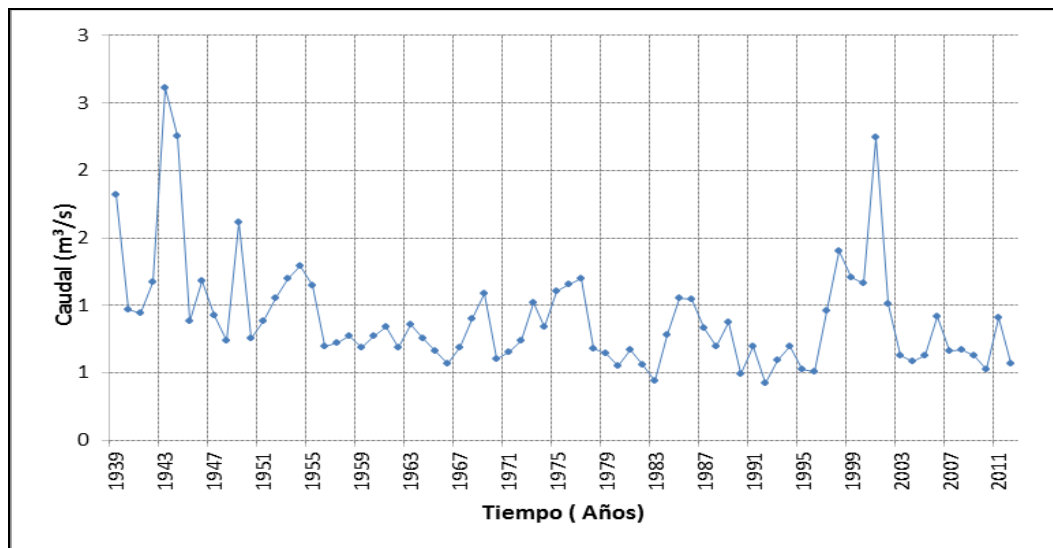


Figura 6: Hidrograma de la cuenca del río Caplina

Fuente: Pino, T.(2013). "Caracterización hidrogeomorfológica de la cuenca del río Caplina". Tesis, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna.

Las descargas promedio histórico mensual, del río Caplina en la Bocatoma Calientes es de $0,93 \text{ m}^3/\text{s}$. El caudal del río Caplina varía de $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$ a $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$; el caudal más bajo es de $0,58 \text{ m}^3/\text{s}$ que se registró en el mes de octubre. El caudal promedio mensual más alto se presenta en el mes de febrero con un caudal de $2,3 \text{ m}^3/\text{s}$.

3.1.4 Parámetros geomorfológicos

La cuenca es la totalidad del área drenada por una corriente o sistema interconectado de cauces; esto quiere decir que todo fluye hacia una sola salida. El Área total de la cuenca es de $4\,239,09 \text{ km}^2$, el Perímetro de la cuenca es de $329,08 \text{ km}$.

En cuanto a la forma de la cuenca que es uno de los factores que controla la descarga de la corriente, principalmente en los eventos de flujo máxima. El Coeficiente de compacidad representa el cociente adimensional entre el perímetro de la cuenca y la longitud de circunferencia de un círculo y área igual de la cuenca. Si $K = 1$, la cuenca será de forma circular. Por lo general, para cuencas alargadas se espera que $K > 1$, de acuerdo al crecimiento del valor, indicará mayor distorsión. Las cuencas de forma alargada reducen las probabilidades de que sean cubiertas en su totalidad por una tormenta, lo que afecta el tipo de respuesta que se presenta en el río. La fórmula planteada por H.

Gravelius para hallar este coeficiente para la cuenca del río Caplina presenta un valor de 1,42.

La Relación de Elongación (Re): Se define el diámetro (D) de un círculo que tiene igual área (A), que la cuenca y la longitud (Lc) de la misma. La relación de elongación que se obtuvo para la cuenca del río Caplina es de 0,65. El Factor de Forma es la relación entre el ancho medio y la longitud axial de la cuenca. La longitud axial de la cuenca se mide cuando sigue el curso de agua más largo desde la desembocadura hasta la cabecera más distante de la cuenca. El valor calculado para el factor de forma es de 0,27.

El drenaje de una cuenca está formado por un curso de agua principal y sus tributarios, y por lo general, cuanto más largo sea el curso de agua principal, más lleno de bifurcaciones será la red de drenaje. La densidad de drenaje (Dd) representa la longitud media de los cursos de agua por unidad de área. Esta característica proporciona una información más real, ya que se expresa como la longitud de las corrientes (L), por unidad de área (A). Los valores de drenaje van desde 0,5 km/km², para cuencas deficientemente drenadas, hasta 3,5 km/ km² para cuencas excepcionalmente drenadas. Para la cuenca del río Caplina es de 1,83 km/ km².

La pendiente de la cuenca es importante ya que es uno de los factores físicos que controlan el tiempo del flujo sobre el terreno y tiene influencia directa en la magnitud de las avenidas o crecidas. Para determinar la pendiente de la cuenca se ha utilizado un desnivel de 200 m entre curvas de nivel, la longitud de cada una de las curvas de nivel desde los 0 msnm hasta los 5 400 msnm y el área de la cuenca.

Se ha calculado que la pendiente de la cuenca en la zona del piso de valle es de 3 %, estas varían entre las cotas 0 y 1 000 msnm. En la parte alta de la cuenca, la pendiente es de 32 % y varían entre las cotas 1 200 y 5 400 msnm. La pendiente promedio de la cuenca del río Caplina es de 25,91 %. En la figura 7, se muestra la curva hipsométrica de la cuenca.

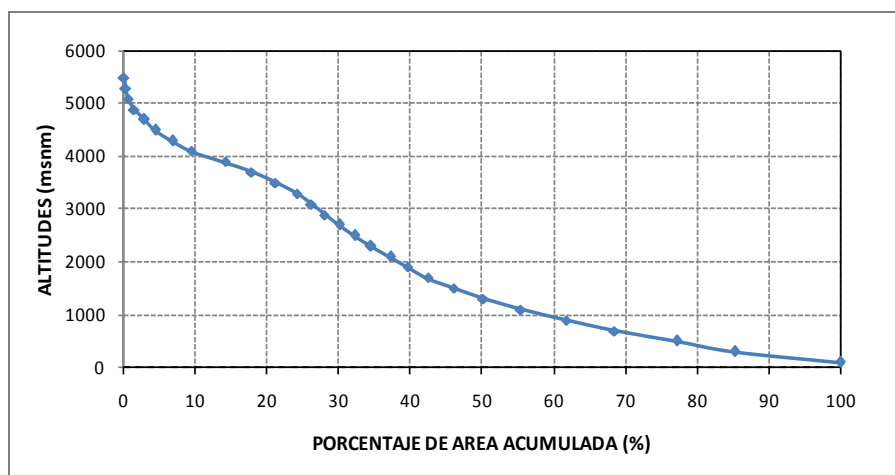


Figura 7: Curva Hipsométrica de la cuenca

Fuente: Pino, T.(2013). "Caracterización hidrogeomorfológica de la cuenca del río Caplina". Tesis, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna.

3.1.5 Hidrografía

La hidrografía del río Caplina se encuentra determinada por las nacientes del río Caplina (las cuales corresponden a la Vertiente del Pacífico); originadas en la divisoria de las aguas de las cuencas Sama y Uchusuma, que se desplazan predominantemente en dirección Nor-Este a Sur-Oeste.

El río Caplina nace en las alturas de los nevados Achacollo y Huancune con el nombre de quebrada Piscullani; posteriormente y a la altura de la confluencia con la quebrada Chupiquiña, a unos 16 km de su origen, toma el nombre de río Caplina.

Sus afluentes principales son, por la margen derecha, la quebrada Cotañane (160 km^2), y por la margen izquierda, la quebrada Palca (135 km^2) y el río Yungane o Uchusuma Bajo (505 km^2).

El régimen del río es torrentoso y muy irregular, con marcadas diferencia entre sus descargas extremas, siendo alimentados en el verano Austral por precipitaciones pluviales, período en el que se concentra el 75 % de las descargas, y el resto del año por deshielo de glaciales y/o la descarga de los acuíferos de agua subterránea.

La red hidrográfica perteneciente al río Caplina es controlada en los ríos Caplina y Uchusuma Bajo o Yungane por las Estaciones de aforo de Aguas Calientes y Piedras Blancas, respectivamente. En dichas Estaciones se miden las descargas de la cuenca colectora de aproximadamente 565 km^2 en el río Caplina y 215 km^2 en el río Uchusuma Bajo o Yungane; extensiones que incluyen 240 km^2 de la cuenca húmeda del río Caplina y 65 km^2 de la cuenca húmeda del río Uchusuma Bajo o Yungane, es decir, 62,2 % (305 km^2) de la cuenca húmeda total del río Caplina. Cabe mencionar que en la estación de aforos Piedras Blancas, además de los recursos propios de la cuenca del río Uchusuma Bajo o Yungane, se mide principalmente las aguas provenientes de la derivación del río Uchusuma (330 km^2) al río Uchusuma Bajo. Las características hidrográficas de la Cuenca Caplina se muestran en la tabla 2.

Tabla 2:

Características hidrográficas cuenca Caplina

Nombre del Río	Área de la Cuenca (km^2)			Longitud máxima (km)	Pendiente Promedio (%)
	Húmeda	Seca	Total		
1. Caplina	469	2 605	3 065	69	7,6
a. Caplina (hasta Aguas Calientes)	240	325	565	54	7,4
b. Qda. Cotañane	85	75	160	15	10,7
2. Qda. Palca	20	115	135	35	9,5
3. Uchusuma Bajo o Yungane	90	415	505	56	6,5
a. Uchusuma Bajo (hasta Chuschuco)	65	150	215	30	9,0

Fuente: Pino, T.(2013). "Caracterización hidrogeomorfológica de la cuenca del río Caplina". Tesis, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna.

3.1.6 Hidrología

La información hidrométrica muestra que los ríos Caplina y Uchusuma Bajo o Yungane, al igual que la mayoría de los ríos de la costa peruana, presentan características propias de torrente y existe gran diferencia entre las descargas extremas. El río Caplina presenta una descarga máxima controlada de 33,21 m³/s (febrero) y una mínima de 0,115 m³/s (marzo), cuya media anual promedio es 0,935 m³/s, aproximadamente, equivalente a una masa total anual de 29,19 Hm³. El río Uchusuma Bajo tiene una descarga máxima controlada de 11,06 m³/s (marzo) y una mínima de 0,00 m³/s (setiembre), cuya media anual promedio es 0,586 m³/s, que equivale a una masa total anual de 18,45 Hm³.

Las descargas promedio mensuales (calculadas con 75% de probabilidades de ocurrencia) tienen un valor de 0,602 m³/s, que equivalen a un volumen total anual de 18,94 Hm³; y en el río Bajo Uchusuma el valor es 0,389 m³/s, que equivale a un volumen medio anual de 12,26 Hm³.

El análisis efectuado ha permitido apreciar que en el río Caplina las descargas se concentran durante los meses de enero a marzo; presentándose un período de escasez, aunque no extrema, en los meses de agosto a noviembre.

El rendimiento medio anual de la cuenca húmeda del río Caplina (hasta la estación de aforos de Aguas Calientes) ha sido estimado en 1,71 l/s por mk^2 ; en el río Uchusuma Bajo o Yungane no ha sido estimado este parámetro, porque las descargas controladas son resultantes de derivaciones de cuencas aledañas, cuyo escurrimiento está limitado a la capacidad de los canales de derivación.

La región Tacna, y en especial la cuenca Caplina, han sido catalogadas como una cuenca deficitaria en recursos hídricos, por lo que desde tiempos lejanos se han venido ejecutando proyectos de trasvase y afianzamiento de recursos hídricos en dichas cuenca.

Resulta conveniente comparar la disponibilidad de recursos hídricos superficiales de esta región del país con los de la Costa Central y Norte del País, la magnitud de descargas es totalmente diferencia en función a las característica topográfica, climatológicas, etc. En la figura 8 se puede apreciar tal variabilidad.

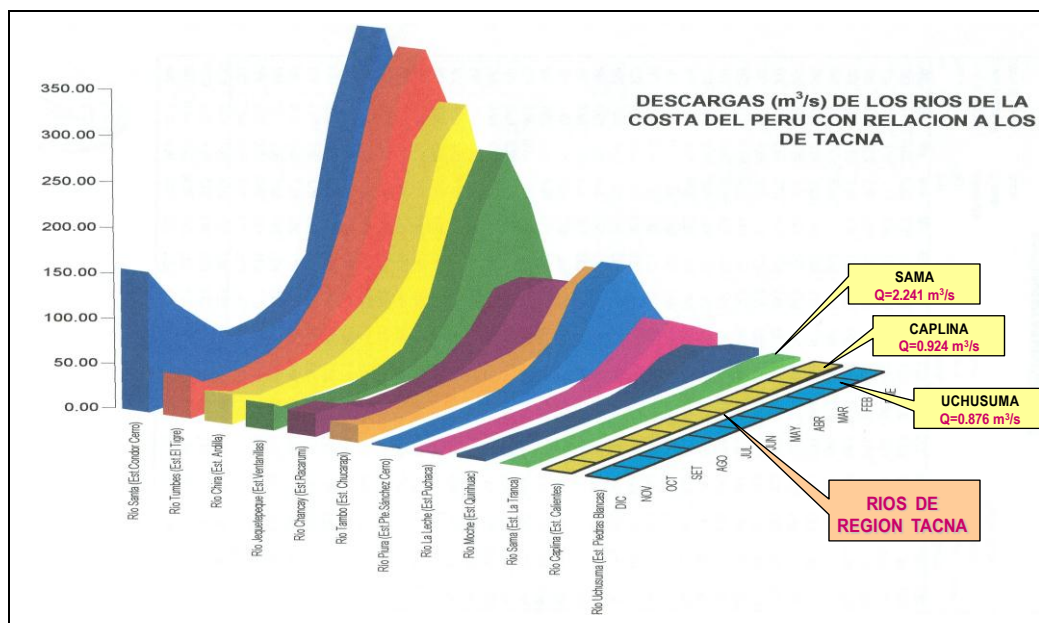


Figura 8: Gráfico comparativo de descargas de los ríos de la costa peruana

Fuente: Pino, T.(2013). “Caracterización hidrogeomorfológica de la cuenca del río Caplina”. Tesis, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna.

A pesar que los ríos de la costa sur del país son bajos en descargas medias, existe siempre la posibilidad latente de presentarse avenidas en períodos de verano que provocan desbordes e inundaciones, que es tratado en el presente trabajo de tesis.

3.1.7 Calidad de agua

El régimen hidrológico muy irregular que presenta el río Caplina ha originado que el 100 % de sus aguas sean captadas aguas arriba de la localidad de Calientes y llevadas a través de los sistemas de conducción

hacia la planta de tratamiento de agua potable, así como a los sistemas de riego. Las características hidrográficas propias de esta cuenca influyen sobre la calidad del agua. El río Caplina tiene una longitud de 115 km desde las nacientes hasta la desembocadura en el mar; nace en los nevados de Achacollo y Huancune y de las precipitaciones que caen en las laderas occidentales de la Cordillera de los Andes. Asimismo, es afianzado con aguas del Uchusuma y de los Pozos El Ayro.

No obstante lo descrito, es necesario dejar claramente establecido, que la calidad de las aguas del Caplina podría deteriorarse hasta niveles muy críticos, considerando el esquema de desarrollo hidráulico basado en el aprovechamiento de las aguas del río Maure, el cual se encuentra altamente contaminado con Arsénico. En la tabla 3, se muestra los parámetros que definen la calidad del agua del río Caplina.

Tabla 3:
Calidad de agua del río Caplina

PARÁMETROS	--	A. Calientes	LMP-Ley de Aguas				OMS (a)
			I	II	III	IV	
PARAMETROS ORGANOLEPTICOS Y FISICOQUÍMICOS							
Temperatura (° C)	--	17,00	-	-	-	-	-
PH	--	4,7	-	-	-	-	-
Oxígeno Disuelto (ppm)	--	5,4	-	-	-	-	-
Sólidos Totales Disueltos	--	--	-	-	-	-	1200
Sólidos Totales Suspendidos (mg/l)	--	--	-	-	-	-	-
Sólidos Suspendidos (ppm)	--	188	-	-	-	-	-
Turbidez (Unid. Formazina)	--	120	-	-	-	-	5
Alcalinidad Total (mg)	--	0,0	-	-	-	-	-
Dureza Total (mg CaCO ₃)	--	444,72	-	-	-	-	500
Dureza Calcica (mg CaCO ₃ /l)	--	338,50	-	-	-	-	-
Cloruros (mg Cl - / l)	--	305,93	-	-	-	-	250
Sulfatos (SO ₄ -/l)	--	318,72	-	-	-	400	250
Aluminio (mg/l)	--	--	-	-	-	-	0,2
Magnesio (mg/l) a	--	--	-	-	-	150	30-150
PARÁMETROS PARA SUSTANCIAS NO DESEABLES							
Demanda Bioquímica de Oxígeno (ppm)	--	0,00	-	-	-	-	-
Nitratos (mg NO ₃ / l)	--	0,00	0,01	0,01	0,10	-	10
Amonio (mg/l)	--	0,65	--	--	--	--	--
Fosfatos (mg/l)	--	0,9	--	--	--	--	--
Cobre (mg/l)*	--	0,00	1,00	1,00	0,50	3,00	1,0
Hierro (mg/l)	--	0,00	0,30	0,30	1,00	-	0,3
Zinc (mg/l)	--	5,00	5	5	25	-	5,00
Cianuro (ug CN/l)* b	--	--	0,02	0,02	1	-	100
PARÁMETROS PARA SUSTANCIAS TOXICAS							
Arsénico (mg/l)*	--	0,070	0,01	0,10	0,20	1,00	0,05
Cadmio (mg/l)*	--	0,04	-	0,01	0,05	-	0,005
Calcio (mg/l)	--	135,40	0,05	-	-	-	75-200
Cromo hexavalente (mg/l)*	--	0,07	0,05	0,05	1,00	5,00	0,05
Mercurio (mg/l)*	--	--	0,002	0,00 2	0,01	-	0,001
Plomo (mg/l)*	--	--	0,05	0,05	0,10	-	0,05
Selenio (mg/l)*	--	--	-	-	-	-	0,01

Fuente: Intituto Nacional De Recursos Naturales-INRENA (Nov. 1983)

Fuente: Instituto Nacional de Recursos Naturales – INRENA (Nov. 1983), * = metales pesados potencialmente peligrosos. I. Agua Potable Aguas de abastecimiento domestico con simple desinfección. II. Aguas de abastecimiento domestico con tratamiento equivalente a procesos combinados de mezcla y coagulación, sedimentos. III. Aguas para riego

de vegetales de consumo crudo y bebida de animales. IV. Aguas de Zonas de Recreación de contacto primario (baños y similares). V. Aguas de Zonas de Pesca de Mariscos Bivalvos. VI. Agua de Zona de Preservación de fauna acuática y pesca recreativa. (a) = Agua Potable

Tabla 4:
Clasificación del agua según uso actual y potencial del río Caplina

Parámetros	Usos					Criterio	Observac.
	Consumo humano	Agricultura	Industria	Piscicultura	Recreación		
Físicos	Mala	Buena	Mala	Regular	Buena	LA-OMS	
Químicos	Mala	Mala	Mala	Regular	Buena	LA-OMS	
Metales pesados	Mala	Mala	Mala	Regular	Buena	LA-OMS	
Plaguicidas	.-	.-	.-	.-	.-	LA-OMS	No existe información
Salinidad predominante	Buena	Buena (C3S1)	Buena	Buena	Buena	RAS	

Fuente: ATA-INADE, Físicos: (buena) = no existe indicadores limitantes en la LA. No excede los LMA de la OMS. (regular)= excede ligeramente los LMP de la Ley de Agua y de la OMS, pH ácido. (mala)= excede grandemente los LMP de la Ley de Aguas y la OMS.

Aunque el mayor uso sea en la agricultura, se ha visto por conveniente incorporar una clasificación cualitativa subjetiva; notándose que para uso industrial ha sido categorizada como mala debido a la dureza total la cual es alta; para fines piscícolas no es adecuada por la elevada turbidez y sólidos totales disueltos. Según la tabla 4.

3.2 IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA

3.2.1 Información disponible

En la región Tacna y en especial sus cuencas cuentan con una serie de estaciones hidrometeorológicas, las mismas que presentan registros históricos de diferente longitud. En el Anexo No. 1, se muestran el listado de las estaciones hidrometeorológicas de la zona de estudio.

3.2.2 Estaciones de hidrometeorológicas

Para poder cuantificar los recursos hídricos superficiales en la cuenca Caplina, se debe identificar las estaciones hidrométricas de descargas y otros datos. Esta información es muy importante para poder utilizar alguna metodología que nos permita determinar la disponibilidad hídrica en el punto de aforo a un determinado nivel de persistencia. En el caso de la Cuenca Caplina, en la tabla 5, se tiene las estaciones existentes y algunas características importantes de dicha estación.

Tabla 5:

Estaciones Hidrometeorológicas Cuenca Caplina

NÚMERO	CUENCA	VARIABLE HIDROLÓGICA	CODIGO	ESTACIÓN	NORTE	ESTE	ALTITUD	PERIODO DE REGISTRO	FUENTE
133	CAPLINA	PRECIPITACION TOTAL	19121100	CALANA	8017500	375800	848	1964 - 2006	SENAMHI - TACNA
134	CAPLINA	PRECIPITACION TOTAL	19121101	LA YARADA	7984800	353000	58	1972 - 2006	SENAMHI - TACNA
135	CAPLINA	PRECIPITACION TOTAL	19121102	MAGOLLO	8002000	356000	288	1964 - 2002	SENAMHI - TACNA
136	CAPLINA	PRECIPITACION TOTAL	19121103	CALIENTES	8022950	381850	1325	1964 - 2006	SENAMHI - TACNA
137	CAPLINA	PRECIPITACION TOTAL	19121104	PALCA	8034800	398400	3142	1965 - 2006	SENAMHI - TACNA
138	CAPLINA	PRECIPITACION TOTAL	19121105	TOQUELA	8048500	402000	3650	1964 - 2010	SENAMHI - TACNA
139	CAPLINA	PRECIPITACION TOTAL	19121106	LLUTA	8026850	391300	1950	1964 - 1966	SENAMHI - TACNA
140	CAPLINA	PRECIPITACION TOTAL	19121107	CORPAC	8003906	364758	875	1950 - 1972	CORPACT
141	CAPLINA	PRECIPITACION TOTAL	19121108	JORGE BASADRE	8006400	367400	560	1993 - 2006	SENAMHI - TACNA
142	CAPLINA	DESCARGAS MEDIAS	19121113	CALIENTES	8022950	381850	1300	1939 - 2010	DRAGT
143	CAPLINA	DESCARGAS MAXIMAS	19121123	CALIENTES	8022950	381850	1300	1959 - 2010	DRAGT
144	CAPLINA	DESCARGAS MINIMAS	19121133	CALIENTES	8022950	381850	1300	1959 - 2010	DRAGT
145	CAPLINA	EVAPORACION TOTAL	19121140B	PIEDRAS BLANCAS				2000 - 2010	PET
146	CAPLINA	EVAPORACION TOTAL	19121140	CALANA	8017500	375800	875	1964 - 2006	SENAMHI - TACNA
147	CAPLINA	EVAPORACION TOTAL	19121148	JORGE BASADRE	8006400	367400	560	1993 - 2006	SENAMHI - TACNA
148	CAPLINA	EVAPORACION TOTAL	19121142	MAGOLLO	8002000	356000	288	1995 - 2002	SENAMHI - TACNA
149	CAPLINA	EVAPORACION TOTAL	19121141	LA YARADA	7984800	353000	58	1972 - 2006	SENAMHI - TACNA
150	CAPLINA	TEMPERATURA MEDIA	19121151	LA YARADA	7984800	353000	58	1972 - 2006	SENAMHI - TACNA
151	CAPLINA	TEMPERATURA MEDIA	19121158	JORGE BASADRE	8006400	367400	560	1993 - 2006	SENAMHI - TACNA
152	CAPLINA	TEMPERATURA MEDIA	19121150	CALANA	8017500	375800	848	1964 - 2006	SENAMHI - TACNA
153	CAPLINA	TEMPERATURA MEDIA	19121157	CORPAC	8003906	364758	468	1950 - 1972	CORPACT
154	CAPLINA	TEMPERATURA MAXIMA	19121163	CALIENTES	8022278	378970	1300	1996 - 2006	SENAMHI - TACNA
155	CAPLINA	TEMPERATURA MAXIMA	19121160	CALANA	8017500	375800	848	1964 - 2006	SENAMHI - TACNA
156	CAPLINA	TEMPERATURA MAXIMA	19121162	MAGOLLO	8002000	356000	288	1995 - 2002	SENAMHI - TACNA
157	CAPLINA	TEMPERATURA MAXIMA	19121161	LA YARADA	7984800	353000	58	1972 - 2006	SENAMHI - TACNA
158	CAPLINA	TEMPERATURA MAXIMA	19121167	CORPAC	8003906	364758	848	1950 - 1972	CORPACT
159	CAPLINA	TEMPERATURA MINIMA	19121171	LA YARADA	7984800	353000	58	1972 - 2006	SENAMHI - TACNA
160	CAPLINA	TEMPERATURA MINIMA	19121178	JORGE BASADRE	8006404	367520	560	1993 - 2006	SENAMHI - TACNA
161	CAPLINA	TEMPERATURA MINIMA	19121170	CALANA	8017500	375800	848	1964 - 2006	SENAMHI - TACNA
162	CAPLINA	TEMPERATURA MINIMA	19121172	MAGOLLO	8002000	356000	288	1995 - 2002	SENAMHI - TACNA
163	CAPLINA	TEMPERATURA MINIMA	19121177	CORPAC	8003906	364758	468	1950 - 1972	CORPACT
164	CAPLINA	TEMPERATURA MINIMA	19121173	CALIENTES	8022950	381850	1300	1996 - 2006	SENAMHI - TACNA
165	CAPLINA	HUMEDAD RELATIVA	19121181	LA YARADA	7984800	353000	58	1972 - 2006	SENAMHI - TACNA
166	CAPLINA	HUMEDAD RELATIVA	19121182	MAGOLLO	8002000	356000	288	1995 - 2002	SENAMHI - TACNA
167	CAPLINA	HUMEDAD RELATIVA	19121188	JORGE BASADRE	8006404	367520	560	1993 - 2006	SENAMHI - TACNA
168	CAPLINA	HUMEDAD RELATIVA	19121180	CALANA	8017500	375800	848	1964 - 2006	SENAMHI - TACNA
169	CAPLINA	HUMEDAD RELATIVA	19121183	CALIENTES	8017500	375800	1325	1996 - 2006	SENAMHI - TACNA
170	CAPLINA	VELOCIDAD DEL VIENTO	19121191	LA YARADA	7984800	353000	58	1972 - 2006	SENAMHI - TACNA
171	CAPLINA	VELOCIDAD DEL VIENTO	19121198	JORGE BASADRE	8006404	367520	560	1993 - 2006	SENAMHI - TACNA
172	CAPLINA	VELOCIDAD DEL VIENTO	19121190	CALANA	8017500	375800	848	1980 - 2006	SENAMHI - TACNA
173	CAPLINA	PRESION ATMOSFERICA	19121328	JORGE BASADRE	8006404	367520	560	1993 - 2006	SENAMHI - TACNA
174	CAPLINA	PRESION ATMOSFERICA	19121320	CALANA	8017500	375800	848	1964 - 2006	SENAMHI - TACNA
175	CAPLINA	HELIOFANIA MENSUAL	19121381	LA YARADA	7984800	353000	58	1972 - 1995	SENAMHI - TACNA
176	CAPLINA	HELIOFANIA MENSUAL	19121388	JORGE BASADRE	8006404	367520	560	1993 - 2006	SENAMHI - TACNA
177	CAPLINA	HELIOFANIA MENSUAL	19121380	CALANA	8017500	375800	848	1968 - 2006	SENAMHI - TACNA

Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Análisis estadístico

3.2.3.1 Análisis de consistencia

El análisis de homogeneidad o consistencia permite detectar, corregir y eliminar errores sistemáticos y aleatorios que se presentan en series hidrometeorológicas. Dicho análisis fue realizado en las componentes determinísticas transitorias de la serie que son representadas por los saltos que se pueden generar en las series históricas.

3.2.3.2 Análisis de saltos

El análisis de saltos consistió en analizar visualmente la distribución temporal de toda la información hidrometeorológica original disponible de cada una de las estaciones involucradas en la zona de estudio, para lo cual se graficó en coordenadas cartesianas, en cuyos ejes se representan en las ordenadas el valor de la información (caudales, precipitación y evaporación) y en las abscisas el tiempo (meses).

Este análisis permitió conocer una primera aproximación de la consistencia de la información y separar los periodos dudosos, para su posterior análisis de doble masa y análisis estadístico.

El Análisis de doble masa se utilizó para la determinación de la consistencia de la información en lo relacionado a errores que pudiesen haberse producido en la obtención de los mismos.

El análisis de doble masa de la información hidrometeorológica se efectuó para periodos comunes de información, tal como se describe a continuación:

El periodo de información histórica de caudales promedios mensuales en la estación hidrométrica es:

- Periodo enero 1939 a diciembre 2015: Estación Bocatoma Calientes.

Los periodos comunes de información histórica de precipitación total mensual por estaciones pluviométricas fueron las siguientes:

- Periodo enero 1964 a diciembre 2004: Estación Calana.
- Periodo enero 1972 a diciembre 2006: Estación La Yarada.
- Periodo enero 1964 a diciembre 2002: Estación Magollo.
- Periodo enero 1964 a diciembre 2014: Estación Calientes.
- Periodo enero 1965 a diciembre 2014: Estación Palca.
- Periodo enero 1964 a diciembre 2014: Estación Toquela.

3.2.3.3 Análisis de ajuste

El análisis se realizó mediante la aplicación de pruebas estadísticas de consistencia u homogeneidad del valor medio y de la desviación estándar.

Para probar la consistencia del valor medio se utilizó la prueba T (Student) y de manera similar para probar la consistencia de la desviación estándar se utilizó la prueba F (Fisher).

Para esta labor se buscará el apoyo del programa HIDRODRAT v 1.3, desarrollado por Pino E. (2007) programa especializado para el tratamiento y análisis estadísticos de datos hidrometeorológicos, desarrollado en MATLAB entorno gráfico GUIDE totalmente amigable en el que se puede importar la data en formato xls o dat.

En la figura 9 se muestra la pantalla principal de dicho programa y en esta se muestran los módulos que contiene, de los cuales solo se utilizó del módulo 1 al 4 para cumplir con los objetivos trazados en el presente trabajo.

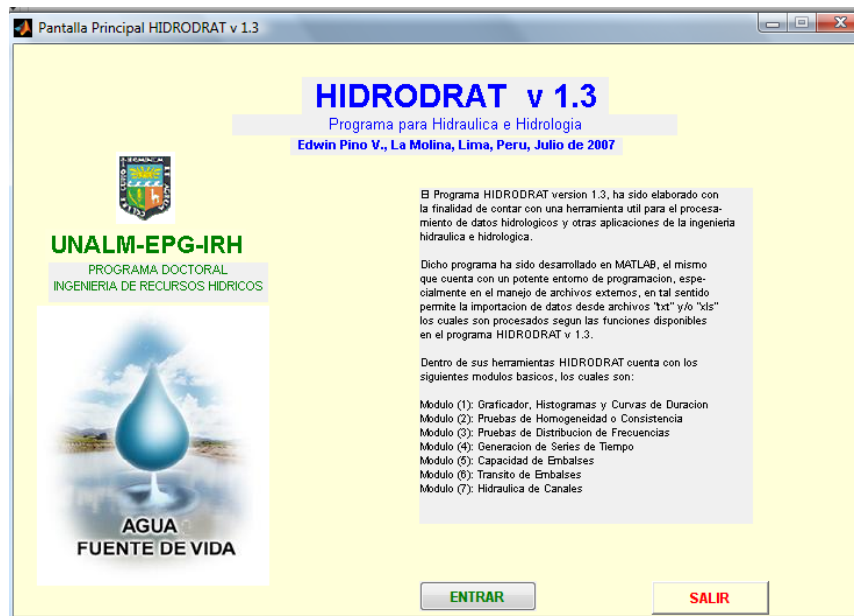


Figura 9: Pantalla principal HIDRODRAT

Fuente: El programa HIDRODRAT elaborado E. Pino (1997)

En la figura 10 se muestra el histograma de descargas registrado en la estación Bocatoma Calientes, se debe poner de manifiesto que luego de ensayar pruebas estadísticas a los datos se puede reportar que la data es consistente.

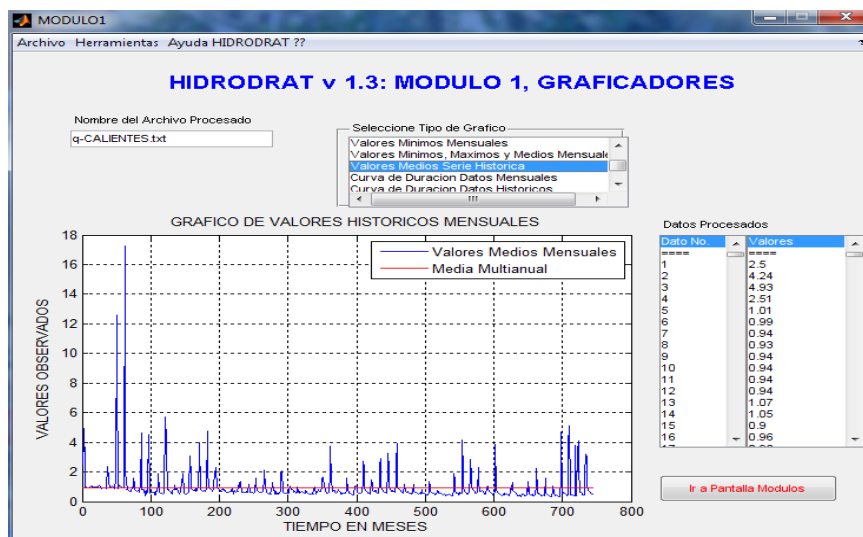


Figura 10: Histograma de descargas estación Bocatomá Calientes

Fuente: Elaboración propia

El programa HIDRODRAT elaborado E. Pino (1997), es muy versátil, permite efectuar un análisis bastante rápido de los datos hidrometeorológicos, permitiendo importar la data desde archivos Excel, que es la forma frecuente en la que se encuentra los datos de las estaciones en el ámbito nacional.

Por otro lado, tiene herramientas muy potentes para efectuar pruebas estadísticas tipo paramétricas y no paramétricas para verificar consistencia de los datos y también nos permite realizar el análisis de frecuencias hidrológicas que es muy útil en los estudios de esta naturaleza.

Como ejemplo, en la figura 11 se muestra la salida de una prueba de consistencia aplicada a los datos de descargas en la estación Bocatoma Calientes.

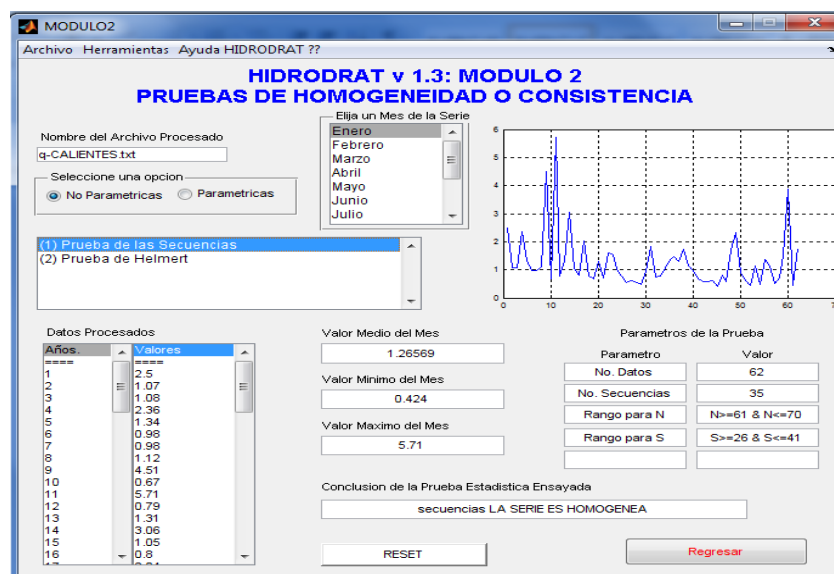


Figura 11: Prueba de consistencia no paramétrica estación Bocatoma Calientes

Fuente: Elaboración propia

En la figura 12, se muestra un ensayo de prueba de frecuencias hidrológicas, mostrando el ajuste de las descargas de la estación Bocatoma Calientes a una distribución Normal. En la figura 13 se muestra un ensayo de prueba de frecuencias hidrológicas, para un ajuste de las descargas de la estación Bocatoma Calientes a una distribución Gumbel.

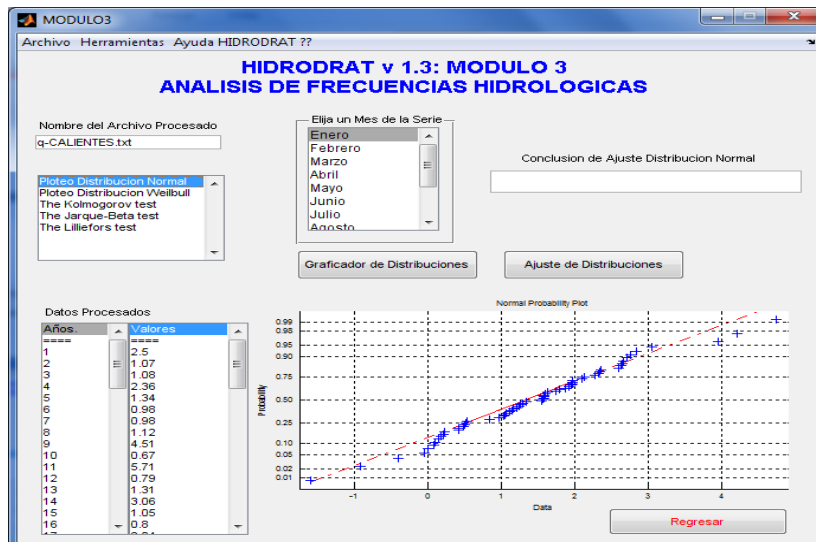


Figura 12: Ajuste de las descargas Bocatoma Calientes a una distribución Normal

Fuente: Elaboración propia

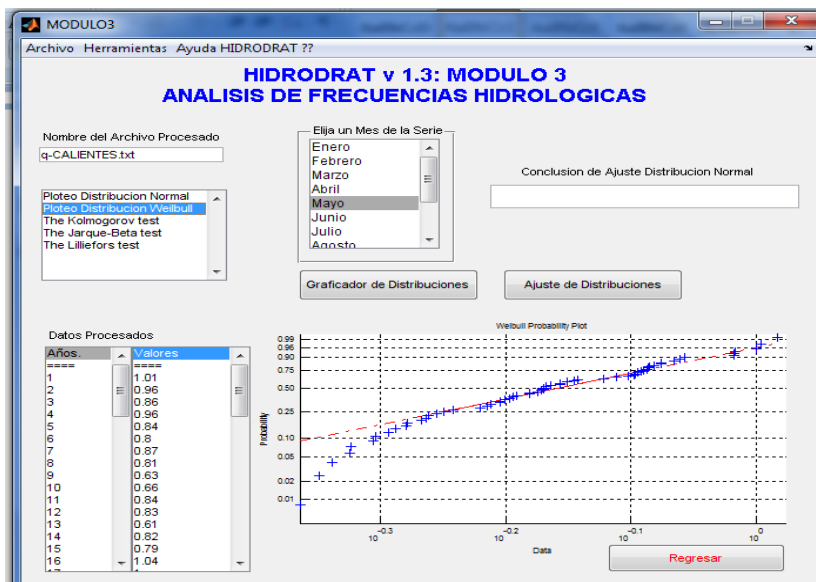


Figura 13: Ajuste de las descargas Bocatoma Calientes a una distribución Gumbel

Fuente: Elaboración propia

En la figura 14 se puede observar los valores de las descargas medias mensuales en la estación Bocatoma Calientes, la cual es la estación principal y a la vez la más representativa de la cuenca, registra la producción de agua de la cuenca desde el año 1939.

