

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia
Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica-Geotécnica

**“CARACTERIZACION HIDROGEOMORFOLOGICA DE LA CUENCA
DEL RIO CAPLINA - TACNA”**

TESIS

PRESENTADO POR:

BACH. CESAR ANDRES PINO TICONA

Para obtener el Título Profesional de

INGENIERO GEOLOGO - GEOTECNICO

TACNA - PERÚ

2013

**“CARACTERIZACION HIDROGEOMORFOLOGICA DE LA CUENCA
DEL RIO CAPLINA - TACNA”**

Relación de Figuras.....	v
Relación de Cuadros	vii
Resumen	viii
Introducción	ix
CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1.1. Problema Principal	2
1.1.2. Problemas Específicos	2
1.2. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	3
1.3. HIPOTESIS	4
1.4. FUNDAMENTO Y JUSTIFICACION	4
1.5. OBJETIVOS	5
1.5.1. Objetivo General	5
1.5.2. Objetivos Específicos	5
CAPITULO II: MARCO TEORICO.....	7
2.1. ASPECTOS GENERALES	7
2.2. REVISIÓN DE INVESTIGACIONES REALIZADAS	10
CAPITULO III: MATERIALES Y METODOLOGÍA	13
3.1. RECOPIACION DE INFORMACION Y FUENTE DE DATOS ..	13
3.2. ANALISIS CLIMATICO E HIDROLOGIA.....	14
3.3. APLICACIÓN DE LOS MODELOS HIDROLOGICOS.....	18
3.3.1. Aspectos Generales	18
3.3.2. Componentes de un Modelo HEC-HMS	24

3.3.3.	Alcances de HEC-HMS	27
3.3.4.	Información Requerida para el Modelo	28
3.4.	MORFODINAMICA DE CAUCES	29
3.4.1.	Sistema Hidráulico	29
3.4.2.	Sistema Caplina	30
3.5.	GEOLOGIA Y ESTRATIGRAFÍA	32
3.5.1.	Aspectos Generales	32
3.5.2.	Estratigrafía.....	33
3.5.3.	Geología Estructural.....	53
3.6.	GEOMORFOLOGIA DE LA CUENCA	54
3.6.1.	Cordillera.....	54
3.6.2.	Puna.....	56
3.6.3.	Altiplano	58
3.6.4.	Cuencas de erosión, valles y quebradas del flanco disectado de los Andes.....	59
3.6.5.	Pampa Costanera	62
3.6.6.	Desembocaduras	64
3.7.	MORFOGENESIS Y DOMINIOS GEOMORFOLOGICOS	66
3.7.1.	Subcuenca Quebrada Piscullane	66
3.7.2.	Subcuenca Quebrada Cotañane	67
3.7.3.	Subcuenca Quebrada Palca.....	70
3.7.4.	Subcuenca Media.....	71
3.8.	MORFOEVOLUCION	72
3.8.1.	La Cadena Occidental.....	73
3.8.2.	La Cadena Oriental	74
3.8.3.	La Meseta del Collao.....	74
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSION		75
4.1.	GEOMORFOLOGIA FLUVIAL	75
4.1.1.	Parámetros Geomorfológicos de la Cuenca	75
4.1.2.	Hidrografía	81
4.2.	HIDROLOGIA FLUVIAL.....	83
4.2.1.	Hidrología.....	83

4.2.2. Modelamiento Hidrológico	88
4.3. GESTION DE RIBERAS Y SISTEMAS FLUVIALES.....	98
4.3.1. Riesgo de inundación y gestión de riberas	98
4.3.2. Inundabilidad o peligrosidad de inundación	104
4.3.3. Zonificación de áreas de peligrosidad	106
CONCLUSIONES.....	111
RECOMENDACIONES	114
BIBLIOGRAFIA.....	115
ANEXOS	117

Relación de Figuras

Figura 1 Mapa de ubicación de la cuenca Caplina.....	4
Figura 2 Variación de las temperaturas	15
Figura 3 Hidrograma de la cuenca del río Caplina	16
Figura 4 Diagrama de Holdrige	18
Figura 5 Modelo Estándar HEC-HMS	23
Figura 6 Modelo HEC-HMS con Hidrogramas Resultantes.....	23
Figura 7 Página Web de la US Army Corps of Engineers	27
Figura 8 Vista Panorámica del Cerro Pelado	38
Figura 9 Discordancia erosional.....	40
Figura 10 Contacto entre la formación Moquegua y Huaylillas (SE).....	44
Figura 11 Surgimiento de agua en bofedales cordillera del Barroso	49
Figura 12 Columna Estratigráfica de la cuenca del Río Caplina.....	52
Figura 13 Cordillera del Barroso que forma parte de la Unidad fisiográfica de cordillera, donde nace el Rio Caplina.....	56
Figura 14 Puna de la Región Tacna, habitada por auquénidos.....	57
Figura 15 Zona de planicie andina parte alta cuenca del Río Caplina.....	58
Figura 16 Zona de la quebrada Cobani con laderas empinadas y en Segundo plano el piso de valle	59
Figura 17 Sub unidad del valle aluvial de la quebrada del rio Uchusuma.....	65
Figura 18 Hidrogramas según la forma de la cuenca	78
Figura 19 Curva Hipsométrica de la cuenca	80
Figura 20 Comparativo de descargas de los ríos de la costa peruana	84
Figura 21 Comparativo de descargas máximas, medias y mínimas.....	86
Figura 22 Modelo de Cuenca Caplina.....	89

Figura 23 Parámetros para Modelo de Cuenca	90
Figura 24 Hietograma para el Modelo Hidrológico	91
Figura 25 Precipitación en 24 horas.....	91
Figura 26 Mapa de ubicación de estaciones de precipitación	92
Figura 27 Avenidas registradas en febrero de 1998.....	94
Figura 28 Evidencia de daños del rio Caplina	94
Figura 29 Hidrograma subcuenca en las nacientes rio Caplina.....	95
Figura 30 Hidrograma de salida.....	96
Figura 31 Tabla de datos de salida.....	96
Figura 32 Bocatoma Calientes y Baños Termales	107
Figura 33 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.....	108
Figura 34 Colapso de los muros progresivas 0+670 y 0+680.....	109
Figura 35 Sección de flujo para la progresiva 0+670 para periodos de retorno de 50 y 100 años	109
Figura 36 Zonas vulnerables en el rio Seco.....	110

Relación de Cuadros

Cuadro 1 Estaciones hidrometeorológicas ámbito de la cuenca	13
Cuadro 2 Características hidrográficas cuenca Caplina.....	82
Cuadro 3 Estación Calientes	85
Cuadro 4 Aportaciones y Variabilidad de Descargas Medias.....	86
Cuadro 5 Descargas Medias, Máximas y Mínimas	86
Cuadro 6 Ratios de aportes calculados para la cuenca Caplina	87
Cuadro 7 Periodo de Registro de las Estaciones de Precipitación.....	93
Cuadro 8 Clasificación de quebradas por riesgo.....	100
Cuadro 9 Clasificación por Localización	101
Cuadro 10 Clasificación por Pendiente	101
Cuadro 11 Clasificación por Área	101
Cuadro 12 Clasificación por Naturaleza del Suelo	102
Cuadro 13 Valores de ponderación para los diferentes parámetros.....	102

Resumen

El presente trabajo, desarrolla metodología y procedimientos, para la caracterización hidrogeomorfológica de la cuenca hidrográfica del río Caplina. Se analizó a detalle los elementos geológicos e hidrológicos de la zona de estudio, se logró caracterizar e interpretar geomorfológica e 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. Esta cuenca ha sido dividida en cinco unidades geomorfológicas como son Cordillera, Flancos Disectados, Pampa Costanera y Cadena Costanera.

Para la caracterización geomorfológica de la cuenca, que el coeficiente de compacidad es de 1,42, la relación de elongación resultante es de 0,65, el factor de forma es 0,27, esta interrelación de parámetros geomorfológicos superficiales de la cuenca son indicadores en efecto global que dicha cuenca está ligada estrechamente a crecientes súbitas. El cauce actual del río Caplina puede definirse como una corriente sencilla de patrón rectilíneo-quebrado, con carga de gravas y bloques (sector alto), que evoluciona a un patrón recto, ligeramente sinuoso y entrelazado, de arenas (sector del llano). El comportamiento hidrológico medio del río Caplina y sus afluentes es característico del régimen de los ríos de la costa sur, que tienen su origen en áreas montañosas o de cordillera, en este caso se refiere a la cordillera del Barroso. Se presenta un evento extremo de magnitud $60,3 \text{ m}^3/\text{s}$, lo que nos permite presagiar procesos de inundación y desborde en la zona urbana de la ciudad de Tacna, la cual es la zona de descarga de la cuenca húmeda. El río Caplina presenta alta variabilidad interanual, con caudales máximos entre diciembre y marzo.

Introducción

El agua es la sustancia más abundante en la Tierra, es el principal constituyente de todos los seres vivos y es una fuerza importante que constantemente está cambiando la superficie terrestre. También es un factor clave en la climatización de nuestro planeta para la existencia humana y a la vez tiene influencia en el progreso de la civilización. La hidrología cubre todas las fases del agua en la tierra, es una materia de gran importancia para el ser humano y su ambiente. El papel de la hidrología aplicada es ayudar a analizar los problemas relacionados con estas labores y proveer una guía para el planeamiento y el manejo de los recursos hidráulicos.

La geomorfología ha ido evolucionando conforme evoluciona nuestro planeta, esta ciencia se centra en el estudio de las formas del relieve, pero dado que éstas son el resultado de la dinámica litosférica en general integra como insumos por un lado, conocimientos de otras ciencias de la Tierra, tales como la climatología, la hidrografía, la pedología, la glaciología y, por otro lado también integra insumos de otras ciencias, para abarcar la incidencia de fenómenos biológicos, geológicos y antrópicos, en el relieve y la superficie terrestre

El estado actual del conocimiento del potencial de los recursos hídricos de escurrimiento superficial de dicha región es parcial concentrándose la mayor parte de la información existente en los puntos de aprovechamiento (captación o regulación) de algunos de los proyectos hidráulicos que se han propuesto, existiendo muchas áreas con poca o ninguna información.

CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

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 policíclica 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.

En primera instancia, existen problemas para interpretar la naturaleza y magnitud de los condicionantes geológicos y geomorfológicos en la disposición de las cuencas fluviales y sus redes de drenaje. Si bien se han propuesto modelos en los que la morfo estructura general condiciona la forma de las grandes cuencas y las deformaciones frágiles (fallas y diaclasas) el trazado de los valles, fenómenos puntuales de superposición/antecedencia y disposiciones anómalas de los cursos fluviales obligan a replantearse dichas hipótesis.

A pesar esta problemática geomorfológica, las incertidumbres y cuestiones no resueltas en el ámbito hidrológico son aún más importantes. Puede decirse que los únicos estudios hidrológicos del río Caplina se ha

realizado con el objetivo de conocer las reservas hídricas. Se tiene un desconocimiento casi total acerca de la dinámica de caudales, magnitud y características de sus eventos de crecida, y consecuencias geomorfológicas de las avenidas que acontecen en estos ríos.

1.1.1. Problema Principal

Debido a que la mayoría de estudios sobre la cuenca del río Caplina son para estimar reservas hídricas, se tiene un conocimiento somero del comportamiento superficial del río, así como también del comportamiento geomorfológico e hidrológico de la cuenca Caplina, por eso es que se plantea como Problema Principal hacer una buena caracterización e interpretación geomorfológica e hidrológica para beneficio de la comunidad y población que habita en dicha cuenca.

1.1.2. Problemas Específicos

Ver la cuenca Caplina desde un punto fisiográfico, implica hacer un análisis de los factores que condicionan el comportamiento del río, teniendo en cuenta diferentes factores como geográficos, geológicos, geomorfológicos, climáticos y biográficos, que forman parte de la configuración del mismo.

Se viene suscitando desastres naturales en la cuenca del río Caplina, afectando a la población que vive cerca al mismo, este es un gran problema debió que se pone en riesgo la integridad de la población, ya que por desbordes o desprendimientos de los suelos, puede atentar contra la infraestructura de las

casas aledañas a las riberas, esto se debe a que, no se realiza un apropiado análisis de las avenidas que pueda traer dicho río en época de lluvias o también un buen análisis de las estructuras que forman parte de las defensas ribereñas, por eso que se plantea hacer una modelización para calcular avenidas máximas y mínimas.

Importante también, es tener en claro como interactúa la geomorfología e hidrología fluvial en el río Caplina, tenemos que desarrollar una interpretación para poder establecer vínculos de causalidad y cuantificación..

1.2. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Se ubicada entre las coordenadas geográficas 69°44'49" y 70°34' de Longitud Oeste y 17°34' y 18°18'30" de Latitud Sur: Políticamente se ubica en la región de Tacna y ocupa parte de la provincia del mismo nombre. Los límites son: por el Norte la línea divisoria de las cuencas del río Sama y Uchusuma, por el Sur la Quebrada de Escritos, por el Este la cuenca del río Uchusuma, y por el Oeste la cuenca del río Sama y el Océano Pacífico

La cuenca Caplina presenta un área de 4239,09 Km². En cuanto a su altitud varía desde 0,00 m.s.n.m. en la Zona Costera hasta 5 690 m.s.n.m. en la Zona Alta, (Cordillera del Barroso), donde se encuentran los nevados Achacollo, Huancune, La Monja, El Frayle, Chupiquiña y Chañaconcurane. Ver Figura 1.

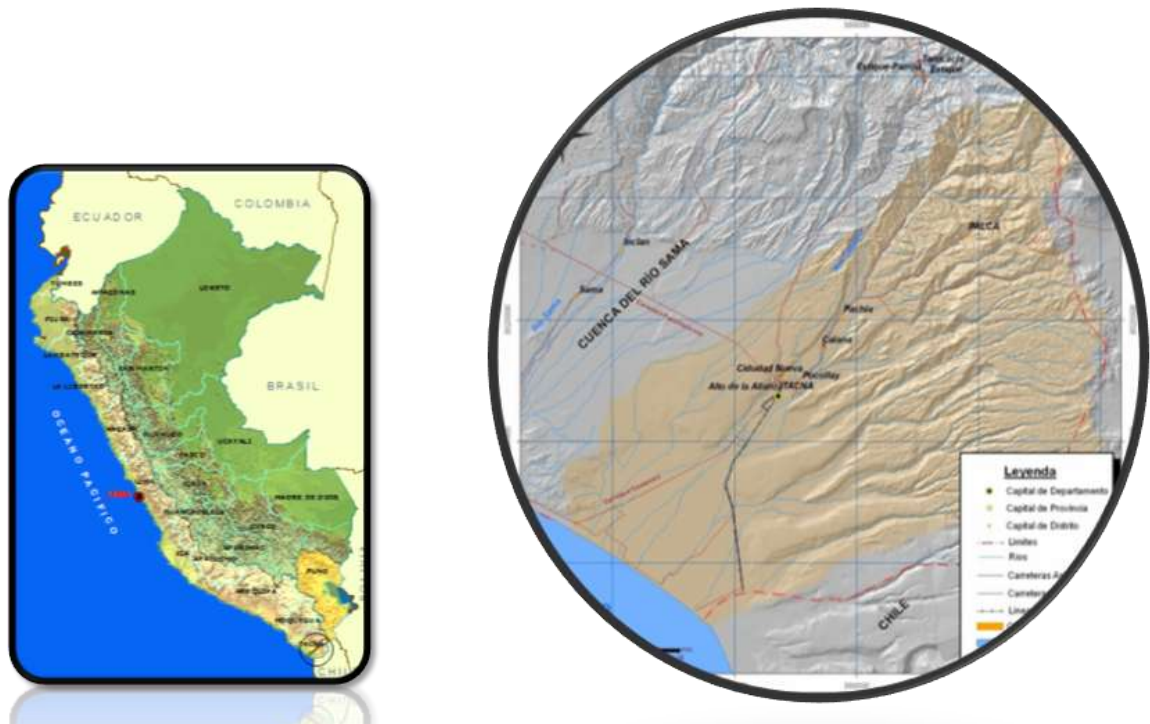


Figura 1 Mapa de ubicación de la cuenca Caplina

1.3. HIPOTESIS

Mediante técnicas de análisis hidrológico y geomorfológico, y el empleo de herramientas matemáticas e informáticas (sistema de información geográfica y modelos hidrológicos) se puede modelar la respuesta de un sistema fluvial y su dinámica ante eventos extremos y la intervención antrópica en el mismo.

1.4. FUNDAMENTO Y JUSTIFICACION

Esta aparente complejidad en los requisitos básicos que debe cumplir cualquier investigación fluvial en el marco de la Teoría de Sistemas, lejos de frenar o paralizar los trabajos, ha contribuido a la proliferación de los mimos en

las últimas décadas; hasta tal punto que podría hablarse de inflación en este campo.

Sin embargo muchos de ellos adolecen de una excesiva especialización, abordando aspectos puntuales y no integrados, contraviniendo así los postulados básicos antes expuestos.

De ahí la necesidad de retomar en la investigación geomorfológica fluvial esa filosofía integrada en la que se estudia el sistema mediante un triple análisis: configuracional (geomorfológico), dinámico (hidrológico) y proceso-respuesta (interacciones externas, entre ellas con las actividades antrópicas). Es precisamente en esta línea en la que se enmarca esta Tesis y se justifica la elección de su temática.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo General

El objetivo general es la caracterización e interpretación geomorfológica e hidrológica 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.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Contextualizar la cuenca hidrográfica del río Caplina desde el punto de vista fisiográfico, analizando los condicionantes geográficos, geológicos, geomorfológicos, climáticos y biográficos, que han configurado su estado actual.

- Caracterizar la hidrología fluvial del río Caplina y sus tributarios, con especial hincapié en el análisis de avenidas, y su modelización.
- Analizar las interrelaciones entre la geomorfología e hidrología fluvial en el río Caplina, estableciendo vínculos de causalidad y cuantificando si es factible la magnitud de los efectos recíprocos.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1. ASPECTOS GENERALES

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 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 SystemTheory* (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 morfogénéticos 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 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, podemos recoger la 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.

2.2. REVISIÓN DE INVESTIGACIONES REALIZADAS

PINO et. al. (2012), desarrollaron 10 modelos de redes neuronales artificiales con distintas arquitecturas para las descargas medias del río Caplina, cuyo entrenamiento se realizó con un primer subconjunto de datos correspondientes al periodo 1939 – 1999, y su validación con un segundo subconjunto de datos del periodo 2000 – 2006. Los modelos de redes neuronales artificiales mostraron comparativamente mejor desempeño en materia de predicción frente a un modelo autorregresivo periódico de primer orden PAR (1).

ANA (2010), realizó un estudio hidrográfico de todas las cuencas del Perú, dando a conocer parámetros importantes de los diferentes ríos de las diferentes regiones del Perú, resaltó la importancia de los Recursos Hídricos de nuestras cuencas y ríos.

Acuña (2010), desarrolló un análisis regional de caudales medios mensuales, para diversos niveles de persistencia de los principales ríos peruanos pertenecientes a la vertiente del Pacífico.

Torvisco (2006), estableció modelos hidrológicos (HEC-HMS) e hidráulicos (HEC-RAS) para el cálculo de las avenidas máximas, que podrían afectar las ciudades de Andahuaylas y San Jerónimo, se utilizó Sistema de Información Geográfica (GIS), con la ayuda de estos modelos y simulaciones se puede prevenir y construir obras para la defensa y seguridad de la población.