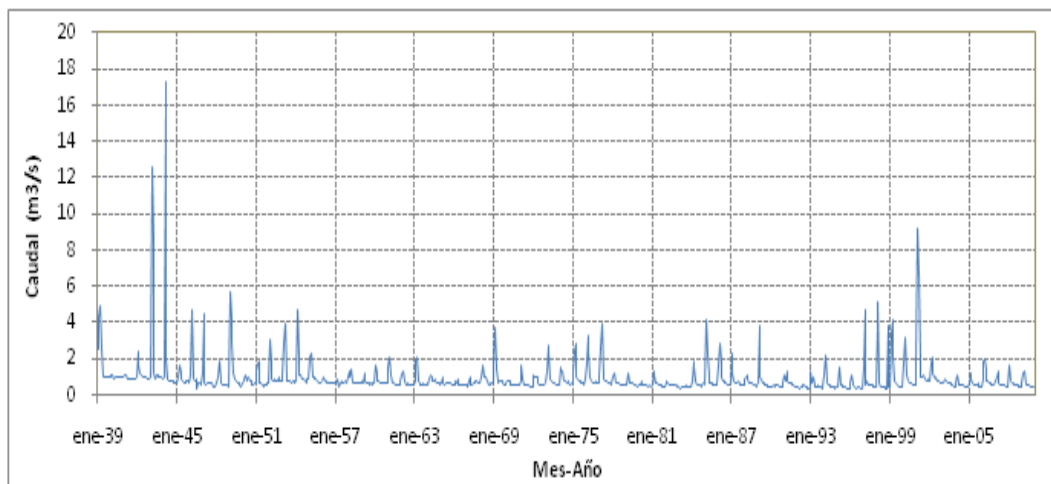


Figura 14: Histograma de caudales medios históricos de la estación Bocatoma Calientes

Fuente: Elaboración propia

En la figura 15 se muestra el Histograma de evaporación mensual Estación Calana.

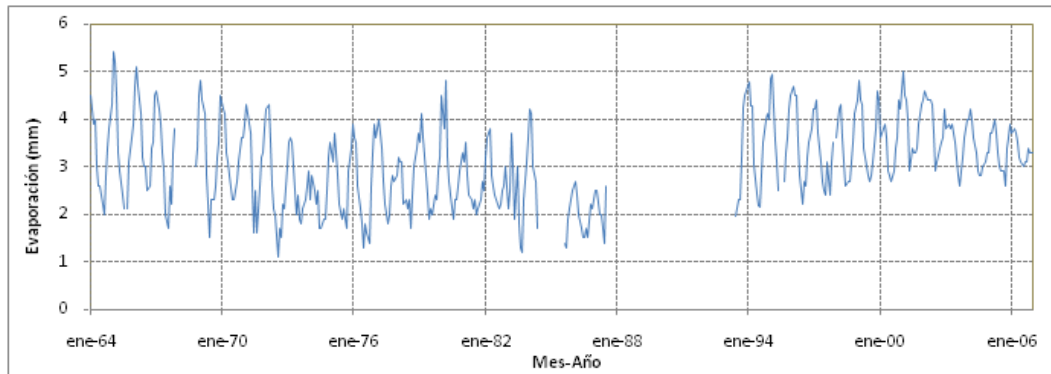


Figura 15: Histograma de evaporación mensual Estación Calana

Fuente: Elaboración propia

En la figura 16 se puede observar el Histograma de evaporación mensual Estación La Yarada.

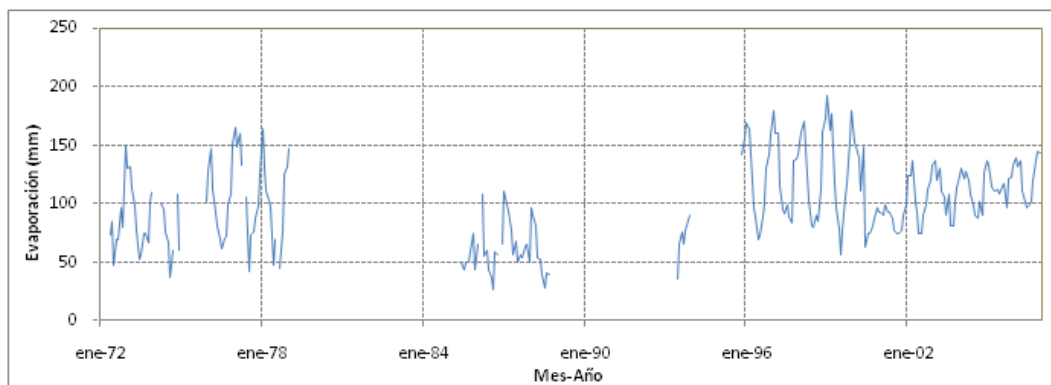


Figura 16: Histograma de evaporación mensual Estación La Yarada

Fuente: Elaboración propia

Asimismo en la figura 17 se muestra Histograma de precipitación total mensual Estación Bocatoma Calientes, en la figura 18 en la estación Calana y en la figura 19 la estación Palca.

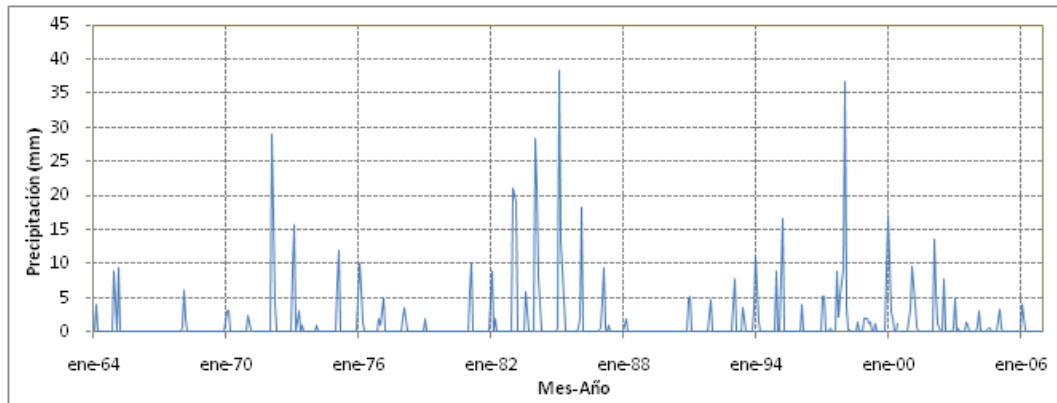


Figura 17: Histograma de evaporación mensual Estación Bocatoma Calientes

Fuente: Elaboración propia

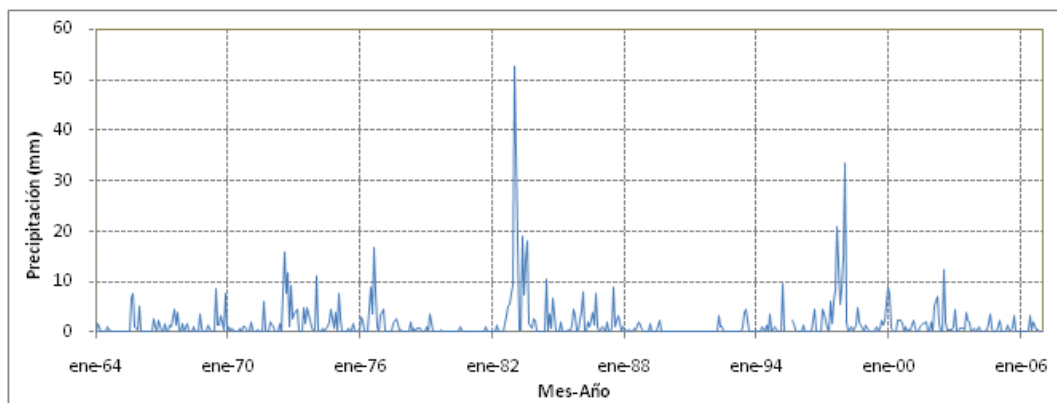


Figura 18: Precipitación total mensual Estación Calana

Fuente: Elaboración propia

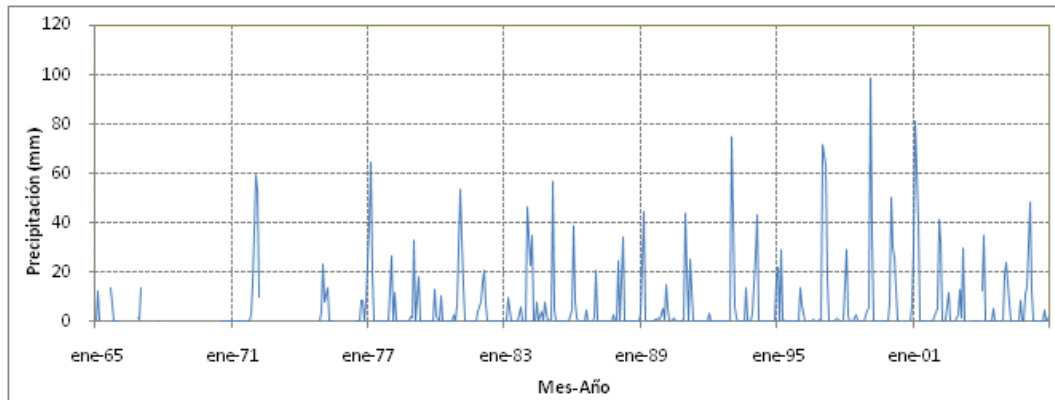


Figura 19: Precipitación total mensual Estación Palca

Fuente: Elaboración propia

3.2.4 Análisis de doble masa

El análisis de doble masa es una técnica muy versátil para facilitar el proceso de verificación de la consistencia de los datos hidrometeorológicos utilizados en un estudio hidrológico. De esta manera en la figura 20 se puede observar la curva doble masa para la precipitación total mensual en la estación bocatoma Calientes.

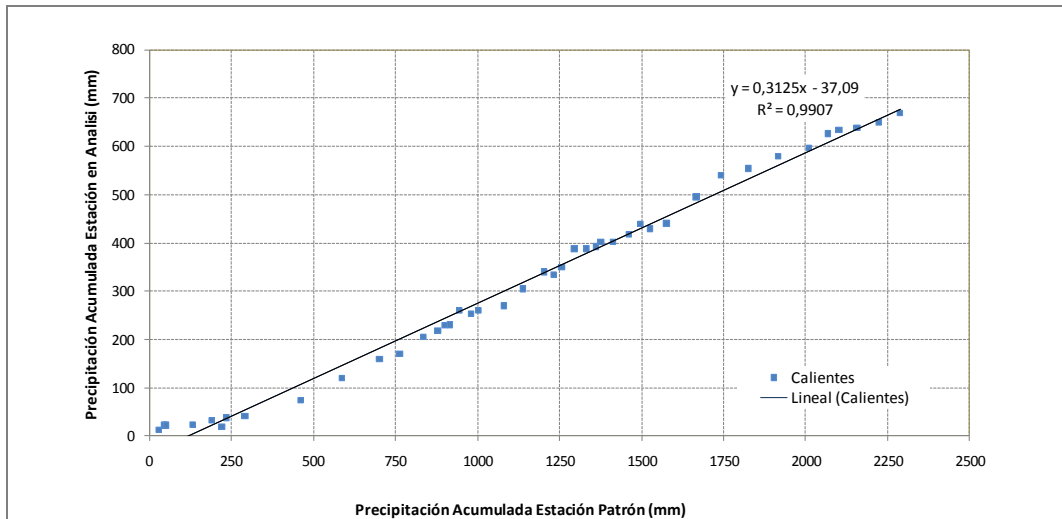


Figura 20: Curva doble masa precipitación total mensual – Estación Calientes

Fuente: Elaboración propia

De la misma forma, se procedió con las demás variables hidrometeorológicas y estaciones en el ámbito de estudio de la cuenca Caplina. En la figura 21 se observa la curva doble masa para precipitación total mensual en la estación Palca.

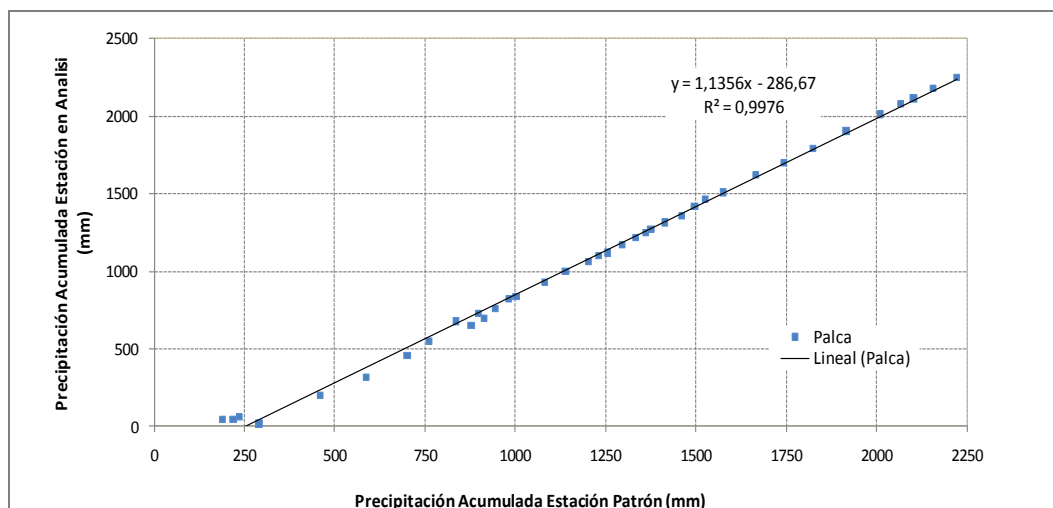


Figura 21: Curva doble masa precipitación total mensual – Estación Palca

Fuente: Elaboración

3.3 MODELO DE SIMULACIÓN HIDROLÓGICA

3.3.1 Antecedentes

Vélez Upegui, J.I. (2013) presenta una estrategia de simulación hidrológica distribuida, a la escala de la cuenca y donde se hace una integración conceptual de elementos de topografía, la hidrología y la geomorfología. Se describe el modelo conceptual de almacenamiento y flujos y la forma como se integran sus parámetros.

En la hidrología se tienen grandes problemas de observabilidad, por la gran extensión, por la variabilidad espacial y temporal de las distintas variables de interés, por las dificultades de acceso a los sitios de interés

para la observación y por la interferencia que puede hacer la instrumentación en lo que se quiere medir. Esto hace que el avance en el conocimiento en la hidrología sea lento e involucre gran incertidumbre.

La simulación se considera como un tercer pilar en la construcción del conocimiento, complementa y muchas veces articula a los otros dos, que son la teoría y la experimentación, y juega un papel relevante en el conocimiento de la complejidad (Wagenberg, 1985). Para la simulación se construye o configura un modelo conceptual que representa la realidad de lo que se quiere simular, y el modelo en sí mismo constituye una estructura donde se articulan conceptos, a manera de hipótesis.

Desde los aspectos metodológicos se ha fundamentado la evaluación de la modelación hidrológica, (Dooge, 1986; Beven, 1987; Kuczera et al., 1993) en la teoría de refutación de Popper (1959). En los modelos hidrológicos hay algunas hipótesis que no son factibles de verificar y sólo es posible, si éste es el caso, refutar. Cuando no se encuentra coherencia entre los resultados del modelo conceptual y lo resultante de la observación o medición se considera que el modelo conceptual no es adecuado y se encuentra elementos para refutar algunas hipótesis. Se procede entonces a ajustar el modelo sustituyendo las hipótesis que han sido refutadas.

La simulación se presenta así como estrategia importante para la hidrología, no solo para producir resultados de interés para la toma de decisiones acerca de la ocupación del territorio y del aprovechamiento de sus recursos naturales, sino también para la generación de conocimiento mediante la construcción de modelos conceptuales coherentes a las escalas de interés.

A lo largo de la historia, y en la medida que la hidrología se ha ido consolidando como ciencia, se ha ido construyendo conocimiento con participación de modelos para la simulación. En hidrología es de gran importancia el manejo de las escalas y es claro que en las distintas escalas espacio-temporales no todos los procesos son igualmente determinantes, ni todas las variables son significativas. Los modelos conceptuales se enfocan a la representación en la escala adecuada de los procesos físicos determinantes de la variable que se quiere analizar. Ellos son estructuras donde se articulan almacenamientos y flujos. En los almacenamientos se hace el balance del agua de acuerdo al principio de conservación de masa y los flujos se representan mediante relaciones empíricas en función de los almacenamientos y/o de otras variables, teniendo parámetros que se pueden relacionar con las características del medio.

En sus orígenes, los modelos conceptuales consideraban la cuenca como una sola unidad espacial y para su representación, independientemente de su variabilidad espacial, cada una de sus características se agregaba en un único valor para toda la cuenca. Igualmente, se consideraba que en cada intervalo de tiempo la precipitación se distribuía de modo uniforme sobre toda la cuenca. Posteriormente, para considerar la variabilidad espacial de las características del suelo y su cobertura, se han ido desarrollando modelos que articulan espacialmente varios elementos denominados unidades de respuestas hidrológicas que representan porciones de la cuenca con características homogéneas.

Los avances en la tecnología de adquisición de información, mediante sensores remotos, han permitido obtener mejor información acerca de la heterogeneidad espacial en la cuenca y de la variabilidad espaciotemporal de algunas variables hidroclimáticas. Así, cada día se puede disponer de más información, de mejor calidad y de mejor resolución para parametrizar, alimentar y verificar los modelos conceptuales. Estos avances permiten recolectar, almacenar, procesar y asimilar cada día más información de campos espaciotemporales de variables hidroclimáticas, por lo que el incremento en la capacidad de obtener y manejar más información favorece de una manera notable la modelación distribuida.

3.3.2 EI HEC-HMS

El HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System) es un programa de simulación hidrológica tipo evento, lineal y semidistribuido, desarrollado para estimar las hidrógrafas de salida en una cuenca o varias subcuencas (caudales máximos y tiempos al pico) a partir de condiciones extremas de lluvias, aplicando para ello algunos de los métodos de cálculo de hietogramas de diseño, pérdidas por infiltración, flujo base y conversión en escorrentía directa que han alcanzado cierta popularidad en los Estados Unidos y por extensión en nuestro país. En la figura 22 se muestra la pantalla principal del programa.

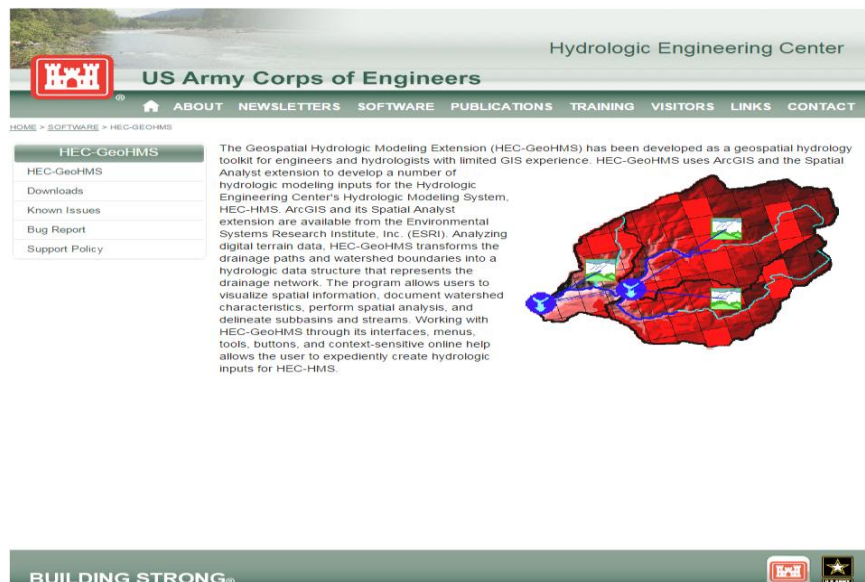


Figura 22: Pantalla oficial US Army Corps Of Engineers (HEC Geo HMS)

Fuente: Página Web de la US Army Corps of Engineers

El programa se deriva directamente del HEC-1, y conserva en esencia la misma filosofía de introducción de datos y secuencia de cálculos. El HMS incluye la mayor parte de las rutinas de HEC-1 (algunas parecen haber sido obviadas) e incorpora como elementos adicionales:

- Un método de transformación lineal de la escorrentía (basado en una modificación del hidrograma unitario de Clark) que puede utilizarse en una representación de la cuenca a través de celdas, con datos distribuidos de precipitación obtenidos por ejemplo de registros de radar (una opción tecnológica que no tiene aún aplicación en nuestro país).
- Una opción de pérdida distribuida de humedad en suelos que aplica el mismo principio de las celdas y puede utilizarse en simulaciones sobre períodos largos (de días o meses) y
- Una opción de optimización un poco más versátil que la del HEC-1.
- La versión es atractiva porque trabaja en un ambiente de ventanas mucho más agradable que en HEC-1 y porque permite visualizar los resultados de las simulaciones en forma gráfica, tabulada y más expedita para el usuario.

3.4 CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS

3.4.1 Descripción

HEC-GeoHMS es una barra de herramientas de dominio público desarrollada por el Cuerpo de Ingenieros de los EE.UU. en colaboración con ESRI y que funciona en Windows bajo el software ArcView 3.x de ESRI. Esta herramienta es una implementación de la tecnología SIG a la Ingeniería Hidrológica, es decir, proporciona la conexión para trasladar la información espacial a los modelos hidrológicos, tanto agregados como distribuidos. Lo que se pretende con el uso de HEC-GeoHMS es obtener las características físicas de una cuenca hidrográfica para luego estimar los parámetros hidrológicos, que serán los datos de entrada para HEC-HMS.

El esquema de trabajo en HEC-GeoHMS es el siguiente:

- Preprocesado del terreno
- Extracción de la cuenca de estudio
- Procesado de la cuenca
- Obtención de las características de cauces y subcuencas
- Estimación de los parámetros hidrológicos
- Exportar datos a HEC-HMS

3.4.2 Algoritmo de cálculo

Todas las operaciones raster involucradas en la delineación de subcuencas están basadas en la premisa de que el agua fluye siguiendo la línea de máxima pendiente. En un MDE de estructura raster cada celda está rodeada 8 celdas, excepto las celdas que estén en el límite del modelo que estarán bordeadas por 3 o 5 celdas. De acuerdo con esto, el agua que haya en una celda puede fluir hacia una o más de estas 8 celdas adyacentes según las pendientes. Este concepto es conocido como algoritmo de flujo en 8 direcciones. Existen diversas variantes de este algoritmo, pero la más simple, y la que usa HEC-GeoHMS permite que el agua que haya en una celda fluya únicamente a otra celda adyacente, siguiendo la línea de máxima pendiente. Con esta sencilla premisa se pueden obtener las líneas de flujo. Una línea de flujo puede definirse como el trayecto que, a partir de un punto inicial, sigue la línea de máxima pendiente. Por lo tanto, una línea de flujo es una simulación simple del proceso de escorrentía superficial que, en un MDE, sólo debería finalizar en los supuestos de alcanzar una concavidad, desembocar en el mar o llegar al borde del modelo. Otro concepto de interés es el de área subsidiaria, definida como el conjunto de elementos del MDE cuyas líneas de flujo convergen en un punto único. De esta forma, una cuenca hidrográfica puede ser definida como un área

subsidiaria en la que el punto que ejerce de sumidero tiene algunas características singulares. Un punto del modelo será sumidero cuando cumpla alguna de las siguientes condiciones:

- El punto sea el de menor altitud de una concavidad.
- El punto se encuentre al borde del modelo y todos sus vecinos drenen a él. En este caso se trata de una cuenca que no está completamente incluida en el modelo.
- El punto esté situado en la línea de costa y drene hacia el mar.

Partiendo de un punto del modelo, la línea de flujo se construye siguiendo la línea de máxima pendiente hasta llegar a un punto considerado como sumidero. El proceso de construcción de una línea de flujo a partir de un punto inicial es iterativo y consta de tres fases elementales:

- a) Se fija el punto inicial de la línea.
- b) Se calculan las pendientes hacia sus ocho vecinos más próximos.

Pueden darse tres casos:

- Todas las pendientes son negativas. Se trata de una concavidad. Fin de la línea.

- Todas las pendientes son negativas y el punto está en el borde del MDE. La cuenca continúa probablemente fuera de los límites del MDE. Fin de la línea.
 - Se localiza al menos un punto con pendiente positiva. Se elige el punto con la pendiente máxima.
- c) El punto elegido (el de pendiente máxima) se incorpora a la línea de flujo y se toma como base para volver al punto b.

3.4.3 Preprocesado del terreno

El preprocesado del terreno es el primer paso en el uso de HEC-GeoHMS. En este paso el MDE es usado como dato de entrada para obtener ocho archivos de datos adicionales, que conjuntamente describen los patrones de drenaje de la cuenca y permiten una primera delineación de los cauces y de las subcuencas. Los cinco primeros archivos están en formato raster y son los siguientes:

- Dirección de flujo.
- Acumulación de flujo.
- Definición de cauce.
- Segmentación de cauce.
- Delineación de subcuencas.

Los dos siguientes corresponden a la representación vectorial de las subcuencas y de los cauces respectivamente:

- Elaboración de las subcuencas.
- Elaboración de los tramos de cauce.

El último archivo es usado para mejorar el rendimiento de la posterior delineación de subcuencas en el procesado de cuenca:

3.4.4 Extracción de la cuenca de estudio

Una vez que ya se ha completado el preprocesado del terreno hay que extraer la cuenca hidrográfica de estudio. Para ello hay que definir el punto de drenaje de la cuenca. Esto se realiza con el menú “HMS Project Setup” en “MainView”.

En este paso se realizará el procesado hidrológico, consistente en el procesado de cuenca, la obtención de las características físicas de cauces y subcuencas, la estimación de los parámetros hidrológicos y la exportación de los datos a HEC-HMS.

3.4.5 Procesado de cuenca

Las herramientas de GeoHMS permiten combinar o dividir subcuencas de forma interactiva, así como delinear subcuencas a partir de un punto determinado.

- Basin Merge (Unión de Subcuencas)

Con esta herramienta se pueden unir varias subcuencas previamente seleccionadas. La unión se realiza de forma interactiva, permitiendo al usuario examinar el resultado y aceptar o cancelar la operación. Para que dos o más subcuencas puedan unirse deben tener un punto confluencia común o ser adyacentes en forma de aguas arriba hacia aguas abajo, es decir, que una subcuenca pueda verter en otra.

- Basin Subdivision (Subdivisión de Subcuencas)

Esta división se puede realizar de tres maneras:

- División de una subcuenca sobre un cauce existente
 - División de una subcuenca sin cauce existente
 - División de una subcuenca sobre un tributario.
- River Merge (Unión de Cauces)

Cuando dos o más subcuencas son unidas en una sola es necesario combinar los tramos de cauce de las subcuencas unidas para indicar que ahora pertenecen a una misma subcuenca.

- River Profile (Perfil del Cauce)

Proporciona información sobre la pendiente de un tramo de cauce seleccionado, que puede ser usada para la división de subcuencas. El perfil del cauce es creado mediante los valores de elevación extraídos del MDE a lo largo del cauce.

3.4.6 Características de cauces y subcuencas

HEC-GeoHMS permite la extracción de varias características físicas de los cauces y de las subcuencas. Estas características son almacenadas en tablas de atributos, que pueden ser exportadas a hojas de cálculo o a otros programas. A partir de las características físicas se obtendrán posteriormente los parámetros hidrológicos, que forman parte de los datos de conforman en modelo hidrológico.

La obtención se las características físicas se realiza en el menú “Basin Characteristics”. En las tablas 6 y 7 se recogen las características físicas más importantes, para los cauces y para las subcuencas, y el encabezado

asociado a cada una en la tabla de atributos. La capa donde se almacenan los datos de los cauces se llama “River.Shp” y la capa donde se almacenan los datos de las subcuencas se llama “WaterShd.Shp”.

Tabla 6:

Características físicas de los cauces. Capa “River.Shp”.

Característica física	Encabezado en tabla de atributos
Longitud	Riv_Length
Altitud del inicio del tramo	us_Elv
Altitud del final del tramo	ds_Elv
Pendiente del tramo	Slp_Endpt

Fuente: Tisnado (2013). En la tesis Modelamiento Hidrodinámico para determinar Zonas Vulnerables en el Cauce del Río Seco Zona Urbana – Tacna.

Tabla 7:

Características físicas de las subcuencas. Capa “WaterShd.Shp”.

Característica física	Encabezado en tabla de atributos
Área	Area
Máxima longitud de flujo	Longest_FL
Máxima altitud	USElv
Mínima altitud	DSElv
Pendiente de Longest_FL	Slp_EndPt

Fuente: Tisnado (2013). En la tesis Modelamiento Hidrodinámico para determinar Zonas Vulnerables en el Cauce del Río Seco Zona Urbana – Tacna.

3.4.7 Estimación de los parámetros hidrológicos

Cuando las características físicas de los cauces y de las subcuencas han sido extraídas hay que calcular los parámetros hidrológicos. Este cálculo se puede hacer de dos formas: mediante una hoja de cálculo o mediante el menú “Hydrologic Parameters” de HEC-GeoHMS. Este menú está preparado para utilizar los datos y las fórmulas americanas, por eso es más conveniente realizar el cálculo de los parámetros hidrológicos externamente con hoja de cálculo en lugar de utilizar este menú. Los parámetros hidrológicos a determinar son el tiempo de concentración de cada subcuenca y su Número de Curva.

3.4.8 Tiempo de concentración

El tiempo de concentración es el parámetro utilizado habitualmente para caracterizar la respuesta de una cuenca ante episodios aislados de lluvia. En la literatura existen diferentes definiciones de este concepto:

- Tiempo que tarda una gota de agua, situada en el punto más alejado (desde el punto de vista hidráulico) en alcanzar el punto de desagüe de la cuenca.
- Tiempo de equilibrio, al cabo del cual se estabiliza el caudal en el punto de desagüe de la cuenca, bajo precipitación uniforme.

- Tiempo transcurrido entre el final de la lluvia neta y el punto de inflexión de la curva de descenso del hidrograma correspondiente.

Ante la imposibilidad de obtener el tiempo de concentración de una cuenca a partir de datos específicos sobre caudales y precipitaciones hay que recurrir al empleo de fórmulas empíricas. Aunque son muchas las fórmulas que aparecen en la bibliografía, en este estudio sólo se comentan las dos más conocidas:

a) Fórmula de Kirpich

Esta fórmula fue calibrada con base a los datos registrados en siete cuencas rurales de Tennessee, en Estados Unidos. Su expresión en unidades métricas es la siguiente:

$$t_c = 0.0195 \frac{L^{0.77}}{J^{0.385}}$$

Donde; t_c : Tiempo de concentración en minutos. L: Longitud en metros. J: Pendiente en m/m.

b) Fórmula de Témez

En la publicación del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo “Cálculo Hidrometeorológico de Pequeñas Cuencas Naturales”, de 1978, J.R. Témez propuso una fórmula de cálculo del tiempo de concentración, de amplia difusión en España, y cuya expresión es:

$$t_c = 0,3 \cdot \left(\frac{L}{J^{0,25}} \right)^{0,76}$$

Donde; t_c : Tiempo de concentración, en horas. L: Longitud máxima del flujo en km. J: Pendiente del tramo en m/m.

Esta fórmula está basada en la establecida por el U.S. Corps of Engineers para el tiempo de demora, expresada en la forma siguiente:

$$t_g = 0,126 \cdot \left(\frac{L}{J^{0,25}} \right)^{0,76}$$

Siendo t_g el tiempo de demora en horas.

El tiempo de demora se puede definir como la diferencia existente entre el tiempo correspondiente al centro de gravedad del hietograma de precipitación neta y el correspondiente al centro de gravedad de hidrograma que produce. El análisis de la información recogida en varias cuencas americanas y españolas permitió

establecer una relación entre ambos tiempos del orden de 0,45, dando finalmente como resultado la fórmula de Témez.

3.4.9 Número de curva

El Número de Curva es un parámetro que sirve para estimar la infiltración del terreno. Depende del tipo de suelo, del uso y tratamiento del mismo, de su condición de humedad antecedente y de la pendiente. La infiltración estimada con el método del mismo nombre será descontada de la precipitación de cálculo para así obtener la precipitación neta o efectiva, estimándose a partir de ésta la escorrentía superficial.

3.5 MODELACIÓN HIDROLÓGICA

Para el presente trabajo se ha establecido como modelo de simulación semidistribuida el HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System), por las bondades que presenta, además de ser un modelo de uso libre.

Un proyecto de HEC-HMS está compuesto básicamente por cuatro bloques.

Los métodos de cálculo elegidos en este estudio son:

- Método del Número de Curva del Soil Conservation Service (SCS), ahora es el Natural Resources Conservation Service (NRCS), para las pérdidas por infiltración.
- Hidrograma Unitario del SCS para el proceso de transformación precipitación neta-escorrentía.
- Método de Muskingum-Cunge para los tránsitos en cauce.

Los aportes por flujo base no se consideran ya que en la zona de estudio no se dan. Tampoco se consideran las pérdidas por evapotranspiración, ya que la modelización de avenidas es un proceso de tipo evento, cuya duración es de unas pocas horas, o a lo sumo dos o tres días, siendo por tanto, despreciables las posibles pérdidas ocasionadas por la evapotranspiración en tan corto espacio de tiempo. Respecto al modelo meteorológico no se han usado los patrones de distribución de precipitación que lleva implementados el programa, sino que se han creado los hietogramas de precipitación externamente.

3.5.1 Modelo de cuenca

La representación física de la cuenca se realiza mediante el modelo de cuenca. El modelo de cuenca es construido mediante la conexión de una serie de elementos hidrológicos, de modo que formen una red que refleje el movimiento real del agua en la cuenca. El proceso de cálculo se

realiza desde los elementos situados aguas arriba hacia aguas abajo. La mayoría de los elementos hidrológicos requieren parámetros para que el programa pueda modelar el proceso hidrológico representado por el elemento. Los tres elementos fundamentales son: subcuenca, tramo de tránsito y confluencia.

- En el elemento subcuenca hay implementados varios modelos matemáticos para describir los tres procesos físicos que se producen en él, que son: pérdidas de precipitación por infiltración, transformación del exceso de precipitación en escorrentía a través de un cauce y hasta un único punto de salida y aportes de flujo base.
- En el elemento tramo de tránsito el proceso a modelizar es el movimiento de una onda a través de un cauce, que está sujeto a dos procesos: traslación y atenuación. La traslación es el movimiento hacia aguas abajo de la onda sin cambiar su forma. La atenuación cambia la forma del hidrograma reduciendo su pico y extendiendo el tiempo base a medida que la onda se desplaza.
- Una confluencia lo que hace es sumar dos o más caudales entrantes para dar un único caudal de salida, sin atenuación ni traslación.

El proceso de simulación hidrológica requiere la generación de mapas básicos, como ser mapas hidrográficos, topográficos, de suelos, etc., estos mapas básicos son conocidos como unidades temáticas y se necesitan para la modelación de las cuencas seleccionadas.

Se presentan dos mapas base uno sobre vegetación en la cuenca y otro de suelos, los cuales permitieron haciendo uso de HEC GeoHMS, obtener el mapa de Curva Número o conocido como CN.

El método del Número de Curva (CN) es una técnica semiempírica desarrollada por el SCS para estimar la infiltración. Este método considera todas las pérdidas netas menos la evaporación real. Para tormentas simples presume que se cumple la siguiente relación: el escurrimiento real “Q” es al escurrimiento potencial “P” como el déficit real “P-Q” es al déficit potencial “S”. Matemáticamente:

$$\frac{Q}{P} = \frac{P - Q}{S}$$

Si se despeja “Q” de la ecuación anterior:

$$Q = \frac{P^2}{P + S}$$

Introduciendo una retención inicial denominada “Ia”:

$$Q = \frac{(P - Ia)^2}{P - Ia + S}$$

La expresión anterior es válida si se cumple que $P \geq Ia$ y $S \geq Ia + F$, siendo "F" el volumen infiltrado. La retención inicial "Ia" incluye la intercepción por la cobertura vegetal, el almacenamiento superficial y la infiltración. Empíricamente $Ia \approx 20\% S$. Reemplazando este valor de "Ia" en la ecuación anterior se obtiene finalmente:

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

El parámetro "S" se expresa en función del Número de Curva (CN), mediante la siguiente ecuación:

$$S = 25,4 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

El parámetro "S" varía desde 0 hasta un valor indefinido, por ello se expresa en función del Número de Curva, ya que este valor en cambio varía entre 0 y 100. Como base para la generación del mapa CN empleamos la siguiente información estructurada en la tabla 8, 9, 10 y 11 y figura 23.

Tabla 8:

Clasificación de suelos afectados a umbral de escorrentía

Grupo	Infiltración (cuando están muy húmedos)	Potencia	Textura	Drenaje
A	Rápida	Grande	Arenosa Arenosa-limosa	Prefecto
B	Moderada	Media a grande	Franca Franco-arcillosa-arenosa Franco-limosa	Bueno a moderado
C	Lenta	Media a pequeña	Franco-arcillosa Franco-arcillo-limosa Arcillo-arenosa	Imperfecto
D	Muy lenta	Pequeña (litosuelo) u horizontes de arcilla	Arcillosa	Pobre o muy pobre

Fuente: Tisnado (2013). En la tesis Modelamiento Hidrodinámico para determinar Zonas Vulnerables en el Cauce del Río Seco Zona Urbana – Tacna.

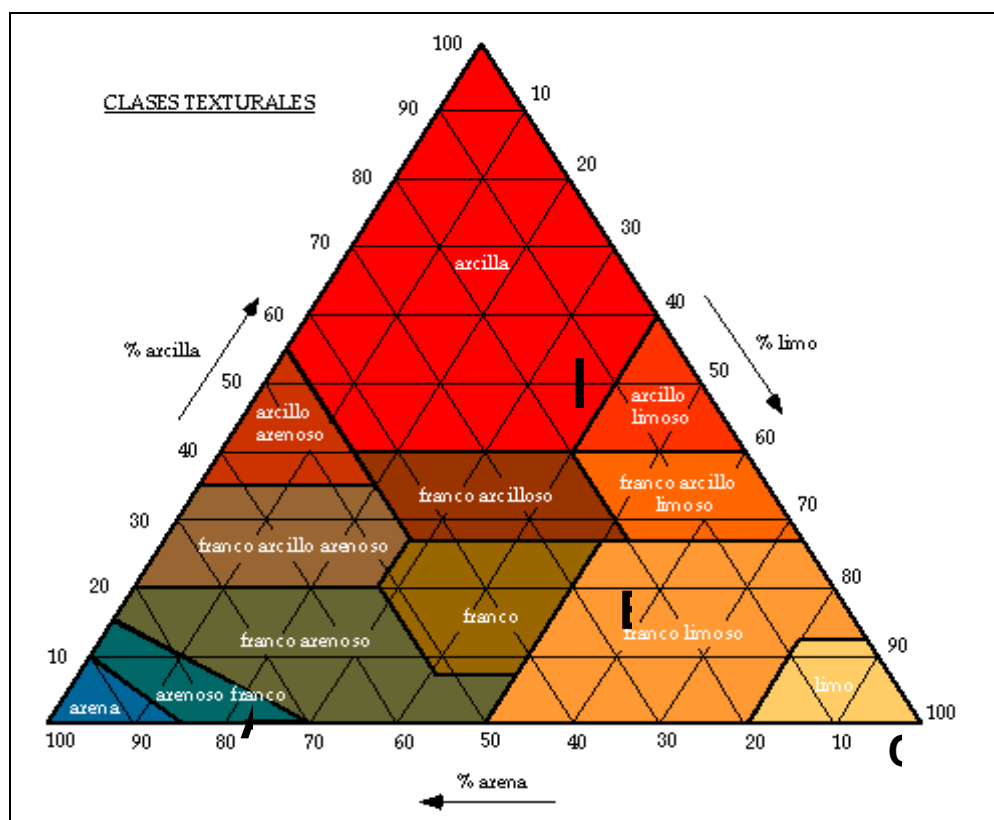


Figura 23: Diagrama triangular para la determinación del grupo hidrológico del suelo en función de la textura

Fuente: Pino, T.(2013). "Caracterización hidrogeomorfológica de la cuenca del río Caplina". Tesis, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna.

Tabla 9:

Clasificación propuesta de grupos hidrológicos del suelo

Codigo_DLO	Grupo
Aluviones y Coluviones actuales	A
Arenas y margas	B
Areniscas rojas, filitas, cuarcitas y pizarras	C
Basaltos	D
Calizas recristalizadas cremas	B
Calizas tableadas azules	B
Coluvial	A
Conos de deyección	A
Cuarcitas blancas, micaesquistos plateados y gneises albíticos	B
Cuarcitas micaceas	D
Diabasas	D
Dolomías negras y calizas	B
Filitas, cuarcitas y calcoesquistos	C
Glacis. Limos negros y rojos y cantos encostrados	C
Indiferenciado	C*
Limos y arcillas rojas con episodios de caliche	C
Margas arenosas y margas	C
Margas blancas	D
Margas grises	D
Margas y areniscas	B
Marmoles calizos y dolomíticos	C
Mármoles fajeados y mármoles blancos y crema	C
Micacitas con granates	C
Micaesquistos y cuarcitas	C
Pizarras micaceas y micacitas	D
Terrazas	B
Yesos	C

Fuente: Tisnado (2013). En la tesis Modelamiento Hidrodinámico para determinar Zonas Vulnerables en el Cauce del Río Seco Zona Urbana – Tacna.

Tabla 10:

Clasificación de uso de suelo en función de las tablas originales del SCS

Usos de suelo - CORINE	Usos de suelo - Tablas CSC	Landuse
Autopistas, autovías y asociados	Carreteras pavimentadas	35
Bosques de coníferas	Bosques, condición hidrológica* pobre	29
Cítricos en regadío	Cultivos en hilera, en línea recta, condición hidrológica buena	5
Cultivos agrícolas en secano con zonas de vegetación natural	Combinación de cultivos y herbazal, condición hidrológica pobre	101
Cultivos anuales permanentes en regadío	Cultivos densos leguminosos en línea recta, condición hidrológica buena	17
Cultivos anuales permanentes en secano	Cultivos en hilera, condición hidrológica pobre	6
Cultivos herbáceos en regadío	Cultivos densos leguminosos en línea recta, condición hidrológica buena	17
Frutales en secano	Cultivos en hilera, en línea recta, condición hidrológica pobre	4
Grandes formaciones de matorral medianamente denso	Matorrales, condición hidrológica regular	102
Grandes superficies de equipamientos y servicios	Zonas comerciales	36
Matorral boscoso de coníferas	Bosques, condición hidrológica buena	31
Matorrales subarbustivos muy poco densos	Matorrales, condición hidrológica pobre	103
Otras instalaciones deportivas y recreativas	Zonas de césped y parques, condición hidrológica pobre	38
Otros frutales en regadío	Cultivos en hilera, en línea recta, condición hidrológica buena	5
Pastizales naturales mediterráneos	Pastos, condición hidrológica regular	26
Tejido urbano continuo	Zonas urbanas muy impermeables	41
Tejido urbano discontinuo	Zonas urbanas muy impermeables	41
Tierras de labor en secano	Cultivos en hilera, condición hidrológica pobre	6
Xeroestepa subdesértica	Barbecho - Suelo desnudo	1
Zonas industriales	Zonas industriales	37
Zonas portuarias	Zonas industriales	37
Zonas verdes urbanas	Zonas urbanas poco impermeables	46

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11:

Número de Curva clases A, B, C y D

Uso del suelo	Pendiente	A	B	C	D
Barbecho	≥ 3%	77	68	89	93
Barbecho	< 3%	71	78	82	86
Cultivos en hilera	≥ 3%	69	79	86	89
Cultivos en hilera	< 3%	64	73	78	82
Cereales de invierno	≥ 3%	63	75	83	86
Cereales de invierno	< 3%	59	70	78	81
Rotación de cultivos pobres	≥ 3%	66	77	85	89
Rotación de cultivos pobres	< 3%	63	73	79	83
Rotación de cultivos densos	≥ 3%	58	71	81	85
Rotación de cultivos densos	< 3%	52	67	76	79
Pradera pobre	≥ 3%	68	78	86	89
Pradera media	≥ 3%	49	69	78	85
Pradera buena	≥ 3%	42	60	74	79
Pradera muy buena	≥ 3%	39	55	69	77
Pradera pobre	< 3%	46	67	81	88
Pradera media	< 3%	39	59	75	83
Pradera buena	< 3%	29	48	69	78
Pradera muy buena	< 3%	17	33	67	76
Plantac. regul. aprovech. forestal pobre	≥ 3%	45	66	77	83
Plantac. regul. aprovech. forestal medio	≥ 3%	39	60	73	78
Plantac. regul. aprovech. forestal bueno	≥ 3%	33	54	69	77
Plantac. regul. aprovech. forestal pobre	< 3%	40	60	73	78
Plantac. regul. aprovech. forestal medio	< 3%	35	54	69	77
Plantac. regul. aprovech. forestal bueno	< 3%	25	50	67	76
Masa forestal muy clara	no depende	56	75	86	91
Masa forestal clara	no depende	46	68	78	83
Masa forestal media	no depende	40	60	69	76
Masa forestal espesa	no depende	36	52	62	69
Masa forestal muy espesa	no depende	29	44	54	60
Rocas permeables	≥ 3%	94	94	94	94
Rocas permeables	< 3%	91	91	91	91
Rocas impermeables	≥ 3%	96	96	96	96
Rocas impermeables	< 3%	93	93	93	93

Fuente: Tisnado (2013). En la tesis Modelamiento Hidrodinámico para determinar Zonas Vulnerables en el Cauce del Río Seco Zona Urbana – Tacna.

En la tabla 12 se muestra los datos físicos de las subcuencas conformantes de la cuenca Caplina, lo que permite calcular el tiempo de concentración y el tiempo de retardo. También se muestra los valores de Curva Número promedio para cada subcuenca. En la Figura No. 24, se muestra el modelo de cuenca Caplina en HEC-HMS.

Tabla 12:

Valores de Tiempo de Retardo y CN Cuenca Caplina

Sub Cuenca	Longitud (m)	Cota Máxima (msnm)	Cota Mínima (msnm)	H (m)	Tc (min)	Lag Time (min)	CN
W100	14512.92	5450	4000	1450	75.81	45.49	65.60
W110	12802.59	5250	2935	2315	54.78	32.87	80.42
W120	6823.83	3950	3900	50	115.94	69.56	87.00
W130	17480.43	5050	2935	2115	81.27	48.76	77.55
W150	10394.45	3900	2400	1500	50.89	30.53	86.97
W160	10725.04	4500	3350	1150	58.45	35.07	85.52
W170	9327.81	3350	1800	1550	44.35	26.61	87.00
W180	13538.74	2800	1300	1500	69.06	41.43	86.86

Fuente: Tisnado (2013). En la tesis Modelamiento Hidrodinámico para determinar Zonas Vulnerables en el Cauce del Río Seco Zona Urbana – Tacna.

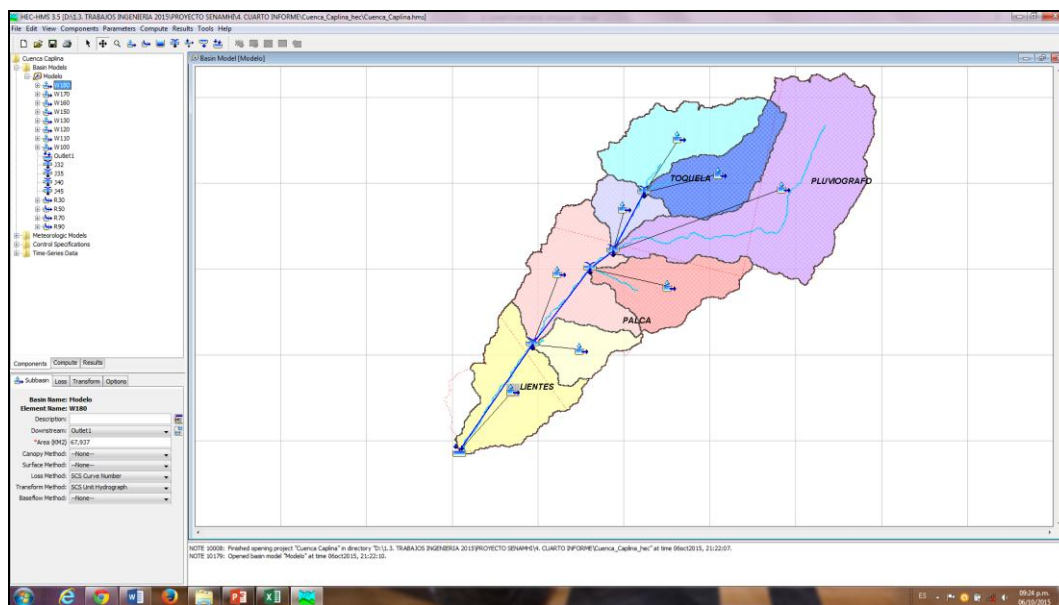


Figura 24: Modelo de cuenca Caplina

Fuente: Elaboracion propia

En este modelo se utilizó parámetros para método de pérdidas (Loss Method) el correspondiente a SCS Curve Número, al tratarse de un método ya comprobado y válido para nuestra realidad y en el caso del Método de Transformación (Transform Method) precipitación escorrentía se utilizó SCS Unit Hydrograph. En la Figura No. 25, se muestra los métodos seleccionados.

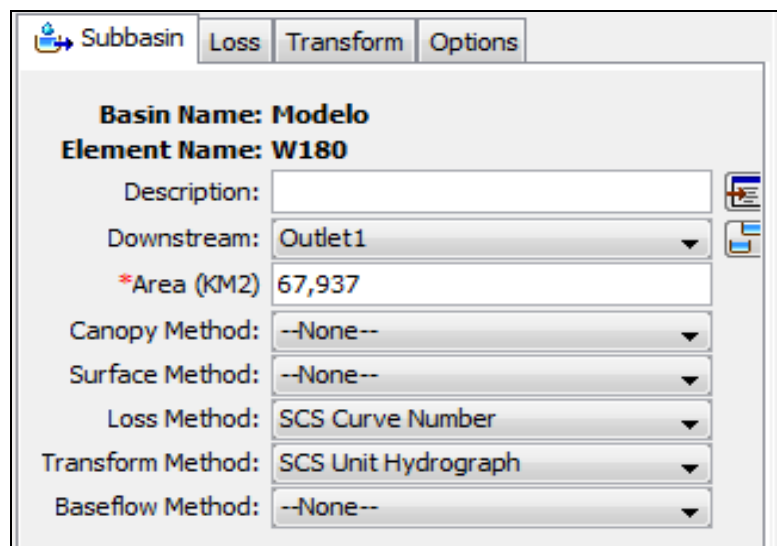


Figura 25: Método de pérdidas y transformación

Fuente: Elaboracion propia

3.5.2 Modelo meteorológico

El análisis de los datos meteorológicos es realizado a través del modelo meteorológico, que incluye los datos de precipitación, evapotranspiración y derretimiento nival. Con el modelo meteorológico lo que se hace es asignar el valor de precipitación que le corresponde a cada subcuenca y como se distribuye en el tiempo, descontando las pérdidas por evapotranspiración y añadiendo los posibles aportes procedentes del derretimiento nival si se presentan en la zona de estudio.

Para la precipitación en ambos modelos se utilizó el método de las isoyetas para generar pesos de las estaciones involucradas. En la figura

26 se muestran los pesos de las estaciones Calientes, Palca y Toquela para la cuenca Caplina.

Gage Selections		Gage Weights	
Element Name: W100			
Gage Name	Depth Weight	Time Weight	
Estacion Calientes	12		
Estación Palca	29		
Estación Toquela	34		
Pluviografo	25		100

Figura 26: Pesos de las estaciones en la cuenca Caplina

Fuente: Elaboracion propia

Se utilizó las estaciones de Calientes, Palca y Toquela, sobre las cuales se aplicó el método de los polígonos de Thiessen. Adicionalmente, se empleó datos pluviográficos mostrados en la figura 27.

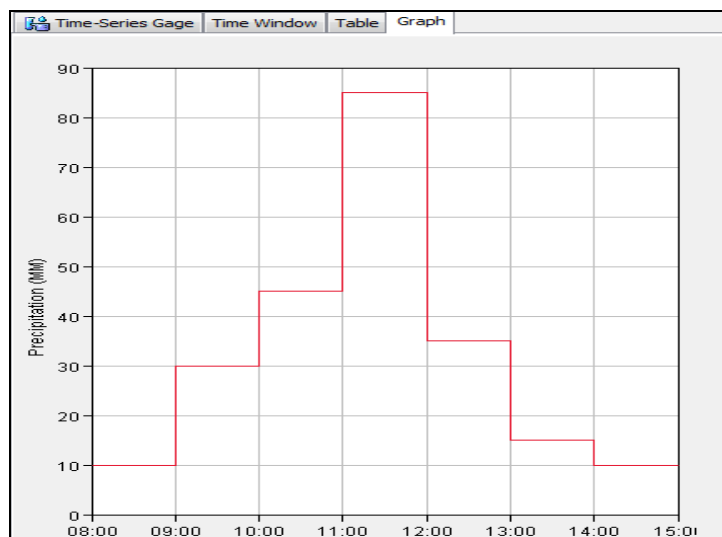


Figura 27: Datos Pluviográficos para el modelo

Fuente: Elaboracion propia

3.5.3 Especificaciones de control

Las especificaciones de control incluyen las horas de inicio y fin de la simulación, así como el intervalo temporal de cálculo.

En la figura 28 se muestran los parámetros utilizados en los modelos generados para la Cuenca Caplina.

Control Specifications

Name: control

Description:

*Start Date (ddMMYYYY) 15mar2015

*Start Time (HH:mm) 08:00

*End Date (ddMMYYYY) 15mar2015

*End Time (HH:mm) 21:00

Time Interval: 5 Minutes

Figura 28: Especificaciones de control

Fuente: Elaboracion propia

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1 MODELO OBTENIDO

Haciendo uso del modelo hidrológico HEC GeoHMS, se obtiene el modelo para la cuenca Caplina, el cual se cierra en la estación Bocatoma Calientes, punto en el cual se dispone de información de descargas, las cuales serán utilizadas en la siguiente fase del trabajo para el proceso de calibración del modelo hidrológico.

La información acerca de la precipitación histórica o de diseño fue establecida bajo el método de datos de estaciones, ponderados por el usuario. (1) Registros de tormentas (día de inicio y finalización e intervalo de medición en minutos) y precipitaciones totales en las estaciones pluviográficas y pluviométricas localizadas dentro de la cuenca. (2) Ponderación espacial y temporal de los datos de las estaciones para cada subcuenca (p.ej. polígonos de Thiessen o inverso de la distancia). (3) Índice de precipitación para cada subcuenca.

En cuanto a las condiciones de información requeridas acerca de las características de humedad del suelo, se ha elegido el método de la

curva Número, la cual requiere (1) Pérdidas iniciales, (2) Numero de curva, calculado como promedio sobre la subcuenca respectiva, (3) Porcentaje de área impermeabilizada.

Finalmente, la información acerca de la morfometría de las subcuencas se usó para el modelo, se tomó área de las subcuencas, información necesaria para definir todos los cálculos de capacidad y conversión de los volúmenes de lluvia en escorrentía. Es el factor morfométrico de mayor importancia en hidrología.

En las figuras 29, se muestra el modelo hidrológico generado, basado en los criterios de modelación señalados.

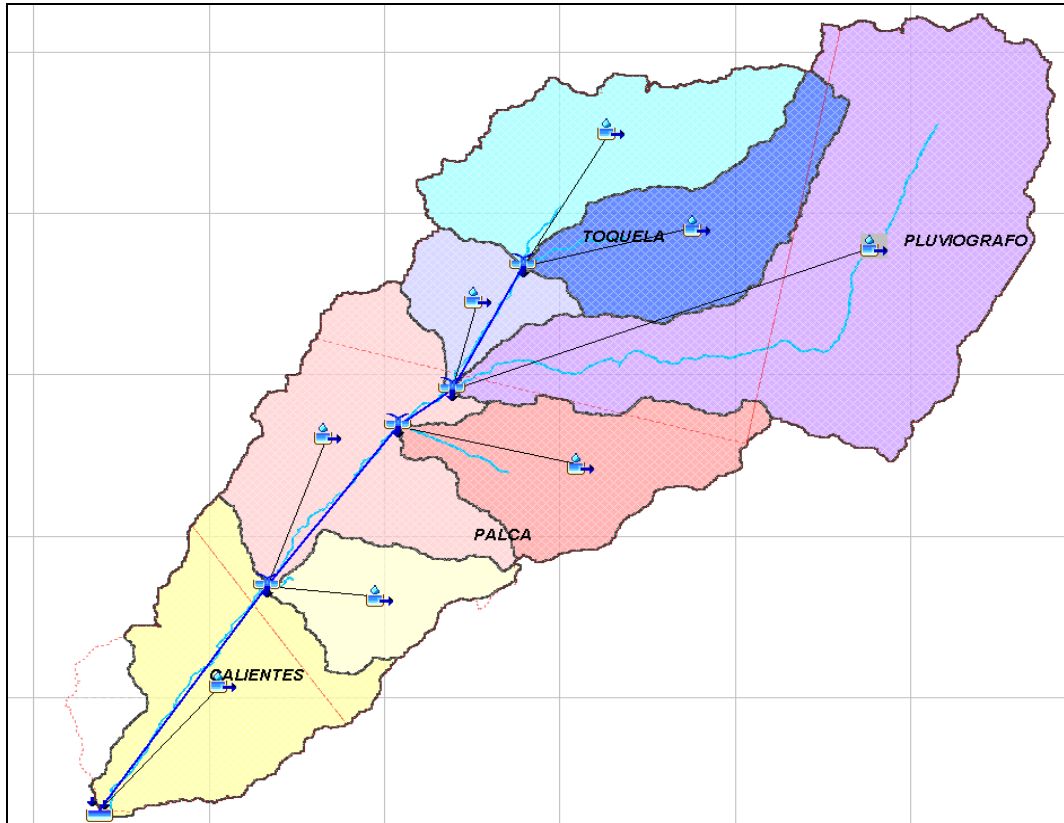


Figura 29: Modelo hidrológico cuenca Caplina

Fuente: Elaboracion propia

4.2 RESULTADOS DE SIMULACIÓN HIDROLÓGICA

Una vez generado el modelo en base a toda la información requerida y según los métodos seleccionados, se procede a efectuar las simulaciones hidrológicas para obtener el hidrograma de descargas que es el objetivo fundamental de este trabajo.

Para crear una simulación hay que combinar un modelo de cuenca, un modelo meteorológico y unas especificaciones de control. Los resultados

de la simulación pueden verse tanto para la cuenca completa como para un elemento en particular, y en formato tabla o en formato gráfico.

En las figuras 30 y 31 se muestran el resumen de resultados y los hidrogramas de descargas instantáneas a la salida de la cuenca Caplina, cabe destacar que hasta este paso se puede generar una variedad de hidrogramas a diferentes propuestas de eventos de precipitación, los cuales darán como resultados diferentes hidrogramas de salida. En este sentido, esto constituye una herramienta importante de gestión puesto que ante eventos de precipitación ocurridos, se podrá estimar el hidrograma a presentarse en la estación Bocatoma Calientes o en cualquier punto superior a este de acuerdo a los alcances del modelo propuesto. Asimismo, se podrá en la Estación La Tranca o cualquier punto aguas arriba.

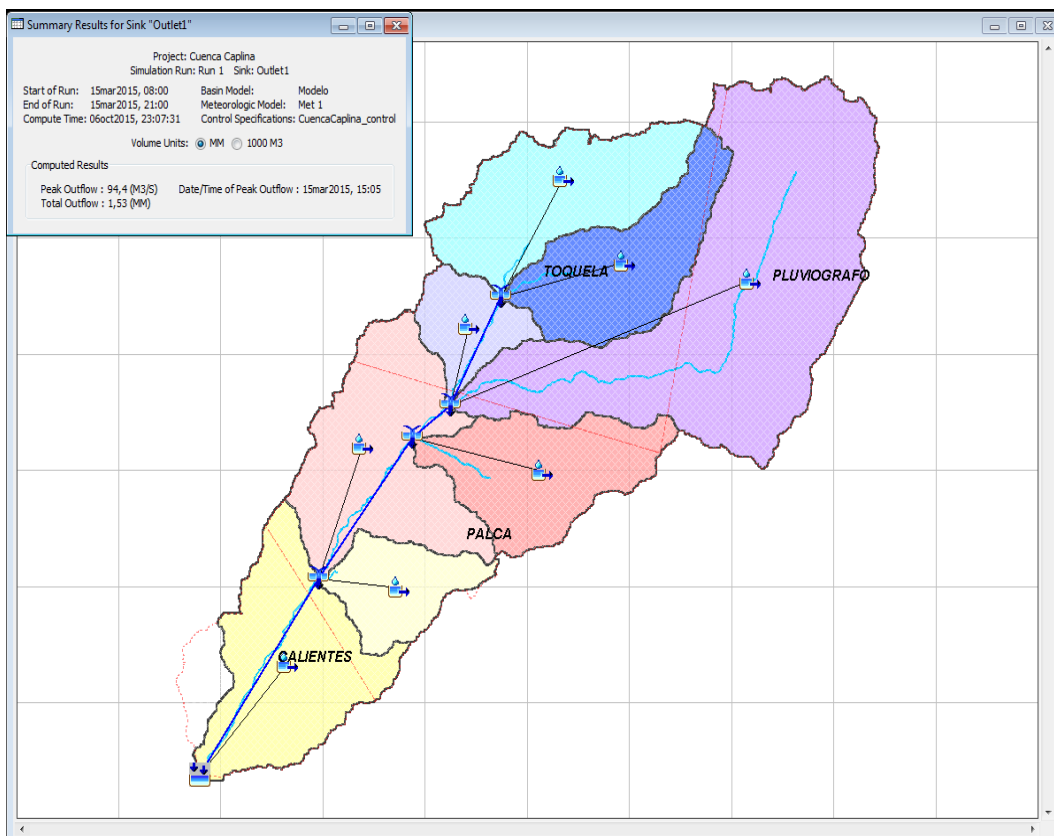


Figura 30: Resumen de resultados de simulación cuenca Caplina

Fuente: Elaboracion propia

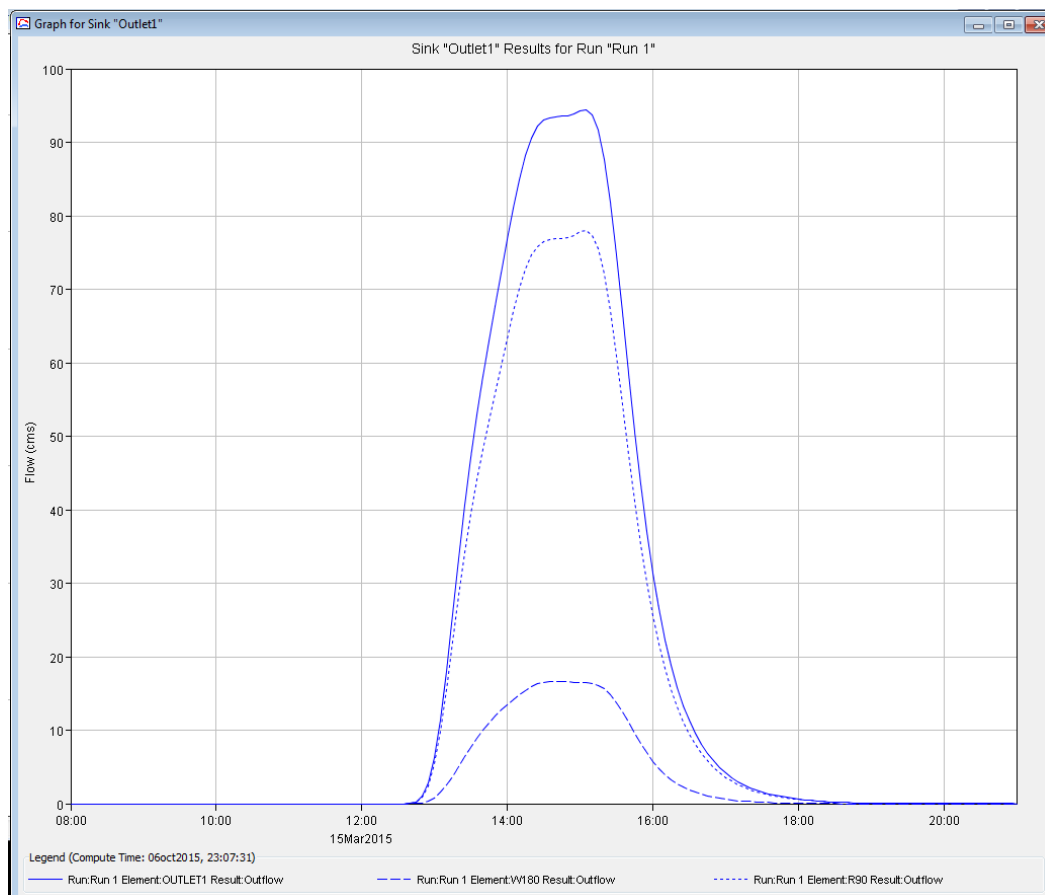


Figura 31: Hidrograma de descargas a la salida de la cuenca Caplina

Fuente: Elaboración propia

4.3 CALIBRACIÓN DEL MODELO

La calibración del modelo es factible realizarla siempre y cuando exista información suficiente, en el caso estudiado se ha detectado que hay muy poca información para calibrar el modelo, se requiere una data referida a eventos de precipitación y descargas correspondientes a dichos eventos. En la Tabla No. 13 se muestra los datos y en la Figura No. 32 se

muestra el hidrograma observado que se utilizó para la calibración. De la Figura No. 33 a la 35 se muestran los resultados de la calibración.

Tabla 13:

Hidrograma Observado Tabulado

Time (ddMMYYYY, HH:mm)	Discharge (M3/S)
15mar2015, 21:45	0,0
15mar2015, 22:00	0,0
15mar2015, 22:15	0,0
15mar2015, 22:30	0,0
15mar2015, 22:45	0,0
15mar2015, 23:00	0,0
15mar2015, 23:15	0,0
15mar2015, 23:30	0,0
15mar2015, 23:45	6,0
16mar2015, 00:00	19,0
16mar2015, 00:15	30,0
16mar2015, 00:30	40,0
16mar2015, 00:45	45,0
16mar2015, 01:00	48,0
16mar2015, 01:15	52,0
16mar2015, 01:30	60,0
16mar2015, 01:45	66,0
16mar2015, 02:00	68,0
16mar2015, 02:15	69,0
16mar2015, 02:30	71,0
16mar2015, 02:45	70,0
16mar2015, 03:00	69,0
16mar2015, 03:15	66,0
16mar2015, 03:30	63,0
16mar2015, 03:45	61,0
16mar2015, 04:00	58,0
16mar2015, 04:15	55,0
16mar2015, 04:30	52,0
16mar2015, 04:45	48,0
16mar2015, 05:00	44,0
16mar2015, 05:15	39,0
16mar2015, 05:30	35,0
16mar2015, 05:45	30,0
16mar2015, 06:00	26,0
16mar2015, 06:15	22,0
16mar2015, 06:30	22,0
16mar2015, 06:45	17,0
16mar2015, 07:00	15,0
16mar2015, 07:15	13,0
16mar2015, 07:30	12,0
16mar2015, 07:45	11,0

Fuente: Elaboracion propia

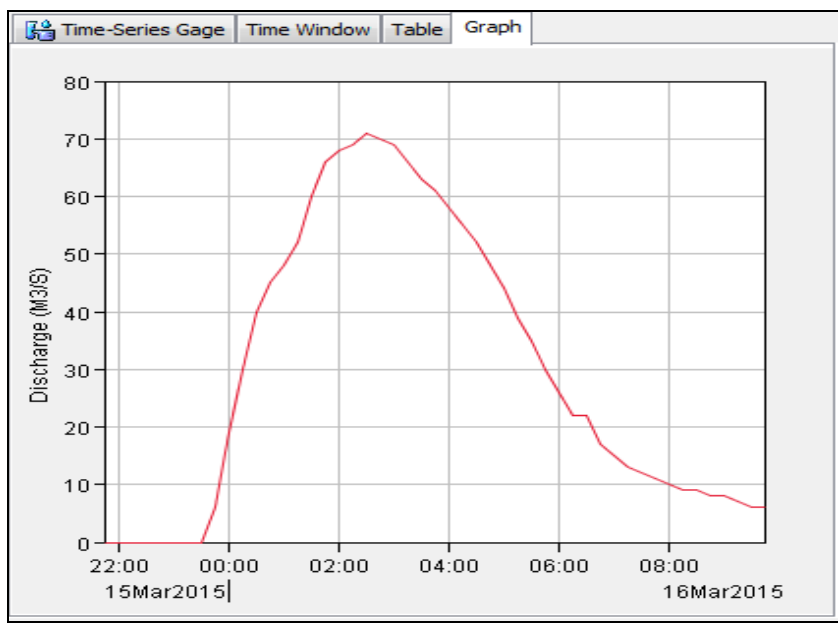


Figura 32: Hidrograma de descarga observado

Fuente: Elaboracion propia

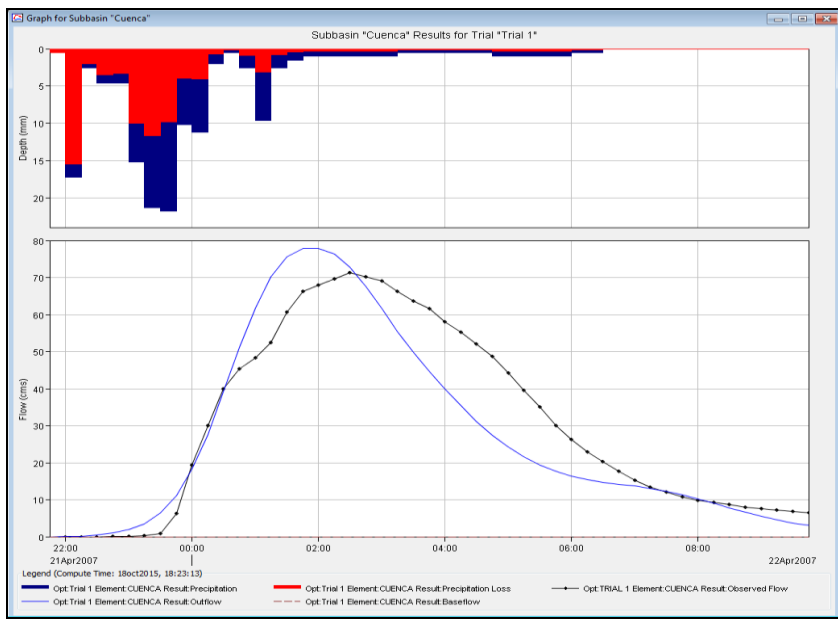


Figura 33: Resultados de Simulación

Fuente: Elaboracion propia

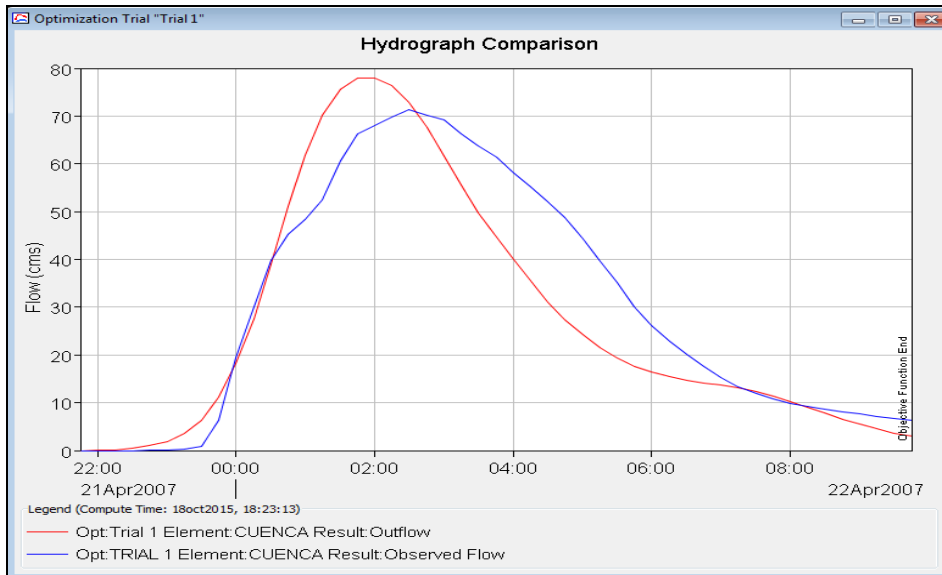


Figura 34: Comparación de Caudales Simulados y Observados

Fuente: Elaboracion propia

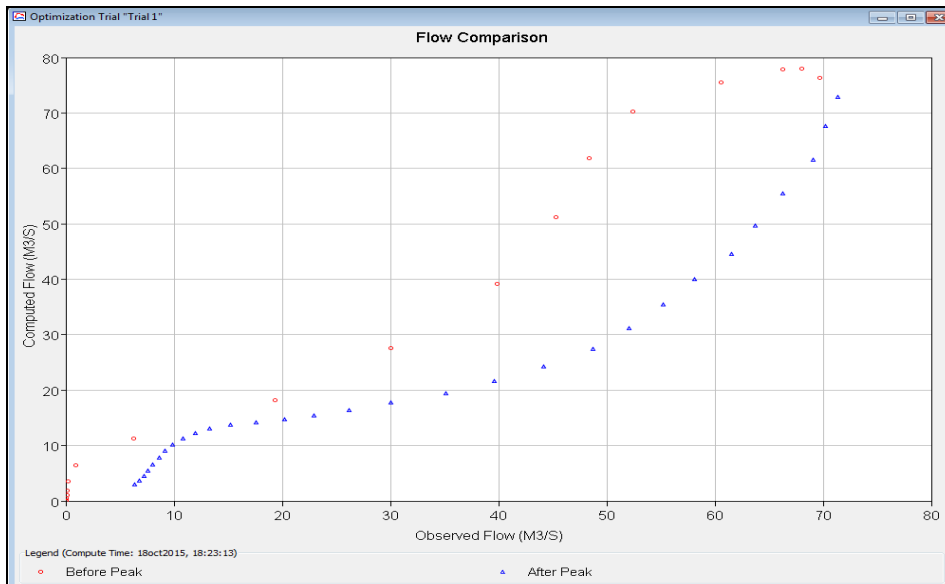


Figura 35: Análisis Comparativo de Caudales Simulados y Observados

Fuente: Elaboracion propia

CAPITULO V

DISCUSIÓN

5.1 GESTIÓN DE RIBERAS

5.1.1 Antecedentes históricos

A pesar de que los caudales normales del río Caplina son reducidos comparativamente con los demás río de la Costa Peruana, cuando se presentan eventos extremos, sus descargas crecen súbitamente, tal como se muestra en la Figura No. 36. Estas avenidas indudablemente causan daños de desbordes y colapso de estructuras tal como se evidencia y muestra en la Figura 37 y 38.



Figura 36: Descargas Extraordinarias del río Caplina en febrero 1998.

Fuente: Pino, T.(2013). "Caracterización hidrogeomorfológica de la cuenca del río Caplina". Tesis, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna.



Figura 37: Avenidas registradas en febrero de 1998

Fuente: Pino, T.(2013). "Caracterización hidrogeomorfológica de la cuenca del río Caplina". Tesis, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna.



Figura 38: Evidencia de daños del río Caplina

Fuente: Pino, T.(2013). "Caracterización hidrogeomorfológica de la cuenca del río Caplina". Tesis, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna.

5.1.2 Riesgo de inundación y gestión de riberas

Según Mateo, 7, 24-27 (La Biblia), "... es como el varón prudente que ha edificado su casa sobre la roca. Cae la lluvia, vienen los torrentes y soplan los vientos, se echan sobre ella, pero la casa no se cae, porque está cimentada sobre la roca..... es como el hombre necio que ha edificado su casa sobre arena, cae la lluvia, vienen los torrentes y soplan los vientos, se echan sobre ella y la casa se cae y es grande su ruina."

Los procesos naturales ligados a la dinámica terrestre, mediante las acciones que desarrollan o los productos que generan, pueden llegar a interferir con las actividades humanas, suponiendo esta situación potencial un riesgo natural para las personas o sus bienes (elementos en riesgo). El riesgo tiene, por tanto, tres componentes (UNESCO, 1972):

- Peligrosidad, capacidad intrínseca del proceso natural para producir daños.
- Exposición, grado de muestra o presentación de los elementos en riesgo.
- Vulnerabilidad, fragilidad intrínseca de los elementos en riesgo.

La consumación del riesgo constituye una catástrofe natural cuando supone una destrucción de bienes o disminución de su valor, lesiones (físicas o psicológicas) a personas, o pérdida de vidas humanas. Para

paliar las consecuencias de las catástrofes naturales existen tres grandes conjuntos de medidas: predictivas, enfocadas a la determinación espacio-temporal previa a la consumación del riesgo, esto es, definir cuándo, dónde y con qué características se producirá el fenómeno; preventivas, que buscan la disminución de daños actuando sobre la exposición (no estructurales)y/o la vulnerabilidad (estructurales); y correctivas, dirigidas a devolver a la situación original los elementos siniestrados.

La definición estadística de riesgo (R) se basa en la probabilidad de que el evento catastrófico ocurra al menos una vez en n años. Si se considera una magnitud susceptible de causar una catástrofe (p.e. un caudal), y llamamos p a la probabilidad de que un valor de esa magnitud no sea superado en un año, dicha probabilidad de que sea sobrepasado en n años (suponiendo que la ocurrencia en cada año es un suceso independiente) podría expresarse como (Ferrer 1993): $R = 1 - P^n$, o $R = 1 - (1 - 1/T)^n$ en este caso en función al periodo de retorno.

Durante el periodo 1900-1976, unas 1 287 650 personas perdieron la vida por inundaciones en todo el mundo, cifra que supone el 28 % de los muertos en catástrofes naturales, tan sólo superada por las víctimas de terremotos. Aún más, el número de damnificados (heridos y sin hogar a causa de la inundación) en ese periodo ascendió a 175 millones de

personas, lo que supone un 75 % del total, seguido a enorme distancia por los damnificados en terremotos (12 %).

Conscientes de la necesidad de abordar esta problemática, diversos organismos internacionales acordaron declarar la década 1990-2000 como Decenio Internacional para la Reducción de Desastres Naturales.

Nuestro país y nuestra región Tacna no es una excepción, adquiriendo las inundaciones un papel incluso más relevante porcentualmente ante la actual atenuación de otros procesos naturales (volcánicos, sísmicos, etc.) menos activos que en otras regiones del Planeta.

5.1.3 Clasificación de la quebrada Palca con respecto al Riesgo

A continuación se propone un ejemplo de clasificación y se hace un análisis de riesgo no solo hidrológico, si no que se evaluará una quebrada para la aplicación de obras civiles, proponiendo una clasificación de quebradas con respecto al riesgo que presenta frente una obra civil. La presente clasificación se basó en características de diferentes quebradas ubicadas en el país (Ing. Ada Arancibia, 1998). Para la clasificación de quebradas se utilizó la información de la Tabla No. 14, basado en valores de ponderación:

Tabla 14:

Clasificación de quebradas por riesgo

CLASE	RIESGO	VALORES DE PONDERACIÓN PUNTAJE
TIPO I	Alto	45 – 65
TIPO II	Moderado	36 – 44
TIPO III	Bajo	21 – 35

Fuente: Pino, T.(2013). “Caracterización hidrogeomorfológica de la cuenca del río Caplina”. Tesis, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna.

Se debe asignar un puntaje a cada parámetro que define una quebrada: Localización, Pendiente, Área, Naturaleza del suelo, Tipo de vía; según las Tablas presentadas a continuación:

5.1.3.1 Clasificación por localización

Se debe clasificar la quebrada para una respectiva vertiente según sea su ubicación. Una vez ubicada la vertiente correspondiente se procede a realizar las combinaciones según en la Tabla No. 15.

Tabla 15:

Clasificación por Localización

Vertiente del Pacífico			Vertiente del Atlántico	Vertiente del Lago Titicaca	
NORTE b	CENTRO c	SUR d	a	c	
Chala o Costa		b	Omagua o Selva Baja	b	
Yunga		a	Selva Alta	a	
Quechua		a	Yunga Fluvial	b	
Suni		b	Quechua	a	
Puna		c	Suni	b	Suni b
Janca		d	Puna	c	Puna c
			Janca	d	Janca d

Fuente: Pino, T.(2013). "Caracterización hidrogeomorfológica de la cuenca del río Caplina". Tesis, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna.

A: Si se dan las combinaciones: aa o ab

B: Si se dan las combinaciones: bb o ac

C: Si se dan las combinaciones: cc, ad o bc

D: Si se dan las combinaciones: bd, cd o dd

Clasificación por pendiente. Los valores se muestran en La tabla 16

Tabla 16:

Clasificación por pendiente

A Fuerte	40% < S
B Media	10% < S < 40%
C Suave	S < 10%

Fuente: Pino, T.(2013). "Caracterización hidrogeomorfológica de la cuenca del río Caplina". Tesis, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna.

Clasificación por área, Los valores se muestran en La Tabla No. 17.

Tabla 17:

Clasificación por área

A: Grande	50 Km² < A < 150 Km²
B: Mediana	2.5 Km² < A < 50 Km²
C: Pequeña	A < 2.5 Km²

Fuente: Pino, T.(2013). "Caracterización hidrogeomorfológica de la cuenca del río Caplina". Tesis, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna.

Clasificación por naturaleza del suelo

Investigadores Canadienses reportan las siguientes características de acuerdo al grado potencial de contribución de material sólido. Los valores se muestran en la tabla 18.

Tabla 18:

Clasificación por Naturaleza del Suelo

A: Alta contribución	Material de laderas: suelos no cohesivos, sueltos, áreas de avalancha, con alturas > 5 m y con $S_{laderas} > 35^\circ$
B: Moderada contribución	Material de laderas en suelos cohesivos y densos con alturas > 5 m. En suelos no cohesivos y sueltos < 5m y con $S_{laderas}$ entre 15° y 45°
C: Baja contribución	Lechos de roca sana, y o fracturada, material de las riberas denso con alturas < 5 m y con $S_{laderas} < 15^\circ$

Fuente: Pino, T.(2013). "Caracterización hidrogeomorfológica de la cuenca del río Caplina". Tesis, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna.