Osorio (2004), desarrolló un estudio para determinar caudales máximos, utilizando modelos hidrológicos como el HEC-HMS, se puede calcular las máximas avenidas, para una prevención y la construcción de sistemas de drenaje óptimo para una buena distribución de las lluvias en la ciudad de Moyobamba.

Córdova (2003), utilizó el Sistema de Información Geográfica (SIG), por medio de la herramienta ArcView GIS, se pudo calcular la evaporación potencial y el balance del agua del suelo de la cuenca del Rio Rímac, usando información climática mensual de la cuenca.

Córdova (2003), desarrolló un modelo hidrológico para la cuenca del rio Huallaga, haciendo uso de los métodos estadísticos para el cálculo de avenidas máximas y mínimas, por medio de las herramientas HEC-RAS y HEC-HMS, los modelos se utilizaron para detectar las áreas posiblemente inundadas, calculando esto se puede prevenir la ocurrencia de desastres imprevistos.

Fonseca (2002), desarrolló un modelo de precipitación-escorrentía para toda el área de influencia del embalse Poechos, utilizando los Sistemas de Información Geográfica, para estimar parámetros geomorfológicos e hidrológicos, haciendo uso del modelamiento hidrológico HEC-HMS y Sistema de Información Geográfica (SIG).

Del Águila (2001), determinó la disponibilidad del recuso hídrico, a través del análisis de las descargas medias utilizando modelos autorregresivos, con el fin de satisfacer requerimientos de agua a los proyectos en actual implementación, se desarrolló el modelamiento estocástico de las descargas medias en el río Santa en Ancash.

Diez (2001), desarrolló por medio de herramientas la caracterización, interpretación y modelización geomorfológica e hidrológica de la cuenca hidrográfica del río Alberche, con especial incidencia en el estudio de las crecidas fluviales y su aplicación a la gestión de riberas.

Alonso et. al. (1982), relacionó la evolución de la tectónica de la placa Ibérica durante el Cretácico, como factor que condicionó la evolución y formación de las cuencas y el comportamiento de las mismas, realizó también un estudio extenso del comportamiento de las facies sedimentarias lacustres, cuya distribución fue areal y también temporal, es muy compleja ya que responde a un contexto paleogeográfico que refleja las especiales condiciones tectónicas, climáticas y eustáticas que afectan a la placa Ibérica.

CAPITULO III: MATERIALES Y METODOLOGÍA

3.1. RECOPIACION DE INFORMACION Y FUENTE DE DATOS

En la región Tacna, específicamente en la zona de estudio hay información hidrometeorológica existente en diferentes entidades públicas y privadas como por ejemplo la Autoridad Local del Agua (ALA) y en el Proyecto Especial Tacna (PET), así mismo en SENAMHI. En el Cuadro 1, se muestra las estaciones involucradas en el ámbito de la cuenca en estudio.

Cuadro 1 Estaciones hidrometeorológicas ámbito de la cuenca

Variable Hidrológica	Estación	Norte	Este	Altitud	Periodo
1; 2; 3; 4; 5; 6; 7	Calana	8017500	375800	848	1964 - 2006
1; 2; 3; 4; 5	La Yarada	7984800	353000	58	1972 - 2006
1; 2; 3; 4	Magollo	8002000	356000	288	1964 - 2002
1; 2; 3; 4; 8	Calientes	8022950	381850	1300	1964 - 2006
1	Palca	8034800	398400	3142	1965 - 2006
1	Toquela	8048500	402000	3650	1964 - 2009
1	Lluta	8026850	391300	1950	1964 - 1966
1; 3	Corpac	8003906	364758	875	1950 - 1972
1; 2; 3; 4; 5; 6; 7	Jorge Basadre	8006400	367400	560	1993 - 2006
1	Paucarani	8063609	418115	4600	1946 - 2003

1: Precipitación, 2: Evaporación, 3: Temperatura, 4: Humedad Relativa
5: Vientos, 6: Presión Atmosférica, 7: Heliofanía, 8: Descargas/caudales

En todo estudio hidrológico, es necesario efectuar el análisis climático y de precipitación, por tanto se recurrió a los registros mensuales de las estaciones

entre climatológicas y pluviométricas. Los parámetros existentes son precipitaciones mensual, evaporación mensual, temperatura mínima, media y máxima mensual, humedad relativa mínima, media y máxima mensual, y velocidad del viento media mensual.

3.2. ANALISIS CLIMATICO E HIDROLOGIA

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 en las estaciones de Palca y Toquepala alcanzando hasta 129,05 mm, mientras que las mínimas ocurren 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 tiene 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. Ver Figura 02.

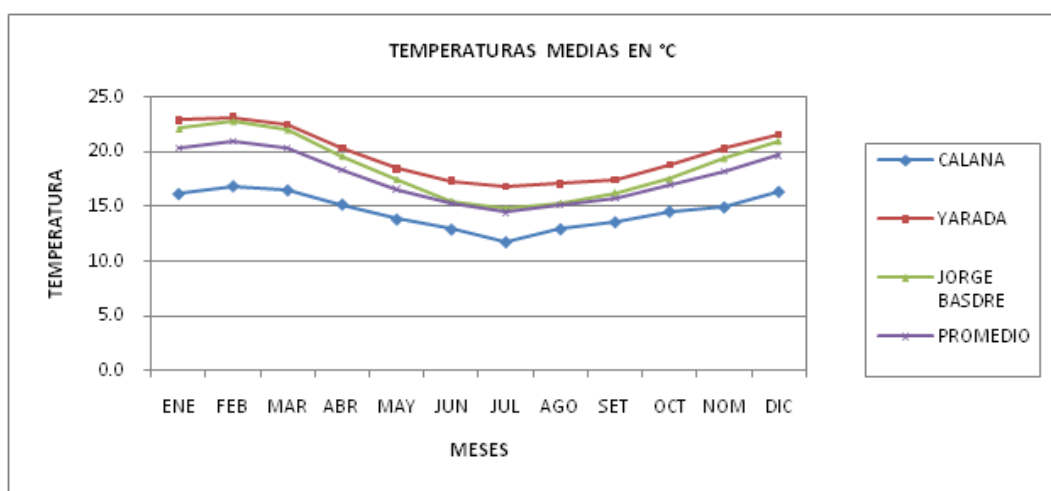


Figura 2 Variación de las temperaturas

En cuanto al caudal del río Caplina, se han tomado datos de los registros de caudales de los años 1939 al 2009, de la estación de la Bocatoma Calientes. El modo gráfico que se representa los registros de caudales es mediante hidrogramas. En la Figura 03 se puede apreciar el hidrograma de caudales medios anuales de la cuenca del río Caplina, donde existe una notable diferencia entre los años secos y años húmedos donde ha existido mayor cantidad de agua.

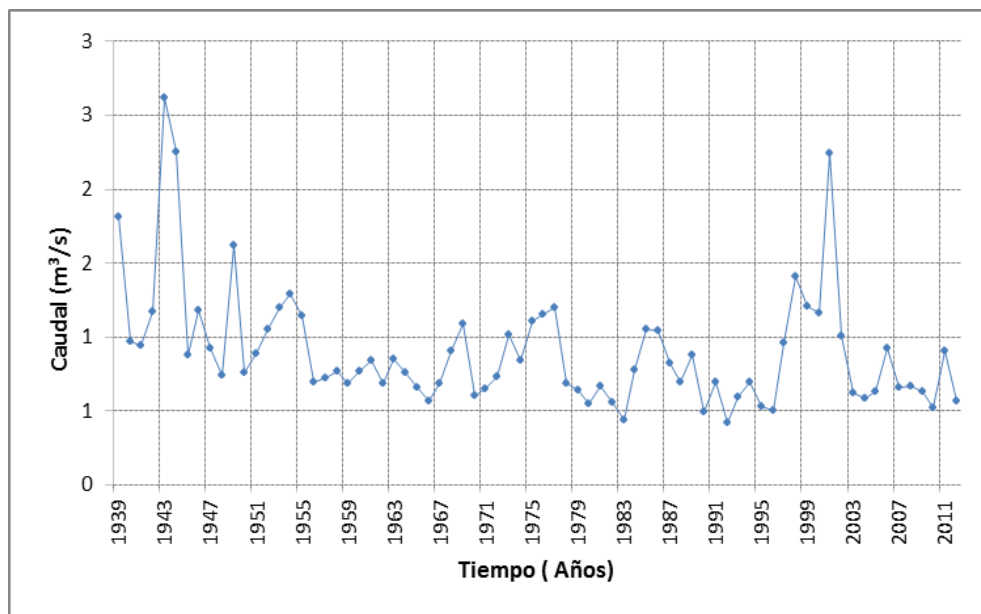


Figura 3 Hidrograma de la cuenca del río Caplina

Las descargas promedio histórico mensual, del río Caplina en la Bocatoma Calientes varia de 0,575 m³/s a 2,226 m³/s; el caudal más bajo es de 0,303 m³/s que se registró en el mes de noviembre del año 1995. El caudal más alto se presenta en el mes de febrero con un caudal de 33,216 m³/s del año 1944.

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 se utiliza para clasificar el clima de acuerdo a los 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 tenemos 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 4, 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, gleysosles y orgánicos. La vegetación está constituida de ichu, pajonales, quinal, gynoxys y cactus yareta. En la Figura 4, se muestra el diagrama de Holdrige, con la clasificación climática respectiva.

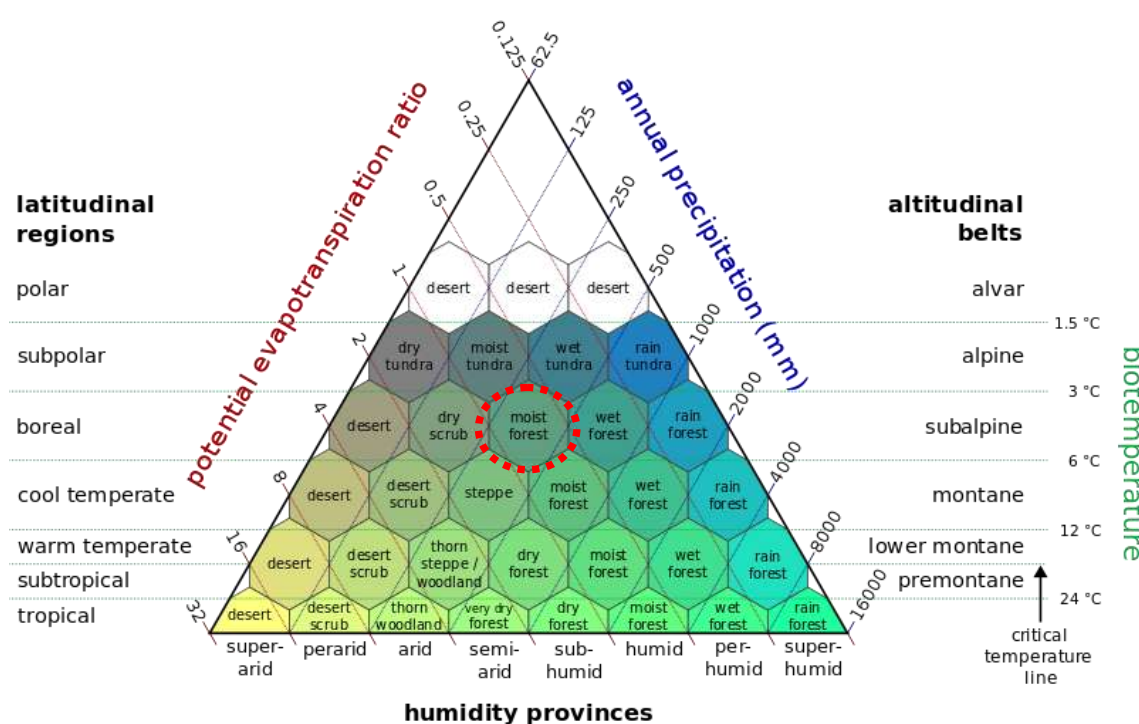


Figura 4 Diagrama de Holdrige

3.3. APLICACIÓN DE LOS MODELOS HIDROLOGICOS

3.3.1. Aspectos Generales

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 esponsorizado 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.

Este modelo evolucionó en el MIKE SHE, que se puede definir como un sistema de modelación, “physically based”, es decir, sus parámetros pueden ser medidos en campo, es distribuido e integra hidrología y calidad del agua. Simula el ciclo hidrológico incluyendo la evapotranspiración, caudal de avenida, flujo en canal, infiltración en el suelo y movimiento de agua subterránea.

HSPF (Hydrologic Simulation Program Fortran). HSPF simula para períodos prolongados de tiempo, la hidrología y calidad del agua en una cuenca, procesos en superficies de suelos permeables o impermeables y en ríos. El

modelo fue desarrollado en los primeros años de los 60 con el nombre de Stanford Watershed Model, SWM. En los 70, se añadieron los procesos de calidad del agua. A finales de los 70 se realizaron desarrollos de una versión en Fortran. En los 80, fue creado, por parte del USGS y EPA, el software de pre proceso y post proceso, con lo que el algoritmo mejoró y se introdujo el uso del sistema del USGS (WDM), base de datos de referencia del USGS donde se dispone de información de precipitación, viento, temperatura, etc. En los 90, fue desarrollada por el USGS una versión interactiva en entorno Windows con una interface más amigable.

KINEROS es un modelo de simulación hidrológica que permite un análisis hidrológico espacializado del sistema hidrológico que se desee estudiar. Se ha desarrollado durante años como una herramienta de investigación. Sin embargo, algunas consultorías han sido atraídas por algunas de sus características únicas y lo han adoptado como modelo de trabajo. Kineros se basa en una rutina de escorrentía superficial en cascadas de flujo sobre planos del terreno, contribuyendo flujo lateral para canales. Esta parte fue desarrollada a finales de los 60 (Woolhiser, et al. 1970) En 1974, Rovey añadió una componente de infiltración interactiva y el programa, conocido como KINGEN fue documentado (Rovey, et al. 1977). Después de esto, se introdujeron múltiples modificaciones, entre ellas la introducción de una componente de erosión y transporte de sedimento, la modificación de la componente de infiltración, la adición de un elemento de embalse y la modificación del input (archivo/s de entrada de datos) para permitir variables de lluvia espaciales. Estas modificaciones fueron

incorporadas en el modelo llamado KINEROS que fue sujeto a rigurosas pruebas con datos de escorrentías en terrenos semiáridos, con rangos de superficie comprendidos entre 1.5 a 630 ha. (Goodrich 1991, Woolhiser et. al. 1990, Michaud, 1992). Los resultados fueron muy alentadores para cuencas de aproximadamente 3 mi² (~760 ha) y demostraron la necesidad de contabilizar la variabilidad espacial a pequeña escala de la conductividad saturada y la precipitación.

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. HEC integró entonces las herramientas de GIS existentes con los programas desarrollados en dicho proyecto en un software de GIS llamado HEC GeoHMS. El desarrollo del software GeoHMS se llevó a cabo en cooperación con el Environmental System Research Institute, Inc., a través de la Cooperative Research and Development Agreement (CRADA); y con la University of Texas en Austin.

HMS & GeoHMS. Es un modelo hidrológico que se ha aplicado en los últimos años para poder realizar análisis distribuidos. Además, se ha completado con la extensión GeoHMS para Arcview, que permite el pre-tratamiento de los datos del terreno. El modelo HMS fue desarrollado por los ingenieros del U.S.

Army Corps of Engineers. A su vez, a partir de 1970, el Hydrologic Engineering Center, HEC, participó en el desarrollo de algunas primeras aplicaciones para sistemas de información geográfica, como son: Hydrologic Parameters (HYPAR) y Spatial Analysis Methodology (SAM), para conocer las necesidades de la modelización en las investigaciones sobre fenómenos hidrológicos. Estas aplicaciones iniciales tenían la propiedad de acceder a los datos de las celdas de las mallas multivariadas geográficas.

En la presente tesis, se decidió utilizar el modelo HEC GeoHMS, como se indicó software libre y que permite gran versatilidad en su manipulación y su interrelación e interfaces con ARCGIS.

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.

En la Figura No. 5 se muestra un esquema estándar de modelación usando HEC-HMS y en la Figura No. 6, un caso mostrando los hidrogramas o hidrógrafas resultantes en los puntos de interés.

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.

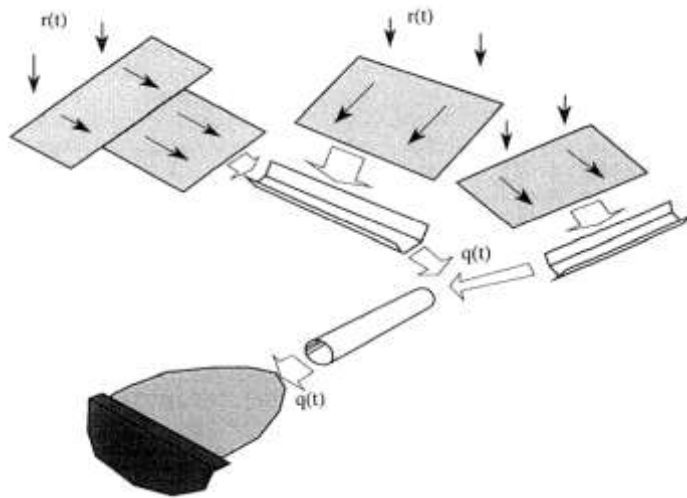


Figura 5 Modelo Estándar HEC-HMS

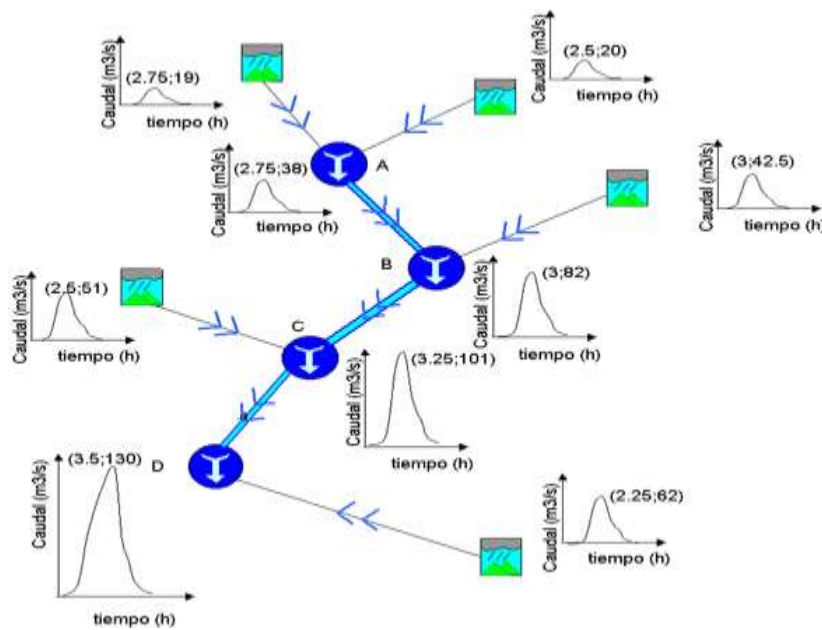


Figura 6 Modelo HEC-HMS con Hidrogramas Resultantes

3.3.2. Componentes de un Modelo HEC-HMS

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 escurrentía (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.

El programa incluye una interfaz gráfica para el usuario (GUI) que le permite introducir la información necesaria para una simulación, manejar los componentes de análisis hidrológico a través de módulos integrados, y obtener respuestas gráficas o tabuladas de fácil comprensión e impresión. El documento de ayuda incorporado en el programa aclara la utilización de las opciones del programa.

Los archivos de extensión DSS (Data Storage System) se utilizan para almacenar y trabajar con series de tiempo, funciones emparejadas y datos de grilla en una forma muy transparente para el usuario.