Una vez denominado la letra A, B, C o D para los diferentes parámetros, se obtiene en sus puntajes mostrados en la tabla 19.

Tabla 19:

Valores de ponderación para los diferentes parámetros

LOCALIZACIÓN	A	5	B	4	C	3	D	2
PENDIENTE	A	4	B	3	C	2		
AREA	A	3	B	2	C	1		
SUELO	A	3	B	2	C	1		
TIPO DE VIA	A	50	B	30	C	15		
	Duales y 1ra Clase		2da y 3ra Clase		Trochas			

Fuente: Pino, T.(2013). "Caracterización hidrogeomorfológica de la cuenca del río Caplina". Tesis, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna.

Finalmente, se obtiene la suma de los valores de ponderación para los diferentes parámetros, clasificando a la quebrada según la Tabla 14. (Tipo I, II o III).

Aplicando la metodología expuesta para la Quebrada Palca, se tiene:

Nombre: Quebrada Palca

Ubicación: Distrito Palca, provincia Tarata, Región Tacna.

Área de drenaje: 135 km²

Pendiente promedio: 9,5 %

Descripción de Campo: La Subcuenca de la Quebrada Palca se localiza al Noreste del río Caplina entre cadenas montañosas a 4 758 msnm y su entrega en la margen izquierda del río Caplina a 1 250 msnm. La quebrada Palca tiene sus orígenes en la quebrada Quilla y desciende

erosionando rocas de la formación Chachacumane además de la formación de Ataspaca y Pelado; sector donde existe una terraza aluvial. En su recorrido erosiona rocas del volcánico Junerata, sector donde se asienta el poblado de Causuri. En su curso hacia el SW atraviesa depósitos aluviales en la localidad de Palca ubicados a 3 000 msnm., rocas de la formación Pelado y Volcánico Junerata, rocas de la formación sedimentaria San Francisco, depósitos aluviales en las Pampas de San Francisco, hasta desembocar en el río Caplina en la localidad de Miculla. Se ha observado que en época de estiaje el agua no alcanza a desembocar en esta zona. El recurso hídrico en esta subcuenca es producto de la precipitación mientras que el drenaje natural se produce a través de sus quebradas entre las principales Quilla, Cuviri y Chachacumane.

Tipo de estructura afectada: En su recorrido erosiona rocas del volcánico Junerata, sector donde se asienta el poblado de Causuri, también atraviesa depósitos aluviales en la localidad de Palca, desemboca en el Río Caplina en la localidad de Miculla.

Tipo de estructura afectada: Su desembocadura cruza el distrito de Palca.

Del Cuadro 9 se obtiene el peso por localización:

Vertiente del Pacífico Sur:	d	
Región Quechua :	a	
	\overline{ad}	Localización C

De las tablas anteriores se obtienen los otros valores. Una vez reconocida la letra (A, B, C) se le asigna su puntaje correspondiente por medio de la tabla 18:

LOCALIZACIÓN:	A = 5
PENDIENTE:	C = 2
ÀREA:	A = 3
NATURALEZA DEL SUELO:	B = 2
TIPO DE INFRAESTRUCTURA:	B = 30
TOTAL =	42

Para este puntaje, según la Tabla 12 la quebrada Palca se considera una quebrada Moderada, del Tipo II.

5.1.4 Inundabilidad o peligrosidad de inundación

Consiste en la delimitación de las áreas del territorio susceptibles de ser inundadas, asociando a cada una de ellas: una frecuencia de inundación indicativa del peligro intrínseco del fenómeno en esa zona,

unos valores de los parámetros físicos de la inundación (profundidad, velocidad, carga...) y los tiempos característicos de la misma. Clásicamente se ha abordado mediante tres métodos diferentes, aunque complementarios entre sí: históricos, hidrológicos y geomorfológicos.

5.1.4.1 Métodos históricos

"Tras años mil, las aguas vuelven a su cubil ", es un refranero popular castellano.

Se basan en la representación cartográfica de las áreas inundadas durante eventos históricos de los que se poseen datos fiables (caudales, marcas de nivel, afecciones a elementos naturales o antrópicos, documentos gráficos, etc.), empleando para ello mapas y planos contemporáneos al fenómeno acontecido; además, se trata de asignar tiempos de ocupación de la lámina de agua en cada sector. Suelen ser poco precisos, al disponerse únicamente de datos recientes y llevar asociada una alta variabilidad en la configuración del cauce y márgenes a lo largo del tiempo.

5.1.4.2 Métodos hidrológicos

Persiguen la caracterización de crecidas futuras o cálculo de la denominada "avenida de diseño", para lo cual requieren dos tipos de

modelizaciones: una hidrológica propiamente dicha, para la determinación de los caudales; y otra hidráulica para estimación de los niveles y velocidades alcanzados por éstos en unas determinadas secciones de control, y por tanto, del área que se verá inundada (Pedraza y Díez, 1996).

5.1.4.3 Métodos geomorfológicos

Mediante el estudio de las formas del terreno modeladas en las crecidas o en régimen normal, intenta reconstruir el tipo y frecuencia de las avenidas. Dicho análisis permite conocer el proceso de modelado y su dinámica, así como delimitar las zonas que han sufrido inundación (huellas de erosión y/o deposición) o que sean susceptibles de ser inundadas en el futuro. El objetivo final es diferenciar las zonas geomorfológicamente activas para distintos periodos de retorno.

5.1.5 Zonificación de áreas de peligrosidad

La zona donde se encuentra ubicada la bocatoma Calientes, punto de captación y derivación de agua del río Caplina, y la zona de los baños termales se encuentran en una zona muy vulnerable frente a eventos extremos, tal como lo demuestra la Figura 31. La zona se encuentra enclavada en el mismo curso del canal natural del río, la experiencia ha demostrado que cualquier obra de protección construida en esta zona ha

sido vulnerada por la fuerza de arrase del río en épocas de avenidas, donde no solo se trata de flujo líquido, sino que se inicia con un flujo de escombros, es decir, lodo, botonería y material no natural que es arrastrado por el río al momento de la avenida o huayco. La alta plasticidad de estos flujos y mayor densidad de estos hace más fácil el arrastre con la consiguiente falla de las estructuras de protección.

Según Tisnado (2013), para la forma del lecho del río Seco, se puede distinguir los siguientes tipos de lechos, tal como se aprecia en la figura 39.

Lecho mayor o lecho de inundación, es toda zona que se inunda y que es el lecho que ocupa las máximas avenidas.

Lecho ordinario o aparente, es la zona bien determinada entre las orillas ocupadas por materiales rodados por las aguas del río.

Lecho de estiaje o canal de estiaje, a menudo ocupa solo una pequeña parte del lecho aparente sobre todo en los casos de los ríos de régimen irregular este canal no está delimitado por márgenes claras divaga por el interior del lecho aparente.



Figura 39: La vista muestra la conformación de los diferentes tipos de lecho A: Lecho Mayor o de inundación B: Lecho Ordinario o aparente C: Lecho o canal de estiaje.

Fuente: Tisnado (2013). En la tesis Modelamiento Hidrodinámico para Determinar Zonas Vulnerables en el Cauce del Río Seco Zona Urbana – Tacna.

Tisnado (2013), elabora un modelo hidrodinámico de flujo, basado en HEC-RAS, de los cual establece algunos escenarios de simulación cuyos resultados arrojan:

- 1er ESCENARIO: PERIODOS DE RETORNO PARA 500 Y 1000 AÑOS

Los resultados de esta nueva simulación demuestran que con los caudales proyectados para periodos de retorno de 500 y 1000 años se produce colmatación y desborde en casi todo el trayecto de la zona del lecho afectando a los dos márgenes del río Seco.

- 2do ESCENARIO: MODIFICACIÓN DE LAS SECCIONES MÁS ESTRECHAS DONDE LOS MUROS HAN COLAPSADO

Según Tisnado (2013), se ha identificado en las visitas a campo la peligrosidad de los muros colapsados en las zonas más estrechas y se ha propuesto para este caso la modificación de las secciones donde los muros colapsados incrementarían el tirante crítico. Las zonas identificadas son las progresivas 0+670 y 0+680 (partiendo del límite del cuartel Tarapacá) y se estimaron un incremento de fondo del lecho de acuerdo a la medida del muro colapsado 1,61 m aproximadamente. Figura 40 y 41.



Figura 40: Colapso de los muros progresivas 0+670 y 0+680.

Fuente: Tisnado (2013). En la tesis Modelamiento Hidrodinámico para Determinar Zonas Vulnerables en el Cauce del Rio Seco Zona Urbana – Tacna.

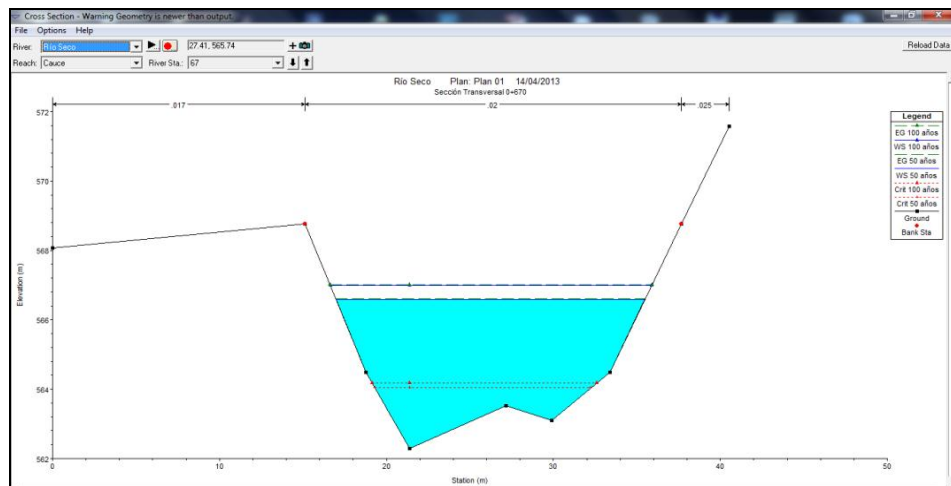


Figura 41: Sección de flujo para la progresiva 0+670 para periodos de retorno de 50 y 100 años

Fuente: Tisnado (2013). En la tesis Modelamiento Hidrodinámico para Determinar Zonas Vulnerables en el Cauce del Rio Seco Zona Urbana – Tacna.

En el tramo estudiado por Tisnado (2013) en la tesis MODELAMIENTO HIDRODINÁMICO PARA DETERMINAR ZONAS VULNERABLES EN EL CAUCE DEL RÍO SECO ZONA URBANA – TACNA, se han detectado varias zonas críticas, como la mostrada en la figura 42 y 43.



Figura 42: Zonas críticas identificadas por Tisnado (2013)

Fuente: Tisnado (2013). En la tesis Modelamiento Hidrodinámico para determinar Zonas Vulnerables en el Cauce del Río Seco Zona Urbana – Tacna.

En estas imágenes se puede observar la falla de los muros de protección y encausamiento construidos los últimos años y que han colapsado a causa de las avenidas presentadas, al indagar y recorrer la zona de estudio se puede establecer que la causa de dicha falla no fue exactamente el caudal de la avenida, puesto al ocurrir esto no se registró caudales muy altos o extraordinarios, más bien se puede atribuir esta falla

a causas de erosión y transporte de sedimentos, que han ocasionado la acción directa sobre la cimentación de dichas estructuras provocando su falla por desestabilización y volteo, tal como se puede notar en las fotos mostradas.



Figura 43: Bocatoma Calientes y Baños Termales

Fuente: Tisnado (2013). En la tesis Modelamiento Hidrodinámico para determinar Zonas Vulnerables en el Cauce del Rio Seco Zona Urbana – Tacna.

5.2 SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA

El Marco de Acción de Hyogo surgido de la Segunda Conferencia Mundial sobre Reducción de Desastres (WCDD, en sus siglas en inglés), celebrada en Kobe, Japón, del 18 al 22 de febrero de 2005, retomó los lineamientos de la Plataforma de Acción de Beijing (1995) y del Objetivo 3

de las Metas del Milenio (2000), y enfatizó que la perspectiva de género debe incorporarse “en todas las políticas, planes y procesos de decisión sobre la gestión de los riesgos de desastre, incluidos los relativos a la evaluación de los riesgos, la alerta temprana, la gestión de la información y la educación y la formación”.

Según ONU (2008), un SAT es el conjunto de capacidades necesarias para generar y difundir información de alerta que sea oportuna y significativa, con el fin de permitir que las personas, las comunidades y las organizaciones amenazadas por un tipo de peligro se preparen y actúen de forma apropiada y con suficiente tiempo de anticipación para reducir la posibilidad de que se produzcan pérdidas o daños. Consiste en recibir información, analizar y actuar organizadamente sobre la base de sistemas de vigilancia y monitoreo de peligros; establecer, desarrollar acciones y capacidades locales para actuar con autonomía y resiliencia (PCM, 2011).

CONCLUSIONES

Primera

En cuanto a la caracterización geomorfológica superficial de la cuenca, se tiene que el área de cuenca es de 4 239,09 km^2 y el perímetro de 329,08 km. El coeficiente de compacidad es de 1,42, lo que indica una deformación moderada de la cuenca respecto al valor límite teórico que la unidad. La relación de elongación resultante es de 0,65, por lo que representa un relieve suave. El factor de forma es 0,27, indicador de una cuenca ligada estrechamente a crecientes súbitas. La elevación media de la cuenca es de 1 400 msnm La pendiente de la cuenca es de 25,91 %. La densidad de drenaje es de 1,83 km/ km^2 . Esta caracterización que indica que esta cuenca está ligada a crecidas súbitas, es un primer indicador que la cuenca es torrencial y cuando ocurren tormentas se presentan avenidas de gran magnitud por su cauce principal.

Segunda

Del análisis detallado de los elementos hidrológicos de la zona de estudio, se logra caracterizar e interpretar hidrológicamente el comportamiento de la cuenca hidrográfica del río Caplina, con especial

incidencia en el estudio de las crecidas fluviales y su aplicación a la gestión de riberas. Se concluye que dicha cuenca es de régimen supercrítico, lo que indica alta incidencia o susceptibilidad a las crecidas con alto índice de arrastre de materiales.

Tercera

Utilizando el diagrama de Holdridge, el clima es un matorral desértico para la zona media y alta con una provincia de humedad tipo sub húmeda. Es característica la presencia de laderas inclinadas. Suelos medianamente profundos en la zona alta, van desde litosoles, gleysoles y orgánicos.

Cuarta

Se efectuó el análisis estadístico de la información disponible de descargas de los cuales se obtuvo resultados favorables en cuanto a la consistencia en la media y variancia de los registros. Se aplicaron pruebas paramétricas (T de Student, Cramer y F de Fisher) y no paramétricas (Helmert y las Secuencias), así como la llamada curva doble masa. Así mismo, se lograron ajustes de distribuciones LOGNORMAL y LOGPEARSON TIPO III, para los datos de descargas de la estación hidrométrica Bocatoma Calientes. Según las series históricas y pruebas estadísticas practicadas se puede caracterizar a la Cuenca Caplina en su

estado actual como una cuenca hidrográfica susceptible a crecidas súbitas en la estación de la Bocatoma Calientes, producto del comportamiento hidrológico de la cuenca aguas arriba, geomorfológicamente se ha establecido parámetros que también indican que es una cuenca de mucha pendiente lo que a precipitaciones ocurridas presenta inmediatas escorrentías superficiales y de magnitud elevada en épocas húmedas.

Quinta

Se logró analizar y comparar los caudales promedios mensuales de las riberas de la Bocatoma Calientes de río Caplina mediante la modelación hidrológica y las observaciones en estación hidrométrica Bocatoma Calientes. Se realizó una calibración del modelo con la información disponible a la fecha en el SENAMHI Tacna, siendo los caudales generados por el modelo validados en cuanto a magnitud de descarga probable ante el evento de precipitación ingresado a dicho modelo.

Sexta

El modelo obtenido permite pronosticar los caudales del río Caplina en la estación de la Bocatoma Calientes mediante la modelación hidrológica. Una gran ventaja es que estos caudales pueden ser obtenidos en tiempo

real, partiendo de la información de la red de estaciones automáticas con que se cuenta en la región, y servirá para la implementación a tratar de un Sistema de Alerta Temprana.

RECOMENDACIONES

Primera

Ampliar y complementar la presente tesis, realizando estudios paleo-hidrológicos del río Caplina, con la finalidad de enriquecer el conocimiento actual sobre el comportamiento hidrológico de dicha cuenca.

Segunda

A futuro, recopilar información de las estaciones automáticas de precipitación y relacionarlas a las descargas registradas en la estación Bocatoma Calientes para que sirva como base para la calibración más certera del modelo.

Tercera

Para el análisis del riesgo de inundación se debe contemplar los factores o elementos del riesgo (peligrosidad, exposición y vulnerabilidad), y adaptarse a una metodología o requisitos mínimos oficiales y estandarizados.

Cuarta

Realizar con mayor detalle el análisis del riesgo para obras civiles, y generar una relación de estructura, suelo y cauce, con la finalidad de mejorar la gestión de riberas.

Quinta

Usar sistemas de información geográfica para el manejo de los modelos digitales del terreno y elevaciones de la lámina de agua es básico en la delimitación de las áreas inundables, no sólo para conseguir precisiones centimétricas, sino para obtener mapas batimétricos durante las crecidas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA (2002), Evaluación y ordenamiento de los recursos hídricos en las cuencas de los ríos Caplina y Uchusuma.

Diez Herrero Andrés (2001), Geomorfología e Hidrología Fluvial del Río Alberche, Modelamiento y S.I.G. para la gestión de riberas.

Arancibia, A. (1998); Simulación Hidrológica para el Afianzamiento de la Laguna Aricota, Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecánico de Fluidos en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima-Perú, 1994.

CEPAL REVIEW Articles. Gestión del agua a nivel de cuencas: Teoría y Práctica. Axel Dourojeanni.<http://www.eclac.cl/cgiin/getProd.asp?xml=/revista/noticias/Autores/3/18563/P18563.xml&xml=/revista/tpl-i/p41f.xsl&base=/revista/tpl-i/top-bottom.xsl>. (Consulta 10 octubre del 2007)

Cely M. (2012), Modelación Hidrológica e Hidráulica de la cuenca Chumbao, con fines de protección de las ciudades Andahuaylas y San Jerónimo.

Chow Ven Te. Hidrología Superficial. Addison Wesley, 1997.

Chorley (1962, 1972) geomorphology and General System Theory.
Prentice Hall, New Jersey, 1962 and 1972.

Vela Velásquez Churchill (2009), Subdivisión de la Placa de Nazca en tres nuevas placas, tectónicas y su incidencia con la sismicidad peruana actual.

Tisnado Valdivia Edgar Christian Jhonathan (2013), Modelamiento hidrodinámico para determinar zonas vulnerables en el cauce del río Seco, zona urbana – Tacna.

EICTM ministerio de agricultura (1978), Desarrollo de los recursos hídricos superficiales de Tacna y Moquegua.

Osorio Guerra Eugenio Prospero (2004), Determinación de caudales máximo de avenida con fines de diseño del sistema de drenaje de la ciudad de Moyobamba.

Guerrero, P. (2003), Modelos matemáticos de Gestión de Oferta de Agua.
Ciclo de Conferencias de 12 al 14 de febrero del 2003.

Hydrologic Engineering Center, HEC 2000 Hydrologic Modeling System
HEC-HMS; Technical Reference Manual. California-Usa, 2006.

INGEMMET (2009), Hidrología de la cuenca del río Caplina

Torvisco Martínez José (2006), Modelación Hidrológica e Hidráulica de la cuenca Chumbao, con fines de protección de las ciudades Andahuaylas y San Jerónimo.

Acuña Azarte Julia Ygnacia (2010), Desarrollo de análisis regional de caudales medios mensuales para diversos niveles de persistencia de los ríos peruanos pertenecientes a la vertiente del pacífico.

Kennedy (1971) Stockholm Environment Institute, 2009. Guía Metodológica – Modelación Hidrológica y de Recursos Hídricos con el Modelo. Santiago, Boston, Abril, 2009. (Consultado el 3 de noviembre de 2011)

Leopold, Wolman y Miller (1964). Fluvial Processes in Geomorphology. Institut für Bauinformatik Brandeburg University of Technology at Cottbus, Germany, 1964

Leopold, J. (1949). Modelos matemáticos de Gestión de Oferta de Agua. Ciclo de Conferencias de 12 al 14 de febrero de 1949.

Pedro David Córdova Trujillo (2003), Modelamiento hidrológico de la cuenca del río Huallaga con fines de estimación de áreas inundables en la zona de ambo.

Córdova Arango Marco Antonio (2003), Balance espacial del agua utilizando sistemas de información geográfica en la cuenca del río Rimac.

Monsalve, A. (1995). Introducción a la Hidráulica Fluvial. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima Perú: 5-37

Medina Rosell, J. (2009). Estudio de Hidráulica de Inundaciones con el modelo HEC – RAS. Instituto de la Construcción y Gerencia. Lima Perú: 10-24.

Mejía, A. (2001) Huaycos e Inundaciones – Chosica Perú. Universidad Nacional de Ingeniería. Sección de Post Grado. Lima Perú: 21-35.

Naciones unidas Centro de información en línea. Medio ambiente y Desarrollo sostenible <http://www.cinu.org.mx/temas/des_sost.htm> (Consulta 29 septiembre del 2011)

Palomino Cuya, Daly G. (2005), Hidrología en la Ingeniería, Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia, 2005.

Perry, A. (1996), Engineering Hydrology Principles and Practices. Prentice Hall, New Jersey, 1989. p. 9.

Pino, T. (2013). "Caracterización hidrogeomorfológica de la cuenca del río Caplina". Tesis, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna

Pilco Pari, H. (2013). Modelación hidrológica distribuida espacializada usando HEC-HMS para la represa Chirimayuni-Moquegua

Ponce, V. (1989); Engineering Hydrology Principles and Practices. Prentice Hall, New Jersey, 1989

Proyecto Especial Tacna; Estudio Hidrológico de la cuenca del río Caplina, Tacna-Perú, 2004.

Rodríguez E.; Tesis de Maestría Escuela de Post Grado - Universidad Jorge Basadre Grohmann, Evaluación de Inundaciones de Río Huatanay – Cusco y propuesta de Gestión, Tacna 2006.

Risser, B. (1990). Manejo de Cuencas Altoandinas, Escuela Superior de Administración de Aguas "Charles Sutton", Lima 1990.

Fonseca Salazar Sigfredo Ernesto (2002), Modelamiento hidrológico con HEC-HMS y sistema de información geográfica (SIG).

Ríos Sandra del Águila (2001), Modelamiento estocástico de las descargas medias del río Santa-Ancash.

Schumm (1977). The Fluvial System Universidad Nacional de Ingeniería.

Lima Perú: 5-37

Tisnado (2013) Tesis Modelamiento Hidrodinámico para Determinar

Zonas Vulnerables en el Cauce del Río Seco Zona Urbana – Tacna

Vásquez, A. (2000); Manejo de Cuencas Altoandinas, Escuela Superior

de Administración de Aguas “Charles Sutton”, Lima 2000.

ANEXOS

ANEXO 1:

DESCARGAS ESTACIÓN BOCATOMA

CALIENTES CUENCA CAPLINA

PROYECTO ESPECIAL TACNA
 GERENCIA DE ESTUDIOS Y PROYECTOS
 ÁREA DE HIDROLOGÍA

DESCARGAS MEDIAS MENSUALES (m³/s)

CÓDIGO ESTACIÓN : 19121113
 NOMBRE DE ESTACIÓN : BOCATOMA CALIENTES
 CATEG. DE ESTACIÓN : LIMNIGRÁFICA
 CUENCA : CARLINA
 RÍO : CARLINA

DPTO. : TACNA
 PROV. : TACNA
 DIST. : PACHA

LONGITUD : 70° 07' 18.47"
 LATITUD : 17° 51' 22.99"
 ALTITUD : 1 321 ms.n.m
 FUENTE : JUVT-DRAGT-PET

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PROM	D.STD
1939	2.500	4.240	4.930	2.510	1.010	0.990	0.940	0.930	0.940	0.940	0.940	0.940	1.818	1.429
1940	1.070	1.050	0.900	0.960	0.960	0.960	0.960	0.960	0.960	0.960	0.960	0.960	0.972	0.045
1941	1.080	1.070	1.070	0.910	0.860	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.870	0.940	0.942	0.082
1942	2.360	1.620	1.190	1.110	0.960	0.970	0.990	1.030	0.980	0.920	0.870	1.020	1.168	0.423
1943	1.340	12.560	8.420	1.190	0.840	1.100	1.060	1.020	0.990	0.990	0.970	0.910	2.616	3.785
1944	0.980	17.260	2.000	0.880	0.800	0.810	0.770	0.750	0.750	0.690	0.670	0.680	2.253	4.740
1945	0.980	0.960	1.590	1.190	0.870	0.760	0.680	0.670	0.760	0.760	0.710	0.630	0.880	0.276
1946	1.120	4.660	0.820	0.830	0.810	0.830	0.380			0.530	0.670	1.170	1.182	1.245
1947	4.510	0.680	0.570	0.620	0.630	0.620	0.620	0.610	0.610	0.450	0.460	0.690	0.923	1.132
1948	0.670	1.020	1.890	0.730	0.660	0.590	0.570	0.570	0.520	0.480	0.480	0.590	0.738	0.388
1949	5.710	4.180	2.870	1.250	0.840	0.760	0.780	0.700	0.620	0.550	0.490	0.660	1.618	1.712
1950	0.790	0.830	1.080	0.790	0.830	0.950	0.780	0.720	0.500	0.540	0.620	0.660	0.758	0.164
1951	1.310	1.740	1.900	0.630	0.610	0.510	0.480	0.500	0.510			0.660	0.885	0.550
1952	3.080	1.700	0.900	0.800	0.820	0.770	0.730	0.720	0.940	0.710	0.740	0.720	1.051	0.689
1953	1.050	2.870	3.950	0.850	0.790	0.720	0.720	0.670	0.660	0.730	0.740	0.670	1.202	1.062
1954	0.800	4.760	2.060	1.120	1.040	0.920	0.840	0.830	0.770	0.700	0.820	0.890	1.293	1.150
1955	2.040	2.090	2.330	0.960	1.000	0.840	0.840	0.780	0.760	0.670	0.660	0.780	1.146	0.619
1956	0.780	0.950	0.790	0.670	0.720	0.650	0.640	0.640	0.610	0.610	0.610	0.660	0.694	0.102
1957	0.690	0.800	0.890	0.480	0.670	0.740	0.690	0.630	0.720	0.710	0.680	0.990	0.724	0.128
1958	1.310	0.930	1.370	0.620	0.640	0.640	0.630	0.610	0.620	0.610	0.660	0.620	0.772	0.280
1959	0.711	0.621	1.150	0.794	0.624	0.619	0.628	0.600	0.603	0.596	0.608	0.625	0.686	0.157
1960	1.595	1.155	0.731	0.726	0.677	0.602	0.607	0.614	0.610	0.607	0.612	0.695	0.769	0.302
1961	1.544	2.130	1.043	0.649	0.644	0.643	0.568	0.530	0.545	0.508	0.526	0.724	0.838	0.504
1962	1.041	1.286	0.753	0.761	0.527	0.498	0.676	0.496	0.549	0.523	0.557	0.583	0.688	0.246
1963	0.772	1.833	2.069	0.762	0.624	0.593	0.563	0.593	0.635	0.581	0.593	0.619	0.853	0.520
1964	0.560	0.843	1.047	0.956	0.804	0.793	0.831	0.728	0.648	0.658	0.657	0.559	0.757	0.151
1965	0.607	1.011	0.683	0.584	0.685	0.644	0.615	0.622	0.660	0.621	0.591	0.598	0.660	0.116
1966	0.539	0.724	0.701		0.545	0.526	0.500	0.543	0.534	0.535	0.543	0.519	0.564	0.075
1967	0.490	0.753	1.015	0.531	0.495	0.693	0.649	0.789	0.719	0.705	0.679	0.685	0.684	0.143
1968	0.933	1.555	1.665	0.990	0.962	0.945	0.787	0.542	0.617	0.554	0.635	0.642	0.902	0.370
1969	1.830	3.728	1.378	0.760	0.698	0.767	0.777	0.751	0.607	0.588	0.555	0.608	1.087	0.913
1970	0.747	0.818	0.711	0.561	0.525	0.523	0.548	0.565	0.556	0.570	0.560	0.568	0.604	0.097
1971	0.769	1.598	0.872	0.554	0.540	0.564	0.545	0.510	0.524	0.440	0.441	0.472	0.652	0.324
1972	1.069	1.020	1.024	0.986	0.677	0.584	0.574	0.567	0.561	0.541	0.601	0.613	0.735	0.217
1973	1.358	2.714	2.304	0.904	0.756	0.694	0.688	0.657	0.576	0.559	0.501	0.509	1.018	0.739
1974	1.481	1.266	1.262	0.776	0.716	0.734	0.664	0.736	0.697	0.585	0.614	0.555	0.841	0.311
1975	1.303	2.440	2.879	1.016	0.822	0.728	0.724	0.641	0.615	0.613	0.593	0.910	1.107	0.759
1976	1.720	3.262	2.284	0.970	0.814	0.754	0.708	0.706	0.735	0.665	0.618	0.653	1.157	0.837
1977	1.137	2.677	3.888	0.987	0.878	0.818	0.757	0.756	0.669	0.635	0.598	0.613	1.201	1.018
1978	0.971	1.153	0.694	0.671	0.635	0.668	0.615	0.594	0.569	0.543	0.544	0.529	0.662	0.189
1979	0.688	0.562	1.186	0.673	0.614	0.630	0.628	0.588	0.567	0.533	0.486	0.566	0.643	0.180
1980	0.573	0.533	0.798	0.584	0.556	0.550	0.560	0.529	0.486	0.515	0.462	0.444	0.549	0.090
1981	0.563	1.336	1.097	0.709	0.602	0.593	0.573	0.556	0.542	0.488	0.461	0.488	0.667	0.269
1982	0.624	0.721	0.646	0.557	0.547	0.590	0.539	0.501	0.505	0.498	0.476	0.514	0.560	0.073
1983	0.424	0.376	0.440	0.440	0.475	0.476	0.494	0.445	0.464	0.432	0.389	0.407	0.439	0.036
1984	0.815	1.887	1.490	0.777	0.573	0.585	0.545	0.444	0.512	0.612	0.544	0.780	0.445	
1985	0.568	4.174	2.134	1.069	0.707	0.640	0.624	0.566	0.529	0.497	0.553	0.624	1.057	1.082
1986	1.694	2.854	1.723	1.032	0.801	0.742	0.702	0.680	0.598	0.549	0.548	0.626	1.045	0.701
1987	2.325	1.241	0.789	0.679	0.680	0.671	0.750	0.641	0.574	0.560	0.523	0.501	0.828	0.510
1988	0.895	0.943	1.053	0.885	0.674	0.644	0.640	0.602	0.544	0.496	0.433	0.496	0.692	0.202
1989	0.623	3.841	0.932	0.832	0.698	0.619	0.594	0.507	0.523	0.488	0.451	0.402	0.876	0.946
1990	0.459	0.486	0.541	0.468	0.497	0.534	0.512	0.486	0.431	0.400	0.415	0.676	0.492	0.073
1991	1.133	0.816	1.258	0.784	0.659	0.693	0.636	0.592	0.491	0.432	0.418	0.405	0.683	0.273
1992	0.467	0.367	0.355	0.395	0.433	0.492	0.504	0.454	0.386	0.360	0.368	0.443	0.419	0.053
1993	1.363	0.708	0.973	0.565	0.474	0.458	0.464	0.486	0.393	0.391	0.370	0.456	0.593	0.295
1994	1.132	2.220	0.740	0.608	0.515	0.542	0.482	0.461	0.417	0.408	0.380	0.474	0.698	0.521
1995	0.521	0.401	1.585	0.548	0.509	0.483	0.434	0.415	0.390	0.355	0.330	0.346	0.526	0.341
1996	0.701	1.058	0.671	0.528	0.448	0.374	0.447	0.404	0.384	0.339	0.349	0.346	0.504	0.213
1997	1.497	4.715	0.502	0.807	0.563	0.553	0.544	0.555	0.499	0.433	0.407	0.420	0.958	1.220
1998	3.859	5.110	0.608	0.469	0.459	0.475	0.470	0.451	0.376	0.379	3.820	0.402	1.407	1.752
1999	0.456	3.446	4.106	2.036	0.818	0.633	0.599	0.520	0.465	0.475	0.456	0.466	1.206	1.286
2000	1.776	3.206	3.029	1.098	0.774	0.737	0.695	0.604	0.543	0.511	0.503	0.496	1.165	0.982
2001	2.117	9.171	6.538	1.630	1.001	0.975	1.103	1.082	0.908	0.805	0.834	0.789	2.246	2.707
2002	0.736	1.715	2.060	1.240	0.953	0.884	0.954	0.815	0.717	0.707	0.674	0.656	1.009	0.448
2003	0.667	0.679	0.842	0.725	0.657	0.645	0.645	0.608	0.560	0.514	0.486	0.477	0.625	0.105
2004	0.675	1.107	0.631	0.557	0.548	0.559	0.592	0.537	0.489	0.461	0.452	0.454	0.589	0.178
2005	0.678	1.163	0.864	0.629	0.568	0.578	0.589	0.544	0.601	0.467	0.417	0.466	0.630	0.204
2006	0.845	1.806	2.020	1.411	0.766	0.715	0.657	0.609	0.591	0.595	0.529	0.503	0.921	0.523
2007	0.776	0.945	1.284	0.692	0.590	0.579	0.588	0.557	0.515	0.474	0.445	0.488	0.661	0.242
2008	1.652	0.766	0.792	0.625	0.594	0.607	0.580	0.536	0.504	0.476	0.425	0.477	0.670	0.329
2009	0.625	1.169	1.313	0.597	0.540	0.533	0.534	0.498	0.453	0.425	0.431	0.422	0.628	0.295
2010	0.469	0.685	0.518	0.435	0.495	0.492	0.490	0.453	0.429	0.394	0.365	0.405	0.469	0.082
2011	0.807	1.936	0.846	0.639	0.562	0.533	0.536	0.484	0.440	0.412	0.405	0.527	0.677	0.421
2012	2.404	5.412	1.747	1.058	0.782	0.680	0.646	0.587	0.557	0.517	0.622	0.737	1.312	1.411
2013	1.122	0.968	1.191	0.693	0.735	0.654	0.628	0.560	0.517	0.505	0.468	0.523	0.714	0.247
2014	0.794	0.501	0.497	0.534	0.509	0.507	0.515	0.471	0.446	0.436	0.439	0.427	0.506	0.097
2015	0.493	1.007	1.370	0.875	0.629	0.603								
PROM	1.212													

PROYECTO ESPECIAL TACNA
 GERENCIA DE ESTUDIOS Y PROYECTOS
 AREA DE HIDROLOGIA

DESCARGAS MINIMAS MENSUALES (m³/s)

CODIGO DE ESTACION : 19121133
 NOMBRE DE ESTACION : BOCATOMA CALIENTES
 CATEG. DE ESTACION : LIMNIGRAFICA
 CUENCA : CARLINA
 RIO : CARLINA

DPTO. : TACNA
 PROV. : TACNA
 DIST. : PACHA

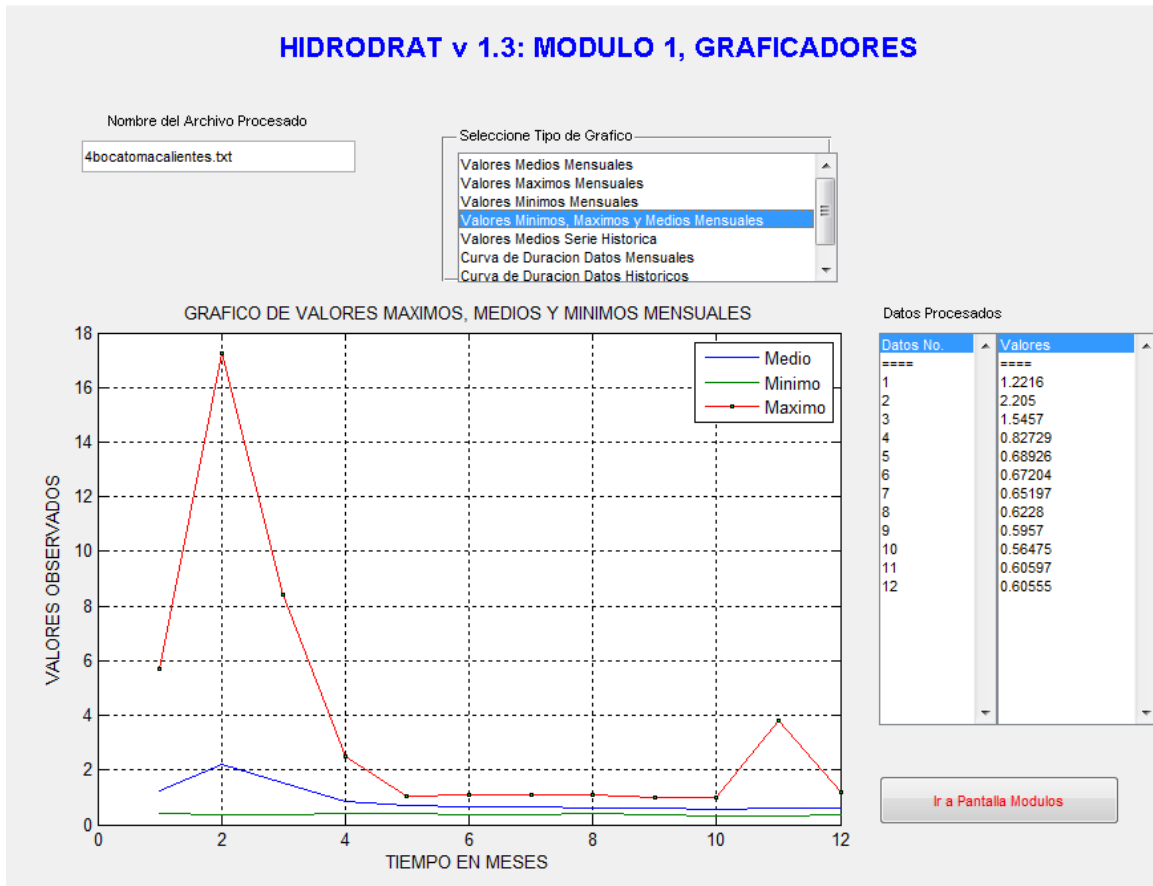
LONGITUD : 70° 07' 18.47"
 LATITUD : 17° 51' 22.99"
 ALTITUD : 1 321 m.s.n.m
 FUENTE : JUVT-DRAGT-PET

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PROM	D.STD
1959	0.469	0.469	0.740	0.661	0.556	0.561	0.525	0.522	0.537	0.530	0.517	0.520	0.551	0.077
1960	0.611	0.608	0.634	0.610	0.599	0.547	0.498	0.534	0.544	0.545	0.519	0.530	0.565	0.045
1961	0.603	0.861	0.713	0.551	0.572	0.581	0.447	0.462	0.483	0.439	0.459	0.543	0.560	0.124
1962	0.522	0.642	0.640	0.636	0.497	0.460	0.587	0.433	0.486	0.455	0.481	0.477	0.526	0.078
1963	0.479	0.784	0.972	0.637	0.556	0.540	0.440	0.516	0.568	0.517	0.506	0.494	0.584	0.151
1964	0.445	0.527	0.714	0.784	0.703	0.706	0.789	0.631	0.580	0.599	0.551	0.465	0.625	0.116
1965	0.453	0.570	0.622	0.502	0.606	0.582	0.508	0.541	0.591	0.560	0.505	0.484	0.544	0.053
1966	0.442	0.496	0.627		0.491	0.484	0.358	0.493	0.472	0.468	0.471	0.446	0.477	0.063
1967	0.434	0.503	0.706	0.462	0.450	0.623	0.552	0.632	0.647	0.649	0.567	0.525	0.563	0.089
1968	0.505	0.712	0.830	0.810	0.833	0.833	0.732	0.473	0.551	0.488	0.536	0.505	0.651	0.153
1969	0.649	1.277	0.797	0.636	0.617	0.685	0.719	0.651	0.541	0.524	0.476	0.488	0.672	0.213
1970	0.475	0.520	0.629	0.485	0.475	0.481	0.421	0.484	0.493	0.505	0.483	0.470	0.493	0.049
1971	0.479	0.723	0.670	0.480	0.487	0.515	0.417	0.445	0.463	0.367	0.399	0.424	0.489	0.106
1972	0.538	0.942	0.838	0.721	0.467	0.481	0.441	0.523	0.509	0.495	0.499	0.509	0.580	0.162
1973	0.513	0.724	1.034	0.633	0.607	0.556	0.566	0.494	0.462	0.455	0.358	0.390	0.566	0.180
1974	0.470	0.696	0.812	0.612	0.571	0.522	0.578	0.528	0.591	0.519	0.520	0.486	0.575	0.097
1975	0.521	1.009	1.541	0.832	0.740	0.614	0.614	0.553	0.582	0.547	0.441	0.571	0.714	0.303
1976	0.726	1.618	1.541	0.865	0.751	0.711	0.642	0.663	0.667	0.612	0.677	0.601	0.840	0.353
1977	0.592	0.725	1.312	0.929	0.813	0.759	0.698	0.707	0.611	0.564	0.679	0.536	0.744	0.210
1978	0.619	0.621	1.112	0.622	0.590	0.616	0.545	0.564	0.541	0.510	0.673	0.476	0.624	0.163
1979	0.516	0.456	0.595	0.618	0.586	0.630	0.573	0.549	0.531	0.489	0.504	0.461	0.542	0.059
1980	0.449	0.474	0.658	0.534	0.525	0.533	0.467	0.441	0.394	0.465	0.525	0.415	0.490	0.071
1981	0.429	0.667	0.515	0.623	0.557	0.560	0.519	0.526	0.454	0.405	0.560	0.381	0.516	0.086
1982	0.491	0.485	0.628	0.466	0.506	0.535	0.133	0.452	0.457	0.433	0.581	0.416	0.465	0.121
1983	0.368	0.278	0.445	0.406	0.433	0.442	0.453	0.326	0.404	0.354	0.405	0.372	0.391	0.053
1984	0.427	0.489	0.561	0.485	0.535	0.552	0.540	0.479	0.389	0.413	0.759	0.472	0.508	0.096
1985	0.500	1.067	0.585	0.638	0.630	0.530	0.573	0.530	0.489	0.472	0.620	0.520	0.596	0.159
1986	0.800	1.315	0.750	0.835	0.717	0.630	0.634	0.619	0.486	0.489	0.510	0.520	0.692	0.230
1987	0.769	0.737	0.677	0.603	0.616	0.624	0.633	0.604	0.531	0.507	0.550	0.472	0.610	0.089
1988	0.459	0.619	0.644	0.341	0.531	0.469	0.602	0.568	0.449	0.464	0.407	0.503	0.505	0.091
1989	0.448	0.904	0.605	0.699	0.621	0.557	0.548	0.478	0.425	0.430	0.351	0.309	0.531	0.164
1990	0.301	0.305	0.455	0.434	0.446	0.481	0.461	0.448	0.380	0.361	0.378	0.425	0.406	0.061
1991	0.630	0.553	0.575	0.608	0.468	0.543	0.535	0.504	0.455	0.383	0.325	0.309	0.491	0.106
1992	0.382	0.339	0.266	0.356	0.400	0.439	0.466	0.405	0.335	0.325	0.319	0.313	0.362	0.058
1993	0.387	0.440	0.489	0.512	0.430	0.411	0.419	0.411	0.364	0.374	0.338	0.334	0.409	0.055
1994	0.372	0.749	0.600	0.527	0.469	0.478	0.431	0.414	0.440	0.358	0.366	0.365	0.464	0.116
1995	0.382	0.362	0.375	0.456	0.442	0.449	0.149	0.384	0.366	0.315	0.303	0.311	0.358	0.084
1996	0.377	0.481	0.528	0.438	0.403	0.390	0.419	0.380	0.357	0.317	0.328	0.304	0.394	0.066
1997	0.368	0.810	1.105	0.599	0.522	0.539	0.505	0.465	0.449	0.395	0.362	0.333	0.454	0.170
1998	0.353	0.747	0.490	0.436	0.421	0.153	0.443	0.416	0.344	0.309	0.349	0.341	0.400	0.139
1999	0.314	0.883	1.790	0.949	0.642	0.572	0.534	0.468	0.368	0.431	0.422	0.399	0.648	0.410
2000	0.582	1.487	1.154	0.811	0.707	0.654	0.636	0.554	0.495	0.411	0.403	0.388	0.690	0.329
2001	0.475	2.400	3.657	0.910	0.871	0.494	0.992	0.920	0.809	0.687	0.771	0.625	1.134	0.939
2002	0.632	1.077	1.290	1.105	0.825	0.815	0.820	0.755	0.670	0.660	0.610	0.480	0.812	0.236
2003	0.510	0.530	0.540	0.580	0.530	0.550	0.550	0.500	0.460	0.420	0.400	0.380	0.494	0.063
2004	0.420	0.590	0.490	0.470	0.460	0.490	0.480	0.420	0.410	0.400	0.440	0.420	0.458	0.053
2005	0.460	0.430	0.670	0.520	0.540	0.540	0.550	0.520	0.510	0.430	0.355	0.360	0.490	0.089
2006	0.485	1.140	1.025	0.780	0.670	0.649	0.615	0.570	0.550	0.545	0.475	0.455	0.663	0.218
2007	0.480	0.440	0.815	0.580	0.550	0.545	0.555	0.505	0.480	0.430	0.405	0.425	0.518	0.110
2008	0.595	0.535	0.610	0.565	0.570	0.580	0.520	0.490	0.475	0.445	0.395	0.410	0.516	0.073
2009	0.435	0.490	0.590	0.535	0.500	0.485	0.505	0.445	0.425	0.400	0.370	0.390	0.464	0.065
2010	0.415	0.380	0.405	0.410	0.440	0.445	0.460	0.425	0.390	0.365	0.320	0.355	0.401	0.041
2011	0.367	1.065	0.552	0.519	0.519	0.498	0.473	0.429	0.411	0.383	0.379	0.375	0.498	0.190
2012	0.839	1.776	1.033	0.879	0.696	0.619	0.581	0.481	0.486	0.407	0.512	0.514	0.735	0.378
2013	0.473	0.705	0.781	0.612	0.604	0.519	0.569	0.474	0.427	0.462	0.376	0.406	0.534	0.124
2014	0.453	0.441	0.438	0.445	0.470	0.450	0.452	0.359	0.346	0.347	0.419	0.382	0.417	0.045
2015	0.366	0.416	0.602	0.759	0.492								0.527	0.157
PROM	0.492	0.738	0.780	0.616	0.567	0.548	0.533	0.510	0.484	0.458	0.468	0.439	0.553	--
D.STD	0.115	0.394	0.498	0.166	0.115	0.108	0.136	0.102	0.094	0.088	0.112	0.078	0.134	--
MAX	0.839	2.400	3.657	1.105	0.871	0.833	0.992	0.920	0.809	0.687	0.771	0.625	1.134	--
MIN	0.301	0.278	0.105	0.341	0.400	0.153	0.133	0.326	0.335	0.309	0.303	0.304	0.358	--

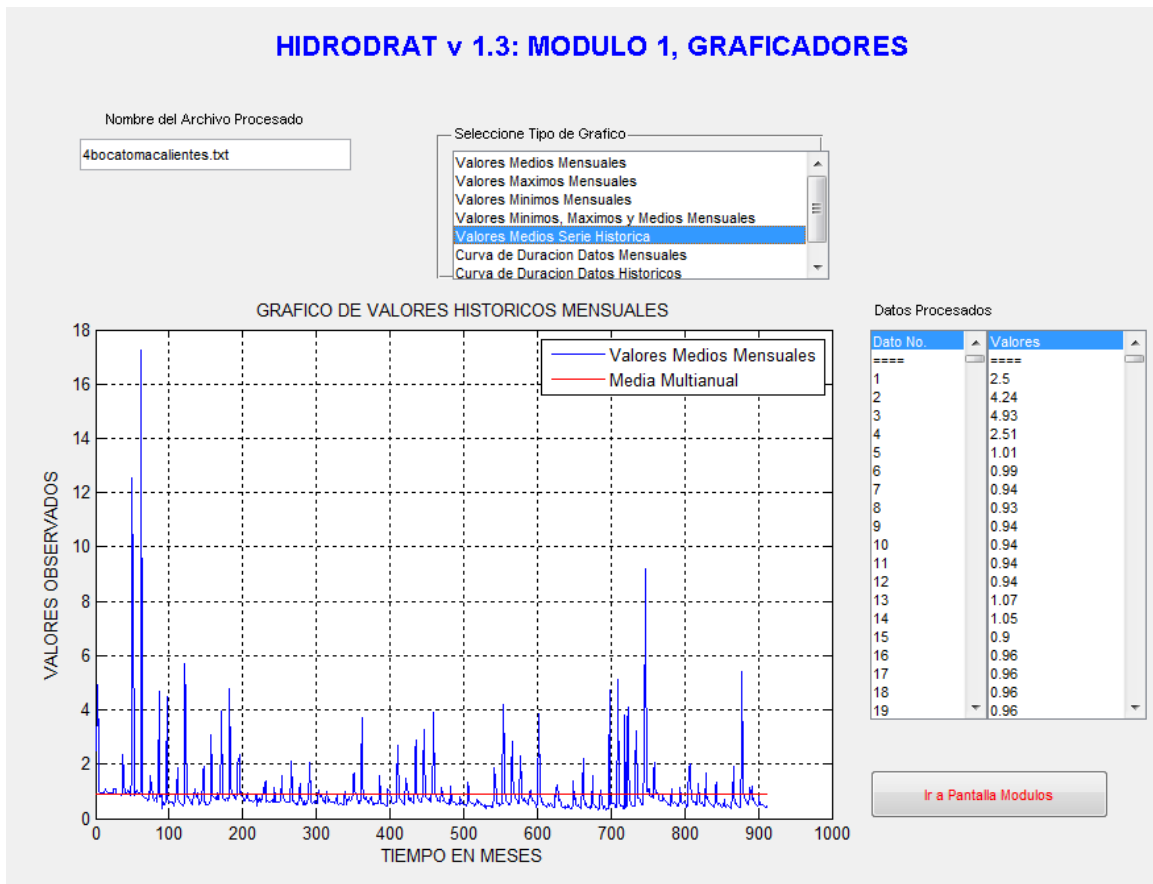
ANEXO 2:

PRUEBAS DE HOMOGENEIDAD O CONSISTENCIA

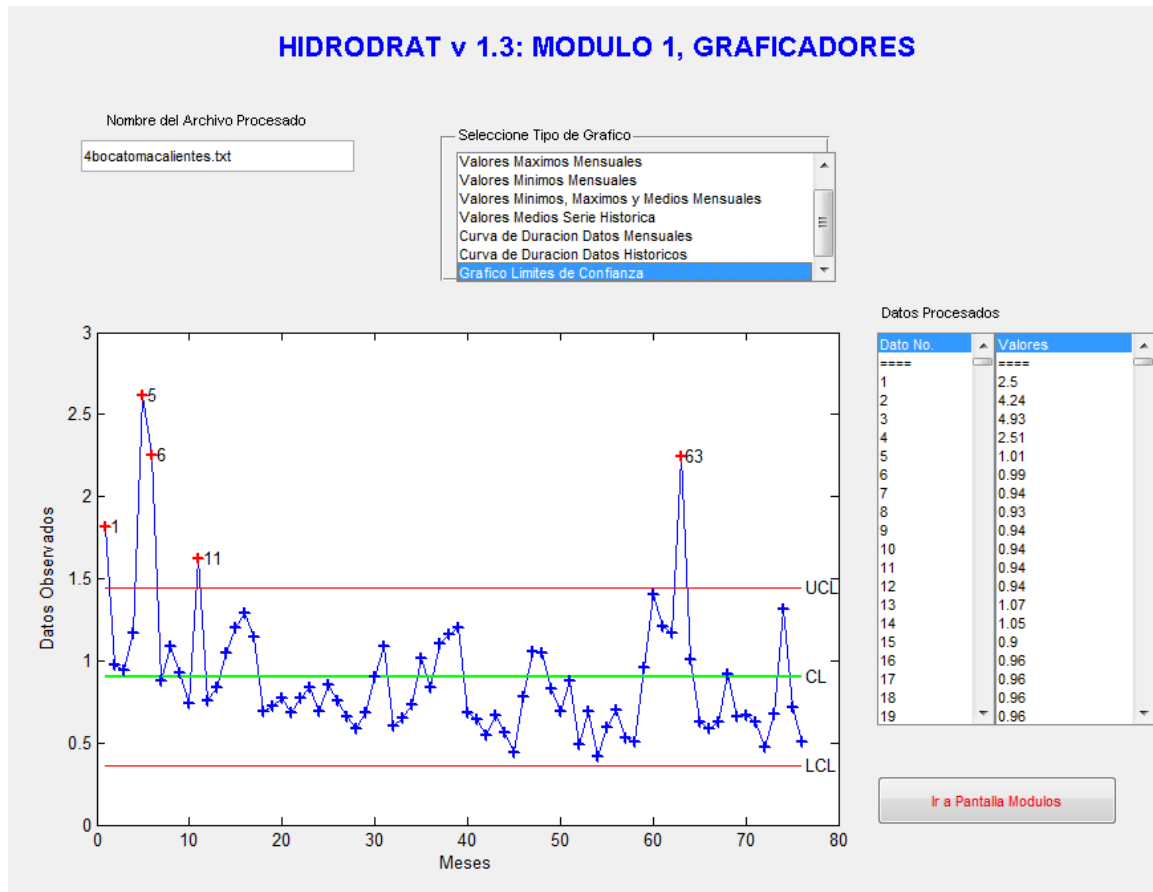
HIDRODRAT v 1.3: MODULO 1, GRAFICADORES



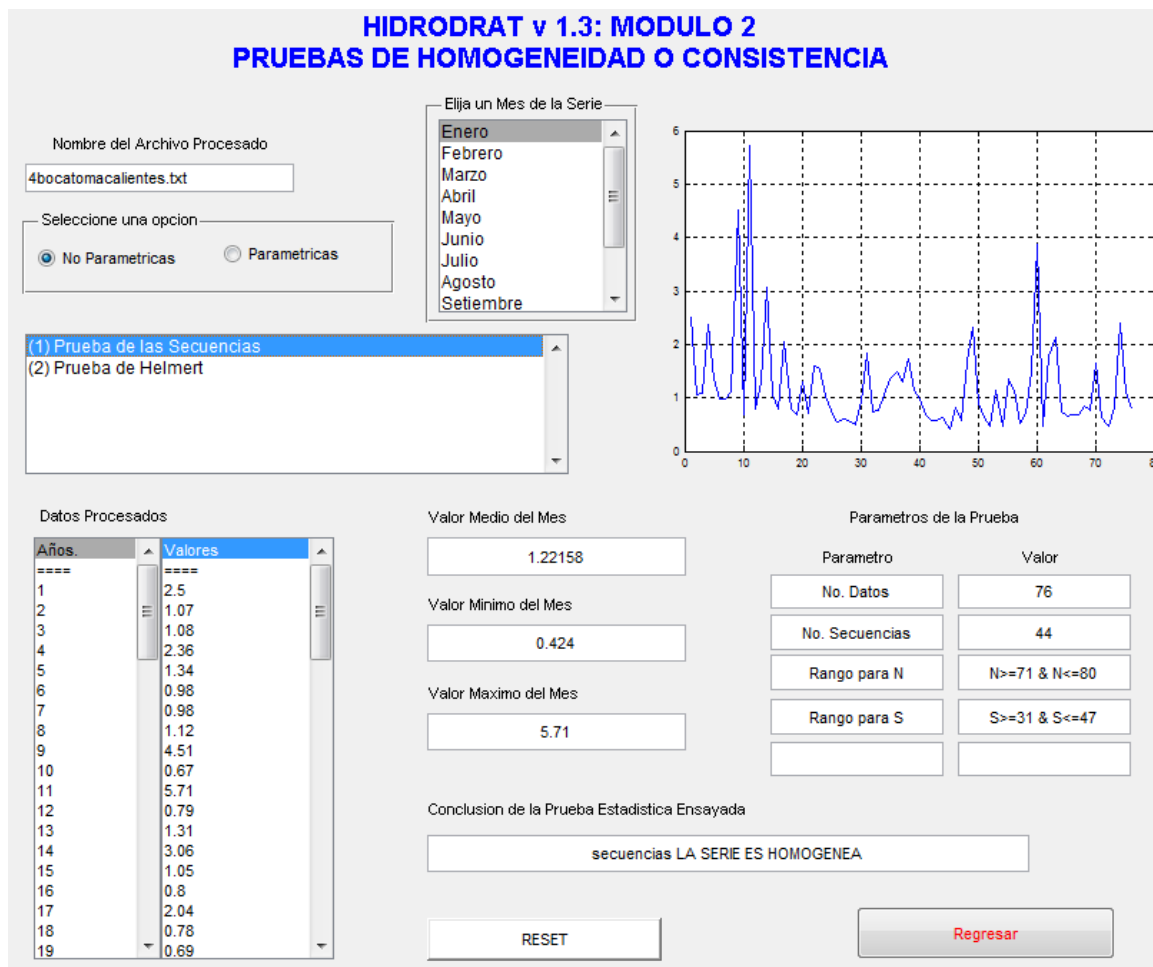
HIDRODRAT v 1.3: MODULO 1, GRAFICADORES



HIDRODRAT v 1.3: MODULO 1, GRAFICADORES



HIDRODRAT v 1.3: MODULO 2 PRUEBAS DE HOMOGENEIDAD O CONSISTENCIA



HIDRODRAT v 1.3: MODULO 2 PRUEBAS DE HOMOGENEIDAD O CONSISTENCIA

Nombre del Archivo Procesado
4bocatomacalientes.txt

Seleccione una opcion
 No Parametricas Parametricas

Elija un Mes de la Serie
 Enero
Febrero
 Marzo
 Abril
 Mayo
 Junio
 Julio
 Agosto
 Setiembre

(1) Prueba de las Secuencias
 (2) Prueba de Helmert

Datos Procesados

Años.	Valores
====	====
1	4.24
2	1.05
3	1.07
4	1.62
5	12.56
6	17.26
7	0.96
8	4.66
9	0.68
10	1.02
11	4.18
12	0.83
13	1.74
14	1.7
15	2.87
16	4.76
17	2.09
18	0.95
19	0.8

Valor Medio del Mes
1.22158

Valor Minimo del Mes
0.424

Valor Maximo del Mes
5.71

Conclusion de la Prueba Estadistica Ensayada
 secuencias LA SERIE ES HOMOGENEA

Parametros de la Prueba

Parametro	Valor
No. Datos	76
No. Secuencias	44
Rango para N	N>=71 & N<=80
Rango para S	S>=31 & S<=47

RESET Regresar

Nombre del Archivo Procesado
4bocatomacalientes.txt

Seleccione una opcion
 No Parametricas Parametricas

Elija un Mes de la Serie
 Enero
 Febrero
Marzo
 Abril
 Mayo
 Junio
 Julio
 Agosto
 Setiembre

(1) Prueba de las Secuencias
 (2) Prueba de Helmert

Datos Procesados

Años.	Valores
====	====
1	4.93
2	0.9
3	1.07
4	1.19
5	8.42
6	2
7	1.59
8	0.82
9	0.57
10	1.89
11	2.87
12	1.08
13	1.9
14	0.9
15	3.95
16	2.06
17	2.33
18	0.79
19	0.89

Valor Medio del Mes
1.22158

Valor Minimo del Mes
0.424

Valor Maximo del Mes
5.71

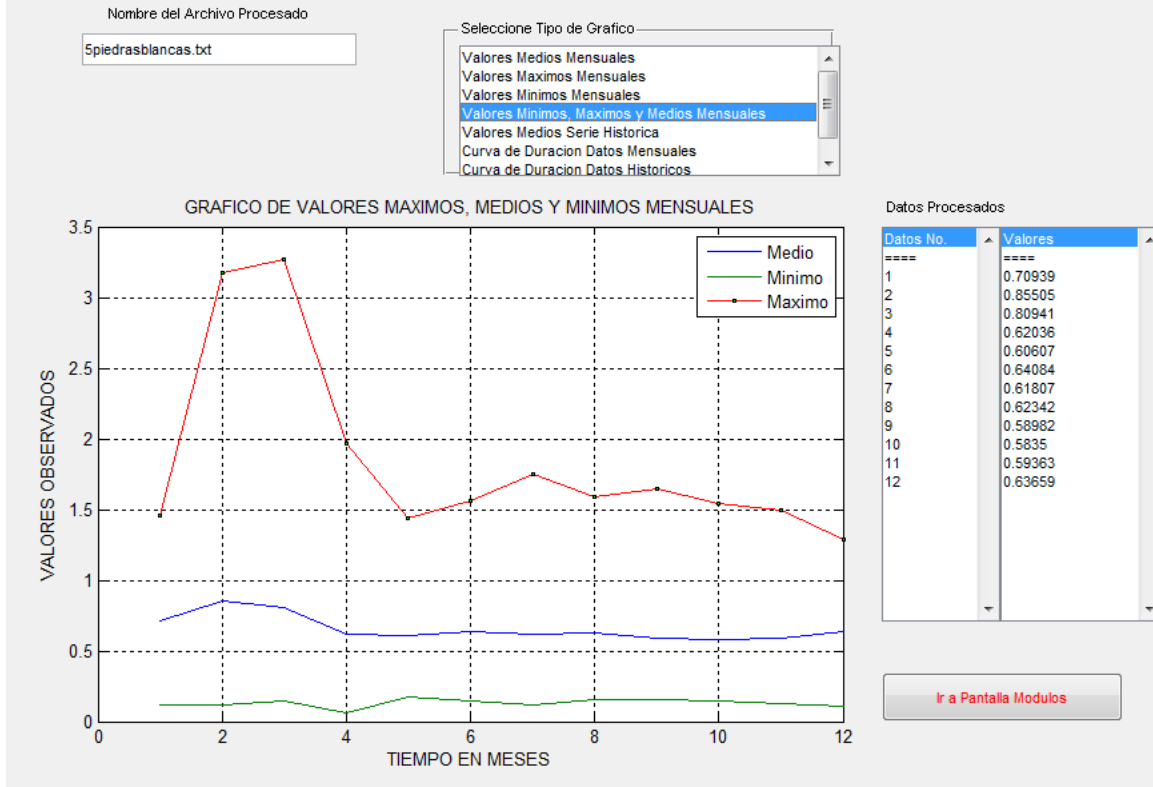
Conclusion de la Prueba Estadistica Ensayada
 secuencias LA SERIE ES HOMOGENEA

Parametros de la Prueba

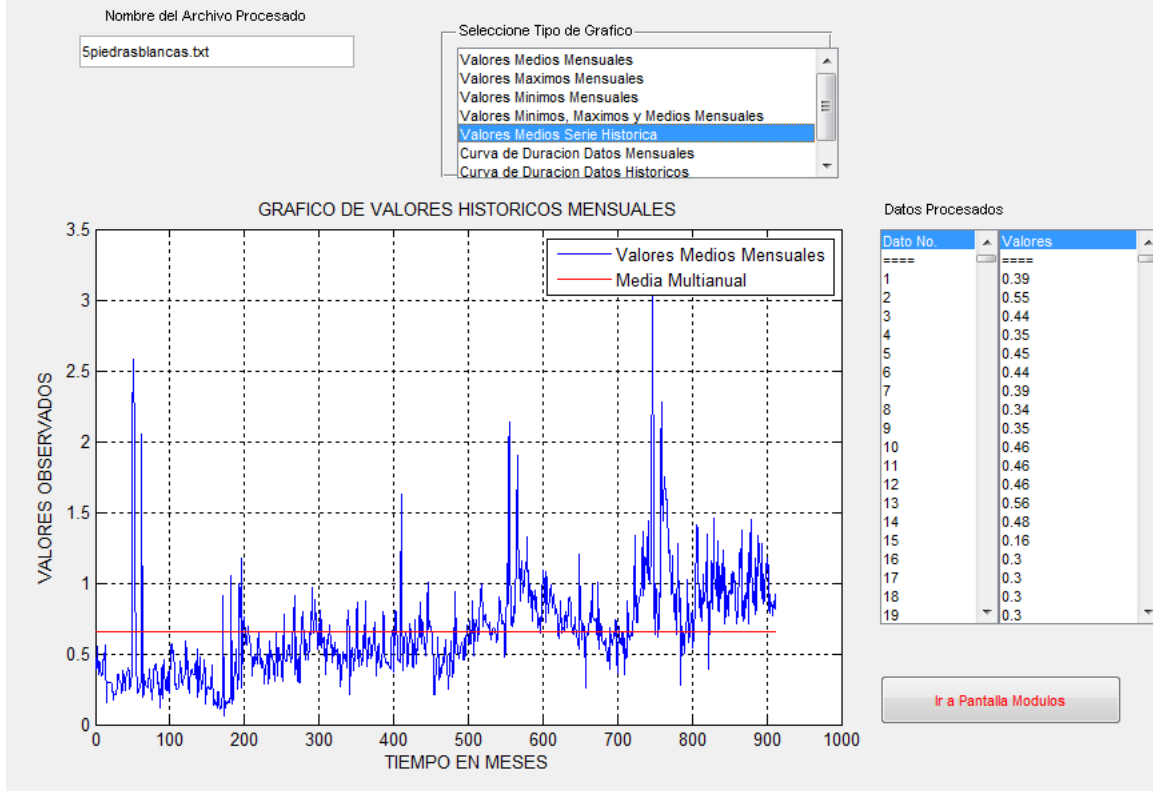
Parametro	Valor
No. Datos	76
No. Secuencias	44
Rango para N	N>=71 & N<=80
Rango para S	S>=31 & S<=47

RESET Regresar

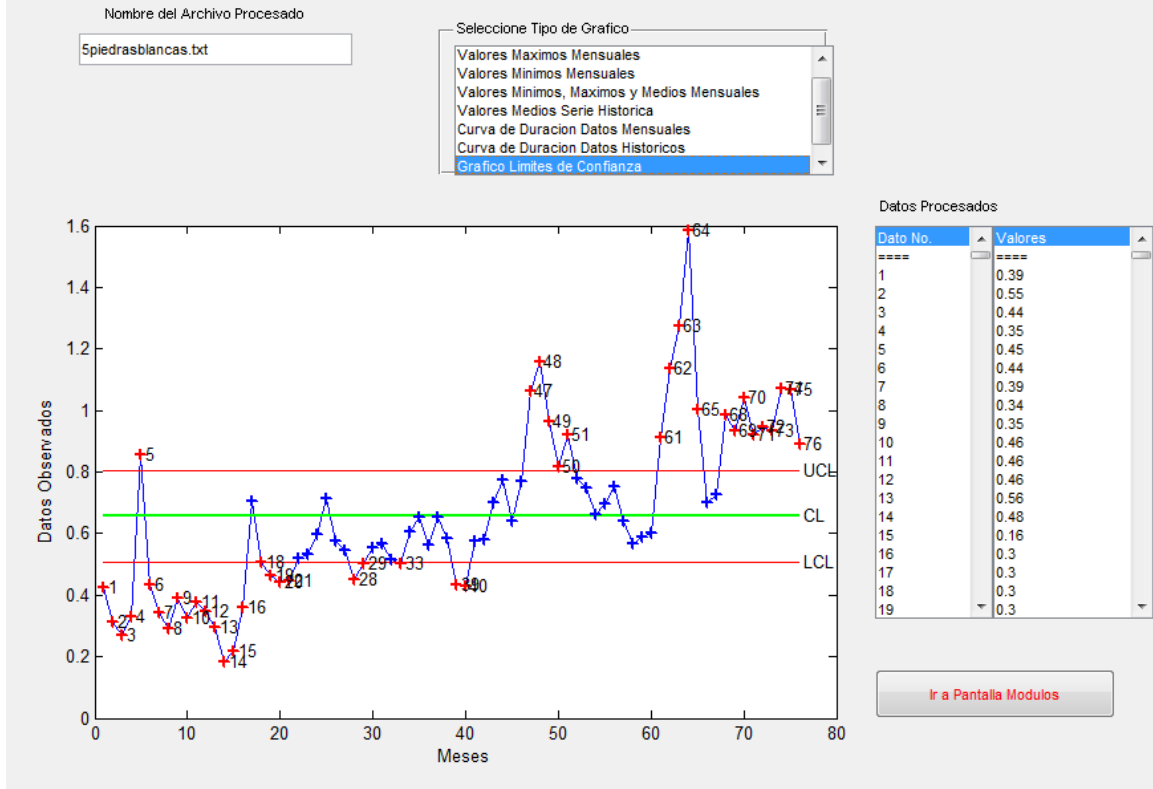
HIDRODRAT v 1.3: MODULO 1, GRAFICADORES



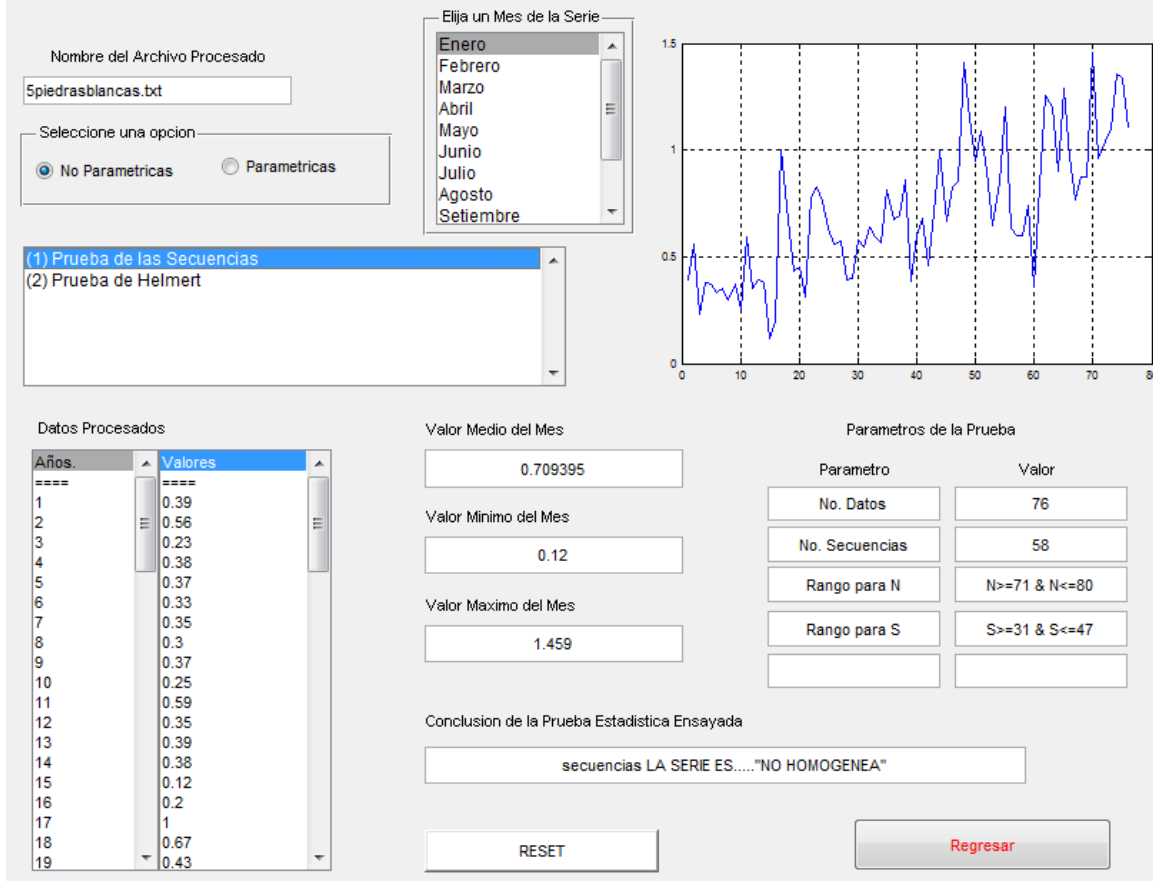
HIDRODRAT v 1.3: MODULO 1, GRAFICADORES



HIDRODRAT v 1.3: MODULO 1, GRAFICADORES



HIDRODRAT v 1.3: MODULO 2 PRUEBAS DE HOMOGENEIDAD O CONSISTENCIA



HIDRODRAT v 1.3: MODULO 2 PRUEBAS DE HOMOGENEIDAD O CONSISTENCIA

Nombre del Archivo Procesado

Seleccione una opcion
 No Parametricas Parametricas

Elija un Mes de la Serie
 Enero
Febrero
 Marzo
 Abril
 Mayo
 Junio
 Julio
 Agosto
 Setiembre

(1) Prueba de las Secuencias
 (2) Prueba de Helmert

Datos Procesados

Años.	Valores
1	0.55
2	0.48
3	0.21
4	0.34
5	2.12
6	2.05
7	0.29
8	0.12
9	0.24
10	0.25
11	0.39
12	0.41
13	0.46
14	0.14
15	0.25
16	1.05
17	0.76
18	0.6
19	0.57

Valor Medio del Mes

Valor Minimo del Mes

Valor Maximo del Mes

Parametros de la Prueba

Parametro	Valor
No. Datos	76
No. Secuencias	54
Rango para N	N>=71 & N<=80
Rango para S	S>=31 & S<=47

Conclusion de la Prueba Estadistica Ensayada

HIDRODRAT v 1.3: MODULO 2 PRUEBAS DE HOMOGENEIDAD O CONSISTENCIA

Nombre del Archivo Procesado

Seleccione una opcion
 No Parametricas Parametricas

Elija un Mes de la Serie
 Enero
 Febrero
Marzo
 Abril
 Mayo
 Junio
 Julio
 Agosto
 Setiembre

(1) Prueba de las Secuencias
 (2) Prueba de Helmert

Datos Procesados

Años.	Valores
1	0.44
2	0.16
3	0.21
4	0.35
5	2.58
6	0.19
7	0.29
8	0.25
9	0.24
10	0.26
11	0.54
12	0.45
13	0.35
14	0.22
15	0.91
16	0.15
17	1.17
18	0.61
19	0.66

Valor Medio del Mes

Valor Minimo del Mes

Valor Maximo del Mes

Parametros de la Prueba

Parametro	Valor
No. Datos	76
No. Secuencias	45
Rango para N	N>=71 & N<=80
Rango para S	S>=31 & S<=47

Conclusion de la Prueba Estadistica Ensayada

ANEXO 3:

ANÀLISIS DE FRECUENCIAS

HIDRODRAT v 1.3: MODULO 3 ANALISIS DE FRECUENCIAS HIDROLOGICAS

Nombre del Archivo Procesado
4bocatomacalientes.txt

Ploteo Distribucion Normal
Ploteo Distribucion Weibull
The Kolmogorov test
The Jarque-Beta test
The Lilliefors test

Elija un Mes de la Serie
Enero
Febrero
Marzo
Abril
Mayo
Junio
Julio
Agosto
Setiembre
Octubre

Conclusion de Ajuste Distribucion Normal
K-test: Los Datos ... NO se Ajustan a una D. Normal

Graficador de Distribuciones Ajuste de Distribuciones

Datos Procesados

Años.	Valores
1	2.5
2	1.07
3	1.08
4	2.36
5	1.34
6	0.98
7	0.98
8	1.12
9	4.51
10	0.67
11	5.71
12	0.79
13	1.31
14	3.06
15	1.05
16	0.8
17	2.04
18	0.78
19	0.69

Normal Probability Plot

Regresar

Nombre del Archivo Procesado
4bocatomacalientes.txt

Ploteo Distribucion Normal
Ploteo Distribucion Weibull
The Kolmogorov test
The Jarque-Beta test
The Lilliefors test

Elija un Mes de la Serie
Enero
Febrero
Marzo
Abril
Mayo
Junio
Julio
Agosto
Setiembre
Octubre

Conclusion de Ajuste Distribucion Normal
K-test: Los Datos ... NO se Ajustan a una D. Normal

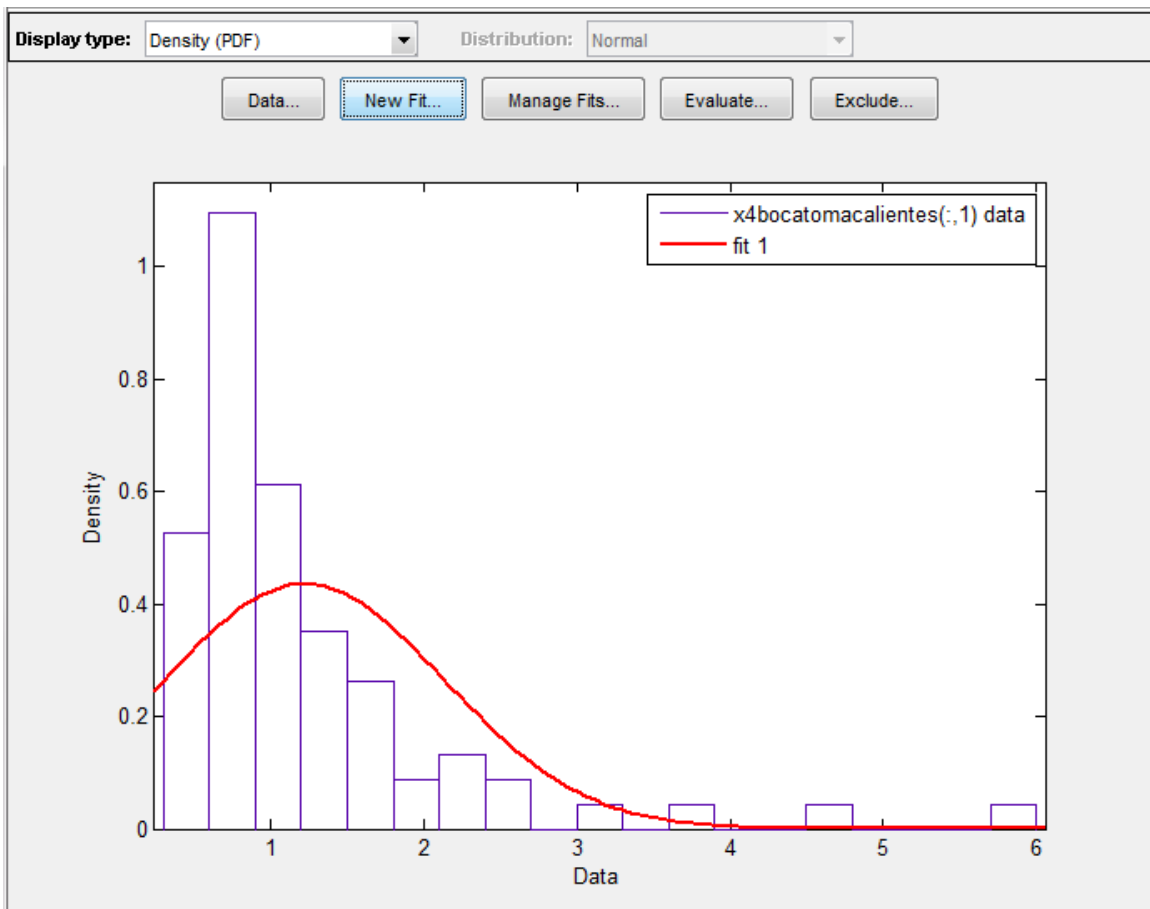
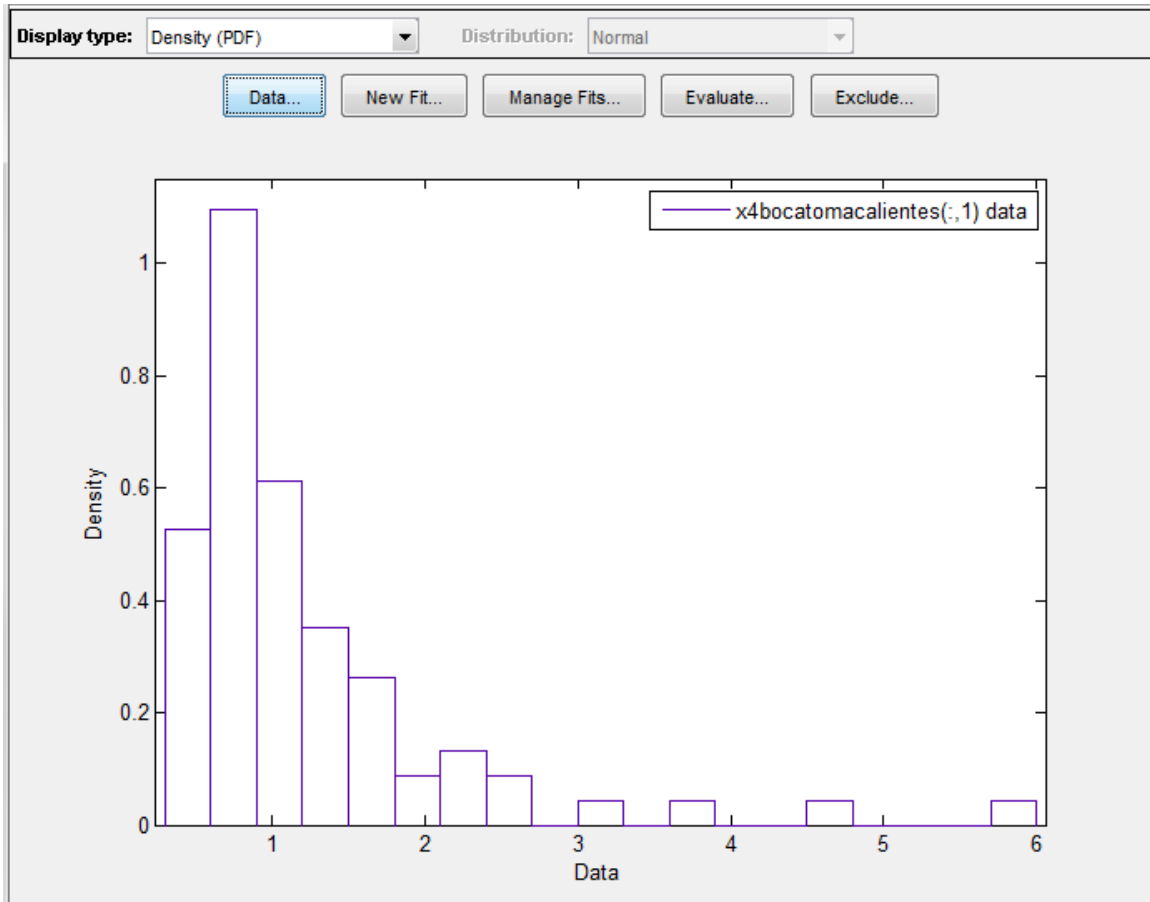
Graficador de Distribuciones Ajuste de Distribuciones