Para definir la estructura de las cuencas, el programa considera los siguientes elementos:

- Subcuencas (subbasins)
- Tramos de tránsito (routing reach)
- Uniones (junctions)
- Embalses (reservoirs)
- Fuentes (Sources)
- Sumideros (sinks)
- Derivaciones (diversions)

Con estos siete componentes, el usuario puede elaborar una cuenca tan compleja como requiera el problema que está tratando y como permita la información de campo disponible. Si se cuenta con información digital de campo, el HMS incluye la opción de trabajar la cuenca con subdivisiones en grillas o celdas, cada una de las cuales almacena información pertinente respecto a la precipitación, área, pendientes y condición de humedad del suelo.

Los elementos anteriores se disponen en forma de redes dendríticas con un orden o secuencia lógica para realizar los cálculos desde las subcuencas que conforman las cabeceras aguas arriba hasta el punto de salida de todo el caudal aguas abajo. El usuario debe prestar atención a este criterio, ya que los cálculos siguen rigurosamente esta secuencia (por ejemplo si tienen en cuenta una derivación no pueden entregar las aguas derivadas en un punto aguas arriba, aunque técnicamente esto sea factible). Por tal motivo, el primer paso en la

preparación de la información consiste en definir correctamente la estructura de la cuenca que se pretende simular.

El programa trabaja con tres módulos básicos que definen en su conjunto el proyecto de simulación de la cuenca:

- Módulo de precipitación: permite seleccionar uno de seis patrones de precipitación (tipos de hietogramas) del evento de tormenta que más se ajuste a las posibles condiciones de la cuenca, incluyendo la introducción manual de los datos de la lluvia de diseño (ver las indicaciones de la ayuda del programa).
- Módulo de la cuenca: permite la representación del sistema físico con los elementos antes citados, y la inclusión de las características morfométricas y de condición del suelo para cada uno de ellos. Así, cada componente incluye la información necesaria para construir la hidrógrafa total de salida (ver las indicaciones de la ayuda del programa).
- Módulo de control: incluye las fechas de inicio y culminación de los datos de lluvia y caudal para la simulación (u optimización) y los intervalos de tiempo para realizar los cálculos (ver las indicaciones de la ayuda del programa).

Estos tres módulos deben definirse completamente antes de iniciar la corrida de la simulación.

La página web de la US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center quienes desarrollaron el modelo y software HEC-HMS se muestra en la Figura No. 7.

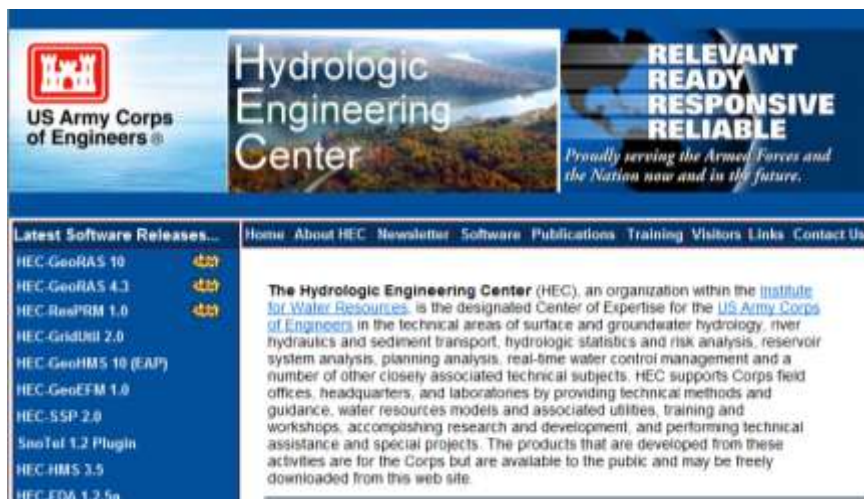


Figura 7 Página Web de la US Army Corps of Engineers

3.3.3. Alcances de HEC-HMS

El programa HEC-HMS o su extensión para ARCGIS HEC Geo HMS, permite simular eventos aislados de crecientes asociados con un patrón de tormenta de diseño para un cierto período de retorno. La suposición de que el período de retorno de la tormenta es coincidente con el período de retorno de la creciente respectiva ha despertado muchas controversias entre los investigadores en hidrología, haciendo evidente que el tratamiento probabilístico de los dos fenómenos, aunque no es mutuamente excluyente si depende de otros factores, entre ellos el área de la cuenca considerada, las condiciones antecedentes de humedad en los suelos para períodos largos y los cambios introducidos por el hombre en el uso y conservación de los suelos. Pensando en ello, el programa permite en la actualidad considerar las condiciones antecedentes de humedad para un registro de precipitación de muchos días a partir de unas condiciones

iniciales, lo que puede asemejarse en parte a un modelo continuo y distribuido de humedad en los suelos, ya que se trabaja con un modelo tipo celdas. Los resultados arrojados por HEC-HMS permiten:

- Dimensionar obras de control de inundaciones como piscinas de amortiguamiento de crecientes y embalses.
- Establecer dimensiones preliminares de alcantarillas viales y sistemas de drenaje pluvial.
- Estudiar el impacto ambiental de las crecientes, causado por la transformación del uso de los suelos en cuencas rurales y urbanas.

Por otro lado, los resultados de HEC-HMS NO permiten:

- Establecer un balance hidrológico confiable de la cuenca.
- Hacer estudios de calidad de agua, erosión ni sedimentación.
- Trabajar con flujos diferentes al agua, flujos de lodos o de detritos, que pueden estar asociados directamente con las crecientes pero que tienen diferentes comportamientos reológicos.

3.3.4. Información Requerida para el Modelo

La información que necesita el programa está relacionada directamente con los métodos de cálculo que maneja. Existen cinco grupos básicos de información que deben suministrarse a HEC-HMS para efectuar las simulaciones:

- Información acerca de la precipitación histórica o de diseño.
- Información acerca de las características del suelo.
- Información morfométrica de las subcuencas.

- Información hidrológica del proceso de transformación de lluvia en escorrentía.
- Información hidráulica de los tramos de canal y de las capacidades de los embalses (métodos de tránsito).

Para la calibración, validación y análisis de sensibilidad del modelo, además de la información anterior se necesitan:

- Registros concordantes de precipitación y caudales de salida (hietogramas e hidrógrafas).
- Determinación de las condiciones iniciales de humedad en los suelos (difícil de lograr).

3.4. MORFODINAMICA DE CAUCES

3.4.1. Sistema Hidráulico

Se han considerado en el ámbito del estudio los sistemas de entrada y salida que se ven involucrados en el abastecimiento de agua para el valle y la Ciudad de Tacna, existiendo dos sistemas de entrada y un subsistema de salida:

- Sistema Caplina
- Sistema Uchusuma
- Subsistema Kovire

Los Sistemas Hidráulicos Caplina y Uchusuma tienen por finalidad garantizar el agua de uso agrícola y poblacional al valle y Ciudad de Tacna, mientras que el Subsistema Hidráulico Kovire afianza al Sistema Hidráulico de la

Laguna Aricota reduciendo los aportes en la cuenca del río Maure que pueden servir a futuro al Sistema Uchusuma.

3.4.2. Sistema Caplina

El Sistema Caplina permite captar las aguas del río Caplina incluido las nacientes del río Sama para el uso poblacional de la ciudad de Tacna y el uso agrícola del valle de Tacna en lo que corresponde a la Comisión Bajo Caplina.

Este sistema, ubicado en la cuenca del río Caplina y partes altas de la cuenca del río Sama, está conformado principalmente por la derivación de parte de las nacientes del río Sama, la captación de Challata, la captación de Calientes y el encauzamiento Caplina-Arunta.

Derivación de las nacientes del río Sama

La difícil situación del valle de Tacna, debido a los serios problemas de abastecimiento agrícola principalmente, motivó la construcción de obras de derivación de la cuenca alta del río Sama a la del Caplina aprovechando para ello las buenas características topográficas y geológicas que presentaban la zona. La cuenca total derivada de 35.9km² está situada a una altura de 4200m.s.n.m. y se estima que llegaron hace más de cien años a través de un canal de 7km de longitud que nace con el nombre de Barroso Chico en la Bocatoma rústica de la quebrada Picutane, recibiendo luego de las Bocatomas Rústicas sobre las quebradas Churavira, Peñavira y la Bocatoma de concreto Choquellusta. El canal Barroso Chico se une con el canal Barroso Grande y cruza la divisoria de aguas en el lugar denominado Paso de Ancoma para

desembocar en la quebrada Umalata (Ancoma), afluente del río Caplina. El Canal Barroso Grande recibe el aporte de la Bocatoma Rustica del mismo nombre ubicado sobre la Quebrada Ajada.

Bocatoma de Challata

La conforman la Bocatoma Challata y el Canal del mismo nombre. La Bocatoma de Challata está ubicada a 1450m.s.n.m. en la margen izquierda del río Caplina en la localidad de Challata a 5km aguas arriba de la bocatoma Calientes. El agua captada es conducida por el canal derivador en mampostería de sección trapezoidal denominado Challata cuya capacidad máxima de conducción es de 1.0m³/s. Esta captación abastece para uso agrícola las partes altas de la Comisión Bajo Caplina del Distrito de Riego Tacna.

Captación de Calientes

La conforman la Bocatoma Calientes y el Canal Caplina. La bocatoma Calientes es una estructura de concreto armado ubicada a 1300m.s.n.m. en la margen izquierda del río Caplina en la localidad de Calientes. El agua captada es conducida por el canal derivador en mampostería de sección trapezoidal denominado Caplina cuya capacidad máxima de conducción es de 1.45m³/s. El canal Caplina, que fue construido en 1958, abastece de agua de uso agrícola a la comisión Bajo Caplina del Distrito de Riego Tacna (85%) y de uso poblacional a la ciudad de Tacna (15%). Encauzamiento Caplina-Arunta. En los periodos de lluvia las aguas no captadas en la bocatoma Calientes son conducidas por su cauce natural hasta el Encauzamiento Caplina -Arunta que desvía el río Caplina hacia la Quebrada Arunta por donde desfoga al Océano Pacífico.

Este encauzamiento se ubica a la altura de la carretera Pocollay – Calana y está compuesto por dos diques longitudinales que desvían el río hacia su margen izquierda, el dique de la margen derecha cuenta en sus inicios (zona de curva) con una defensa tipo enrocado llamada Defensa Calana, y el de la otra margen está construido en concreto armado. Luego ambos diques son de muros de piedra emboquillada conformando una sección trapezoidal hasta el puente de la Carretera a Pachía. El puente constituye el final de los diques longitudinales luego de los cuales el encauzamiento es en terreno natural hasta su entrega a la Quebrada Arunta. La sección del encauzamiento antes del puente tiene una base menor de 8.85 m mientras que en el puente se estrecha hasta 5.10 m. Lo que provoca un alto riesgo de falla por obstrucción y contracción de la sección hidráulica en el puente.

3.5. GEOLOGIA Y ESTRATIGRAFÍA

3.5.1. Aspectos Generales

La historia geológica y la geomorfología del lugar, dan como resultado un complejo sistema hídrico subterráneo en la Cuenca del Caplina.

Los acuíferos que se encuentran explotados actualmente se ubican en sedimentos no consolidados, las cuencas hidrológicas que aportan a la recarga se desarrollan principalmente sobre afloramientos de rocas volcánicas y volcánico-sedimentarios, cuya litología y estructura condicionan tanto los regímenes hídricos superficiales como la calidad química de las aguas que alimentan los acuíferos.

Regionalmente la cuenca del Caplina se encuentra formada por rocas cuyas edades varían del Paleozoico al Cuaternario reciente.

3.5.2. Estratigrafía

Una recopilación detallada de información estratigráfica realizada por diferentes autores, sirvieron de base por la formulación de una nueva columna estratigráfica generalizada por la zona. Estos datos fueron corroborados y modificados con información de campo provenientes de diversas columnas estratigráficas levantadas en los cerros Chuschuco, San Francisco, Junerata, Pelado, Palquilla, etc., que brindaron información clara y sencilla para la correcta interpretación geológica de la zona de estudio

a) PALEOZOICO

Proterozoico

Basamento Metamórfico Mal Paso (Pe-mp/gn)

En la región de Tacna, el basamento metamórfico solamente se conoce en una zona de afloramiento, localizada en la quebrada Chero, en la localidad de Mal Paso, aproximadamente en el Km 60 de la carretera de Tacna-Tarata a la altura del Cerro Machani, la zona de afloramiento se extiende en forma alargada con dirección NNO-SSE a través de los cerros Ancocalani y Chinchillane, donde aflora una faja angosta de ortogneises. El ortogneis presenta laminaciones con un ancho de 1 a 5 milímetros y están compuestas de hornblenda con mica y fedelspato con cuarzo. En algunos afloramientos de ortgneis, se encuentran vetas o pequeños diques de pegmatita compuesta por ortosa, muscovita y

cuarzo. Las pegmatitas están restringidas por ortosa, muscovita y cuarzo. Las pegmatitas están restringidas al ortogneis, que brindan una foliación de este último-130/76NE. Hay que indicar que en esta zona no se han hecho ningún trabajo geocronológico, pero se asume por relaciones estratigráficas que pertenece al basamento proterozoico del macizo de Arequipa. Este basamento metamórfico es suprayacido por la Formación Machani.

Formación Machani (D-ma)

Litológicamente, Monge y Cervantes (2000), describen que la base está conformada por conglomerados subredondeados a redondeados de rocas retrabajadas de gneises, seguidos de una secuencia continua en la que se intercalan limolitas negras fisibles, con areniscas cuarzosas gris oscura de grano fino a medio en capas delgadas a medianas tabulares. En la parte media de la secuencia se intercalan predominantemente areniscas pardas oscuras a gris claras de grano fino a medio con capas medianas de lutitas negras. La secuencia superior está constituida por una intercalación de areniscas pardas amarillentas en capas medianas con limolitas oscuras muy marginales y algunos niveles de areniscas calcáreas en capas medianas, calizas y conglomerados. El espesor de la unidad estiman aproximadamente en 1200 m.

Carbonífero

Grupo Ambo (C-am)

Aflora como una franja angosta de dirección NNO-SSE a lo largo del flanco oriental de los cerros Ancocalani y Chinchillane. Los estratos del Grupo Ambo en la quebrada Ancosontine se encuentran en contacto con rocas graníticas y a su

vez que se encuentran bastante plegados. En la quebrada Ancosontine, se observa que a la base está conformada por una sucesión de estratos de conglomerados con clastos de cuarzos, con esporádicos clastos de areniscas y lutitas. Los clastos tienen forma redondeada a sub-redondeada, con un diámetro que varía de 0.2 a 5 centímetros distribuidos en canales fluviales consecutivos con figuras de canal y clastos imbricados. La matriz está conformada por areniscas de grano medio a fino.

En otra parte de la sección se observa la intrusión de rocas de naturaleza granítica en los estratos de lutitas de color negro, los cuales están estratificados con delgados niveles de arenisca cuarzosa de grano medio. Un nuevo horizonte delgado de lutitas negras es interrumpido por delgados niveles (30 centímetros.) de areniscas con granos medio de calizas con abundante matriz lutítica y calcárea, caracterizado por la presencia de abundantes fragmentos de conchillas. Los que también conforman como el material arrastrado y depositado en los pequeños canales observados en estos niveles. La parte media de la columna está conformada por lutitas de color negro con restos de hojas deterioradas y de difícil determinación. En la columna aparecen delgados niveles de areniscas de grano fino con pequeños canales también de areniscas de grano medio de naturaleza cuarzo feldespático, se observa también la presencia de conglomerados con clastos de roca volcánica bien redondeados, con presencia de ocasionales clastos de tobas y areniscas en matriz de arenisca arcósica de grano fino. La parte superior de la columna estratigráfica, está conformada casi

íntegramente por lutitas de color negro con ocasionales y delgados niveles de areniscas de grano fino.

b) MESOZOICO

Jurasico Inferior

(Formación Junerata Ji-ju)

El afloramiento de la formación Junerata (Wilson y Garcia 1962), se ubican en la parte central de la cuenca del río Caplina, se presenta como; la base de toda la pila sedimentaria. La formación Junerata sobreyace al Grupo Ambo e infrayace en contacto erosivo a la formación Pelado, los cuales se observan en el Cerro Junerata.

Litológicamente está compuesta de una serie de coladas basálticas que en algunos niveles se encuentran inter estratificadas con bancos de sedimentos. No se tiene una columna estratigráfica completa de la Formación Junerata, por lo que en diferentes puntos, se levantó columnas estratigráficas solo de la parte superior encontrándose variaciones laterales muy interesantes.

En la columna estratigráfica levantada en el cerro Ticana; al este de Palquilla, se observa un gran espesor de rocas volcánicas conformadas por coladas de andesitas basálticas, afaníticas de color gris oscura, seguido por una importante discontinuidad marcada por la presencia de conglomerados conformado por fragmentos subredondeados de rocas volcánicas. Este límite marca el final de la depositación de la Formación Junerata, para dar paso a una sedimentación de ambiente continental y marino correspondientemente a la Formación Pelado.

En el Cerro Pelado, se observa una importante acumulación de coladas volcánicas. Otro nivel de conglomerados con clastos enteramente conformados por rocas volcánicas irrumpe en la cuenca, esta vez con mayor espesor y con clastos que alcanzan a tener siete centímetros de diámetro, anunciando la llegada de un evento tectónico importante, el cual es registrado por la presencia de un nuevo paquete de conglomerados con clastos mucho más grandes de roca volcánica, que interpretamos que corresponden a la base de una nueva unidad estratigráfica denominada Formación Pelado.

Pino et al. (2002), describen coladas de hasta 50 metros de espesor, de basaltos con cristales de plagioclasa envueltos en una matriz afanítica. Las coladas exponen una coloración gris violácea a verdosa debido a que las rocas registran un alto grado de alteración que ha provocado la transformación de la plagioclasa en epidota y el relleno de sus vacuolas por calcita y calcedonia. En la sección del cerro Huanuane, la Formación Junerata alcanza un espesor de 170 metros, mientras que en la sección de los cerros Vilacollo y Junerata, se calcula un espesor aproximado de más de 300 m.

Formación Pelado (Ji-pe)

Wilson y García (1962) establecieron una sección tipo cerro Pelado ubicado al este de poblado de Palca, esta formación se observa en los cerros Pelado, Palquilla y en el sector de Tres Cruces al norte de San Francisco, se encuentra sobreyaciendo a las rocas volcánicas de la Formación Junerata en evidente contacto erosivo. El contacto de esta unidad con la suprayacente Formación de San Francisco y Pelado dentro de los sedimentos de la Formación

San Francisco. En la Figura 8, se observa la Formación Pelado en contacto con la Formación San Francisco.

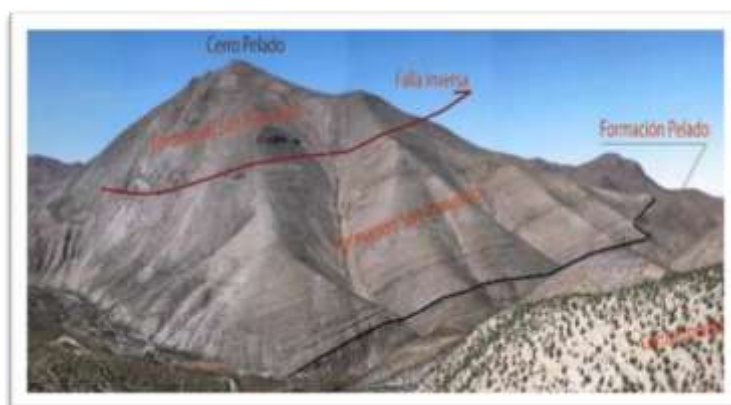


Figura 8 Vista Panorámica del Cerro Pelado

La presencia de fallas inversas además de la naturaleza erosiva de la base de la formación San Francisco nos da una idea más real de verdadero espesor de esta formación. La Formación Pelado está presente de manera completa y con importantes variaciones en espesor (de 20 a 200 metros), mas no así con variaciones litológicas.