Datos Procesados

Años.	Valores
1	2.51
2	0.96
3	0.91
4	1.11
5	1.19
6	0.88
7	1.19
8	0.83
9	0.62
10	0.73
11	1.25
12	0.79
13	0.63
14	0.8
15	0.85
16	1.12
17	0.96
18	0.67
19	0.48

Normal Probability Plot

Regresar



HIDRODRAT v 1.3: MODULO 3 ANALISIS DE FRECUENCIAS HIDROLOGICAS

Nombre del Archivo Procesado
Spiedrasblancas.txt

Elija un Mes de la Serie
 Enero
 Febrero
 Marzo
Abril
 Mayo
 Junio
 Julio
 Agosto
 Setiembre
 Octubre

Conclusion de Ajuste Distribucion Normal
 K-test: Los Datos ... NO se Ajustan a una D. Normal

Ploteo Distribucion Normal
 Ploteo Distribucion Weibull
 The Kolmogorov test
 The Jarque-Beta test
 The Lilliefors test

Graficador de Distributions Ajuste de Distributions

Datos Procesados

Años	Valores
1	0.35
2	0.3
3	0.23
4	0.24
5	1.97
6	0.37
7	0.17
8	0.21
9	0.22
10	0.26
11	0.37
12	0.19
13	0.15
14	0.15
15	0.06
16	0.21
17	0.26
18	0.55
19	0.66

Normal Probability Plot

Regresar

Nombre del Archivo Procesado
Spiedrasblancas.txt

Elija un Mes de la Serie
 Enero
 Febrero
 Marzo
 Abril
Junio
 Julio
 Agosto
 Setiembre
 Octubre

Conclusion de Ajuste Distribucion Normal
 K-test: Los Datos ... NO se Ajustan a una D. Normal

Ploteo Distribucion Normal
 Ploteo Distribucion Weibull
 The Kolmogorov test
 The Jarque-Beta test
 The Lilliefors test

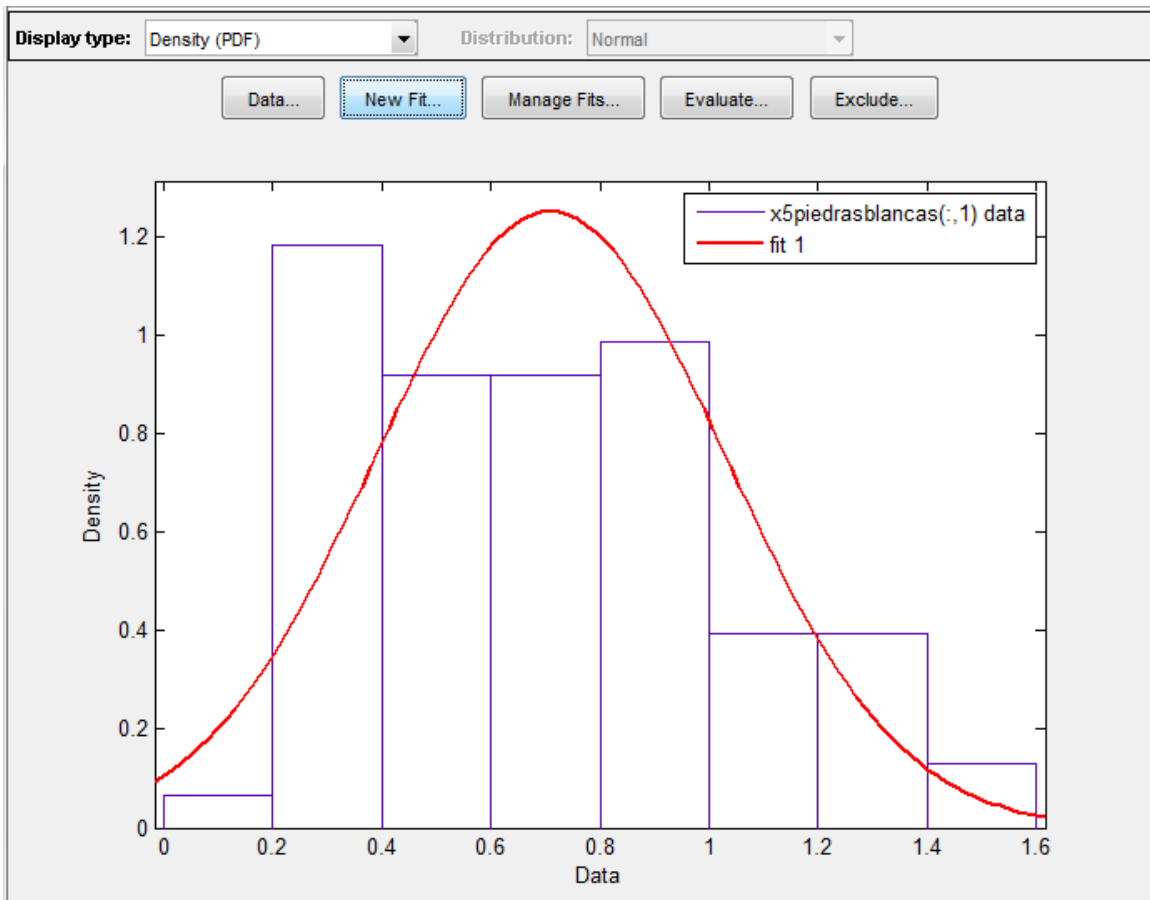
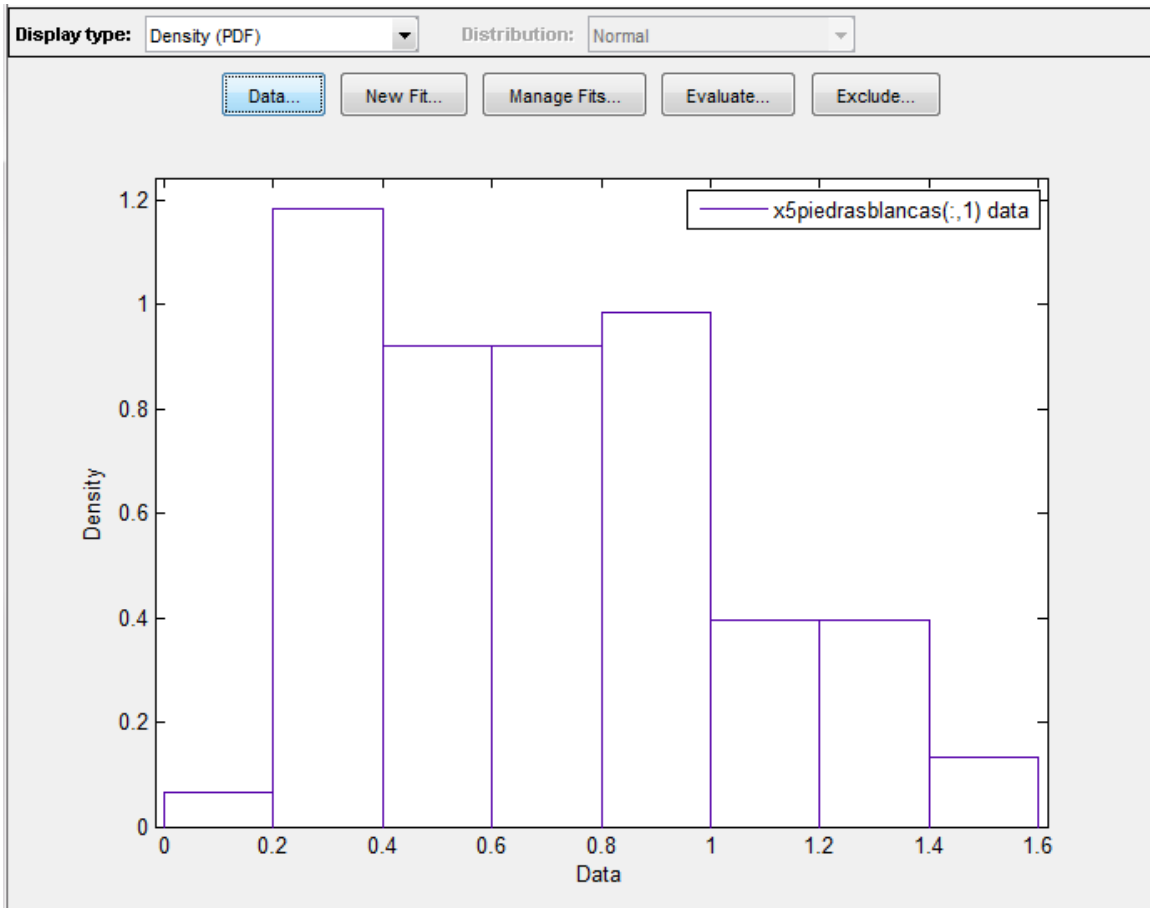
Graficador de Distributions Ajuste de Distributions

Datos Procesados

Años	Valores
1	0.44
2	0.3
3	0.35
4	0.36
5	0.36
6	0.35
7	0.39
8	0.18
9	0.57
10	0.45
11	0.22
12	0.23
13	0.23
14	0.15
15	0.15
16	0.33
17	0.71
18	0.42
19	0.47

Normal Probability Plot

Regresar



ANEXO 4

GENERACIÓN DE SERIES DE TIEMPO

HIDRODRAT v 1.3: MODULO 4 GENERACION DE SERIES DE TIEMPO

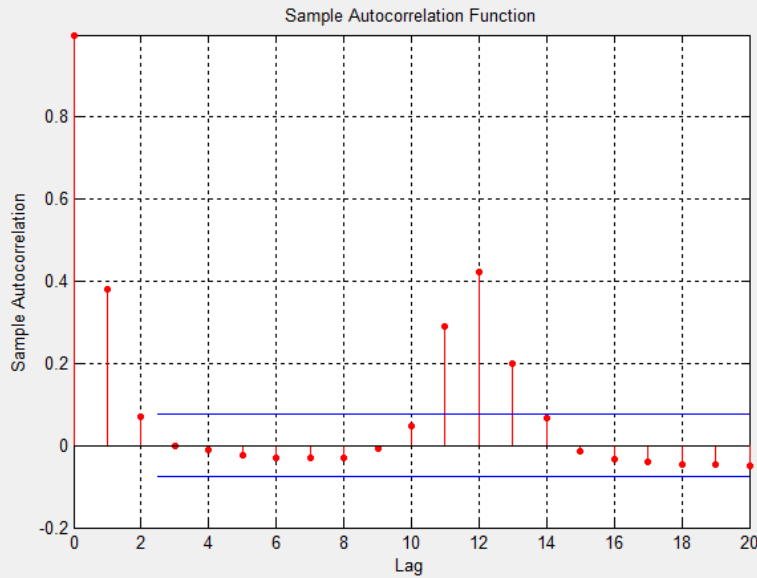
Nombre del Archivo Procesado

4bocatomacalientes.txt

Seleccione Tipo de Grafico

- Correlograma
- Numeros Aleatorios Distribucion Normal
- Generacion Series Monte Carlo (Maximos anuales)
- Generacion Series Thomas-Fiering

Serie de Tiempo



Datos Procesados

Datos No.	Valores
1	2.5
2	4.24
3	4.93
4	2.51
5	1.01
6	0.99
7	0.94
8	0.93
9	0.94
10	0.94
11	0.94
12	0.94
13	1.07
14	1.05
15	0.9
16	0.96
17	0.96
18	0.96
19	0.96

Regresar

HIDRODRAT v 1.3: MODULO 4 GENERACION DE SERIES DE TIEMPO

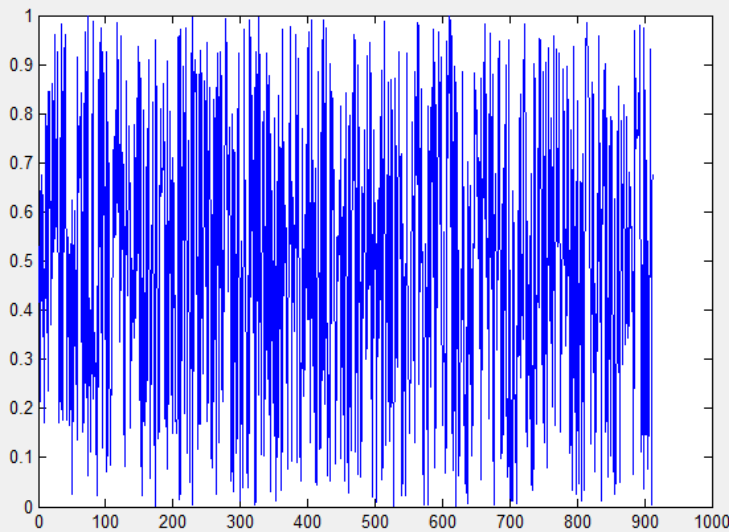
Nombre del Archivo Procesado

4bocatomacalientes.txt

Seleccione Tipo de Grafico

- Correlograma
- Numeros Aleatorios Distribucion Normal
- Generacion Series Monte Carlo (Maximos anuales)
- Generacion Series Thomas-Fiering

Serie de Tiempo



Datos Procesados

Datos No.	Valores
1	0.41692
2	0.64289
3	0.21408
4	0.61727
5	0.67519
6	0.60102
7	0.34631
8	0.3644
9	0.17148
10	0.79536
11	0.49267
12	0.35462
13	0.77506
14	0.2368
15	0.84483
16	0.81653
17	0.84623
18	0.37019
19	0.38323

Regresar

HIDRODRAT v 1.3: MODULO 4 GENERACION DE SERIES DE TIEMPO

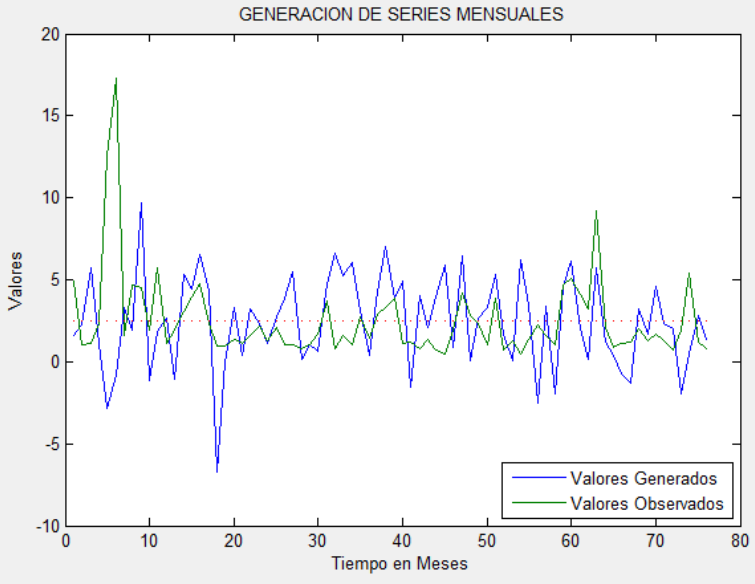
Nombre del Archivo Procesado

4bocatomacalientes.txt

Seleccione Tipo de Grafico

- Correlograma
- Numeros Aleatorios Distribucion Normal
- Generacion Series Monte Carlo (Maximos anuales)
- Generacion Series Thomas-Fiering

Series de Tiempo



Datos Procesados

Datos No.	Val. Obs.	Val. Gen.
1	4.93	1.605
2	1.07	2.2178
3	1.08	5.7473
4	2.36	1.1085
5	12.56	-2.8201
6	17.26	-0.84914
7	1.59	3.2799
8	4.66	1.9557
9	4.51	9.7111
10	1.89	-1.179
11	5.71	1.8823
12	1.08	2.6249
13	1.9	-1.0712
14	3.06	5.3405
15	3.95	4.4642
16	4.76	6.5524
17	2.33	4.3167
18	0.95	-6.7596
19	0.99	-0.0079514

Regresar

HIDRODRAT v 1.3: MODULO 4 GENERACION DE SERIES DE TIEMPO

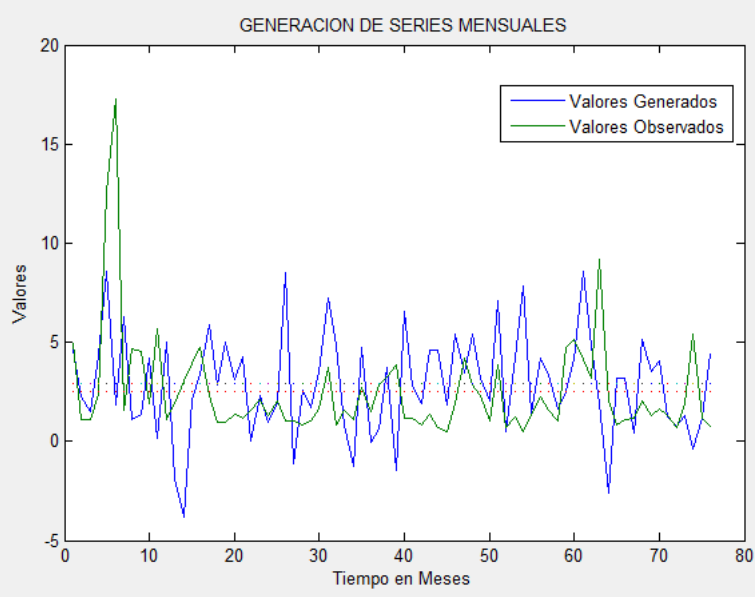
Nombre del Archivo Procesado

4bocatomacalientes.txt

Seleccione Tipo de Grafico

- Correlograma
- Numeros Aleatorios Distribucion Normal
- Generacion Series Monte Carlo (Maximos anuales)
- Generacion Series Thomas-Fiering

Series de Tiempo



Datos Procesados

Datos No.	Val. Obs.	Val. Gen.
1	4.93	4.5888
2	1.07	2.2768
3	1.08	1.5259
4	2.36	4.3387
5	12.56	8.576
6	17.26	1.8182
7	1.59	6.2758
8	4.66	1.1101
9	4.51	1.3956
10	1.89	4.2206
11	5.71	0.16195
12	1.08	4.9826
13	1.9	-1.88
14	3.06	-3.8076
15	3.95	2.1043
16	4.76	3.3793
17	2.33	5.8533
18	0.95	2.8325
19	0.99	5.0144

Regresar

HIDRODRAT v 1.3: MODULO 4 GENERACION DE SERIES DE TIEMPO

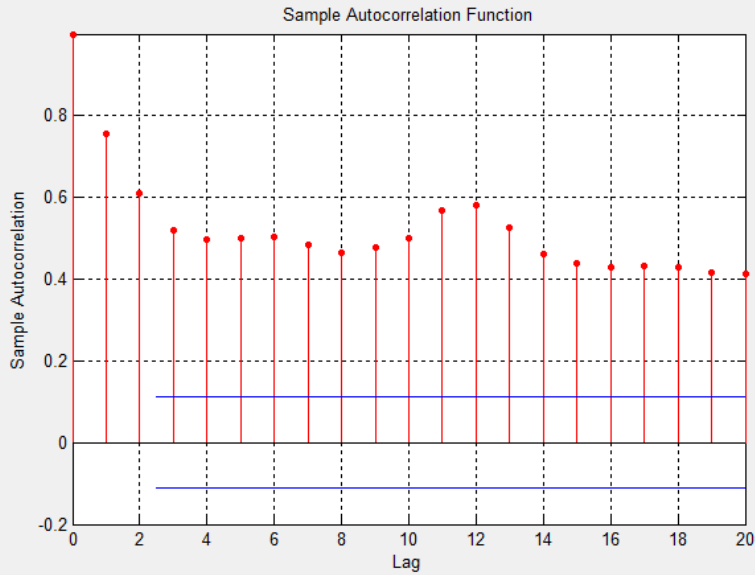
Nombre del Archivo Procesado

Spiedrasblancas.txt

Seleccione Tipo de Grafico

- Correlograma
- Numeros Aleatorios Distribucion Normal
- Generacion Series Monte Carlo (Maximos anuales)
- Generacion Series Thomas-Fiering

Serie de Tiempo



Datos Procesados

Datos No.	Valores
1	0.39
2	0.55
3	0.44
4	0.35
5	0.45
6	0.44
7	0.39
8	0.34
9	0.35
10	0.46
11	0.46
12	0.46
13	0.56
14	0.48
15	0.16
16	0.3
17	0.3
18	0.3
19	0.3

Regresar

HIDRODRAT v 1.3: MODULO 4 GENERACION DE SERIES DE TIEMPO

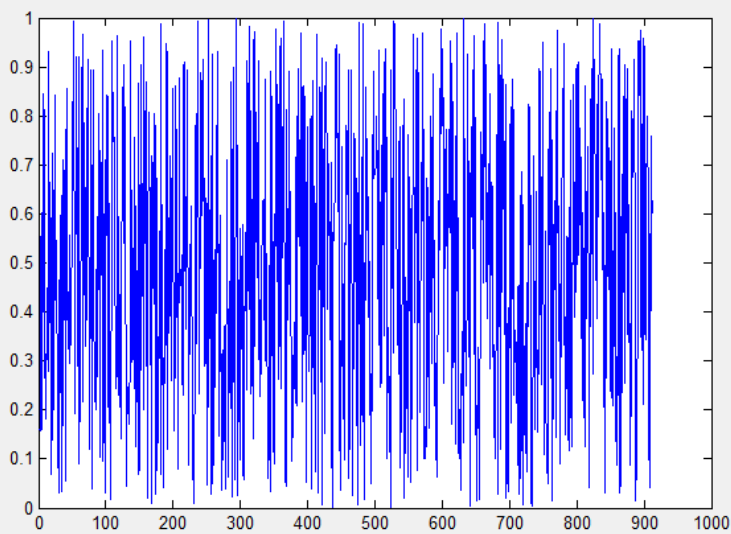
Nombre del Archivo Procesado

Spiedrasblancas.txt

Seleccione Tipo de Grafico

- Correlograma
- Numeros Aleatorios Distribucion Normal
- Generacion Series Monte Carlo (Maximos anuales)
- Generacion Series Thomas-Fiering

Serie de Tiempo

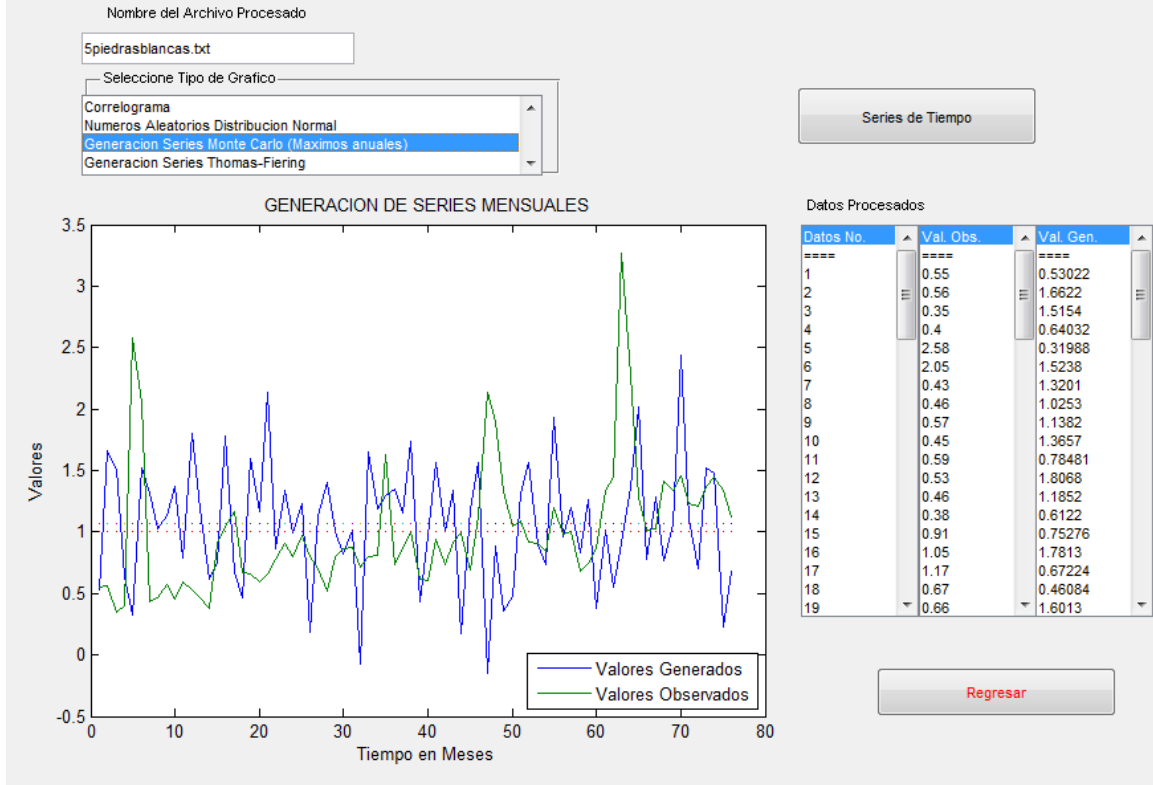


Datos Procesados

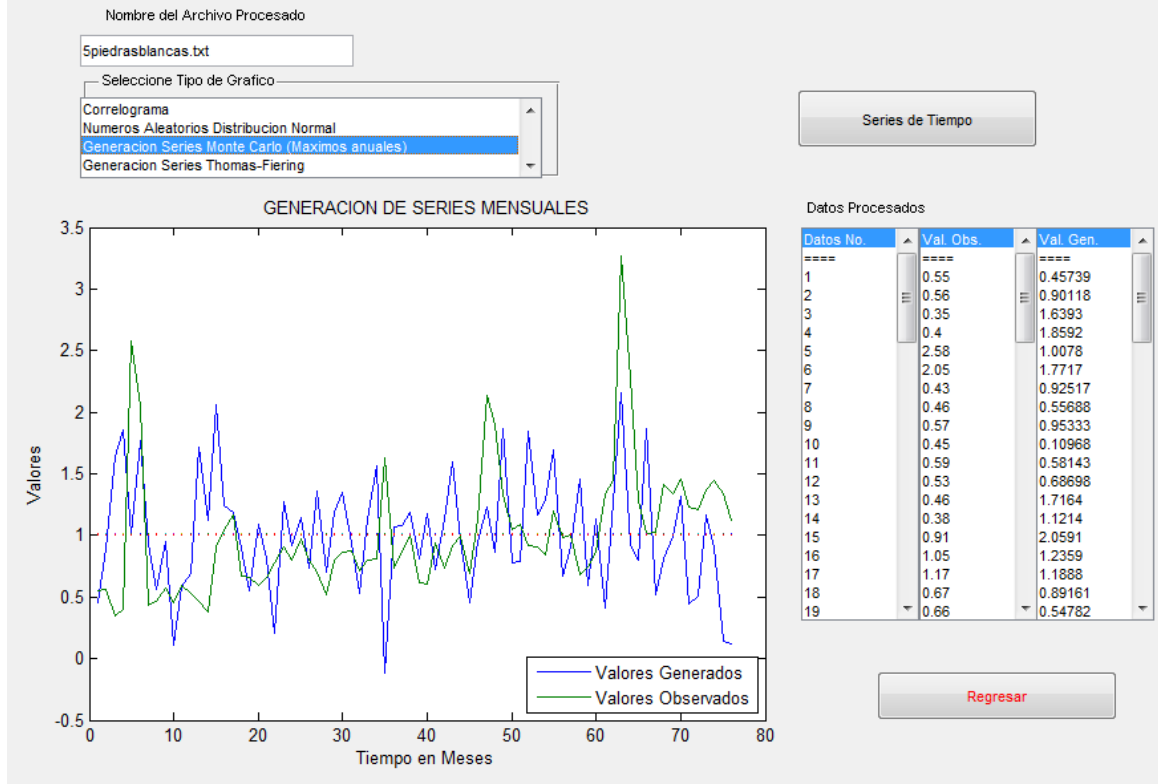
Datos No.	Valores
1	0.16036
2	0.15786
3	0.50866
4	0.6033
5	0.1614
6	0.63545
7	0.84394
8	0.78227
9	0.26457
10	0.3147
11	0.1832
12	0.44747
13	0.32668
14	0.27982
15	0.93176
16	0.39969
17	0.37942
18	0.59285
19	0.068507

Regresar

HIDRODRAT v 1.3: MODULO 4 GENERACION DE SERIES DE TIEMPO

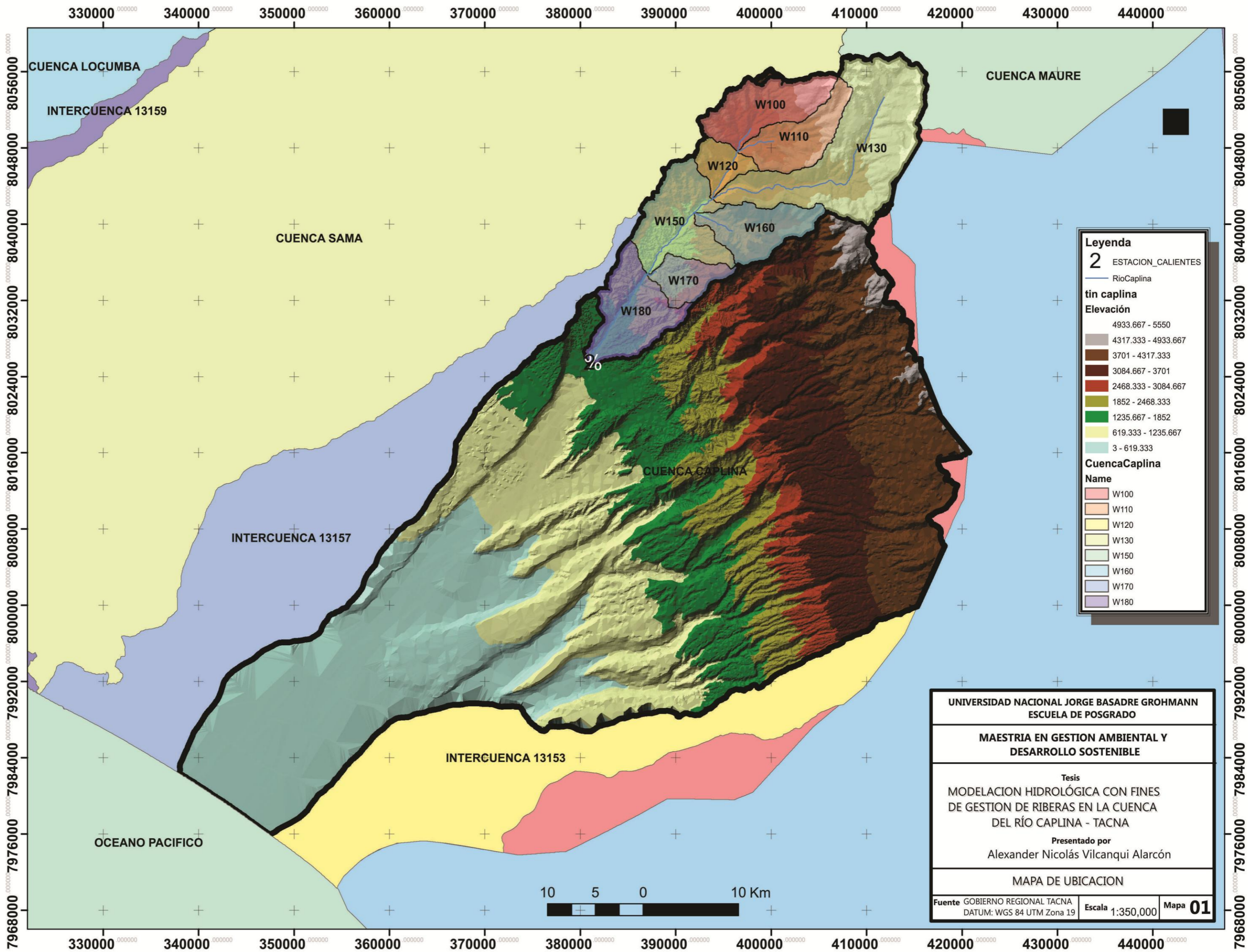


HIDRODRAT v 1.3: MODULO 4 GENERACION DE SERIES DE TIEMPO



ANEXO 5:

MAPAS TEMÀTICOS



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
 ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRIA EN GESTION AMBIENTAL Y
 DESARROLLO SOSTENIBLE

Tesis
 MODELACION HIDROLÓGICA CON FINES
 DE GESTION DE RIBERAS EN LA CUENCA
 DEL RÍO CAPLINA - TACNA

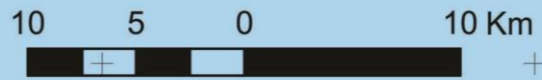
Presentado por
 Alexander Nicolás Vilcanqui Alarcón

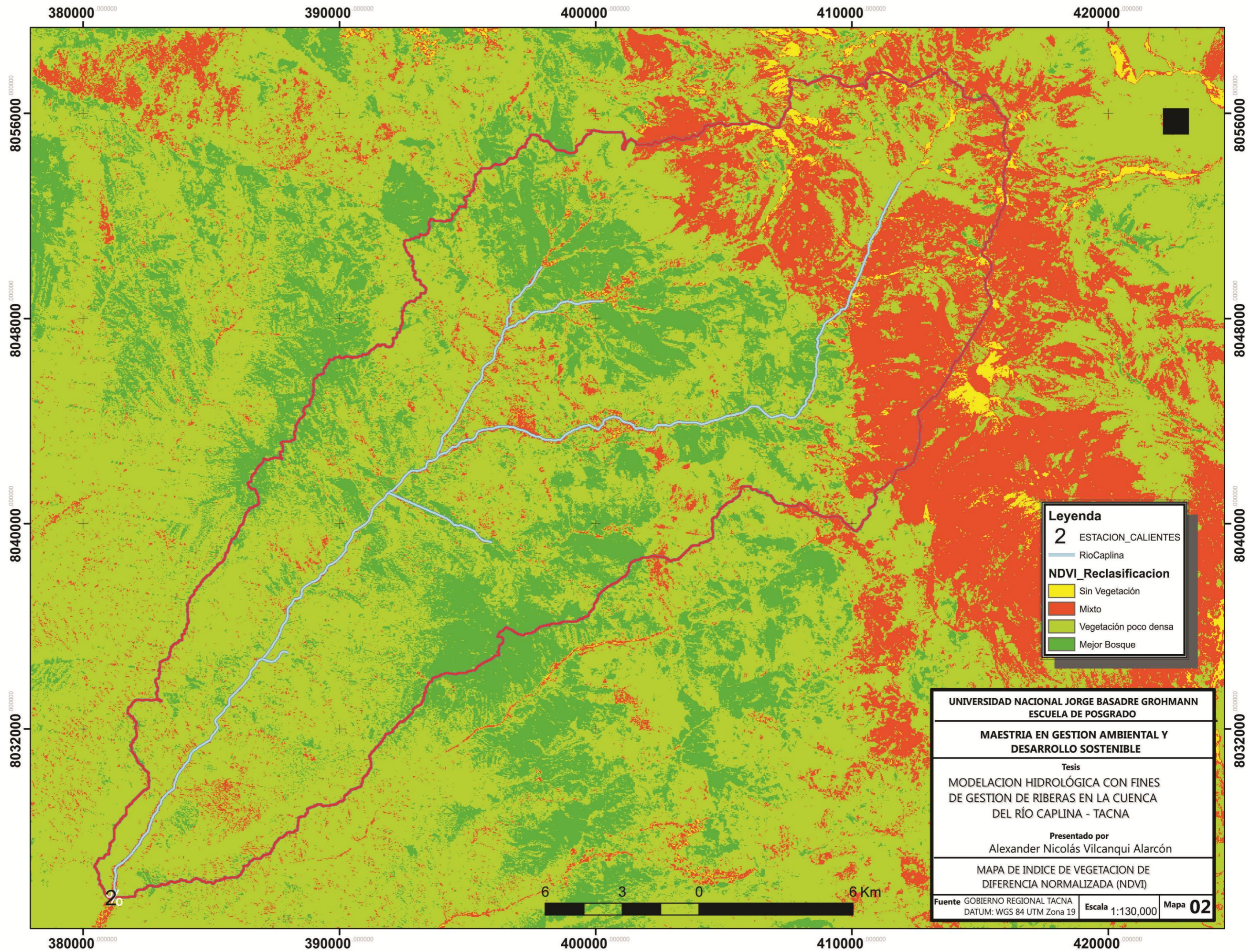
MAPA DE UBICACION

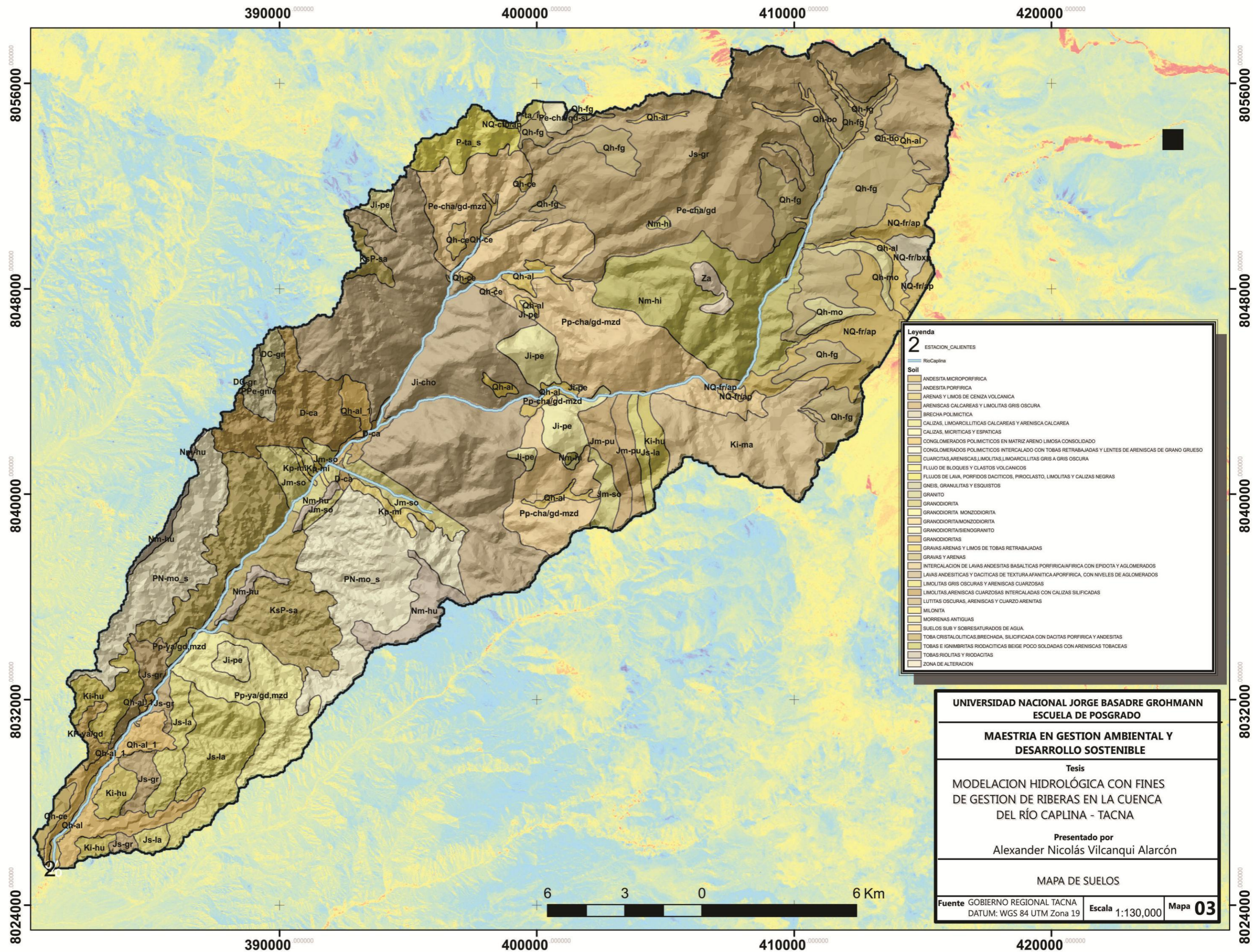
Fuente GOBIERNO REGIONAL TACNA
 DATUM: WGS 84 UTM Zona 19

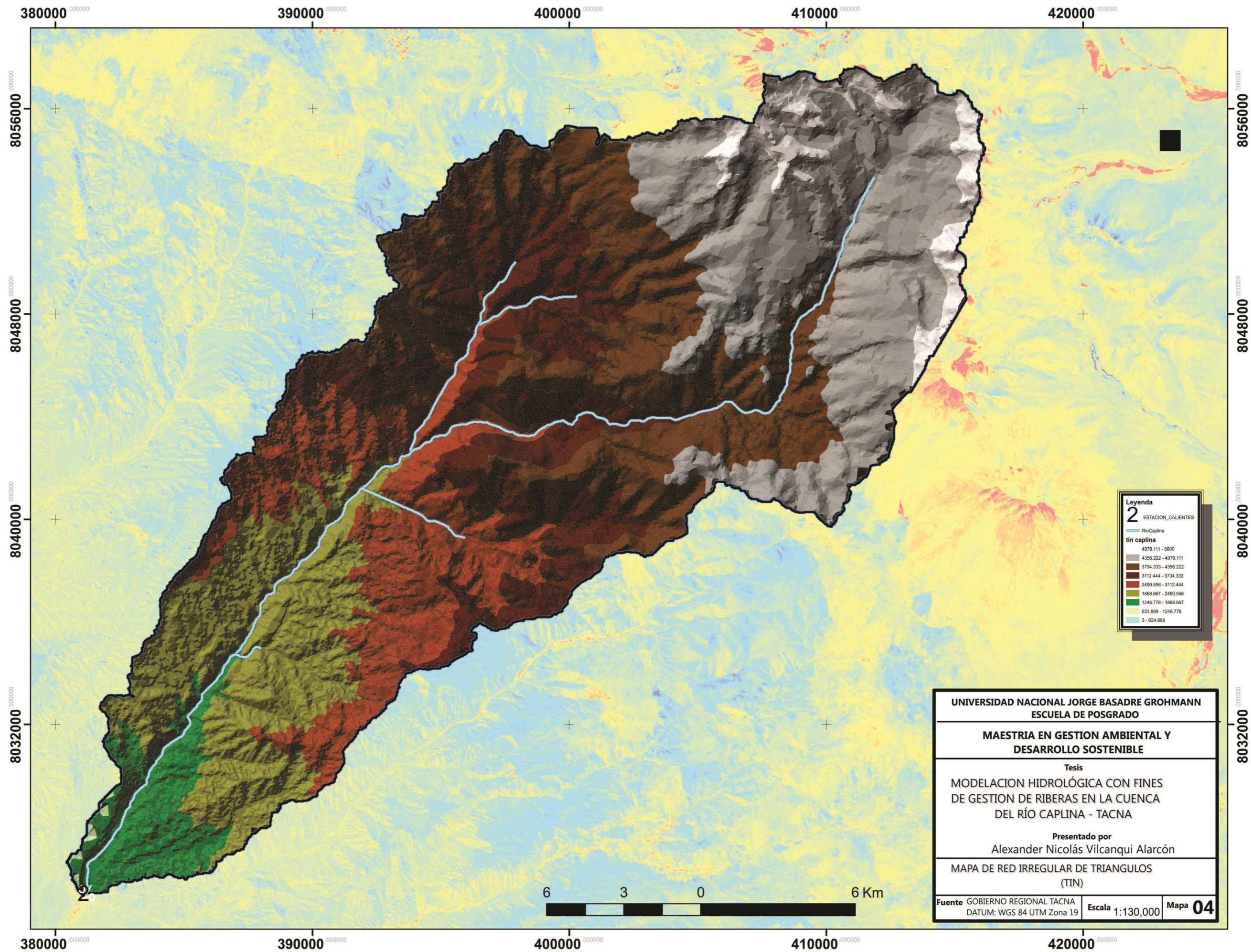
Escala 1:350,000

Mapa 01









UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
 ESCUELA DE POSGRADO

**MAESTRIA EN GESTION AMBIENTAL Y
 DESARROLLO SOSTENIBLE**

Tesis
 MODELACION HIDROLÓGICA CON FINES
 DE GESTION DE RIBERAS EN LA CUENCA
 DEL RÍO CAPLINA - TACNA

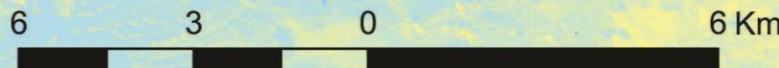
Presentado por
 Alexander Nicolás Vilcanqui Alarcón

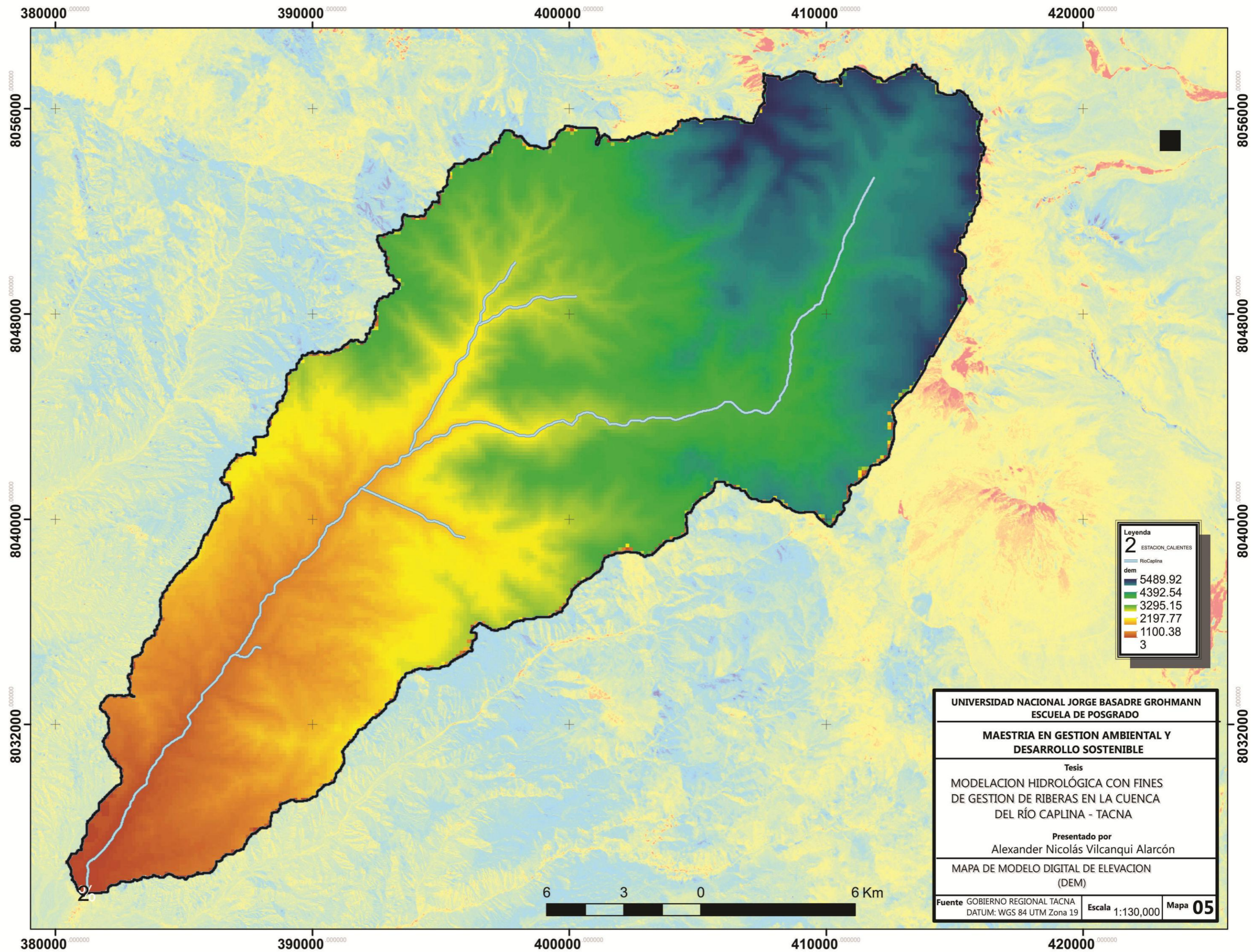
MAPA DE RED IRREGULAR DE TRIANGULOS
 (TIN)

Fuente GOBIERNO REGIONAL TACNA
 DATUM: WGS 84 UTM Zona 19

Escala 1:130,000

Mapa **04**





Legenda

2 ESTACION_CALIENTES

RioCaplina

dem

- 5489.92
- 4392.54
- 3295.15
- 2197.77
- 1100.38
- 3

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
ESCUELA DE POSGRADO

**MAESTRIA EN GESTION AMBIENTAL Y
DESARROLLO SOSTENIBLE**

Tesis

MODELACION HIDROLÓGICA CON FINES
DE GESTION DE RIBERAS EN LA CUENCA
DEL RÍO CAPLINA - TACNA

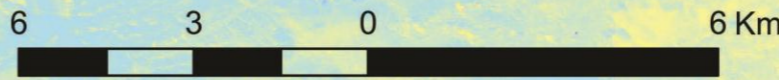
Presentado por
Alexander Nicolás Vilcanqui Alarcón

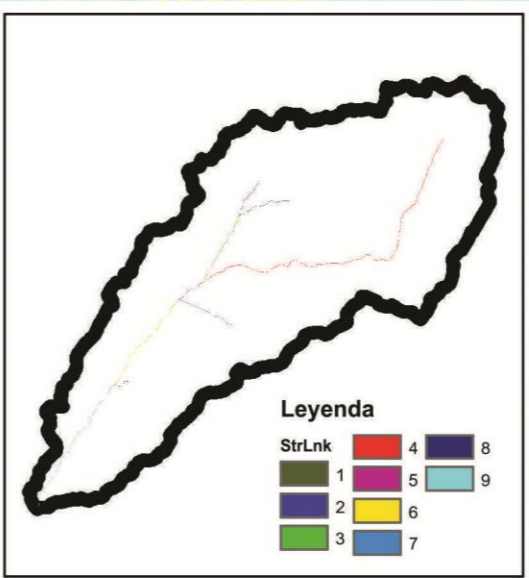
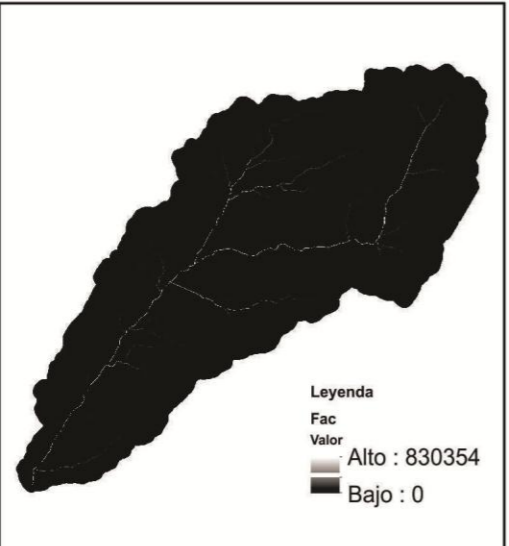
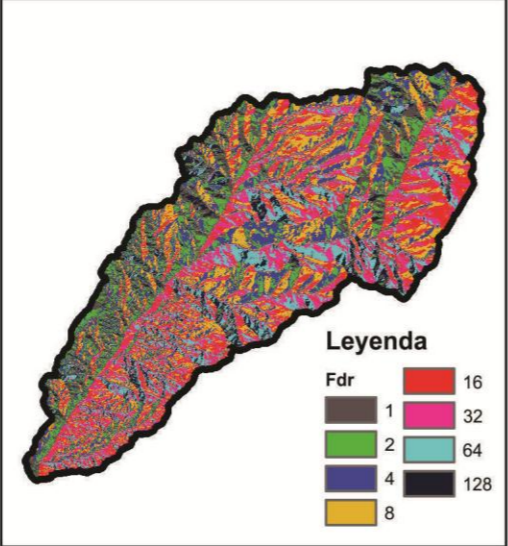
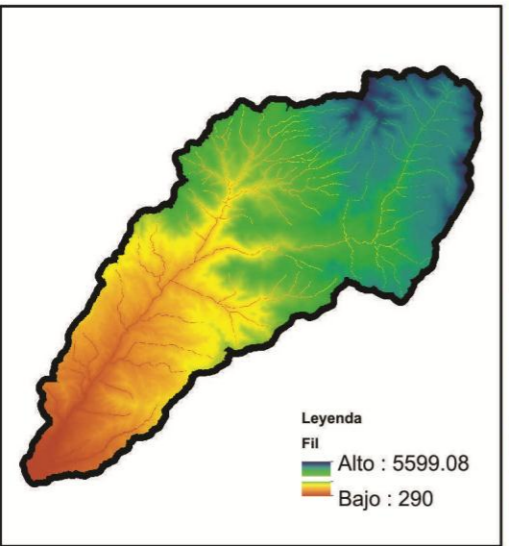
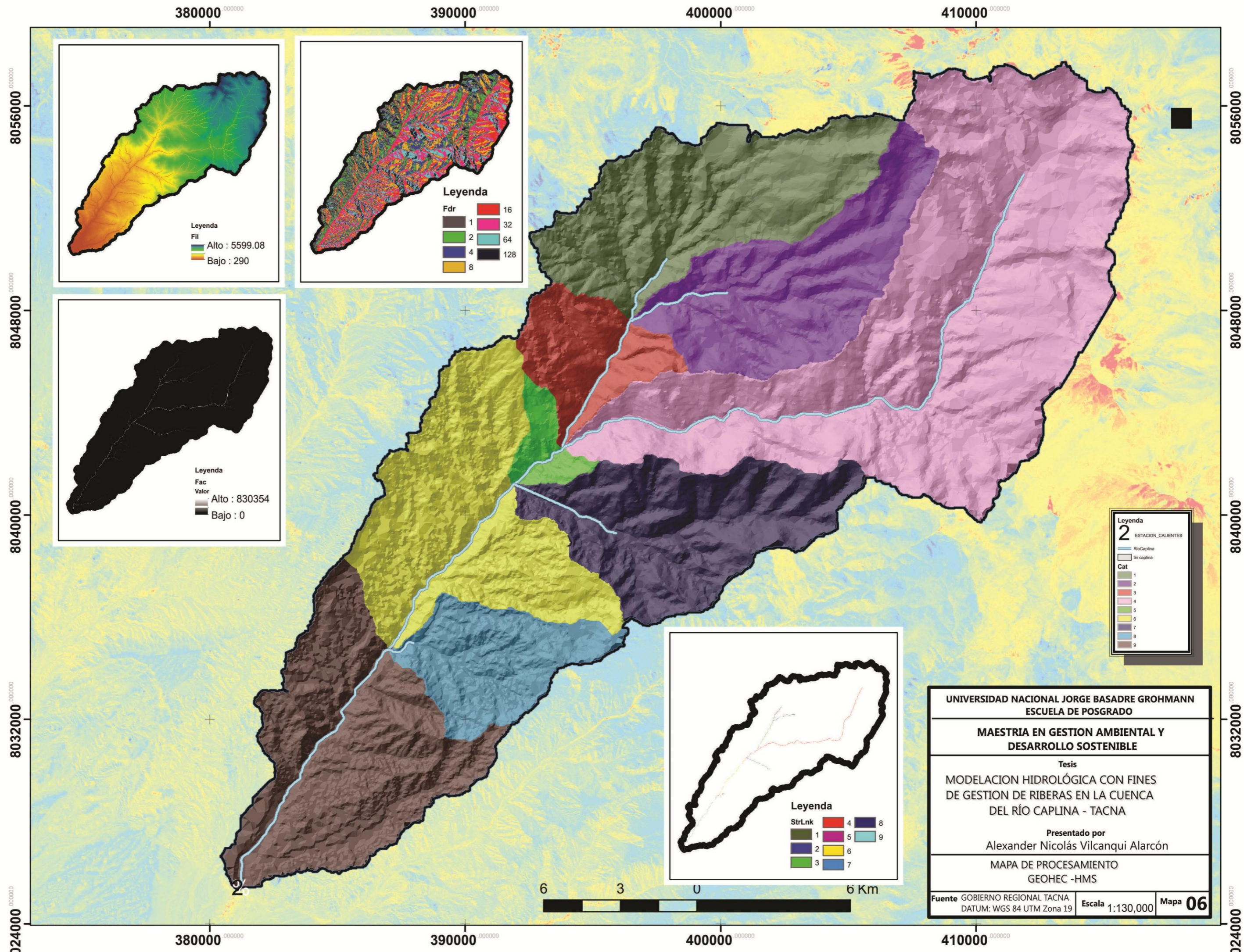
MAPA DE MODELO DIGITAL DE ELEVACION
(DEM)

Fuente GOBIERNO REGIONAL TACNA
DATUM: WGS 84 UTM Zona 19

Escala 1:130,000

Mapa **05**





UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRIA EN GESTION AMBIENTAL Y
DESARROLLO SOSTENIBLE

Tesis

MODELACION HIDROLÓGICA CON FINES
DE GESTION DE RIBERAS EN LA CUENCA
DEL RÍO CAPLINA - TACNA

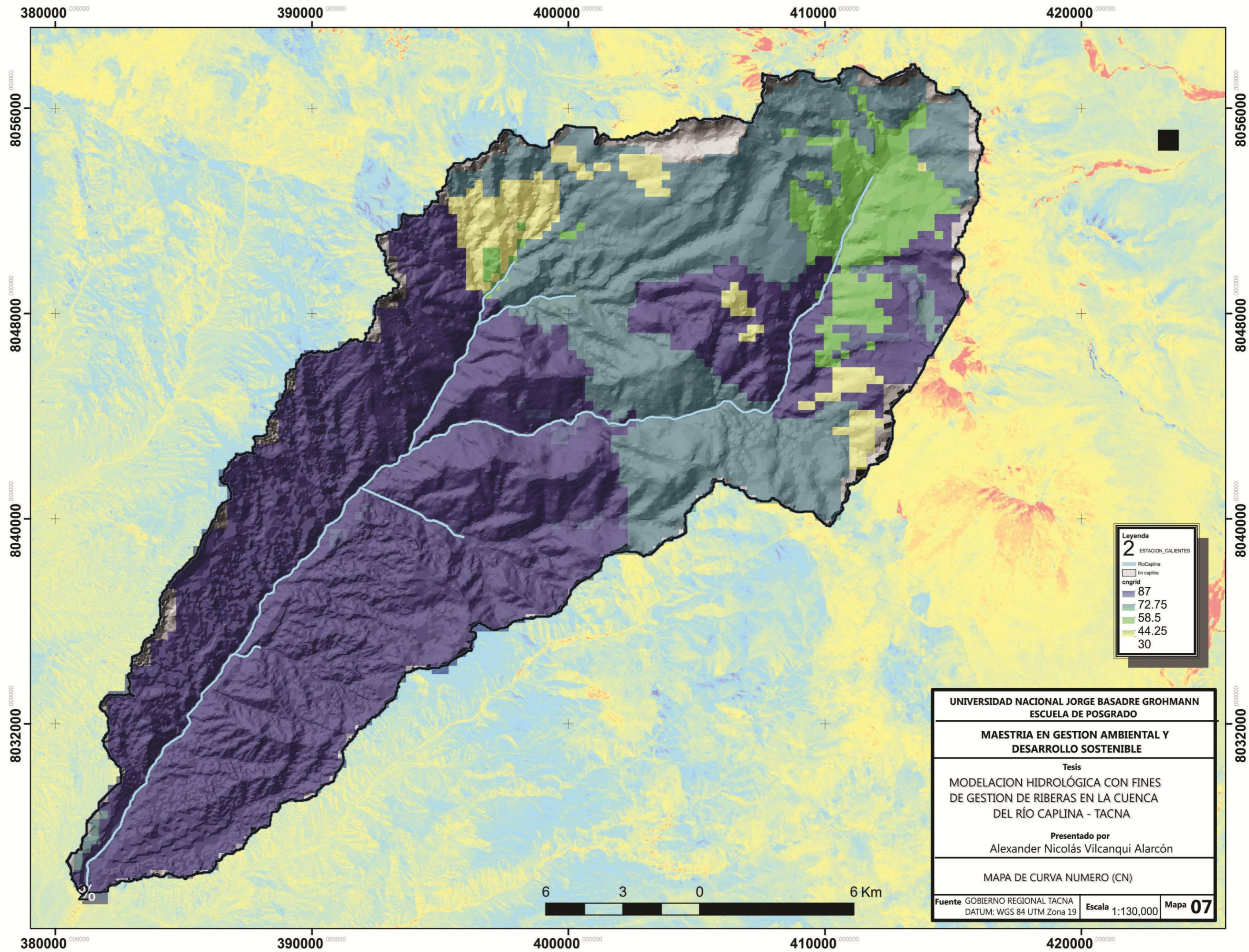
Presentado por
Alexander Nicolás Vilcanqui Alarcón

MAPA DE PROCESAMIENTO
GEOHEC -HMS

Fuente GOBIERNO REGIONAL TACNA
DATUM: WGS 84 UTM Zona 19

Escala 1:130,000

Mapa 06



Legenda

2 ESTACION_CALIENTES

RioCaplina

sin caplina

cngrid

- 87
- 72.75
- 58.5
- 44.25
- 30

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
 ESCUELA DE POSGRADO

**MAESTRIA EN GESTION AMBIENTAL Y
 DESARROLLO SOSTENIBLE**

Tesis
 MODELACION HIDROLÓGICA CON FINES
 DE GESTION DE RIBERAS EN LA CUENCA
 DEL RÍO CAPLINA - TACNA

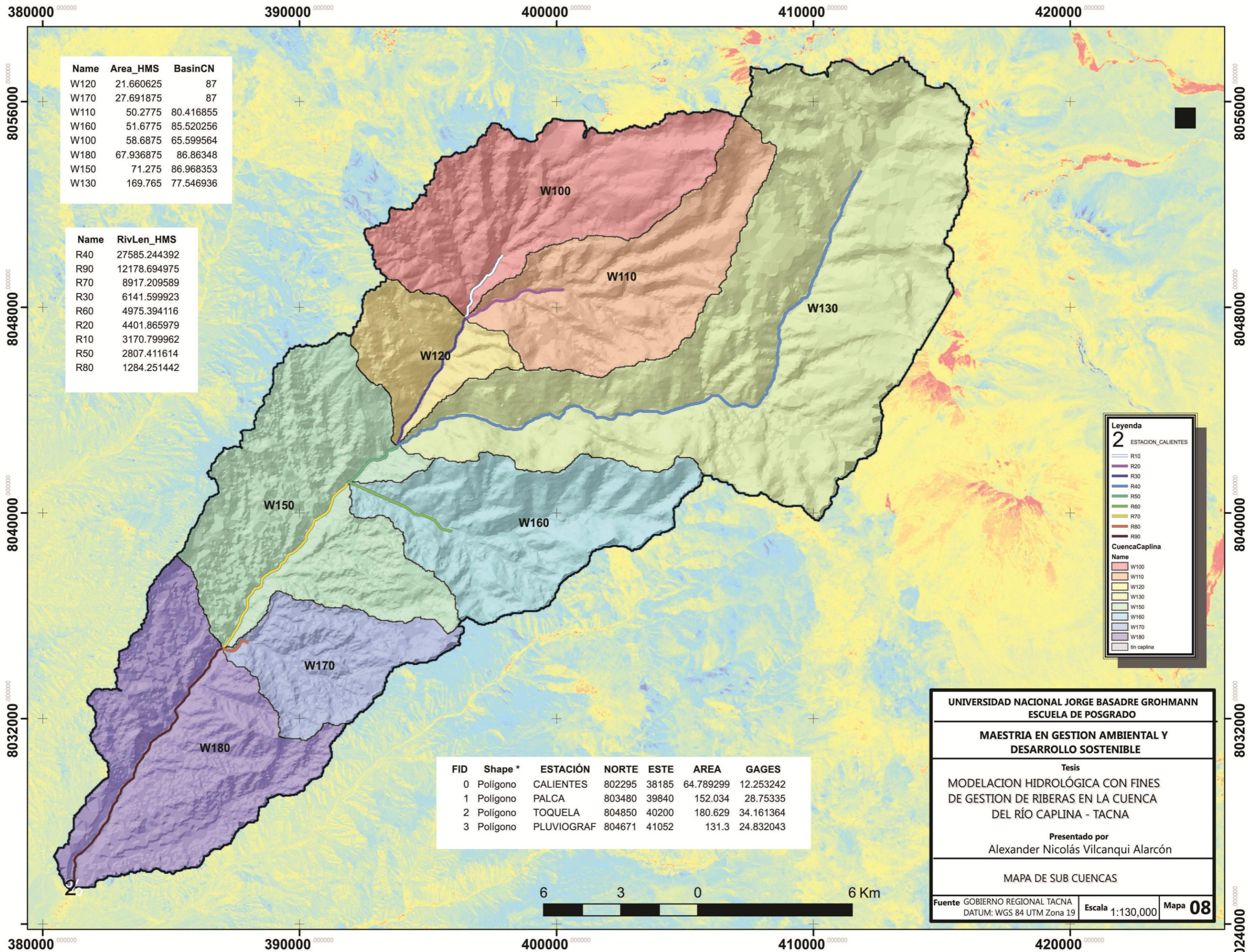
Presentado por
 Alexander Nicolás Vilcanqui Alarcón

MAPA DE CURVA NUMERO (CN)

Fuente GOBIERNO REGIONAL TACNA
 DATUM: WGS 84 UTM Zona 19

Escala 1:130,000

Mapa **07**



Name	Area_HMS	BasinCN
W120	21.660625	87
W170	27.691875	87
W110	50.2775	80.416855
W160	51.6775	85.520256
W100	58.6875	65.599564
W180	67.936875	86.86348
W150	71.275	86.968353
W130	169.765	77.546936

Name	RivLen_HMS
R40	27585.244392
R90	12178.694975
R70	8917.209589
R30	6141.599923
R60	4975.394116
R20	4401.865979
R10	3170.799962
R50	2807.411614
R80	1284.251442

Leyenda
2 ESTACION_CALIENTES

- R10
- R20
- R30
- R40
- R50
- R60
- R70
- R80
- R90

CuencaCaplina

Name
W100
W110
W120
W130
W150
W160
W170
W180
tin caplina

FID	Shape *	ESTACIÓN	NORTE	ESTE	AREA	GAGES
0	Polígono	CALIENTES	802295	38185	64.789299	12.253242
1	Polígono	PALCA	803480	39840	152.034	28.75335
2	Polígono	TOQUELA	804850	40200	180.629	34.161364
3	Polígono	PLUVIOGRAF	804671	41052	131.3	24.832043

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRIA EN GESTION AMBIENTAL Y
DESARROLLO SOSTENIBLE

Tesis
MODELACION HIDROLÓGICA CON FINES
DE GESTION DE RIBERAS EN LA CUENCA
DEL RÍO CAPLINA - TACNA

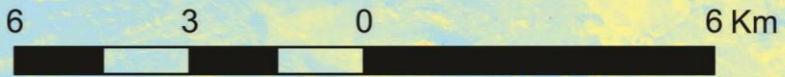
Presentado por
Alexander Nicolás Vilcanqui Alarcón

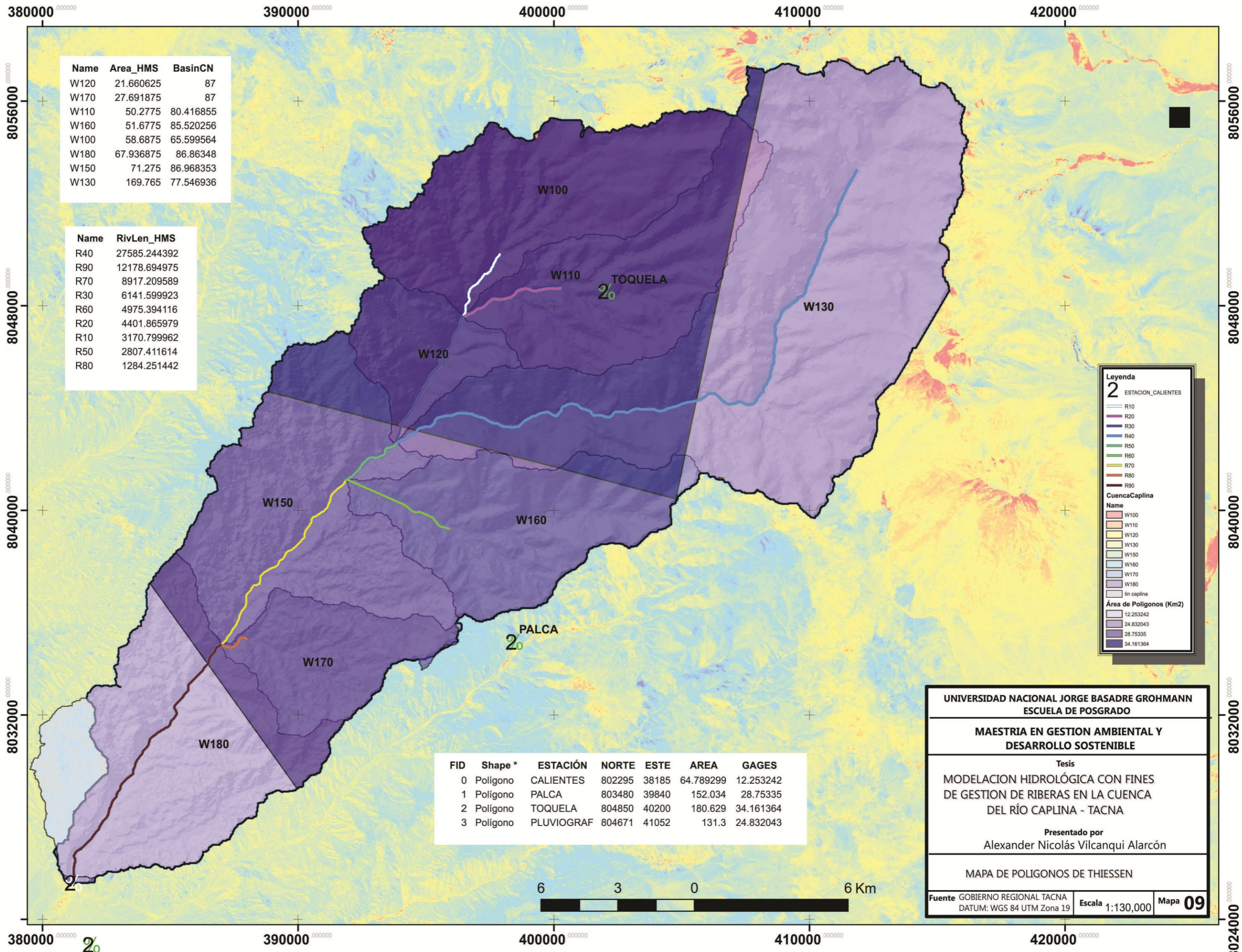
MAPA DE SUB CUENCAS

Fuente GOBIERNO REGIONAL TACNA
DATUM: WGS 84 UTM Zona 19

Escala 1:130,000

Mapa 08





Name	Area_HMS	BasinCN
W120	21.660625	87
W170	27.691875	87
W110	50.2775	80.416855
W160	51.6775	85.520256
W100	58.6875	65.599564
W180	67.936875	86.86348
W150	71.275	86.968353
W130	169.765	77.546936

Name	RivLen_HMS
R40	27585.244392
R90	12178.694975
R70	8917.209589
R30	6141.599923
R60	4975.394116
R20	4401.865979
R10	3170.799962
R50	2807.411614
R80	1284.251442

Legenda

2 ESTACION_CALIENTES

- R10
- R20
- R30
- R40
- R50
- R60
- R70
- R80
- R90

CuencaCaplina

Name

- W100
- W110
- W120
- W130
- W150
- W160
- W170
- W180

lin caplina

Área de Poligonos (Km2)

- 12.253242
- 24.832043
- 28.75335
- 34.161364

FID	Shape *	ESTACIÓN	NORTE	ESTE	AREA	GAGES
0	Polígono	CALIENTES	802295	38185	64.789299	12.253242
1	Polígono	PALCA	803480	39840	152.034	28.75335
2	Polígono	TOQUELA	804850	40200	180.629	34.161364
3	Polígono	PLUVIOGRAF	804671	41052	131.3	24.832043

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRIA EN GESTION AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE

Tesis
MODELACION HIDROLÓGICA CON FINES DE GESTION DE RIBERAS EN LA CUENCA DEL RÍO CAPLINA - TACNA

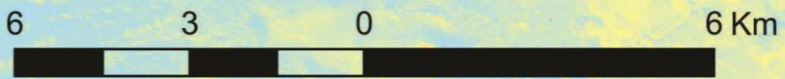
Presentado por
 Alexander Nicolás Vilcanqui Alarcón

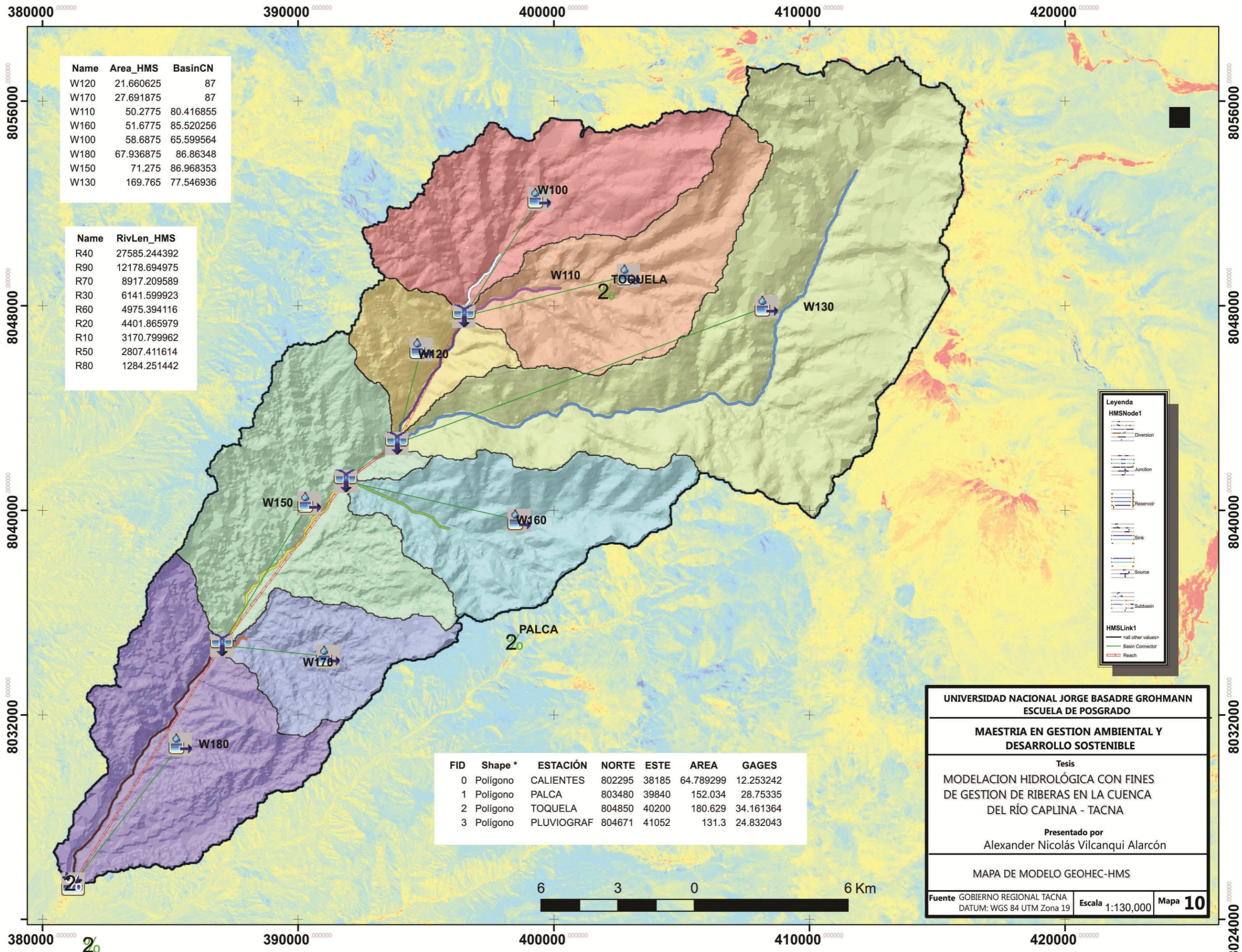
MAPA DE POLIGONOS DE THIESSEN

Fuente GOBIERNO REGIONAL TACNA
 DATUM: WGS 84 UTM Zona 19

Escala 1:130,000

Mapa **09**





Name	Area_HMS	BasinCN
W120	21.660625	87
W170	27.691875	87
W110	50.2775	80.416855
W160	51.6775	85.520256
W100	58.6875	65.599564
W180	67.936875	86.86348
W150	71.275	86.968353
W130	169.765	77.546936

Name	RivLen_HMS
R40	27585.244392
R90	12178.694975
R70	8917.209589
R30	6141.599923
R60	4975.394116
R20	4401.865979
R10	3170.799962
R50	2807.411614
R80	1284.251442

FID	Shape *	ESTACIÓN	NORTE	ESTE	AREA	GAGES
0	Polígono	CALIENTES	802295	38185	64.789299	12.253242
1	Polígono	PALCA	803480	39840	152.034	28.75335
2	Polígono	TOQUELA	804850	40200	180.629	34.161364
3	Polígono	PLUVIOGRAF	804671	41052	131.3	24.832043

Leyenda

HMSNode1

- Diversion
- Junction
- Reservoir
- Sink
- Source
- Subbasin

HMSLink1

- <all other values>
- Basin Connector
- Reach

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRIA EN GESTION AMBIENTAL Y
DESARROLLO SOSTENIBLE

Tesis
MODELACION HIDROLÓGICA CON FINES
DE GESTION DE RIBERAS EN LA CUENCA
DEL RÍO CAPLINA - TACNA

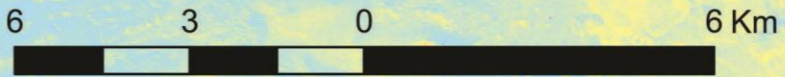
Presentado por
Alexander Nicolás Vilcanqui Alarcón