Jurasico Medio – Inferior

Formación San Francisco (Jm-sf)

Esta formación fue descrita por Wilson y García (1962) quienes describieron algunos centenares de metros de arenisca, lutitas y calizas. La formación San Francisco suprayace a la Formación Pelado con un contacto erosivo, e infrayace a la formación Ataspaca.

En el cerro Pelado se observa un contacto erosivo que limita hacia la parte superior con calizas areniscas calcáreas con abundantes clastos de rocas

calcáreas, característica que vendrían a ser importantes para el reconocimiento de las capas pertenecientes a la base de la formación San Francisco.

Jurasico Medio – Superior

Formación Ataspaca (Js-a)

Fue definida por Wilson y García (1962) en la quebrada Chachacumane donde describieron areniscas pardas, lutitas oscuras y calizas grisáceas, interestratificadas en capas delgadas. La formación Ataspaca suprayace a la formación San Francisco e infrayace a la formación Chachacumane. Ambos contactos son concordantes y transicionales.

Jurasico Superior – Cretácico Inferior

Formación Chachacumane (Jk-cha)

La sección tipo de esta unidad se encuentra en la quebrada Chachacumane ubicada al este de Palca, sobreyace transicionalmente a la Formación Atapaca e infrayace con una marca litológica a la formación Chulluncane.

Cretácico Inferior

Formación Chulluncane (Ki-chu)

Se extiende hasta el cerro Chulluncane y los volcanes de la formación Huilacollo respectivamente.

En la Figura 9 Se observa la discordancia erosional entre las rocas volcánicas de la Formación Junerata, con las rocas conglomeráticas de la base de la Formación Pelado.



Figura 9 Discordancia erosional

c) MESOZOICO- CENOZOICO

Cretáceo Superior-Eoceno Inferior

Formación Toquepala (KP-to)

Denominado como tal en los estudios realizados en una sección considerada típica, y que se ubica en el centro minero de Toquepala (Bellido y Guevara -1963), describen con el mismo nombre una gruesa serie discordante de rocas volcánicas intercaladas con conglomerados en el sur peruano, Wilson y García (1962), destacaron un afloramiento continuo de esta serie hasta el cuadrángulo de Palca.

Esta unidad aflora en las quebradas Viñani, Cobani, Challapujio, Vilavilani, Chero, en el cerro Junerata y en el cerro Ancocalani. La relación de contacto inferior es discordante, en contacto con las formaciones, Junerata y Ataspaca en el cerro Ataspaca: así como en la quebrada Caplina con la Formación Chachacumane.

Litológicamente se caracteriza por presentar, hacia la base secuencias de lavas andesíticas (Monge y Cervantes, 2000). Se trata de rocas porfíricas, poco estratificadas, de color gris con intercalación de tobas. Luego se tiene secuencia de tobas lapilli, gris clara a rojizas, estratificadas con forma redondeadas en alforamientos, y está compuesta de fragmentos líticos polimícticos (volcánicos), pómez en una matriz tobácea alterada, algunos sectores presentan textura eutaxítica. Además se tienen volcánicos intercalados con conglomerados y areniscas fedelspáticas compuestas de material volcánico. La formación Toquepala se depositó como relleno de antiguas quebradas que en algunas ocasiones llegaban hasta volcanes de Toquepala, los cuales se dirigían hacia el oeste, por lo tanto estos afloramientos corresponderían a la parte más distal conocida de la zona.

d) CENOZOICO

Paleógeno

Eoceno

Formación Tarata (Pe-ta)

Se describe en la base una serie de brechas y derrumbes andesíticos estratificados, seguidos por conglomerado tobáceos compactos, niveles de arenisca y lutitas verdosas y conglomerado intercalados con arenisca tifáceas de grano grueso. La parte media describe brechas volcánicas, conglomerados tobáceos verdes y violetas seguidos por tobas color violetas en capas delgadas a medianas. Además de un paquete potente de tobas de color gris, cuarzo y biotita, tobas blancos y de naturaleza dacítica. Concluye su columna con

areniscas tobáceas abigarradas en capas delgadas, seguido por paquetes potentes de conglomerado fino y arenisca tobáceos de color violeta claro a verdoso, con mucha biotita en la matriz y estratificación delgada.

Oligoceno

Formación Huilacollo (Po-hui)

Denominado por Wilson y García (1962), su afloramiento típico se localiza en el cerro Huilacollo y en los cerros adyacentes como Cabacollo, Andamarca, Llaullacane, Quilla, Checocolloy cerro Tabañune, también describen como intercalaciones de brechas andesíticas, tobas dacíticas y riódacíticas con buena estratificación, algunos niveles se les puede considerar como areniscas tobáceas, los que infrayacen ligeramente y disconforme a la Formación Huaylillas; y hacia el norte con los depósitos fluvioglaciales y en discordancia angular a los volcánicos del complejo Fisural Barroso. El espesor de la unidad varía desde 200 m hasta 1000 m.

Formación Moquegua Superior (Po-mo)

Esta unidad aflora en las laderas de los valles, sobreyaciendo en discordancia erosional a estratos Jurásicos-Cretácicos, e infrayaciendo a los volcánicos de la Formación Huaylillas.

La Formación Moquegua superior está conformada principalmente por materiales detríticos, principalmente conglomerados que disminuyen en tamaño de grano hacia el suroeste. En las zonas proximales se compone de una sucesión de conglomerados polimícticos con pequeños lentes de areniscas; mientras en las zonas distales predominan las intercalaciones de areniscas y

lentes de limolitas, con algunos canales conglomerádicos. En las zonas proximales es notoria la granocrescencia de la sucesión, presentando espesores que no sobrepasan los 250 metros.

En el cerro Chuschuco (Flores, en prensa), muestran una sucesión estratigráfica de la parte superior de la Formación Moquegua. Esta sucesión está conformada por areniscas cuarzo-feldespáticas de grano medio, intercalados con delgados canales conglomerádicos y, estratos delgados de tobas de color blanco con cristales de biotita algo alterados. La parte superior de esta unidad está conformada por areniscas cuarzo feldespáticas, con canales conglomerádicos, cuya composición está casi íntegramente conformada por clastos de rocas volcánicas en una matriz arenosa de color verde.

Neógeno

Mioceno

Formación Huaylillas (Nm-hu)

Ocupan gran parte de la región de tacneña. Se observa suprayaciendo a la Formación Moquegua superior y en discordancia con estratos Mesozoicos, en la región noreste. Ver figura 10.

En esta unidad se distinguen dos miembros (Flores, en prensa) la que ha sido levantada en el cerro Chuschuco.

El miembro inferior está compuesto por tobas rosáceas con abundantes fragmentos de líticos y fragmentos de pómez, los cuales están intercaladas con niveles de conglomerados con clastos de rocas sedimentarias con niveles de conglomerados con clastos de rocas sedimentarias y volcánicas,

subredondeadas, con matriz de areniscas cuarzo-feldespáticas de color verde, presenta canales de areniscas. La parte inferior de la Formación Huaylillas está restringida a la zona del cerro Chuschuco y Precipicio.

El miembro superior comprende una sucesión de tobas riolíticas y riodacíticas, de color rosáceo, con fragmentos de pómez y líticos, intercalados con delgados niveles de areniscas masivas de color verde. Estas tobas tienen gran espesor al este de la región, hacia territorio chileno.

El espesor de esta unidad varía entre 50 y 600 metros, disminuyendo de norte a sur y de este a oeste por lo general, es decir, cuanto más cerca se encuentre al mar, en la quebrada del río Caplina, los espesores de la Formación Huaylillas son cada vez más delgados.

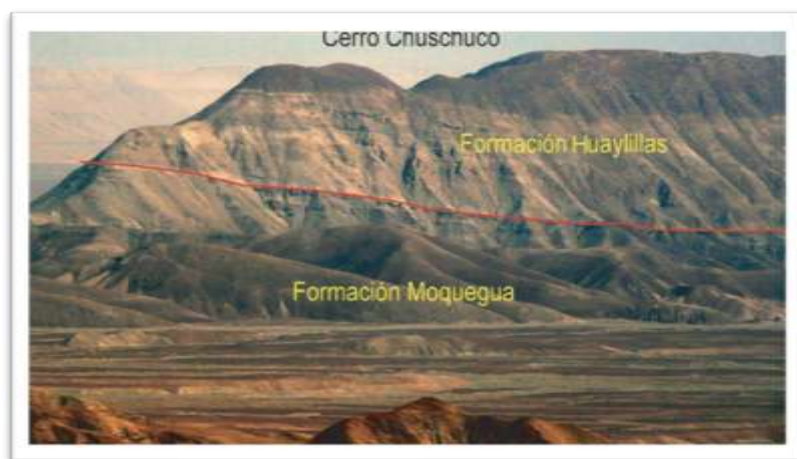


Figura 10 Contacto entre la formación Moquegua y Huaylillas (SE)

Formación Magollo (Nm-ma)

Esta unidad ha sido definida por Flores (2004) en los alrededores de la ciudad de Tacna. Se la observa en los interfluvios de las partes bajas del valle del río Caplina y en quebradas convexas, sobreyaciendo directamente a la

Formación Huaylillas, y en contacto erosional sobre estratos Jurasicos en los cerro de la Yarada.

Litológicamente está compuesta por una secuencia de conglomerados y areniscas de coloración gris oscura, con clastos mayormente andesíticos. Sus facies disminuyen progresivamente en tamaño de grano hacia el oeste, intercalándose niveles de areniscas con limolitas y lentes de evaporitas. El espesor de esta unidad varía entre los 40 y 100 metros.

Neógeno

Plioceno

Conglomerados Calientes (Npl-ca)

Los conglomerados de Calientes fueron descritos por Flores y Sempere (2002), en la localidad de los baños termales de Calientes. En dicho sector suprayace en contacto erosional a los sedimentos detríticos de la formación Moquegua superior y estratos del Jurasico-Cretácico, e infrayace a la toba Pachía.

La unidad está compuesta por una sucesión de conglomerados polimícticos, con espesores de 100 metros en la localidad de Calientes. El tamaño de sus granos disminuye hacia el suroeste, aumentando también su potencia. Se le observa en la mayoría de pozos perforados en las pampas de La Yarada, compuesta por intercalaciones de areniscas y limolitas, con algunos lentes conglomerádicos.

Los conglomerados Calientes conforman parte importante del relleno de los valles, por lo tanto sus depósitos registran la dinámica fluvial de los ríos de la región.

Flores et al. (2004), proponen una edad de Plioceno para esta unidad, puesto que la toba que suprayace a la unidad que está datada en 2.7 millones de años., y la Formación Magollo es considerada del Mioceno medio superior.

Toba Pachía (Np-pa)

Se trata de un nivel volcánico descrito por Flores (2002), cuyos afloramientos se emplazan en los valles de la región. Esta unidad suprayace a estratos Mesozoicos en las regiones noreste, y a los conglomerados Calientes en la región suroeste.

La toba Pachía es típicamente de color rosado, presenta fragmentos de pómez, líticos, cristales, cristales de cuarzo y biotita. Sus depósitos son deleznable, presentándose con espesores menores a 40 metros, disminuyendo hacia el suroeste.

Flores et al. (2004), reportan una edad de 2,7 millones de años; para esta unidad en el sector de Chuschuco.

Volcánico Barroso (NQ-ba)

La cordillera del Barroso se ubica en la parte norte de la zona de estudio, está formada por un complejo volcánico al cual se ha dado el nombre de Formación Barroso (Wilson y García 1962) Estos materiales recientes constituyen la cadena de nevados, y por ende el reservorio de agua más importante de la zona.

Son bancos bien definidos de tobas y lavas de composición traquítica, con cantidades menores de andesita, típicamente la roca es una traquita grisácea con fenocristales de sanidina y cristales microscópicos de biotita. Las tobas predominan sobre las lavas, y localmente contienen mucho material clástico que da a la roca una textura terrosa. Alcanza un espesor máximo de aproximadamente 1500 m.

La formación Barroso ha sufrido una glaciación intensa y está cubierta por depósitos fluvioglaciares, indicando que los volcanes son de pre-Pleistoceno, además sobreyace a la Formación Huaylillas, que es del Plioceno Inferior o Medio; por lo tanto la Formación Barroso es del Plioceno Medio o Superior.

DEPOSITOS CUATENARIOS

Depósitos Fluvioglaciares

Son depósitos de amplia distribución en la zona del altiplano, al oeste sobreyacen a los volcánicos Huilacollo y hacia el noreste a los volcánicos del grupo Tacaza, formando planicies suavemente onduladas. Su litología está compuesta de bloques polimícticos (volcánicos) mal clasificados, en una matriz de grava y arena.

Depósitos Morrénicos

Constituidos por una mezcla heterogénea de gravas angulares de naturaleza volcánica en una matriz de arena y arcilla consolidada, conservando bloques erráticos. Se ubican en las inmediaciones de los estratos volcánicos de El Frayle y el Complejo Fisural Barroso.

Depósitos aluviales

Presentan una morfología suave de lomadas que forman especies de anfiteatros con escarpas muy altas y casi verticales; la mayor parte de estos depósitos se han formado por derrumbes de la Formación Moquegua. Su litología está compuesta por bloques muy grandes de tobas riolíticas y bloques diversos mezclados en forma caótica con una matriz de arenas y limos provenientes del mismo material. Estos depósitos forman pequeñas terrazas en las quebradas Ataspaca, Caplina y Challaviento, las cuales son usadas como terrenos agrícolas por los pobladores de la zona.

Depósitos de Cenizas

Compuestos por cenizas volcánicas sueltas de color gris muy claro, con fragmentos de pómez blanco y cristales bipiramidales de cuarzo y biotita. En los cortes causados por la erosión de quebradas menores, los materiales son más compactos en la base, dando la textura de una toba volcánica.

Depósitos Eluviales

Los depósitos eluviales aparecen expuestos principalmente en las lomas y presentan una coloración variable de acuerdo a su proximidad a las zonas mineralizadas. Su litología está formada por bloques, arenas, limos y material regolítico.

Depósitos de Bofedales

Compuesto por arenas, cenizas y arcillas, se caracterizan principalmente porque son reservorios naturales de aguas en las zonas altas. Dentro de estas

unidades se ha observado numerosos aniegos y surgencias de varios manantiales, ver Figura 11.

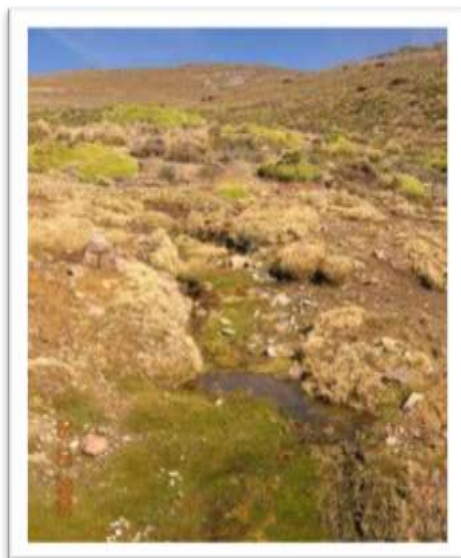


Figura 11 Surgimiento de agua en bofedales cordillera del Barroso

Depósitos Fluviales

Conformados por conglomerados redondeados a subredondeados de matriz arenosa, se encuentran en pleno proceso de transporte y depositación, acarreados por los ríos y avenidas de aguas temporales. Estos depósitos se encuentran en el piso de valle y la mayoría en el cauce de los ríos.

Depósitos Eólicos

Están compuestos por arenas finas bien seleccionadas, se forman por la acumulación de arena acarreada por el viento y se observan cerca del litoral en forma de dunas, en estos suelos la disgregación química de las rocas es

insignificante porque casi no hay humedad, siendo los suelos áridos, con escasa cantidad de arcilla.

ROCAS INTRUSIVAS

Grantio Mal Paso (T-Mp/gr)- Triásico

Aflora en el sector Noroeste de la zona de estudio, extendiéndose principalmente sobre los cerros Negro, Ancocalani y Chinchillane con una orientación norte-sur. Por el lado oeste y este se encuentra intruyendo respectivamente al basamento metamórfico Mal Paso, (emplazado en forma de cuerpo tabulares dentro del gneis) y al Grupo Ambo. Este intrusivo de composición granítica (ortosa, cuarzo, biotita cloritizada parcialmente y muscovita), de coloración rosácea, tiene sus cristales centimétricos.

Cerca al borde norte de esta zona de afloramiento, se observa dos conjuntos de diques emplazados en el basamento metamórfico. El conjunto más antiguo está compuesto por diques básicos de anfibolitas (también en la quebrada Chinchillane) que están cortando a los ortogneises. El conjunto más reciente (que corta a las anfibolitas) consiste de filones de leucogranito (y diques de aplitas) de granos muy gruesos, con muscovitas de hasta 1 centímetro de diámetro, además de biotita (cloritizada), ortosa y cuarzo. Este conjunto de diques leucograníticos se conecta a cuerpos de composición similar pertenecientes al granito Mal Paso y se considera cogenético. En el cerro Negro, a 1 kilómetro al suroeste del borde sur del granito Mal Paso, aflora un pequeño granito de color rosáceo claro. Estos diques anfibolíticos de composición

andesítica como protolito, son pertenecientes aun magmatismo básico-intermedio, que por relaciones cronológicas de campo se habría emplazado antes de los diques leucogranítico-aplítico de edad Triásico superior (Pino, 2003), por lo que este magmatismo básico sería anterior a esta edad.

Unidad Intrusiva Yarabamba (KP-ya/gd/gd-mzd)-Cretáceo-Paleoceno

En la zona de estudio aflora extensamente entre las quebradas Palca y Vilavilani. En la hoja de Pachía, al sur tenemos un pequeño Plutón en la quebrada Cobani; compuesto esencialmente por granodioritas, monzodioritas y dioritas, que intruyen a las formaciones Junerata (en la quebrada Palca y Vilavilani) y Pelado-San Francisco en la quebrada Palca, silificando contactos mayormente sedimentarios.

Unidad Intrusiva Challaviento (Pe-cha/gd/gd-mzd/gd-si)-Eoceno

La unidad intrusiva Challaviento presenta una orientación general noroeste-sureste y extiende desde los alrededores del poblado de Vilavilane hasta unos 4 kilómetros al noroeste del poblado Ticaco. Alcanza una longitud aproximada de 45 kilómetros. Está formado por una serie de plutones que presentan las mismas facies y, además, registran dataciones en algunos de ellos que indican edades similares.

En los plutones de Challaviento y de Ataspaca se registran facies granodioríticas y monzodioríticas, mientras que en el Plutón de Chulpapalca y los pequeños intrusivos presentan facies granodioríticas. Estas rocas plutónicas son de color gris claro y el tamaño de grano varía de grueso a medio.