MAPA DE MODELO GEOHEC-HMS

Fuente GOBIERNO REGIONAL TACNA
DATUM: WGS 84 UTM Zona 19

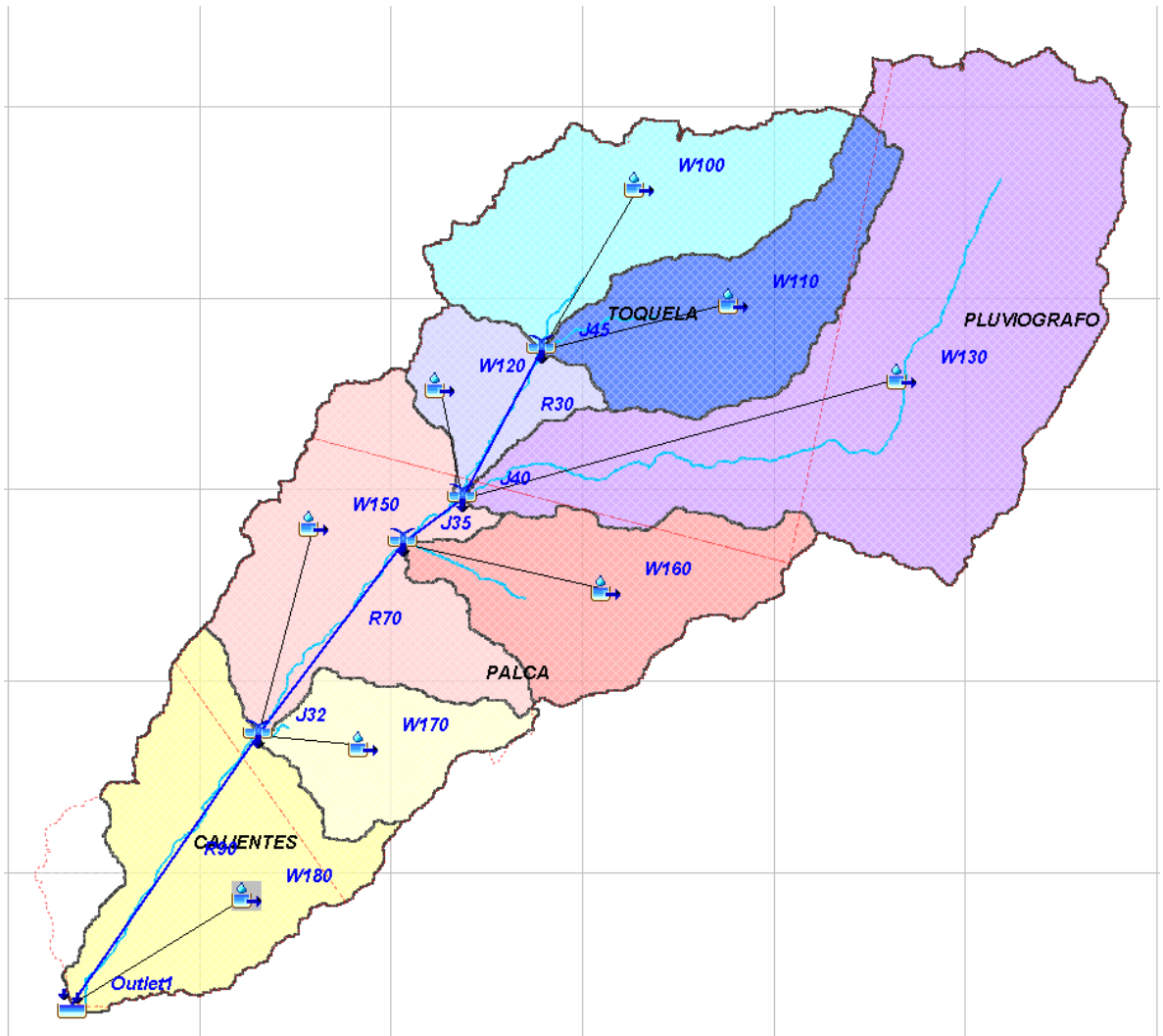
Escala 1:130,000

Mapa 10

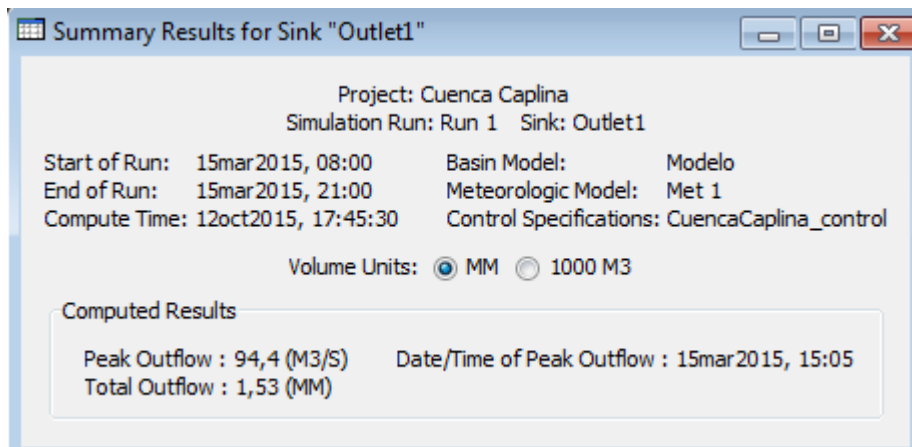
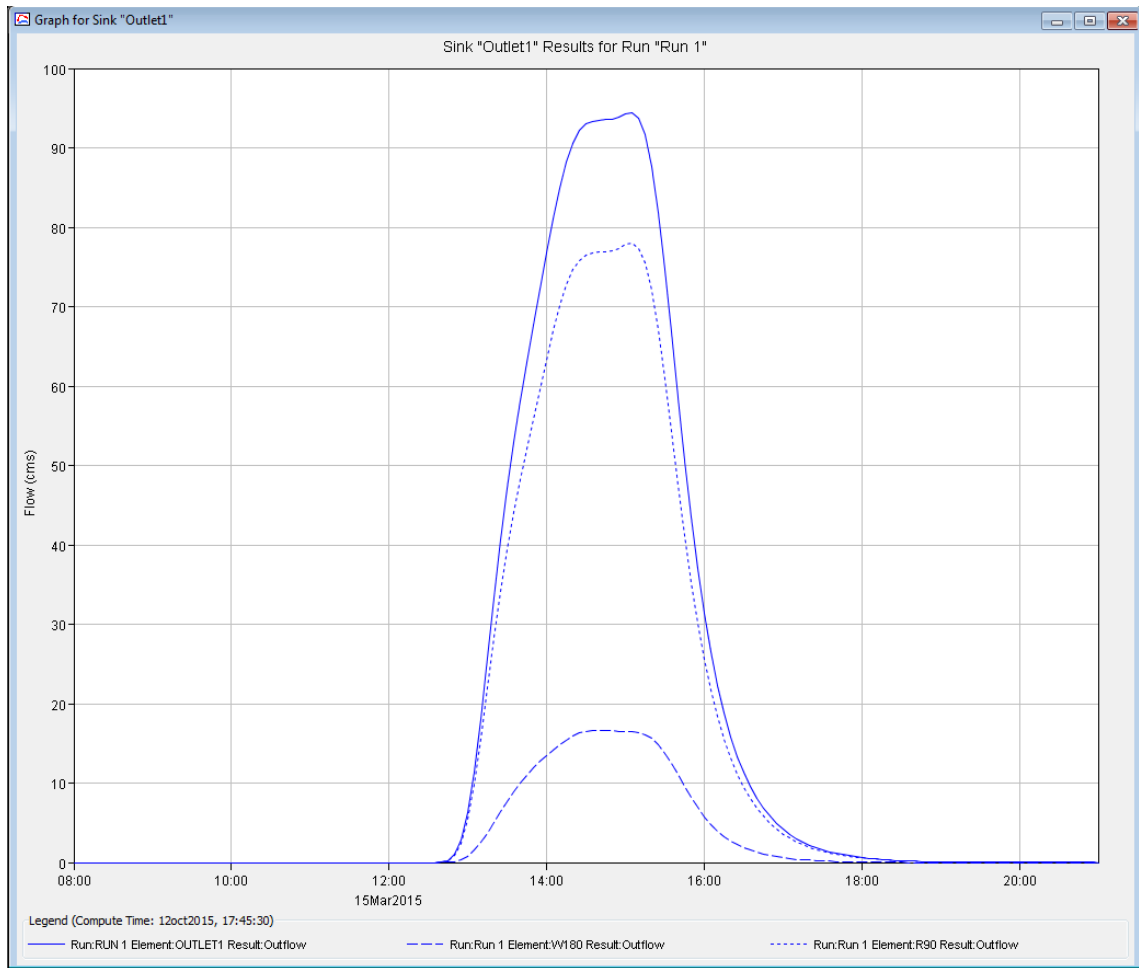


ANEXO 6:

SALIDAS DE MODELO CUENCA CAPLINA



PUNTO DE DESCARGA ESTACION BOCATOMA CALIENTES



Global Summary Results for Run "Run 1"

Project: Cuenca Caplina Simulation Run: Run 1

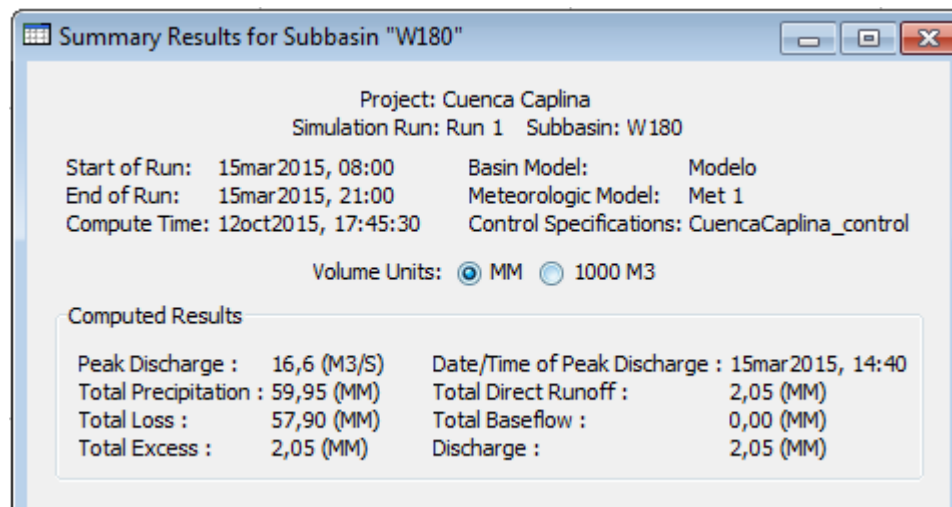
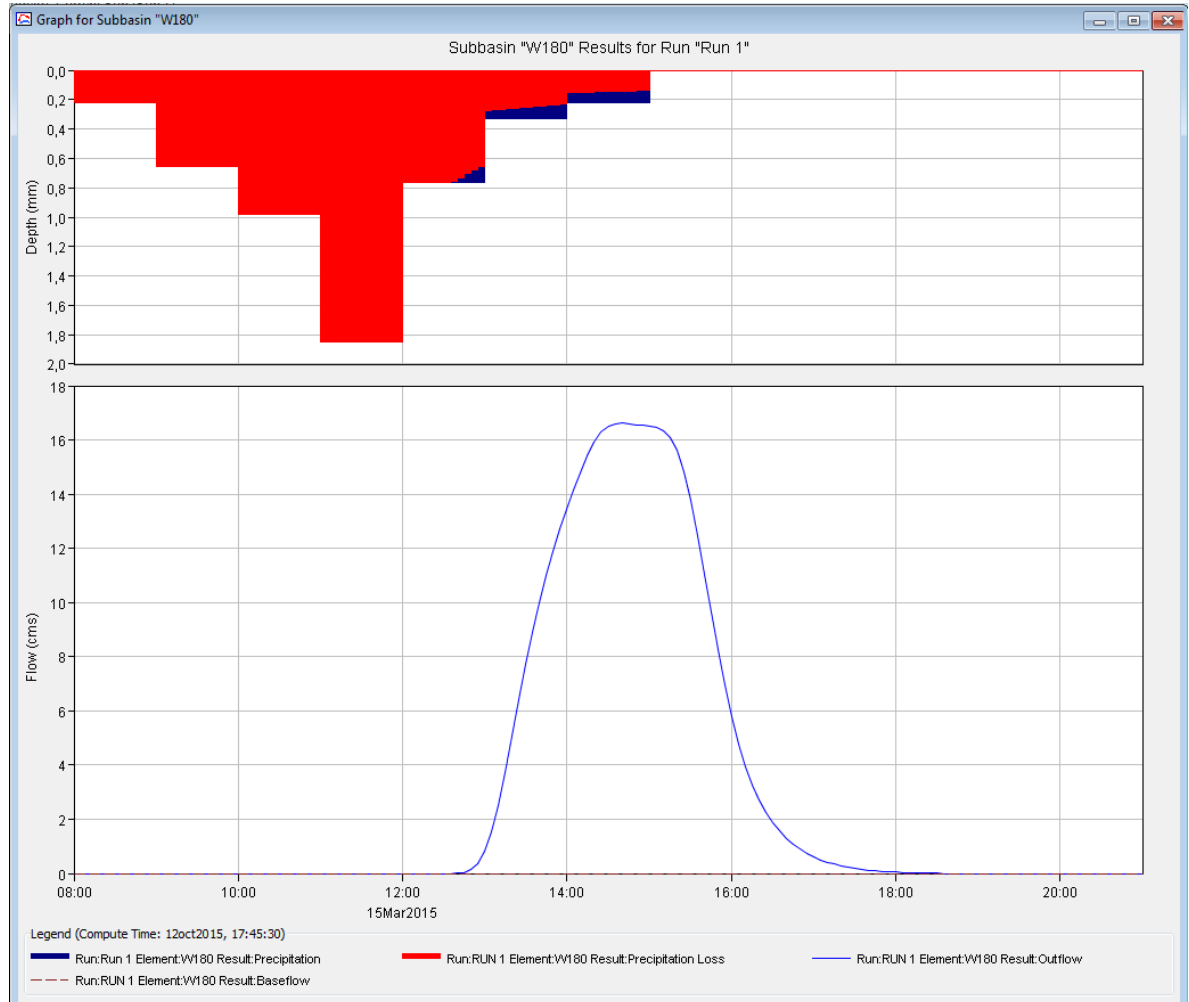
Start of Run: 15mar2015, 08:00 Basin Model: Modelo
 End of Run: 15mar2015, 21:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 12oct2015, 17:45:30 Control Specifications: CuencaCaplina_control

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

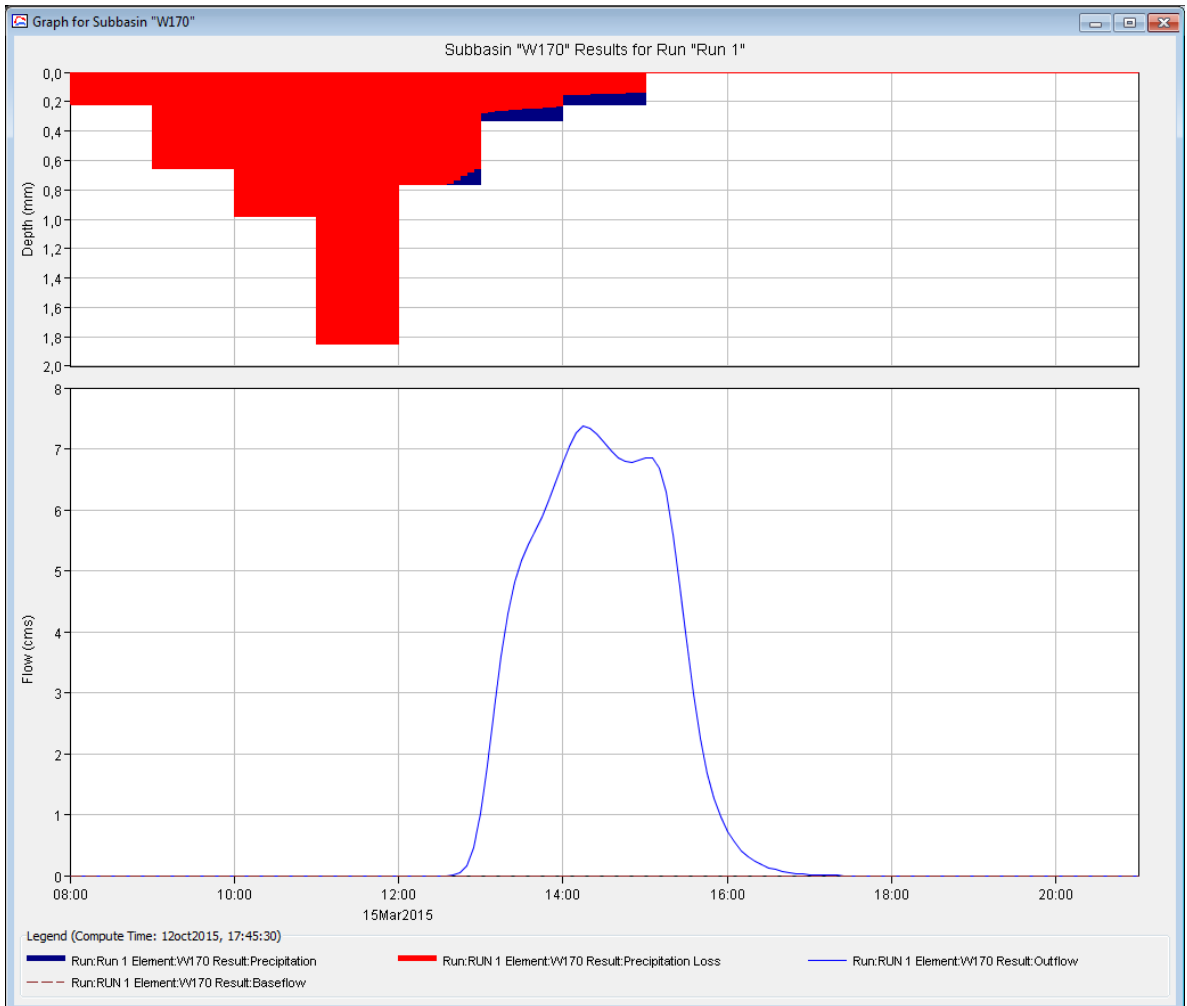
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
W180	67,937000	16,6	15mar 2015, 14:40	2,05
W170	27,691875	7,4	15mar 2015, 14:15	2,07
W160	51,677000	11,9	15mar 2015, 14:30	1,87
W150	71,275000	18,5	15mar 2015, 14:20	2,06
W130	169,760000	23,9	15mar 2015, 15:05	1,19
W120	21,660625	4,9	15mar 2015, 15:20	2,07
W110	50,277000	8,6	15mar 2015, 14:25	1,38
W100	58,687500	4,9	15mar 2015, 15:05	0,69
Outlet1	518,966000	94,4	15mar 2015, 15:05	1,53
J32	451,029000	78,0	15mar 2015, 15:05	1,46
J35	352,062125	53,6	15mar 2015, 15:05	1,29
J40	300,385125	42,0	15mar 2015, 15:05	1,18
J45	108,964500	13,3	15mar 2015, 15:05	1,01
R.30	108,964500	13,3	15mar 2015, 15:05	1,01
R.50	300,385125	42,0	15mar 2015, 15:05	1,18
R.70	352,062125	53,6	15mar 2015, 15:05	1,29
R.90	451,029000	78,0	15mar 2015, 15:05	1,46

HIETOGRAMAS E HIDROGRAMAS POR SUBCUENCAS

SUBCUENCA W180

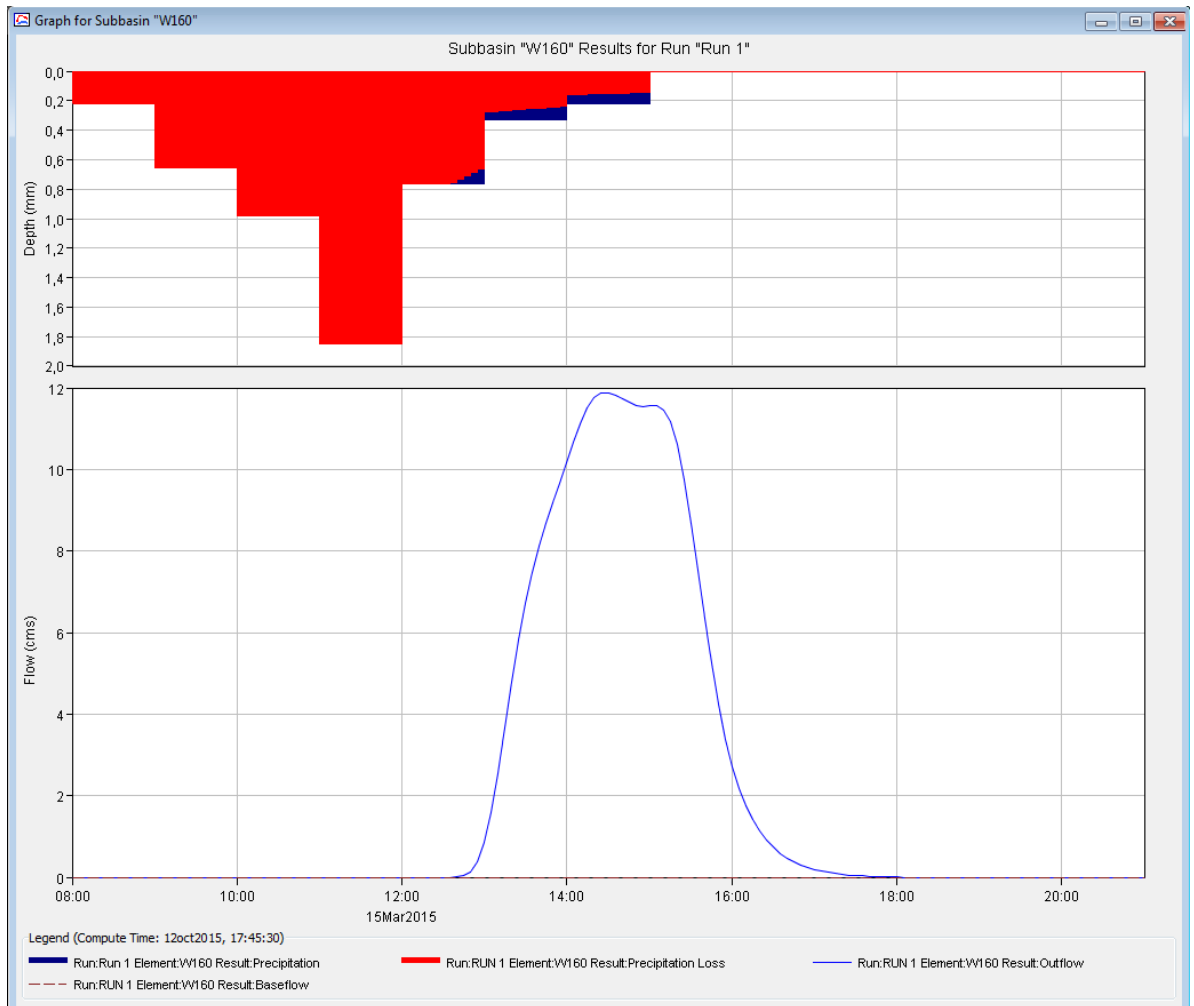


SUBCUENCA W170



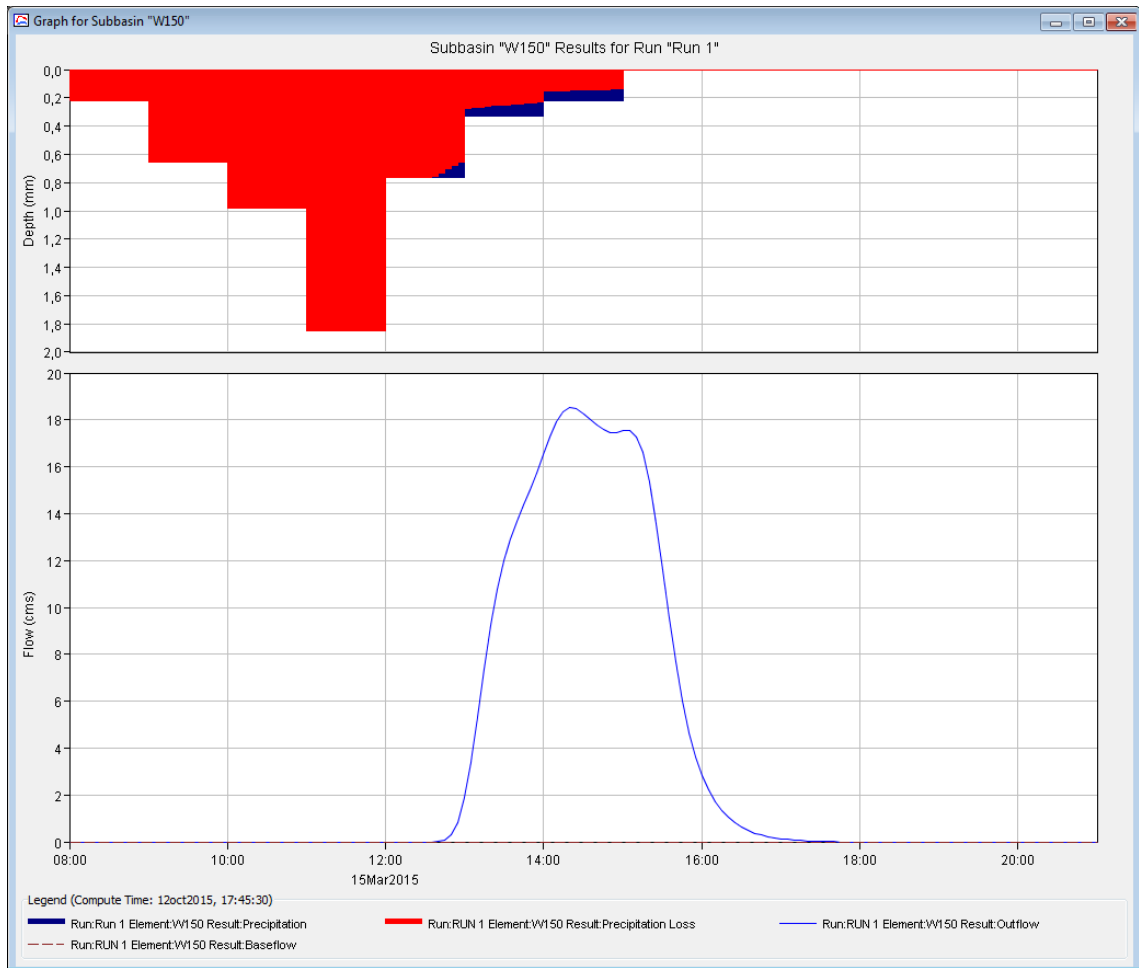
Summary Results for Subbasin "W170"			
Project: Cuenca Caplina			
Simulation Run: Run 1 Subbasin: W170			
Start of Run:	15mar2015, 08:00	Basin Model:	Modelo
End of Run:	15mar2015, 21:00	Meteorologic Model:	Met 1
Compute Time:	12oct2015, 17:45:30	Control Specifications:	CuencaCaplina_control
Volume Units: <input checked="" type="radio"/> MM <input type="radio"/> 1000 M3			
Computed Results			
Peak Discharge :	7,4 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge :	15mar2015, 14:15
Total Precipitation :	59,95 (MM)	Total Direct Runoff :	2,07 (MM)
Total Loss :	57,88 (MM)	Total Baseflow :	0,00 (MM)
Total Excess :	2,07 (MM)	Discharge :	2,07 (MM)

SUBCUENCA W160



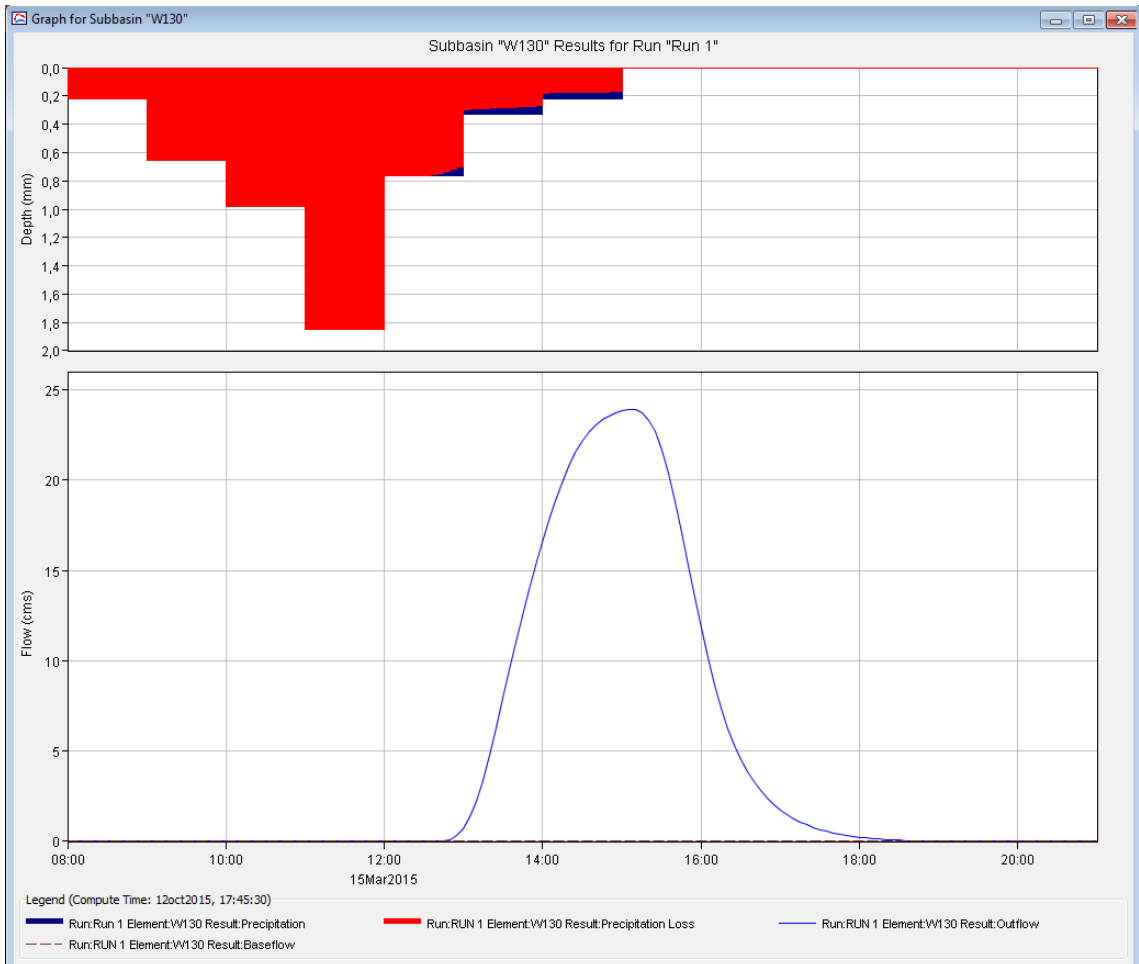
Summary Results for Subbasin "W160"			
Project: Cuenca Caplina			
Simulation Run: Run 1 Subbasin: W160			
Start of Run:	15mar2015, 08:00	Basin Model:	Modelo
End of Run:	15mar2015, 21:00	Meteorologic Model:	Met 1
Compute Time:	12oct2015, 17:45:30	Control Specifications:	CuencaCaplina_control
Volume Units: <input checked="" type="radio"/> MM <input type="radio"/> 1000 M3			
Computed Results			
Peak Discharge :	11,9 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge :	15mar2015, 14:30
Total Precipitation :	59,95 (MM)	Total Direct Runoff :	1,87 (MM)
Total Loss :	58,08 (MM)	Total Baseflow :	0,00 (MM)
Total Excess :	1,87 (MM)	Discharge :	1,87 (MM)

SUBCUENCA W150



Summary Results for Subbasin "W150"	
Project: Cuenca Caplina	
Simulation Run: Run 1 Subbasin: W150	
Start of Run: 15mar2015, 08:00	Basin Model: Modelo
End of Run: 15mar2015, 21:00	Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: 12oct2015, 17:45:30	Control Specifications: CuencaCaplina_control
Volume Units: <input checked="" type="radio"/> MM <input type="radio"/> 1000 M3	
Computed Results	
Peak Discharge : 18,5 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge : 15mar2015, 14:20
Total Precipitation : 59,95 (MM)	Total Direct Runoff : 2,06 (MM)
Total Loss : 57,89 (MM)	Total Baseflow : 0,00 (MM)
Total Excess : 2,06 (MM)	Discharge : 2,06 (MM)

SUBCUENCA W130



Summary Results for Subbasin "W130"

Project: Cuenca Caplina
Simulation Run: Run 1 Subbasin: W130

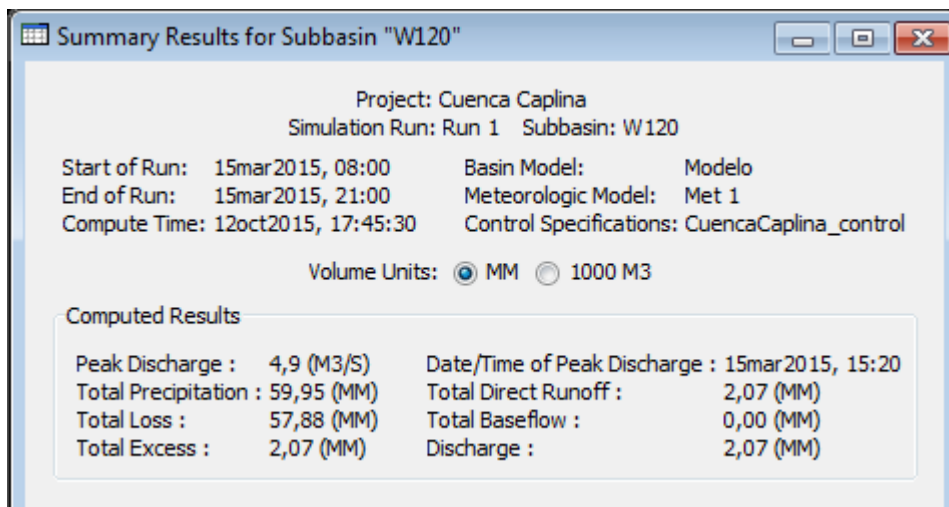
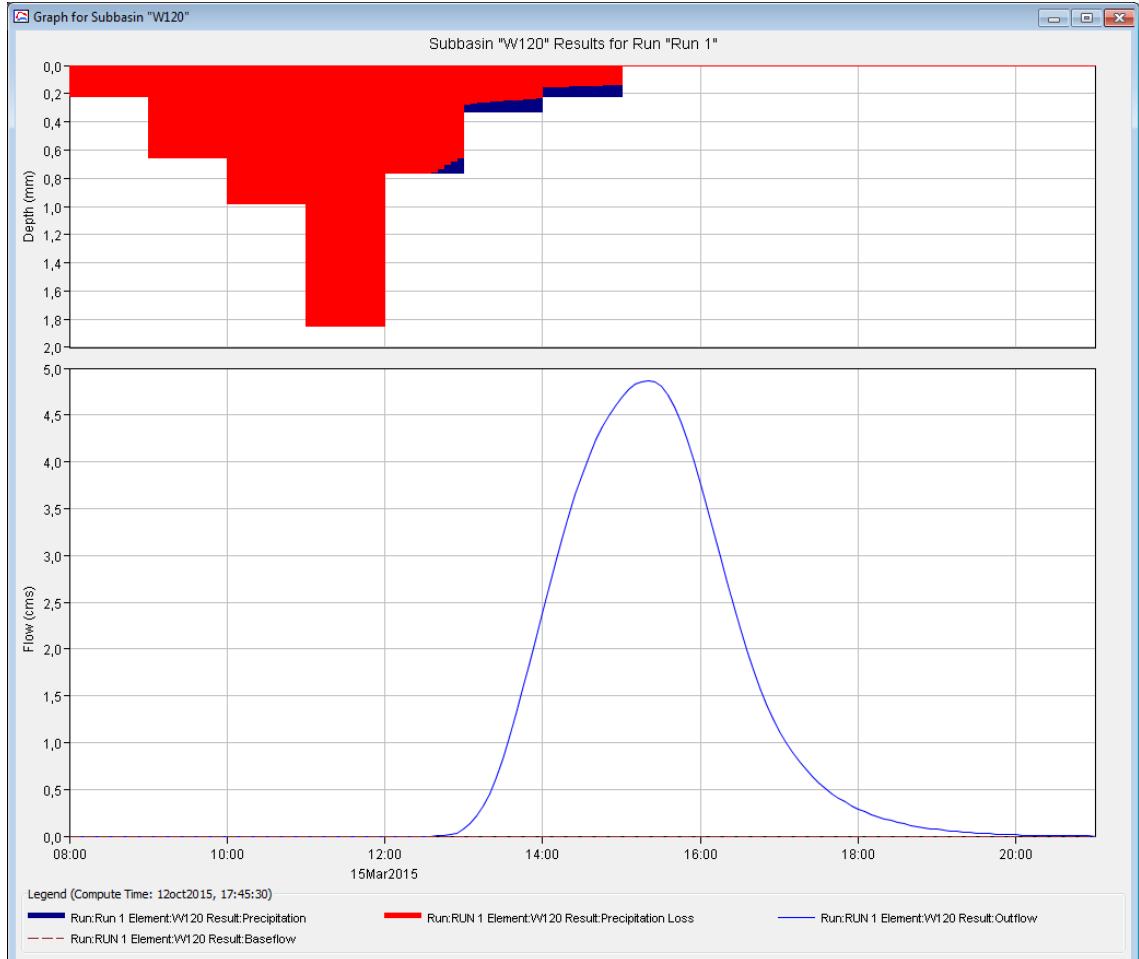
Start of Run: 15mar2015, 08:00	Basin Model: Modelo
End of Run: 15mar2015, 21:00	Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: 12oct2015, 17:45:30	Control Specifications: CuencaCaplina_control

Volume Units: MM 1000 M3

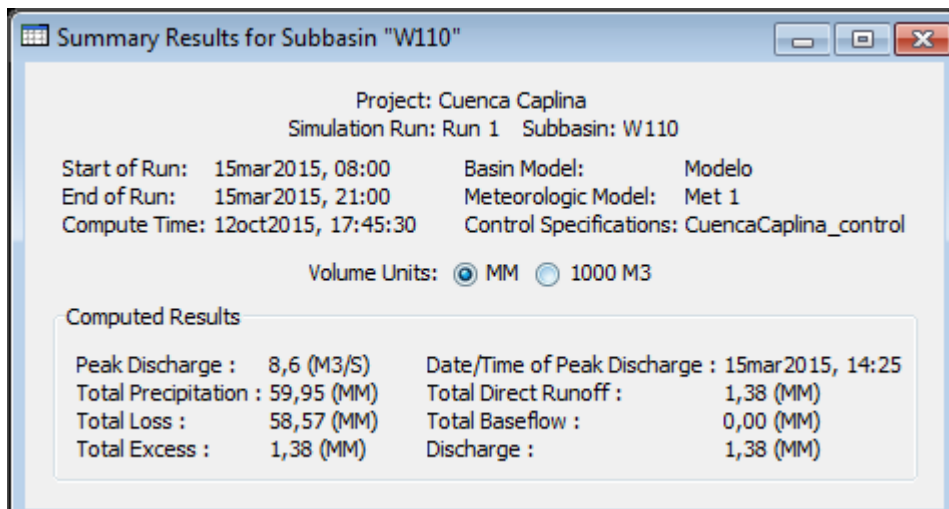
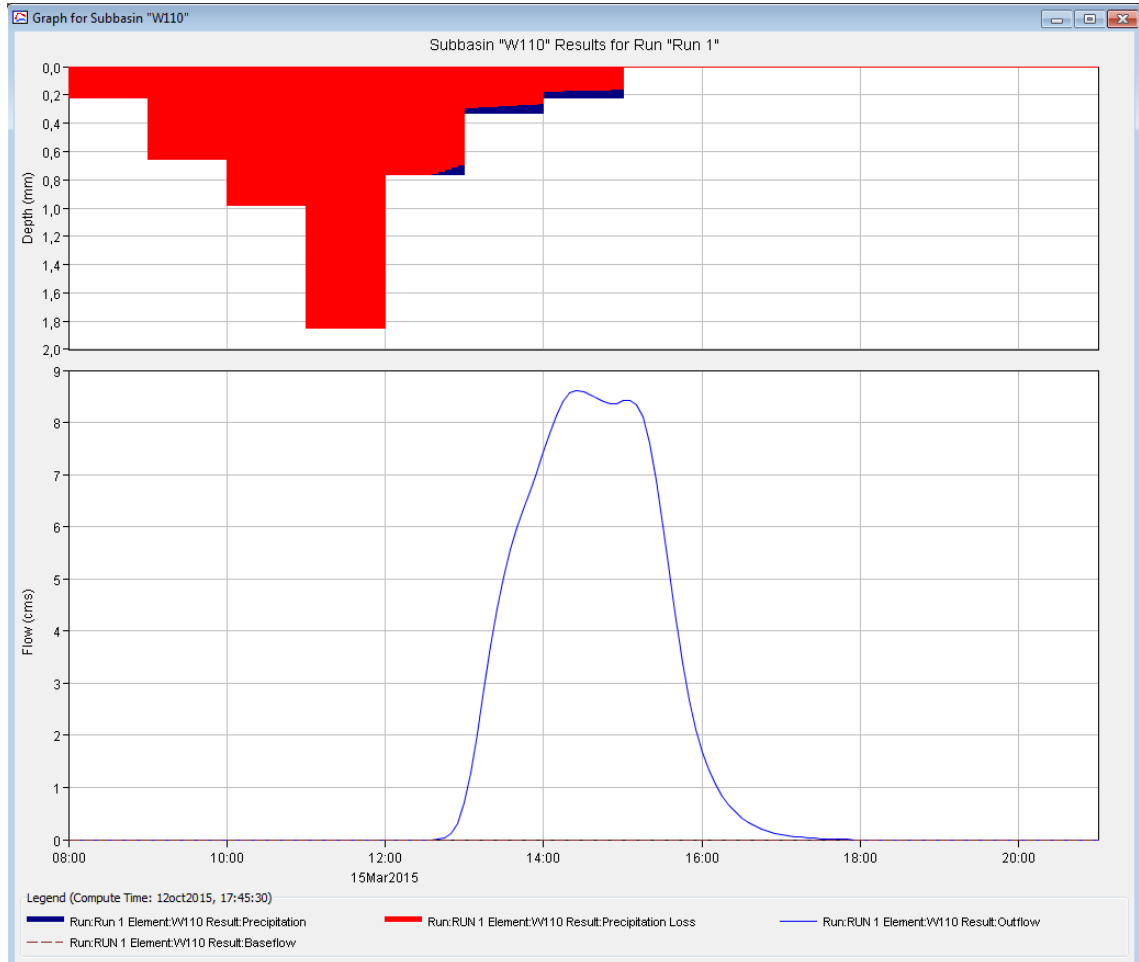
Computed Results

Peak Discharge : 23,9 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge : 15mar2015, 15:05
Total Precipitation : 59,95 (MM)	Total Direct Runoff : 1,19 (MM)
Total Loss : 58,76 (MM)	Total Baseflow : 0,00 (MM)
Total Excess : 1,19 (MM)	Discharge : 1,19 (MM)

SUBCUENCA W120



SUBCUENCA W110



SUBCUENCA W100