ERAT.	SISTEMA	SERIE ÉPOCA	PISO EDAD	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	METROS	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN	
CENOZOICO	NEÓGENO	PLEISTOCENO		DEPOSITOS CUATERNARIOS			Conglomerados, areniscas y limolitas.	
		PLIOCENO		VOLCÁNICO BARROSO			Tufos y lavas de composición traquítica andesítica.	
				TOBA PACHIA	40		Toba de color rosado con pomex, líticos, cuarzo.	
				CONGLOMERADO CALIENTES	100		Conglomerados polimícticos.	
		MIOCENO	MED. SUP.		FORMACIÓN MAGOLLO	100		Conglomerados y areniscas gris oscura.
			INF.		FORMACIÓN HUAYLILLAS	50-400		La parte inferior compuesta por tobas intercaladas con niveles de conglomerados y areniscas y la parte superior compuesta por tobas riolíticas y riolacíticas.
	PALEÓGENO	OLIGOCENO		FORMACIÓN MOQUEGUA	>250		Conglomerados con lentes de areniscas y limolitas.	
				FORMACIÓN HUILACOLLO	200-1000		Intercalaciones de brechas andesíticas, tobas dacíticas y riolacíticas con buena estratificación, y areniscas tobáceas.	
		EOCENO	?	FORMACIÓN TARATA	1400		Brechas y derrames andesíticos estratificados, seguidos por conglomerados, niveles de areniscas y lutitas verdosas, y conglomerados intercalados con areniscas tufáceas, paquete tobas de color gris claro con cuarzo y biotita.	
		PALEOCENO		FORMACIÓN TOQUEPALA	1575		Volcánicos intercalados con lentes de sedimentos. Los volcánicos varían de composición entre riolita y andesita, con un predominio de rocas piroclásticas. Los sedimentos son de conglomerados y areniscas fedelspáticas compuesto de materiales volcánicos.	
	MESOZOICO	CRETÁCICO	SUPERIOR					
			INFERIOR	APTIANO HAUTERIVIANO	FORMACIÓN CHULLUNCANE	300		Areniscas gneis, conglomerados compactos, y derrames volcánicos basálticos a andesíticos.
JURÁSICO		SUPERIOR	VALANGINIANO					
			KIMERIDGIANO	FORMACIÓN CHACHACUMANE	400-1100		Areniscas cuarcíticas gneis y cuarcitas gris claro a blancas que se alternan con niveles de lutitas negras a gris oscura.	
		MEDIO	OXFORDIANO INF.	FORMACIÓN ATASPACA	1250		Lutitas oscuras con areniscas grises, calizas oscuras, algunos niveles de margas. Lutitas con intercalaciones de bancos de areniscas grises seguido por areniscas grises.	
			BATONIANO SUP.	FORMACIÓN SAN FRANCISCO	300-400		Conglomerados y areniscas calcáreas con abundante clasto de caliza. Limolitas grises intercaladas con calizas grises con fragmentos de fósiles. Calizas gris oscuro en estratos de 20 a 30 cm. y abundantes nódulos de caliza con fósiles.	
		INFERIOR	TOARCIANO	FORMACIÓN PELADO	20-220		Conglomerados con clastos de roca volcánica seguido por lutitas y calizas fosilíferas gris oscuro	
			SINEMURIANO	FORMACIÓN JUNERATA	> 100		Andesitas basálticas, afanítica de color gris oscura. La parte superior conformada por coladas volcánicas de color gris verdoso con textura fluidal, interrumpidos por delgados niveles de microconglomerados con clastos de roca volcánica.	
TRIÁSICO								
PALEOZOICO		CARBÓNIFERO	MISISIPIANO	GRUPO AMBO	200		Conglomerado con clastos de cuarzo, lutitas negras con areniscas calcáreas fosilíferas con modulos de lutita fosilifera.	
	DEVÓNICO		FORMACIÓN MACHANI	1200		Conglomerados con clastos de gneises a la base, seguidos de limolitas negras con areniscas cuarzosas. Luego por areniscas pardas oscuras con capas de lutitas negras. Termina con areniscas pardas con limolitas oscuras, calizas y conglomerados.		
PROTEROZOICO			BASAMENTO METAMÓRFICO MAL PASO			Ortogneis y pegmatitas compuestas por ortosa, muscovita y cuarzo.		

Figura 12 Columna Estratigráfica de la cuenca del Río Caplina

3.5.3. Geología Estructural

Según Monge y Cervantes (2002), y las secuencias mesozoicas y las cenozoicas están afectadas por sistemas de fallas de orientación preferente noroeste sureste y lineamientos de dirección noreste sureste. Estos demuestran que las rocas antiguas forman grandes bloques limitados por sistemas de fallas que a su vez se encuentran cubiertas por rocas del Mioceno al Cuaternario, las cuales no han sufrido mayor deformación. La tendencia de los buzamientos de las unidades es casi constante y dentro de un bloque se observan pocos plegamientos (salvo en la quebrada Vilavilani en la formación Pelado).

En el área se ha observado el Sistema de fallas Incapuquio, este sistema de fallas se localiza al norte de Palca y es la prolongación del sistema de fallas Incapuquio en los cuadrángulos de Moquegua y Tarata, cuyas estructuras principales tienen rumbo N 50°-60°O. Estas estructuras afectan a las rocas del Basamento metamórfico Mal Paso, al grupo Ambo, a las formaciones Junerata, Pelado y San Francisco, y presentan un contacto de fallas inversas con las unidades más jóvenes como los grupos Toquepala y Huaylillas.

El marco tectónico presenta lineamientos regionales con dirección andina (noroeste-sureste), y su mayor representante es el sistema de fallas Incapuquio (Challaviento) que atraviesa el área con dirección noroeste-sureste. Los volcánicos del Jurásico (Junerata) y Paleógeno (grupo Toquepala); intruidos por el Batolito de Challaviento- muestran estructuras plegadas que siguen la dirección andina así como otras transversales con rumbo este-oeste. La zona está afectada por mega lineamientos producidos por la tectónica de placas.

3.6. GEOMORFOLOGIA DE LA CUENCA

Según el INGEMMET (2009), la morfología de la cuenca del Río Caplina está relacionado con distintas formaciones geológicas de la edad mesozoica a cenozoica, que afloran en la cuenca y con la presencia de accidentes tectónicos regionales siempre activos (fallas y pliegues) que han modelado el relieve de la cuenca.

La estrecha relación existente entre la morfología y las aguas subterráneas, condicionada por la geología a la distribución de permeabilidades, la disposición de las áreas de recarga y descarga, así como las condiciones de almacenamiento de los acuíferos. Por otro lado, los aportes de precipitación y escorrentía superficial se encuentran condicionados a la pendiente del terreno y a los componentes hidrogeológicos de suelos y rocas.

Son de especial atención las geoformas de acumulación cuaternarias, ya que en estos cuerpos sedimentaciones modernas se suelen encontrar acuíferos pequeños y también el acuífero principal. Los ríos que drenan la cuenca acarrear hasta el valle una cuantiosa carga sólida que depositan en un extenso abanico aluvial, y es precisamente ahí donde se encuentra el acuífero poroso no consolidado La Yarada. Las Unidades Geomorfológicas son:

3.6.1. Cordillera

En general las pendientes superan el 40%, con tal resultado que las aguas debidas a las lluvias de verano circulan en totalidad en régimen de escurrimiento superficial de pérdidas. Arriba de 5.500 metros las precipitaciones de verano se

hacen bajo la forma de nieves, de las cuales una parte deshiela o se sublima durante el mismo verano y otra parte durante las demás estaciones del año. Las aguas de deshielo escurren sin pérdida, pero las pérdidas por sublimación (mecanismo que nunca fue estudiado en los Andes del Perú) pueden ser muy importantes debido a la latitud. Arriba de los 6.100 metros, las nieves son perpetuas y dan lugar a glaciares cuyas aguas de deshielo alimentan ríos perennes (cf. Coropuna y río Majes) pero cuyas pérdidas por sublimación no se conocen

La hidrografía de las cordilleras corresponden siempre al esquema clásico: Cuenca de recepción-canal de escurrimiento-cono de deyecciones (en lo cual las aguas de escurrimiento se filtran un poco).

En definitivo, tanto la hidrografía como el régimen hidrológico de las cordilleras son bastantes favorables al abastecimiento de agua. Pero se debe considerar, que las precipitaciones, que caen en las cordilleras representan solamente el equivalente de 400 a 600 mm. por año, debido al clima seco de los Andes del Sur del Perú, lo que explica que el límite inferior de las nieves perpetuas sea tan alto (por ejemplo ni el Chachani ni el Misti tienen nieves perpetuas) . Ver Figura 13.



Figura 13 Cordillera del Barroso que forma parte de la Unidad fisiográfica de cordillera, donde nace el Rio Caplina

3.6.2. Puna

Las punas son “plateaux” cubiertas de una estepa de ichu y se ubica entre 3.800 y 4.500 m.s.n.m., en los cuales se inscriben valles muy profundos erosionados por los ríos bajados de las cordilleras, las aguas circulan parcialmente en los talwegs (escurrimientos superficial) y parcialmente en los depósitos detríticos que cubren los flancos de los valles y las partes interfluviales (escurrimiento subterráneo). Las aguas subterráneas, siguen el modo de circulación hipodérmico y el régimen hidrológico “pluvio-nival”. Esto es bastante desfavorable para el abastecimiento de agua porque dichas aguas se evaporan directamente desde el suelo antes de llegar a los talwegs. En efecto circulan despacio dentro de una topografía cuyas pendientes medias, fuera de los valles son de 3 a 5 %, lo que deja bastante tiempo para la evapo-transpiración durante

las estaciones secas, durante la estación de lluvias de verano las aguas hipodérmicas emergen parcialmente y las aguas superficiales circulan según el mecanismo del “rill-wash”, lo que da un balance más favorable, con manantiales temporarios en los flancos de los valles.

En definitiva aunque se desconozca el balance general (ningún estudio fue hecho de este problema) se puede pensar que sólo el 10 o el 15 % de las aguas alcanza los talwegs principales. Las obras de abastecimiento de agua en las punas son tan costosas que no se les puede considerar como rentables, la captación de las aguas hipodérmicas antes de que se evaporen necesitando tubos enterrados, y la captación de las aguas de emergencia o de “rill-wash” siendo casi imposible, debido a los desplazamientos de los flujos de agua (desplazamientos laterales). Incluso los manantiales temporarios de los flancos de valles cambian de sitio, y la soliflucción de los depósitos de pendientes en dichos valles se activa cada verano. Ver Figura 14.



Figura 14 Puna de la Región Tacna, habitada por auquénidos.

3.6.3. Altiplano

Los altiplanos son llanuras en las cuales las aguas superficiales circulan a flor de suelo y las aguas hipodérmicas afloran en las partes bajas durante los periodos húmedos, formando lagunas en las cuales se sedimentan las sales por evaporación durante los periodos secos. Se trata generalmente de zonas aisladas del nivel de base por relieves volcánicos en las cuales se han acumulado materiales finos de origen fluvio-glaciar o piroclásticos. Las pendientes medias son inferiores al 2% y alcanzan la horizontalidad perfecta.

En tales condiciones los altiplanos son las zonas donde las condiciones para el abastecimiento de agua son pésimas. Su drenaje no representa una solución satisfactoria debido a la poca cantidad de agua de las lagunas, a su carga de sal y, como en las punas a la casi imposibilidad de captación de las aguas hipodérmicas y de "rill-wash". La evaporación alcanza el 100% en años secos. Ver Figura 15.



Figura 15 Zona de planicie andina parte alta cuenca del Río Caplina

3.6.4. Cuencas de erosión, valles y quebradas del flanco disectado de los Andes

La poca cantidad de agua que alcanza al flanco disectado de los Andes (entre 2.000 m. y 3.800 m.s.n.m.) circula en una topografía muy diferenciada cuyas pendientes medias son de más o menos 20%, lo que condiciona favorables al escurrimiento del agua. Pero las únicas zonas que gozan de estas condiciones son las cuencas y los valles alimentados por los ríos perennes. En los Andes del Sur dichos valles y cuencas son beneficiados de los numerosos nevados de la Cordillera Occidental, más altos que en las demás partes del Perú, pero son damnificados por las débiles precipitaciones que caen: 200 mm por año a 3 500 m. de altura en años secos, 300 mm en los años húmedos. Ver Figura 16.



Figura 16 Zona de la quebrada Cobani con laderas empinadas y en Segundo plano el piso de valle

a) Primer caso, partes interfluviales:

La vegetación de arbustos, tolas y gramíneas espaciados entre sí (Sahel) da a las aguas de escurrimiento condiciones de circulación de tipo "mediterraneo": las aguas superficiales disectan barrancos y las aguas subterráneas circulan en "infero-flujos" estacionales. Las pendientes medias alcanzan el 25%.

La hidrografía obedece como en las cordilleras, al esquema clásico: cuenca de recepción (barrancos)-canal de escurrimiento (quebradas)-cono de deyecciones. Pero la hidrografía funciona solo en los veranos de años húmedos dando lugar a la entrada de torrenteras. Excepcionalmente cuando las cuencas de recepción integran nevados las aguas subterráneas debidas al deshielo pueden alimentar manantiales permanentes.

Pero en definitiva, este primer caso es muy negativo por el abastecimiento de aguas.

b) Segundo caso, cañones:

Se trata de valles cuyos flancos muy derrumbados alcanzan desnivel de 1.000 o 2.000 m. y cuyos talwegs son seguidos por los ríos principales: Yauca, Ocoña, Majes, Tambo, etc. Las pendientes medias en los flancos pasan el 35% y el perfil longitudinal de los talwegs alcanza el 15 o 20%.

En tales condiciones las pérdidas son mínimas tanto para las aguas de escurrimiento superficial (que circulan rápido), que las aguas subterráneas (que dan numerosos manantiales) permanentes). Pero los derrumbes que ocurren en los flancos pueden a veces desplazar los manantiales temporales.

De manera general los cañones del flanco disectado de los Andes ofrecen las mejores condiciones para el abastecimiento del agua.

c) Tercer caso, cuencas de erosión:

Los ríos principalmente a veces erosionaron, en el flanco de los Andes, cuencas grandes como las de Coracota, Chuquibamba, Huanca, Arequipa, Candarave, Tarata (Palca), etc. En estas cuencas confluyen los valles de 3 o 4 ríos principales perennes, lo que desarrolla condiciones de abastecimiento de agua generalmente muy buenas.

Las aguas superficiales presentan casi siempre entre el 5 y el 10% de los recursos locales de agua. Considerando una indeterminación del 10%, se puede evaluar al 85% la cantidad de aguas subterráneas teóricamente disponibles, pero debido a las pendientes medianas no tan fuertes que en el caso precedente, este 85% se reparte en 50% explotables por manantiales y 35% perdidos por evapo-transpiración desde el suelo.

En lo que refiere a las aguas superficiales, casi no hay pérdidas; pero como se concentran en enero, febrero y marzo se utilizan

solamente una pequeña cantidad de ellas en verano y hay déficit en las demás estaciones. La regularización del aforo por medio de represas en la sierra es el medio básico para que se puedan explotar en su totalidad. Por ejemplo, gracias a las represas de la cuenca superior del río Chili, la mitad occidental de la cuenca de Arequipa sequía de los años 1960 a 1970, por el contrario la zona oriental de Arequipa cuyos recursos de agua se limitaban a manantiales y a pequeños ríos cuyos aforo medio es de un metro cúbico por segundo, sufrió bastantes dificultades en el mismo periodo de sequía. En este caso y en casos semejantes se necesita sistematizar los estudios hidrogeológicos (como el del Ing. Jean Pierre Benac) o hidrogeomorfológicos (como el del Dr. Jean Claude Griesbach).

3.6.5. Pampa Costanera

Los recursos provenientes de las precipitaciones son casi nulos cuando llueve (un verano cada 5 ó 7 años) las aguas de escurrimiento se cargan de sedimentos finos que transportan en la superficie de las pampas, según el mecanismo del "rill wash" o del "sheet flood" y los depositan más abajo (incluso estos pueden cubrir la Panamericana como en el año 1973). Después, cuando disminuye la carga las aguas erosionan sus propios aluviones formando múltiples zanjas y "band lands" (y cortando eventualmente la misma Panamericana como en 1973). En periodo normal los únicos recursos de agua

en las pampas provienen de los ríos alógenos. Nunca ha sido estudiada la posibilidad de que existieran capas freáticas fósiles en los aluviones de las pampas.

En los valles alimentados por ríos alógenos se pueden encontrar dos casos:

a) Primer caso: valles ríos perennes:

Esos ríos dan unos metros cúbicos por segundo en estaciones secas, pero su afloro sube a unas centenas de metros cúbicos en verano durante los años más húmedos, por eso el verano empieza con torrenteras que depositan sus aluviones en el cauce menor, lo que obliga al río a cambiar su cauce menor constantemente a expensas del cauce mayor (y de los cultivos). Cuando baja la carga de las aguas, éstas se ponen a erosionar en múltiples cauces formando barrancos.

En tales condiciones, sin represas en la Sierra no se pueden aprovechar bien los recursos de aguas superficiales.

En lo que se refiere a las aguas subterráneas se nota la presencia de capas freáticas (relacionadas con los ríos) que prolongan hacia abajo las capas freáticas del flanco disectado de los Andes. Cuando se relacionan hacia arriba en la Sierra con nevados, esas capas tienen un régimen constante. Si no el régimen es estacional.

b) segundo caso: valles ríos no perennes:

Se trata de valles como los de Chala, Chaparra, Atico, Caravelí, Moquegua, Caplina, etc. Esos valles reciben las torrenteras de verano según el mecanismo ya estudiado. Tiene capas freáticas permanentes o estacionales, pero a veces, en periodos de sequía, no se trata de verdaderas capas freáticas sino de ífero-flujo esporádicos.

3.6.6. Desembocaduras

Los conos de deyecciones de las desembocaduras de los ríos estudiados en los dos casos precedentes se componen de material fino fluvio-marino. En efecto el periodo paroxismal de las torrenteras precede de pocas semanas el periodo paroxismal de la marea (equinoccio) con tal resultado que los depósitos finos continentales resultado del lavado de las torrenteras se mezclan con los depósitos finos marinos de las grandes mareas. El cono de deyecciones en realidad no tiene la forma de un verdadero cono, pero sí de un plano inclinado. Dentro de este material la presión hidrostática de las aguas subterráneas de origen continental se pon en equilibrio con la presión hidrostática de las aguas del Océano. Así, las capas freáticas no se salan por invasión de las aguas del Océano, a menos que la multiplicación de los pozos disminuye su presión hidrostática. La falta de estudios hidrogeomorfológicos de estos problemas hace que muchos errores se cometan en dichas zonas. En particular se debería

sistematizas los mapas de hidroisohipsas (como el Dr. Pierre Usselmann en el cono del río Rímac).

El cauce menor de los ríos se encaja generalmente de unos 2 metros en el cono fluvio-marino que constituye el cauce mayor. Las aguas superficiales no circulan casi nunca en dicho cauce menor durante las estaciones secas, siendo así casi nulos los recursos de agua de este origen.

Concluimos afirmando que esta unidad está formada por los depósitos de origen fluvial dejados por el paso de los ríos Caplina y Uchusuma, y por una serie de quebradas menores, desde el punto de vista hidrogeológico son geoformas de especial interés ya que en estos cuerpos sedimentarios se encuentran los acuíferos principales. Ver figura 17.



Figura 17 Sub unidad del valle aluvial de la quebrada del río Uchusuma

3.7. MORFOGENESIS Y DOMINIOS GEOMORFOLOGICOS

Según la ANA (2002), el cauce principal del río Caplina se desplaza predominantemente en dirección Noreste –Suroeste hasta su desembocadura en el Océano Pacífico. El río Caplina nace en UMAMACATA de la confluencia de la Quebrada Piscullane y otras pequeñas quebradas que tienen sus nacientes en los nevados de Achacollo, Chupiquiña, El Fraile, Huancune y los nevados pertenecientes a la Cordillera El Barroso. A lo largo de su recorrido el río Caplina recibe aporte de varias quebradas siendo la más importante la Quebrada Cotañane que tiene sus nacientes en la cordillera El Barroso y la Quebrada Palca que entrega sus aguas al río Caplina, cerca de la localidad de Miculla. En la actualidad las aguas del río Caplina, en su curso inferior, ubicado en las proximidades del balneario de Calientes, son captadas por un canal que las conduce valle abajo y que detallaremos en el Sistema Hidráulico.

El cauce natural del río Caplina, en el vértice de deyección, cruza por las localidades de Miculla, Pachía, El Peligro y Calana.

3.7.1. Subcuenca Quebrada Piscullane

La Subcuenca de la Quebrada Piscullane se localiza al Noreste del río Caplina entre los Nevados a 5500 m.s.n.m. y entrega al río Caplina a 3900m.s.n.m. El recurso hídrico en esta subcuenca, donde nace el río Caplina, es producto de la precipitación y deshielo de los nevados de Achacollo, Huancune, Frayle y Chupiquiña, mientras que el drenaje natural se produce a

través de sus quebradas entre las principales Culiculine, de la Mina, Luyo (Paralocos), Calani (Chupiquiña), Aruma y Tirata.

3.7.2. Subcuenca Quebrada Cotañane

La Subcuenca de la Quebrada Cotañane se localiza al Noreste del río Caplina entre cadenas montañosas con escasa presencia de nevados a 5126 m.s.n.m y su entrega en la margen derecha del río Caplina a 2500 m.s.n.m. El recurso hídrico en esta subcuenca es producto principalmente de la precipitación mientras que el drenaje natural se produce a través de sus quebradas entre las principales Umalata (Ancoma), Pachaza, Lerco, Toquela, Aruma, Chasiani, Coalaya y Chari.

Esta subcuenca presenta dos microcuencas importantes:

Microcuenca de Umalata (Ancoma)

Tiene sus nacientes en los riachuelos del Cerro Tijerani, a 4380 m.s.n.m., en su descenso toma el nombre de quebrada de Umalata (Ancoma). Discurre erosionando rocas intrusivas de granodiorita hasta su confluencia con la quebrada de Toquela. La quebrada de Ancoma presenta aguas turbias solo en los meses de lluvia (nace en el cerro Achacollo) con un caudal de 50 l/s, y presencia de turbidez (presencia de sedimentos) por lo que no son utilizadas por la comunidad. Esta quebrada recibe los aportes de la quebrada Pachaza (nace en la cordillera del Barroso, en el cerro Churivicho) con una descarga de 25l/s. y los aportes de la quebrada Lerco (nace en cerro Lerco) con una descarga de 5 l/s. Aguas más abajo se localizan el manantial de Siñaque que nace de dos ojos

de agua del cerro de Siñaque con un caudal de 68l/s., siendo parte de este recurso derivado a la agricultura, ganadería y consumo de la comunidad Ancoma. La población de Ancoma presenta un total de 9 usuarios, con un área agrícola de 16 ha, y un consumo de agua de 5l/s. pertenecientes al manantial Siñaque cuyo caudal es de 68l/s. La actividad principal es la agricultura y ganadería, observándose cultivos de maíz, alfalfa, papa, y otros para consumo propio. No cuenta con vía de acceso carrozable, los traslados y transporte de carga se realizan a pie y con bestias de carga.

Microcuenca de Toquela

Tiene sus nacientes en el cerro Chillahuani a 5000 m.s.n.m., al Sur del nevado en Achacollo y hacia el norte de la Quebrada del río Caplina, desciende erosionando rocas de la formación volcánico Huilacollo con el nombre de Toquela, y esta con la quebrada de Curipiña aguas abajo de la localidad de Challaviento; continúa el curso cruzando la falla de Challaviento; finalmente erosiona las rocas del volcánico Junerata hasta confluir con la quebrada de Cotañane. La quebrada de Toquela presenta un registro en la toma de 60 l/s, las cuales irrigan terrenos ubicados en el margen derecho del cerro

Caracarani y Churo pertenecientes a la comunidad de Toquela. Continúa su curso aguas abajo confluendo con la quebrada Aruma, donde se registra un caudal de 30 las. La quebrada Aruma proviene del cerro Andamarca (Colorado), y recibe aportes de las quebradas de Chapín con un caudal de 3,0 l/s., Cocavira 4,0 l/s., Vilaque 4,0 l/s y Cotapampa con 3,0 l/s., Aguas que son destinadas para

irrigar las áreas de cultivo de la comunidad de Challaviento. La comunidad de Toquela, no presenta problema de escasez de agua, tiene como principal actividad la agricultura y ganadería; cuenta con un total de 52 usuarios, un área de cultivo aprox., de 180 ha., Donde se tiene una mita por usuario de 3.5 horas de riego, cultivos importantes tenemos a alfalfa, papa, orégano, habas, maíz, arveja, oca, destinados para el consumo y venta, en lo referente al ganado tenemos el ovino, vacuno, caprino.

La comunidad de Challaviento, ubicado en el margen izquierdo de la quebrada de Toquela, presenta limitaciones del uso de agua, ya que sus fuentes de agua provenientes de su área, son escasas, por lo que utiliza las aguas provenientes del escurrimiento de los riegos de los terrenos agrícolas de Toquela, cuentan con dos captaciones la principal es el Aruma y el Totorani, tiene como principal actividad la agricultura y ganadería; Cuenta con un total de 32 usuarios, un área de cultivo aprox., de 50 há., Donde se tiene una mita por usuario de 6,0 horas de riego, cultivos importantes tenemos a alfalfa, papa, orégano, habas, maíz, arveja, oca, destinados para el consumo y venta, en lo referente al ganado tenemos el ovino, vacuno, caprino. Actualmente sólo cuentan con una canal de conducción de agua debido a la ruptura de un tramo, afectando el riego de los cultivos, de igual forma se observa áreas de terreno afectadas por deslizamiento de suelo.

3.7.3. Subcuenca Quebrada Palca

La Subcuenca de la Quebrada Palca se localiza al Noreste del río Caplina entre cadenas montañosas a 4758m.s.n.m. y su entrega en la margen izquierda del río Caplina a 1250m.s.n.m. 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 3000 m.s.n.m., 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. Existen en esta subcuenca los aportes de los manantiales en Chachacumane y Palca.

La quebrada Chachacumane, es la principal fuente de agua para las comunidades ubicadas en esta subcuenca, registra un caudal de 5 l/s., en época de estiaje. Son aguas provenientes de manantiales ubicados en el cerro Chulluncane.

En esta subcuenca se encuentran las siguientes comunidades Palca, Causuri, Ingenio y Chulpapalca, cuya principal actividad es la agricultura y

ganadería. En la agricultura se tiene cultivos de alfalfa, maíz, papa, habas, arveja, orégano, para consumo propio y venta; en lo referente a ganado tenemos vacuno, ovino y caprino.

En lo referente a infraestructura de riego, se observa la presencia de reservorios en Palca, Ingenio y Chulpapalca, y un canal principal de conducción de concreto. Se tiene un sistema de riego por comunidades, es decir una comunidad es responsable del uso del agua en su totalidad en un tiempo determinado.

3.7.4. Subcuenca Media

El río Caplina en su curso principal recibe el aporte de varias quebradas siendo una de las más importantes el de la quebrada Ataspaca que tiene sus orígenes en el cerro Llaullacane a 4400 m.s.n.m., de la formación volcánico Huilacollo, ubicado hacía el sur de la quebrada de Caplina. Desciende erosionando rocas de las formaciones Chulucane, Chachacumane y Ataspaca, donde se asienta la población de Ataspaca a 3600 m.s.n.m., a continuación atraviesa una terraza aluvial y continúa hacía el NW hasta encontrar la falla Bellavista, que viene desde el Suroeste y corre paralela a la misma que pone en contacto rocas de la Formación San Francisco del Jurásico medio, hasta entregar al río Caplina.

En esta subcuenca se encuentra el anexo de Ataspaca rodeado de cumbres constituidas por rocas de las formaciones Volcánico Junerata y

Ataspaca. El lugar donde el pueblo se localiza es un área semicircular con suave pendiente.

Para esta comunidad su fuente de recurso hídrico es de 3,0 l/s., las cuales son almacenadas en un reservorio de 300 m³ de capacidad, donde se observa el ingreso de dos afluentes, destinada para el riego de 15 há., de terreno cuyas aguas son conducidas a través de un canal de mampostería de piedra con dimensiones de 20 cm de ancho por 15 cm de alto. La principal actividad es la agricultura y ganadería, cultivo de habas, papa, maíz alfalfa, tenemos al ganado vacuno, ovino y caprino; cuenta con un total de 30 usuarios.

3.8. MORFOEVOLUCION

Según Vela (2009), la Cordillera de los Andes se formó en el límite de las Placas de Nazca y Sudamericana por colisión de éstas, específicamente en el Borde oeste de esta última, deformándose en el tiempo por efectos de fases tectónicas aplicadas, cuyos esfuerzos estuvieron confinados al volumen de litósfera comprendida entre la Fosa Peruana-Chilena al Oeste y el Escudo Brasileño al Este, espacio que constituye el ámbito de la deformación andina. La base de la litósfera en la raíz de los Andes presenta una estructura arqueada cóncava, deformada por esfuerzos tectónicos progresivos y por el peso litosférico, hundiéndose en las rocas líquidas del Manto superior como si se tratara de un gran iceberg, lo que produce un importante engrosamiento litosférico del orden de los 200 km de espesor; mientras que en superficie, los

Andes Centrales se levantan como máximo siete kilómetros sobre el nivel del mar.

La formación de la Cordillera de los Andes, determino la actual configuración geográfica de nuestro territorio, dando origen a las tres grandes regiones: La Costa, de relieve plano o ligeramente ondulado (en la parte occidental de nuestro territorio), a la Sierra región Andina (conformado por la Cordillera de los Andes en la parte central), y a la Selva o región amazónica (la más extensa, en la parte oriental).

En los Andes peruanos distinguimos tres sectores: Los Andes del Sur, Los Andes centrales y Los Andes del norte. Los Andes del Sur, se localizan entre las fronteras con Chile y Bolivia y el nudo de Vilcanota. Los Andes Centrales se localizan entre el nudo de Vilcanota, por el Sur, y el Nudo de Pasco, por el norte. Los Andes del Norte, se hallan comprendidos entre el nudo de Pasco y la frontera con el Ecuador.

La cuenca del Caplina se localiza en los Andes del Sur, subdivida por dos cadenas de montañas: La Cadena Occidental o Cadena Volcánica y la Cordillera Oriental o Cordillera de Carabaya, generando así también a la Meseta del Collao.

3.8.1. La Cadena Occidental

Recibe también el nombre de cordillera volcánica, porque en ese sector hay muchas montañas volcánicas que fueron, en el pasado, volcanes activos. Se extiende desde la frontera de Chile hasta el nudo de Vilcanota. Actúa como

divisoria de aguas entre la Hoya del Titicaca y la vertiente del Pacífico. Se localiza en los departamentos de Puno, Tacna, Moquegua, Arequipa y Cusco.

3.8.2. La Cadena Oriental

Se localiza en la parte Norte de Puno, entre la frontera con Bolivia y el nudo de Vilcanota. Recibe también el nombre de cordillera de Carabaya. Ostenta imponentes picos como los de Palomani, en la frontera con Bolivia, el nevado de Ananea en Sandía y los de Aricoma y Quenamari en Carabaya. Actúa como divisores de aguas entre la Hoya del Titicaca y la cuenca del río Madre de Dios.

3.8.3. La Meseta del Collao

Entre las cadenas Occidental y Oriental de los Andes del Sur se localiza la Meseta del Collao, cuya parte Central se encuentra el Lago Titicaca.

Es una de las más importantes áreas geográficas de los Andes del Sur, situada a más de 3812 m.s.n.m. Es la mayor zona ganadera del Perú, ahí se cría el 50% de las alpacas del país, el 29% de las llamas, y el 32% de los ovinos. Es también el mayor centro demográfico de los Andes sur peruanos, pues allí vive más de un millón de habitantes, en territorio peruano, concentrados alrededor del agua, de vida a la influencia moderadora que ejerce el Titicaca en su clima.

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. GEOMORFOLOGIA FLUVIAL

4.1.1. Parámetros Geomorfológicos de la Cuenca

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 km², el Perímetro de la cuenca es de 329,08 km.

Coefficiente de Compacidad

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, indicara 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.

Si este coeficiente fuera igual a la unidad, significa que habrán mayores oportunidades de crecientes debido a que los Tiempos de Concentración, "Tc" (duración necesaria para que una gota de agua que cae en el punto más alejado de aquella, llegue a la salida o desembocadura), de los diferentes puntos de la cuenca serían iguales.

Este coeficiente define la forma de la cuenca, respecto a la similitud con formas redondas, dentro de rangos que se muestran a continuación con mayor precisión que lo reportado históricamente en el campo de la hidrología (FAO, 1985):

Rango Forma

1,00 - 1,25 redonda a oval redonda (compacta).

1,25 - 1,50 oval redonda a oval oblonga.

1,50 - 1,75 oval oblonga a rectangular oblonga.

>1,75 casi rectangular (alargada).

La fórmula planteada por H. Gravelius para hallar este coeficiente para la cuenca del río Caplina arroja un valor de 1,42 definida como oval redonda a oval oblonga, lo que representa una cuenca con tendencia forma alargada, reduciéndose en cierta medida el efecto de avenidas súbitas a causa de los tránsitos medianamente largos que se generan por la misma forma de la cuenca.

Estos tránsitos de las avenidas a causa de las tormentas en la cuenca son regularmente disipados por el efecto mismo de transporte del agua y los efectos físicos como son la infiltración, evaporación, y otros de menor importancia. Por

tanto esta característica física no descarta la posibilidad de tener crecidas súbitas en la cuenca.

Relación de Elongación

S.A., Schumm propuso la denominada Relación de elongación (Re), definida como el cociente adimensional entre el diámetro (D) de un círculo que tiene igual área (A) que la cuenca y la longitud (L_c) de la misma. La longitud L_c se define como la más grande dimensión de la cuenca, a lo largo de una línea recta desde la salida hasta la divisoria, paralela al cauce principal.

La bibliografía indica que valores cercanos a la unidad están relacionados relieves suaves y Re de 0,6 a 0,8 indica relieves fuertes o pendientes pronunciadas.

La relación de elongación que se obtuvo para la cuenca del río Caplina es de 0,65, por lo que la cuenca en estudio tiene un relieve fuerte o pendiente pronunciada, llegando a los valores que se indican en la bibliografía para este caso.

Esta situación asociada a las pendientes pronunciadas, hace que relacione esta característica de la cuenca a las crecidas súbitas, lo que en gran medida sesga la conclusión parcial obtenida con el parámetro físico anterior que fue el de coeficiente de compacidad, que no llegaba de definir claramente la asociación entre la geomorfología y las crecidas súbitas en la cuenca.

En tal sentido, la característica relieves fuertes o pendientes pronunciadas, es determinante en el comportamiento agresivo de las avenidas que se presenten en la cuenca, lo que genera que sea una cuenca con un alto

grado de transporte de materiales gruesos, finos y hasta botonería de gran tamaño como es el caso de elementos con diámetros mayores a 1,5 m.

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.

Tradicionalmente se ha considerado que la forma de la cuenca tiene influencia en el tiempo de concentración de las aguas al punto de salida de la cuenca, ya que modifica el hidrograma y las tasas de flujo máximo, por lo que para una misma superficie y una misma tormenta, los factores mencionados se comportan de forma diferente entre una cuenca de forma redondeada y una alargada. En la Figura 18 vemos varias hidrógrafas para cuencas con la misma área y diferentes formas ante una lámina precipitada igual.

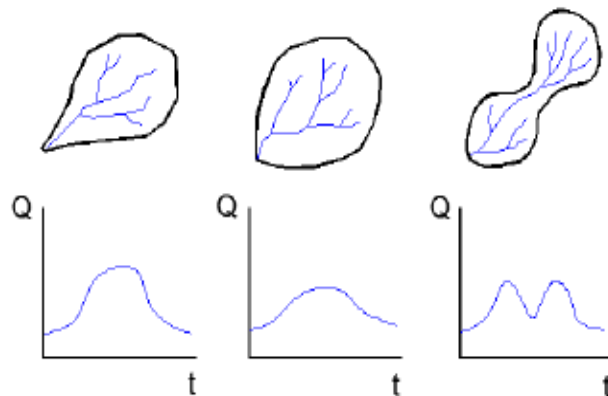


Figura 18 Hidrogramas según la forma de la cuenca

Este factor nos da alguna indicación de la tendencia de las avenidas en el cauce, porque una cuenca con un factor de forma bajo, tiene menos tendencias

a concentrar las intensidad de lluvias que una cuenca de igual área, pero con un factor de forma más alto.

Valores del factor de forma:

1,00	Corresponde a cuadrado con salida central.
0,79	Corresponde a circular o redonda.
0,50	Corresponde a cuadrado con salida lateral.
0,40 y 0,50	Corresponde a oval.
< 0,30	Corresponde a rectangular o alargada.

Para la cuenca Caplina, el valor calculado para el factor de forma es de 0,27. Esto según las referencias bibliográficas indica que corresponde a forma rectangular o alargada. Esto en cierta medida también indica que hay baja tendencia en la cuenca a las crecidas súbitas.

Drenaje de la Cuenca

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, mas 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, lo que nos indicaría que se trata de una cuenca medianamente drenada, lo que definitivamente reporta

una característica media de permeabilidad en los suelos que conforman la superficie de la cuenca.

Curva Hipsométrica

La curva hipsométrica o curva de área - elevación, se construye determinando el área entre curvas de nivel y representando en una gráfica el área acumulada por encima y por debajo de una cierta elevación o cota. Esta curva ha servido para determinar la altitud media de la cuenca. Donde en dicha curva calculada se puede observar que el cambio drástico entre la parte baja del Valle y la parte alta. Ver Figura 19.

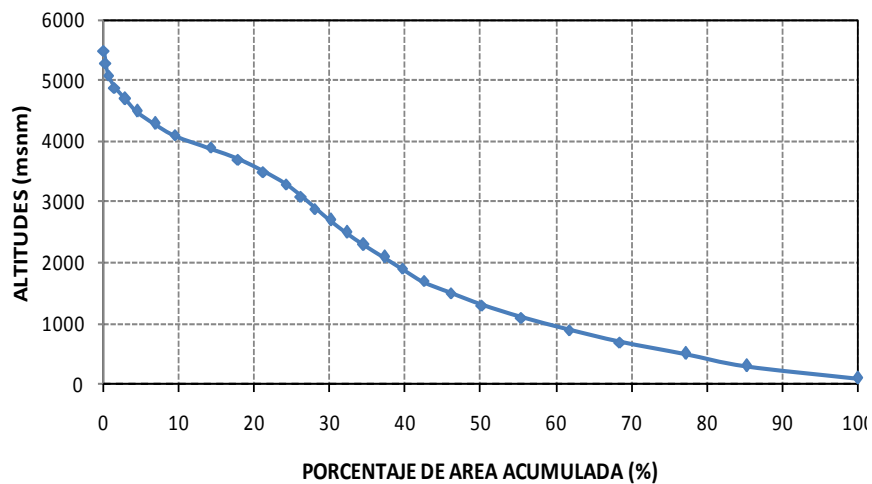


Figura 19 Curva Hipsométrica de la cuenca

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 es de 32% y varían entre las cotas 1 200 y 5 400 msnm. La pendiente promedio de la cuenca es de 25,91%.

4.1.2. Hidrografía

La hidrografía del río Caplina se encuentra determinada por las nacientes del río Caplina (las cuales corresponden a la Vertiente del Pacífico); a 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 Km²), y por la margen izquierda, la quebrada Palca (135 Km²) y el río Yungane o Uchusuma Bajo (505 Km²).

El régimen del río es torrencioso 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 Km² en el río Caplina y 215 Km² en el río Uchusuma Bajo o Yungane; extensiones que incluyen 240 Km² de la cuenca húmeda del río Caplina y 65 Km² de la cuenca húmeda del río Uchusuma Bajo o Yungane, es decir, 62,2% (305 Km²) 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 Km²) al río Uchusuma Bajo.

Cuadro 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

4.2. HIDROLOGIA FLUVIAL

4.2.1. 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 km²; 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 20 se puede apreciar tal variabilidad.

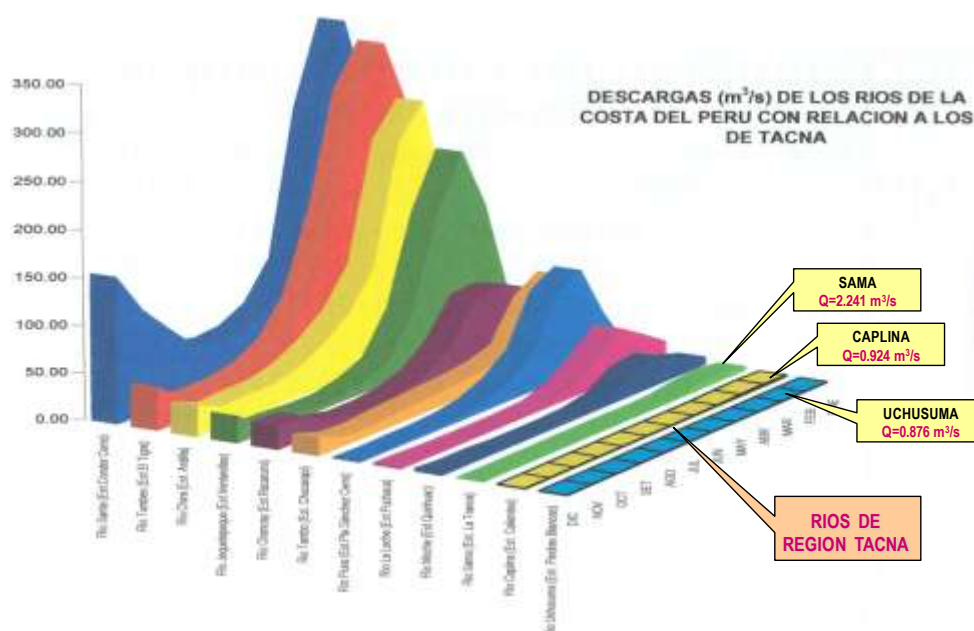


Figura 20 Comparativo de descargas de los ríos de la costa peruana

Conocedores de que el aprovechamiento ancestral de los recursos hídricos que ha tenido lugar en la Cuenca Caplina, existe un desconocimiento generalizado sobre el régimen hidrológico del río del mismo nombre y sus afluentes. La única fuente de información procede de las estadísticas oficiales facilitadas por la Dirección Regional de Agricultura Tacna, SENAMHI y Proyecto Especial Tacna.

Se podría afirmar que el principal curso de la cuenca, el río Caplina, es una corriente de flujo superficial permanente en régimen natural; tan sólo se han registrado cortos periodos de sequía hidrológica en los que se ha producido su estiaje completo, aunque con notable influencia de los aprovechamientos antrópicos aguas arriba. No ocurre lo mismo con sus principales afluentes, los ríos, que a pesar de su denominación (río = “corriente de agua continua...”), han sufrido importantes estiajes asociados a su elevada torrencialidad natural.

A la vista de los datos de aportaciones anuales recogidos en las estaciones de aforo situadas en la cuenca denominada Estación Calientes mostrado en el Cuadro 3, los caudales medios del río Caplina y sus afluentes presentan fuertes varianzas, dando idea de la elevada variabilidad tal como se muestra en el Cuadro 4 y los valores extremos en el Cuadro 5.

Cuadro 3 Estación Calientes

NUMERO	CUENCA	VARIABLE HIDROLOGICA	CODIGO	ESTACION	NORTE	ESTE	ALTITUD	PERIODO DE REGISTRO	FUENTE
129	CAPLINA	DESCARGAS MEDIAS	19121113	CALIENTES	8022950	381850	1300	1939-2012	DRAGT
130	CAPLINA	DESCARGAS MAXIMAS	19121123	CALIENTES	8022950	381850	1300	1959-2012	DRAGT
131	CAPLINA	DESCARGAS MINIMAS	19121133	CALIENTES	8022950	381850	1300	1959-2012	DRAGT

Cuadro 4 Aportaciones y Variabilidad de Descargas Medias

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
PROM	1.229	2.226	1.587	0.838	0.694	0.679	0.658	0.631	0.606	0.575	0.619	0.614
STD	0.930	2.686	1.380	0.349	0.156	0.151	0.149	0.147	0.149	0.145	0.418	0.172
MAX	5.710	17.260	8.420	2.510	1.040	1.100	1.103	1.082	0.990	0.990	3.820	1.170
MIN	0.424	0.367	0.355	0.395	0.433	0.374	0.380	0.404	0.376	0.339	0.330	0.346
PERSISTENCIAL AL:												
50%	0.971	1.241	1.080	0.769	0.674	0.644	0.628	0.601	0.574	0.543	0.555	0.603
75%	0.677	0.837	0.791	0.620	0.566	0.579	0.566	0.536	0.510	0.488	0.460	0.488
95%	0.479	0.510	0.556	0.474	0.475	0.480	0.467	0.452	0.391	0.384	0.374	0.403

Cuadro 5 Descargas Medias, Máximas y Mínimas

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
PROMEDIO	1.229	2.226	1.587	0.838	0.694	0.679	0.658	0.631	0.606	0.575	0.619	0.614
MAXIMO	16.499	33.216	15.822	5.188	1.160	1.415	1.213	1.220	1.005	0.897	0.922	1.732
MINIMO	0.301	0.278	0.105	0.341	0.4	0.153	0.133	0.326	0.335	0.309	0.303	0.304

En la Figura 21 se muestra la variabilidad temporal mensual de las descargas en la Estación de Aforo Calientes.



Figura 21 Comparativo de descargas máximas, medias y mínimas

Se puede notar claramente el efecto temporal de las descargas, las grandes masas de agua escurren entre los meses de enero, febrero y marzo.

Esta condición es típica en la región y toda la costa del país y países vecinos como Chile por el sur y Ecuador por el norte. Los demás meses del año en el que las precipitaciones son nulas, las descargas que son de flujo base, son debidas a los procesos de deshielos que ocurren en la cordillera del Barroso, fuente principal de agua que regula el régimen base del río Caplina, y cuyos recursos hídricos son fundamentales para las actividades económicas en la cuenca, puesto que dicha cuenca no existe sistema de regulación.

En el Cuadro 6 se puede observar los ratios de aportes calculados para cuenca Caplina, considerando como punto de control la Estación Calientes. Se observa que dichos ratios varían de 0,02 y 4,96 para la relación Aporte/Precipitación.

Cuadro 6 Ratios de aportes calculados para la cuenca Caplina

MESES	PRECIPITACION ANUAL (mm)		APORTACION ESPECIFICA (mm)		RATIO (A/P)	
	MEDIA	MAXIMA	MEDIA	MAXIMA	MEDIA	MAXIMA
ENERO	51.50	322.60	1.32	17.68	0.03	0.05
FEBRERO	57.17	320.90	2.39	35.59	0.04	0.11
MARZO	30.05	196.50	1.70	16.95	0.06	0.09
ABRIL	1.15	16.70	0.90	5.56	0.78	0.33
MAYO	0.15	6.40	0.74	1.24	4.96	0.19
JUNIO	0.64	7.50	0.73	1.52	1.14	0.20
JULIO	0.52	16.20	0.71	1.30	1.37	0.08
AGOSTO	0.99	11.10	0.68	1.31	0.68	0.12
SEPTIEMBRE	1.40	15.20	0.65	1.08	0.47	0.07
OCTUBRE	1.32	17.80	0.62	0.96	0.47	0.05
NOVIEMBRE	2.59	46.60	0.66	0.99	0.26	0.02
DICIEMBRE	12.44	53.80	0.66	1.86	0.05	0.03
MEDIA	13.33	85.94	0.98	7.17	0.86	0.11
MAXIMOS	57.17	322.60	2.39	35.59	4.96	0.33
MINIMOS	0.15	6.40	0.62	0.96	0.03	0.02

4.2.2. Modelamiento Hidrológico

Como se describió anteriormente, la construcción del modelo se da en varias etapas para lo cual se requiere información Hidrometeorológica, Topográfica, etc.

Este modelo permitirá la determinación de caudales de máxima avenida mediante la aplicación del HEC-HMS (Hydrologic Modeling System).

En primer lugar describiremos la información cartográfica usada en la elaboración del modelo. Se trata de todas las quebradas que convergen antes de la Estación Calientes.

En la Figura No. 22, se muestra la ubicación de las referidas subcuencas en el ámbito de la cuenca de estudio. Asimismo el modelo de cuenca en HEC-HMS, se puede notar que se han generado 10 subcuencas, las mismas que aportan al cauce principal y descargas en la única salida que es la estación Calientes. El modelo hidrológico, busca generar descargas o hidrogramas de descargas para condiciones iniciales impuestas de modelo de cuenca es decir características físicas de la cuenca, un modelo meteorológico y especificaciones de control, que son muy importantes para el proceso de simulación de eventos.

El modelo meteorológico requiere de datos de precipitación, los cuales pueden ser ingresados al modelo bajo diferentes formas u esquemas, considerando en la modelación aquel al cual podemos cubrir de datos sin inconvenientes, es decir generarlo en función a la data con que disponemos.

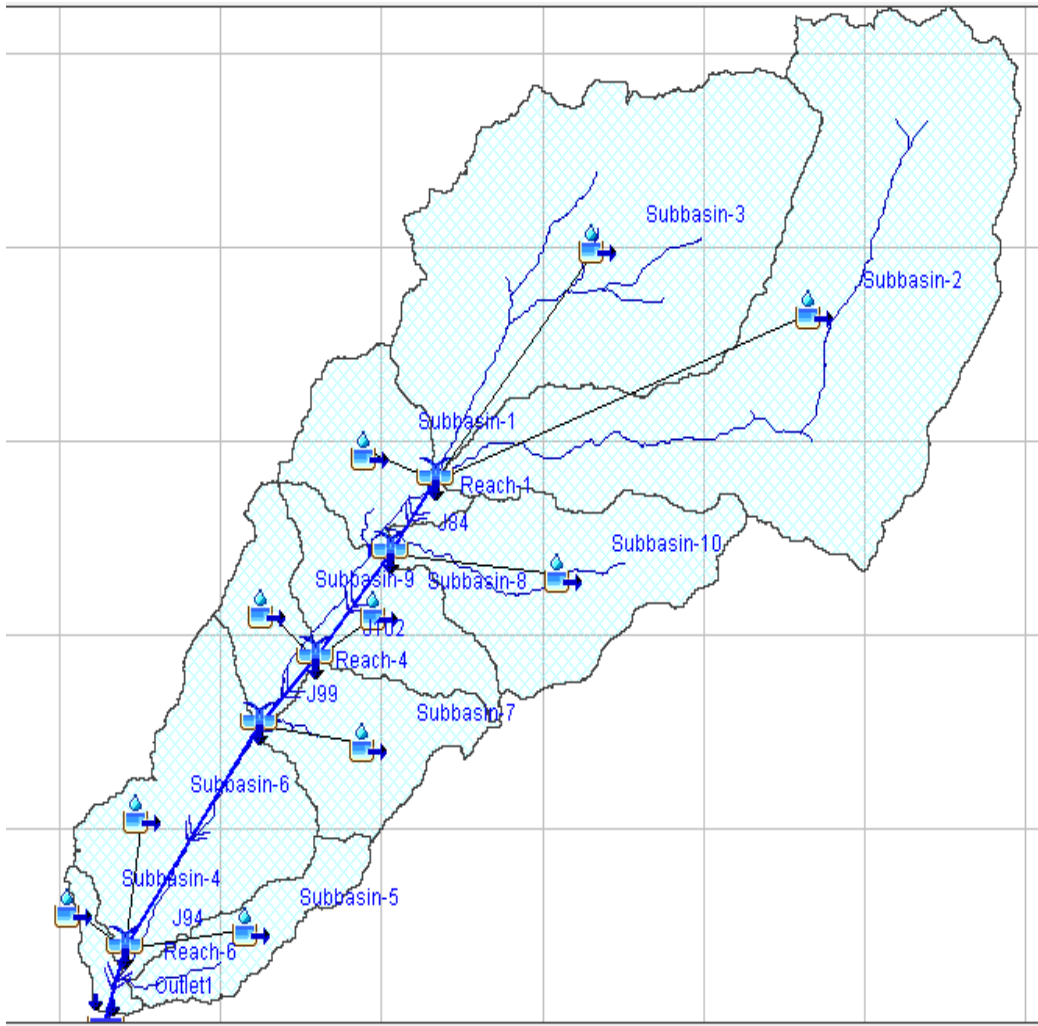


Figura 22 Modelo de Cuenca Caplina

La información requerida se refiere al Área de las Subcuencas, Método de Perdidas, Método de Transformación Lluvia-Escorrentía. En cuanto al área se ingresó cada una de las áreas de las subcuencas en cuestión, información que fue obtenida usando ARCHYDRO, para luego definir e ingresar el método de pérdidas como Inicial y Constante y luego el Método de Transformación como

SCS Hidrograma Unitario (Hidrograma unitario del Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos de América). Ver Figura 23.

Subbasin	
Basin Name:	Modelamiento
Element Name:	Subbasin-2
Description:	
Downstream:	J87
*Area (KM2)	169.717
Canopy Method:	--None--
Surface Method:	--None--
Loss Method:	Initial and Constant
Transform Method:	SCS Unit Hydrograph
Baseflow Method:	--None--

Figura 23 Parámetros para Modelo de Cuenca

El modelo requiere información hidrometeorológica, como se indicó en el capítulo respectivo, por tanto se procedió al tratamiento estadístico de la misma, de lo cual se puede asegurar que la data utilizada cumple con los requerimientos de consistencia u homogeneidad. Dicha aseveración es posible gracias a los resultados obtenidos habiendo utilizado pruebas estadísticas y la curva doble masa como comprobación.

La precipitación es un punto de vital importancia. La precipitación máxima en 24 horas se ha considerado de estudios y cuencas vecinas y podemos establecer que los siguientes valores son representativos para la cuenca en cuestión. En la Figura 24 se muestra los valores del hietograma considerado.

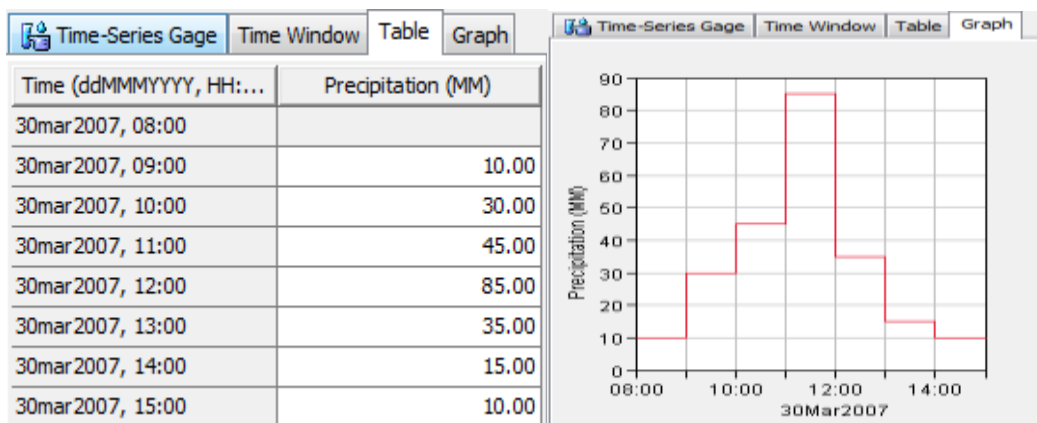


Figura 24 Hietograma para el Modelo Hidrológico

Asimismo, debemos tener presente que para una mejor labor al momento de la simulación de hidrogramas, se ha considerado tres estaciones de precipitación y una estación pluviográfica representativa. Para cada estación de precipitación fue estimada su precipitación en 24 horas y corresponde a 4,81 mm para la estación Calientes, 23,28 mm para Palca y 50,50 mm para Toquela. Ver Figura 25.

Total Storm Gages	
Met Name: Modelamiento	
Gage Name	Total Depth (MM)
CALIENTES	4.81
PALCA	23.28
TOQUELA	50.5

Figura 25 Precipitación en 24 horas

Debemos señalar que dichas estaciones se encuentran inmersas en la lista de estaciones hidrometeorológicas en la zona de estudio, según se aprecia en el

Cuadro 7. En la Figura 26 se muestra el Mapa de ubicación de las estaciones de precipitación en el ámbito regional.

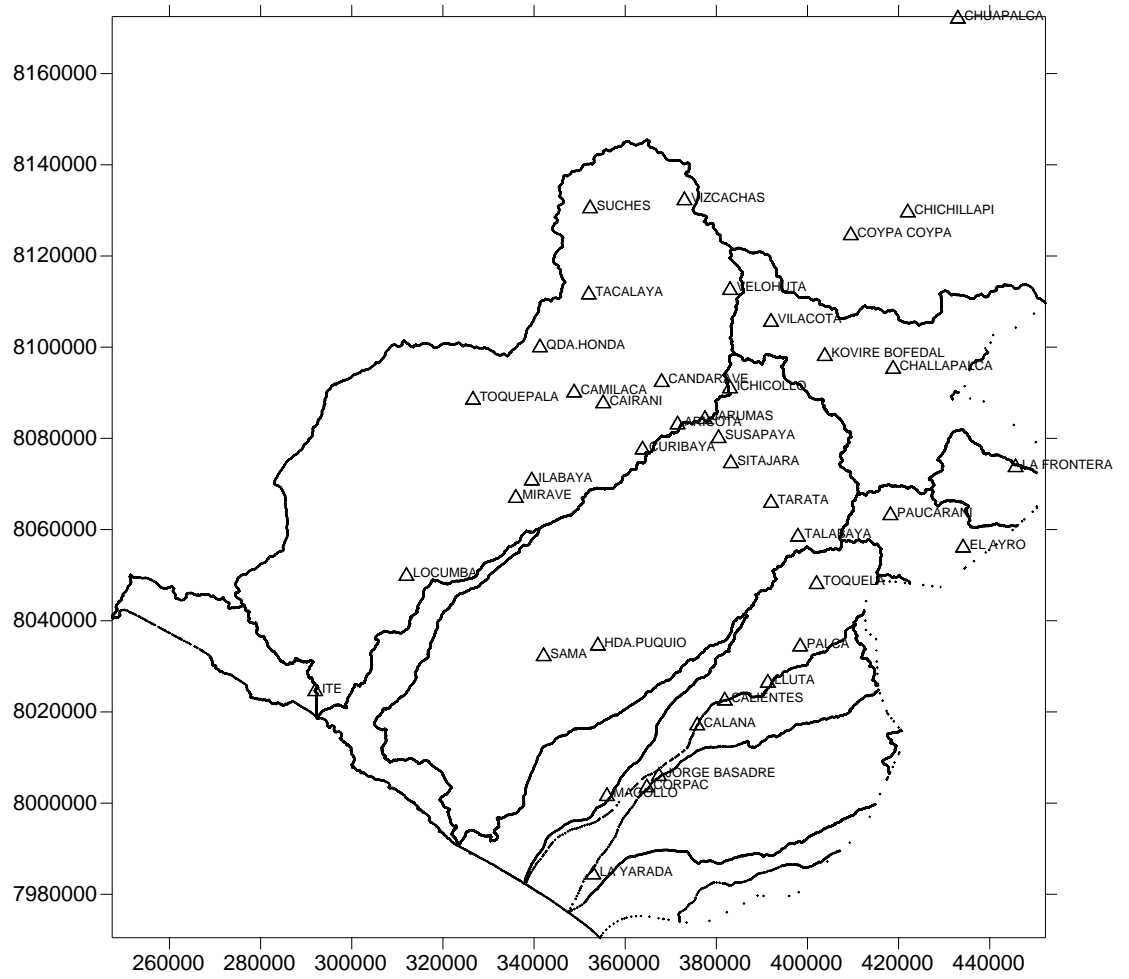


Figura 26 Mapa de ubicación de estaciones de precipitación

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 27. Estas avenidas indudablemente causan daños de desbordes y colapso de estructuras tal como se evidencia y muestra en la Figura 28.



Figura 27 Avenidas registradas en febrero de 1998



Figura 28 Evidencia de daños del río Caplina

En tal sentido, resulta satisfactorio contar con un modelo hidrológico que permita pronosticar eventos extremos, asociados a la geomorfología de la cuenca, de tal forma que podamos dictar medidas de Gestión de Riberas y Sistemas Fluviales. La composición de este modelo se efectúa por fases, y considerando todas las subcuencas aguas arriba del punto de salida considerado. Por ejemplo en la Figura 29, se muestra el hidrograma generado para una subcuenca en las nacientes de la cuenca Caplina.

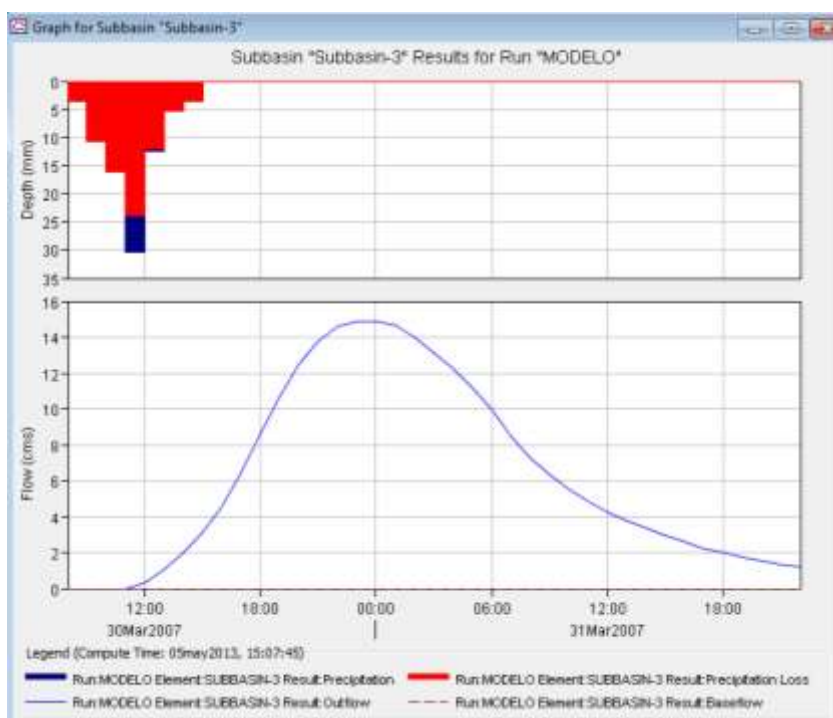


Figura 29 Hidrograma subcuenca en las nacientes rio Caplina

El modelo elaborado en HEC-HMS, reporta como caudal máximo instantánea para la cuenca hidrológica agua arriba de la estación Calientes un caudal de 60,30 m³/s, tal como se muestra en la Figuras 30 y 31.

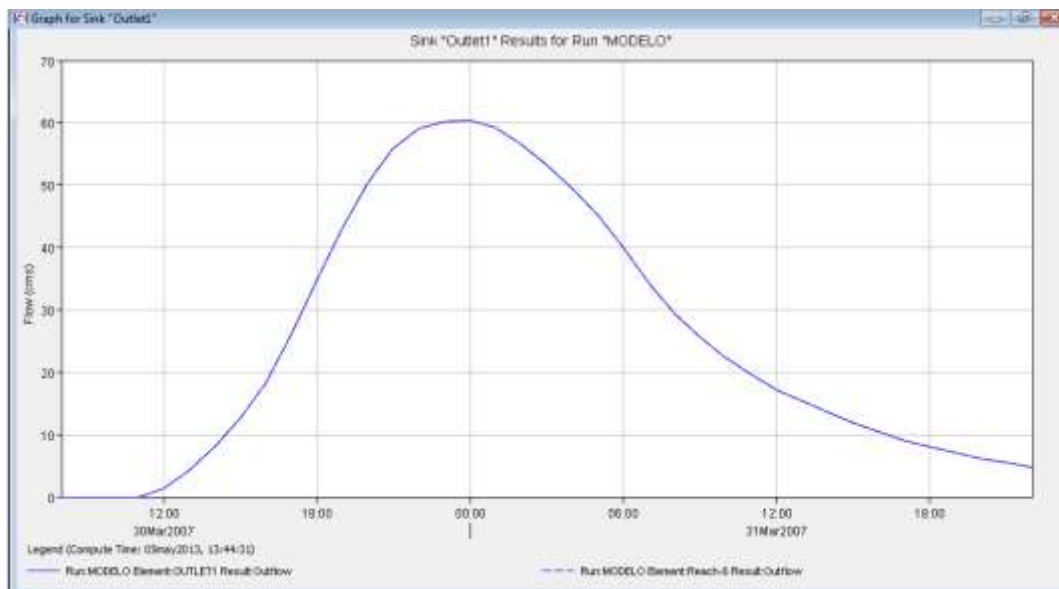


Figura 30 Hidrograma de salida

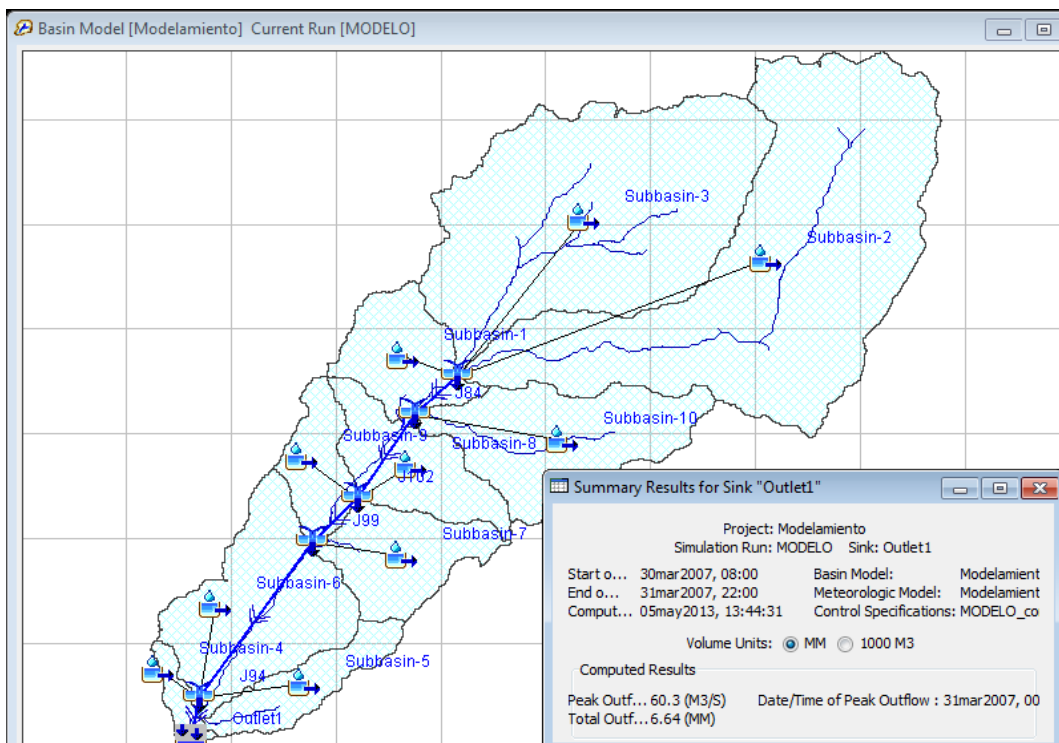


Figura 31 Tabla de datos de salida

En tal sentido, por el comportamiento histórico del cauce del río Caplina, podemos establecer que para las condiciones de flujo analizadas y posibles de ocurrir en periodos de retorno más o menos grandes es decir arriba de los 100 años, las probabilidades de desborde e inundación son bastante altas, existen en la cuenca puntos débiles como por ejemplo, la zona de la bocatoma Calientes que en más de una vez históricamente ha sido rebasada en su capacidad.

Asimismo los baños termales del mismo nombre en los que el año 1998 fueron en gran parte arrasados e inundados con el consiguiente cuadro de pérdidas económicas muy alta, el puente el Peligro a inmediaciones del Poblado de Calana, cuyo puente presenta un ángulo erróneo respecto al curso normal del río, provocando que los estribos de dicho puente sirvan de frentes de choque a las avenidas que se presentan, luego tenemos el puente sobre la carretera Tacna-Calana, cuya altura de puente es muy baja y en periodos de avenidas se presentan desbordes continuamente, y finalmente quizás el punto más crítico sea la zona del denominado río Seco aguas abajo del cuartel Tarapacá, en la zona del cono sur de la Ciudad de Tacna, donde se ha presentado colapso de muros con el consiguiente riesgo de obstrucción, embalse y desborde del río en épocas de avenidas.

Debemos poner la alerta que para el caudal extremo obtenido con el modelo hidrológico, según el estudio realizado por Tisnado (2013), todo el tramo del río Seco comprendido en la zona urbana del cono sur de la ciudad de Tacna colapsaría por desborde e inundaciones.

4.3. GESTION DE RIBERAS Y SISTEMAS FLUVIALES

4.3.1. 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 consideramos 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.

Clasificación de la quebrada Palca con respecto al Riesgo

Con la siguiente clasificación, hacemos un análisis de riesgo no solo hidrológico, si no que evaluaremos la 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 del Cuadro 8 basado en valores de ponderación:

Cuadro 8 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

El procedimiento a seguir es denominar un puntaje a cada parámetro que define una quebrada: Localización, Pendiente, Área, Naturaleza del suelo, Tipo de vía; según los cuadros presentados a continuación:

Clasificación por Localización

Debemos clasificar la quebrada para una respectiva vertiente según sea su ubicación. Una vez ubicada la vertiente correspondiente se procede a realizar las combinaciones según el Cuadro 9.

Cuadro 9 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
Suní		b	Quechua	a
Puna		c	Suní	b
Janca		d	Puna	c
			Janca	d

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

Cuadro 10 Clasificación por Pendiente

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

Clasificación por Área

Cuadro 11 Clasificación por Área

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

Clasificación por Naturaleza del suelo

Investigadores Canadienses reportan las siguientes características de acuerdo al grado potencial de contribución de material sólido.

Cuadro 12 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 $S_{laderas} < 15^\circ$

Una vez denominado la letra A, B, C o D para los diferentes parámetros, obtenemos sus puntajes del siguiente cuadro:

Cuadro 13 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		

Finalmente, obtenemos la suma de los valores de ponderación para los diferentes parámetros, clasificando a la quebrada según el Cuadro 8. (Tipo I, II o III).

Aplicando la metodología expuesta para la Quebrada Palca, tenemos:

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 4758m.s.n.m. y su entrega en la margen izquierda del río Caplina a 1250m.s.n.m. 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 3000 m.s.n.m., 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 Suni :	c	
	—	
	dc	Localización C

Del cuadro 10 al cuadro 12 se obtienen los otros valores. Una vez reconocida la letra (A, B, C) se le asigna su puntaje correspondiente por medio del cuadro 13:

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

Para este puntaje, según el cuadro 8 la quebrada Palca se considera una quebrada Moderada, del Tipo II.

4.3.2. 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.

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.

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).

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.

4.3.3. 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 32. 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.



Figura 32 Bocatoma Calientes y Baños Termales

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 33:

- 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 33 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.

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

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 36.



Figura 36 Zonas vulnerables en el rio Seco

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 recorrer la zona de estudio, podemos 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 podemos 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.

CONCLUSIONES

- Con el análisis detallado de los elementos geológicos e hidrológicos de la zona de estudio, logramos caracterizar e interpretar geomorfológica e 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.
- Esta cuenca ha sido dividida en cinco unidades geomorfológicas como son: Cordillera, Altiplanicie, Flancos Disectados, Pampa Costanera y Desembocaduras. Asimismo, se ha podido describir y comprobar in situ la litología que aflora en la cuenca del río Caplina, que consiste en rocas que van desde el Paleozoico hasta los depósitos recientes (Cuaternario). Existen rocas volcánicas como la Formación Toquepala y el Volcánico Barroso, otras que son de litología volcánica sedimentarias como las formaciones Huilacollo y Junerata, y rocas de origen sedimentario como las formaciones San Francisco, Chachacumane, Pelado, entre otras.
- La cuenca del río Caplina tiene una temperatura media de 17,02 grados centígrados, debido a la cercanía de la cordillera a la costa. Las temperaturas varían muy rápidamente y la cercanía del mar determina que la humedad relativa promedio sea de 80%.

- En cuanto a la caracterización geomorfológica superficial de la cuenca, se tiene que el área de cuenca es de 4 239,09Km² y el perímetro de 329,08 Km., el coeficiente de compacidad es de 1,42, la relación de elongación resultante es de 0,65, el factor de forma es 0,27, esta interrelación de parámetros geomorfológicos superficiales de la cuenca son indicadores en efecto global que dicha cuenca está ligada estrechamente a crecientes súbitas.
- El cauce actual del río Caplina puede definirse como una corriente sencilla de patrón rectilíneo-quebrado, con carga de gravas y bloques (sector alto), que evoluciona a un patrón recto, ligeramente sinuoso y entrelazado, de arenas (sector del llano).
- El comportamiento hidrológico medio del río Caplina y sus afluentes es característico del régimen de los ríos de la Costa Sur, que tienen su origen en áreas montañosas o de cordillera, en este caso se refiere a la cordillera del Barroso. Se calculó la ocurrencia de un evento extremo de magnitud 60,3 m³/s, lo que nos permite presagiar procesos de inundación y desborde en la zona urbana de la ciudad de Tacna, la cual es la zona de descarga de la cuenca húmeda. El río Caplina presenta alta variabilidad interanual, con caudales máximos entre diciembre y marzo.
- La configuración geomorfológica de la cuenca tiene una notable repercusión en la tipología de las crecidas que se producen en la Cuenca Caplina (y viceversa), tanto en el ámbito morfográfico como morfodinámico. Las características morfométricas de la cuenca, su red

fluvial y las corrientes individuales han sido incorporados con éxito tanto en los métodos hidrometeorológicos (clásicos y de enfoque geomorfológico), como en las modelizaciones hidráulicas e hidrológicas.

- La ancestral intervención antrópica en la Cuenca Caplina ha interferido con la dinámica fluvial, tanto por acciones directas sobre las corrientes (canalizaciones, derivaciones de caudal...) como indirectas sobre la cuenca (cambios de uso y urbanización). Esta interferencia ha podido ser modelizada mediante el estudio de diversos geoindicadores: (a) Desviación del trazado de los meandros respecto a la curva sino generada. (b) Grado de polimodalidad del gráfico del poder espectral de los meandros. (c) Incisión del perfil longitudinal del canal. (d) Variación del tamaño medio de los clastos del lecho. (e) Variación en el porcentaje de colonización vegetal de la llanura inundable. (f) Modificaciones en el hidrograma respecto al simulado con la vegetación potencial en la cuenca.

RECOMENDACIONES

- Para ampliar y complementar la presente tesis, realizar estudios paleo hidrológicos del río Caplina.
- El análisis del riesgo de inundación debe contemplar los factores o elementos del riesgo (peligrosidad, exposición y vulnerabilidad), y adaptarse a una metodología o requisitos mínimos oficiales y estandarizados.
- Realizar con mayor detalle el análisis del riesgo para obras civiles, y generar una relación de estructura, suelo y cauce, con finalidad de una buena gestión de riberas.
- Emplear 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. Además, facilita la cuantificación rápida y precisa de los elementos en riesgo, tanto áreales (extensión de las distintas categorías de suelo afectadas), como lineales (longitud de tramos de vías de servicio afectadas) y puntuales (número de elementos del mobiliario urbano, pies arbóreos...).

BIBLIOGRAFIA

- ANA (2002), Evaluación y ordenamiento de los recursos hídricos en las cuencas de los ríos Caplina y Uchusuma.
- PET (2002), Plan de gestión de la oferta de agua en las cuencas del ámbito del proyecto Tacna.
- Andrés Diez Herrero (2001), Geomorfología e Hidrología Fluvial del Rio Alberche, Modelamiento y S.I.G. para la gestión de riberas.
- Churchill Vela Velásquez (2009), Subdivisión de la placa de nazca en tres nuevas placas, tectónicas y su incidencia con la sismicidad peruana actual.
- Edgar Christian Jhonathan Tisnado Valdivia (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.
- Eugenio Prospero Osorio Guerra (2004), Determinación de caudales máximo de avenida con fines de diseño del sistema de drenaje de la ciudad de Moyobamba.
- Hugo Pilco Pari (2013). Modelación hidrológica distribuida espacializada usando HEC-HMS para la represa Chirimayuni-Moquegua.
- INGEMMET (2009), Hidrología de la cuenca del rio Caplina

- José Torvisco Martínez (2006), Modelación Hidrológica e Hidráulica de la cuenca Chumbao, con fines de protección de las ciudades Andahuaylas y San Jerónimo.
- Julia Ygnacia Acuña Azarte (2010), Desarrollo de análisis regional de caudales medios mensuales para diversos niveles de persistencia de los ríos peruanos pertenecientes a la vertiente del pacífico.
- 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.
- Marco Antonio Córdova Arango (2003), Balance espacial del agua utilizando sistemas de información geográfica en la cuenca del río Rimac).
- Sigfredo Ernesto Fonseca Salazar (2002), Modelamiento hidrológico con HEC-HMS y sistema de información geográfica (SIG).
- Sandra del Águila Ríos (2001), Modelamiento estocástico de las descargas medias del río Santa-Ancash.

ANEXOS

1. MAPA DE UBICACIÓN
2. MAPA RASTER
3. MAPA SUB CUENCAS
4. MAPA GEOLOGICO
5. MAPA GEOMORFOLOGICO
6. MAPA TIPO DE ROCA
7. MAPA DE CLIMAS
8. MAPA DE TEMPERATURA MAXIMA
9. MAPA DE TEMPERATURA MEDIA
10. MAPA DE TEMPERATURA MINIMA
11. MAPA DE EVAPORACION
12. MAPA DE EVAPOTRANSPIRACION
13. MAPA DE PENDIENTES
14. MAPA DE ORIENTACION DE PENDIENTES
15. MAPA DE PRECIPITACION MEDIA ANUAL

NOTA: Los mapas 4, 5 y 6, mapa geológico, mapa geomorfológico y mapa de tipo de roca se ha tomando de referencia por INGEMMET.