

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE INUNDACIONES
- APLICACIÓN EN EL RIO CHILLON

TESIS

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

GIANCARLO MOCETTI ROJAS

Lima – Perú

2006

INDICE

Pág.

CAPITULO 1: CONCEPTOS BASICOS

1.1	Objetivo de la Tesis	1
1.2	Inundaciones	1
1.3	Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones	3
1.4	Elementos de un Sistema de Alerta Temprana	4
1.4.1	Reconocimiento de la Amenaza de Inundación	4
1.4.2	Diseminación de Advertencias	15
1.4.3	Respuesta a las Advertencias	17
1.5	Sistemas de Alerta Temprana de Inundaciones en la Actualidad	19

CAPITULO 2: CARACTERISTICAS DE LA CUENCA DEL RIO CHILLON

2.1	Ubicación	23
2.2	Hidrografía	23
2.3	Geología y Uso Actual de Suelos	26
2.4	Antecedentes de Inundaciones	31

CAPITULO 3: MODELAMIENTO HIDROLOGICO DE LA CUENCA DEL RIO CHILLON

3.1	Red Hidrometeorológica	35
3.1.1	Estaciones Pluviométricas	36
3.1.2	Estaciones Hidrométricas	45
3.2	Modelo Hidrológico HEC-HMS	50
3.2.1	Modelo de la Cuenca	51
3.2.1.1	Límite de la cuenca	52
3.2.1.2	Abstracciones o pérdidas	58
3.2.1.3	Transformación del exceso de precipitación en escorrentía directa	74
3.2.1.4	Flujo Base	82
3.2.1.5	Tránsito de Hidrogramas	83
3.2.2	Modelo Meteorológico	87

	Pág.
3.2.3 Especificaciones de control	99
3.2.4 Calibración	100
3.2.5 Tiempo máximo de pronóstico o reacción	103
3.2.6 Generación de máximas avenidas para diferentes Periodos de retorno	112

CAPITULO 4: DISEÑO DEL ESQUEMA FISICO DEL SISTEMA DE ALERTA

4.1 Componentes del sistema	120
4.2 Reglas de operación	125
4.3 Implementación del proyecto	128
4.3.1 Programación	128
4.3.2 Presupuesto	129

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones: Red Hidrometeorológica actual	135
Conclusiones: Modelamiento Hidrológico	135
Conclusiones: Implementación del Sistema de Alerta Temprana	137
Recomendaciones	137

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

Lista de tablas

	Pág.
1.1. Componentes de un sistema de alerta temprana	3
1.2. Mínimo de pluviómetros respecto al área de la cuenca	9
2.1. Características de la red hidrográfica de la Cuenca del Río Chillón	25
2.2. Ciclo Hidrológico del Río Chillón	25
2.3. Perfil de suelo fluvisol éutrico (irrigado)	26
2.4. Perfil de suelo fluvisol éutrico (seco)	27
2.5. Perfil de suelo andosol vitrico	27
2.6. Perfil de suelo paramosol andosol	28
2.7. Perfil de suelo litosol desértico	29
2.8. Perfil de suelo paramosol éutrico	29
2.9. Textura y biología de las diferentes formaciones ecológicas de la cuenca del Río Chillón	29
3.1. Estaciones pluviométricas ubicadas en la cuenca del río Chillón	36
3.2. Estaciones hidrométricas ubicadas en la cuenca del río Chillón	45
3.3. Cálculo de áreas de subcuencas	52
3.4. Valores de Número de Curva SCS	63
3.5. Cálculo de número de curva para cada subcuenca para la condición de humedad antecedente normal AMC II	64
3.6. Coeficientes de almacenamiento y umbral de infiltración para distintas condiciones antecedentes de humedad	71
3.7. Clasificación de clases antecedentes de humedad (AMC) para el método de abstracciones de lluvia del SCS	73
3.8. Cálculo de lluvia antecedente total de 5 días	73
3.9. Cálculo del tiempo de concentración	76
3.10. Parámetros del modelo de la onda cinemática	79
3.11. Parámetros del método SCS Lag	84
3.12. Parámetros de transito de hidrograma – Onda cinemática	86
3.13. Calculo de los pesos relativos de las estaciones por cada subcuenca	89
3.14. Desagregación de precipitación del día 5 de marzo del 2003	91
3.15. Desagregación de precipitación del día 6 de marzo del 2003	92
3.16. Desagregación de precipitación del día 7 de marzo del 2003	93
3.17. Desagregación de precipitación del día 8 de marzo del 2003	94

	Pág.
3.18. Desagregación de precipitación del día 9 de marzo del 2003	95
3.19. Desagregación de precipitación del día 9 de marzo del 2003	96
3.20. Registros de caudales Bocatoma Chillón	101
3.21. Parámetros calibrados de numero de curva e infiltración	104
3.22. Metodología de calculo de función objetivo	106
3.23. Resultados de la calibración	109
3.24. Precipitaciones máximas en 24 horas (mm)	112
3.25. Precipitaciones de diseño para diferentes periodos de retorno (mm)	113
3.26. Desagregación de lluvias para periodo de retorno de 5 años	114
3.27. Desagregación de lluvias para periodo de retorno de 10 años	115
3.28. Desagregación de lluvias para periodo de retorno de 25 años	116
3.29. Desagregación de lluvias para periodo de retorno de 50 años	117
3.30. Desagregación de lluvias para periodo de retorno de 100 años	118
4.1. Información a tener en cuenta para el establecimiento de umbrales	126
4.2. Cuadro comparativo de precios de equipos	130
4.3. Presupuesto referencial de instalación	131
4.4. Presupuesto referencial de operación anual	132
4.3. Programación de instalación	125

Lista de figuras

	Pág.
1.1. Pluviómetro Manual tipo cuña	6
1.2. Pluviómetro Automático	7
1.3. Mínimo de pluviómetros en una red de medición	8
1.4. Regla limnimétrica y torno de aforo	11
2.1. Ubicación de la cuenca del río Chillón	24
3.1. Modelo de cuenca HEC-HMS	54
3.2. Ingreso de áreas de cada subcuenca	58
3.3. Ingreso de número de curva e infiltración inicial	74
3.4. Ingreso de parámetros del hidrograma adimensional SCS	75
3.5. Representación de una cuenca mediante el modelo de la onda cinemática	78
3.6. Ingreso de datos de superficies	81
3.7. Ingreso de datos de tramos de río	81
3.8. Flujo Base	82
3.9. Ingreso de flujo base	82
3.10. Tránsito de hidrogramas	83
3.11. Ingreso de parámetros para el método de onda cinemática (tránsito)	85
3.12. Método de los polígonos de Thiessen	87
3.13. Modelo meteorológico	97
3.14. Curva SCS Tipo I para desagregación de lluvias	98
3.15. Ingreso de las precipitaciones desagregadas para cada estación	98
3.16. Ingreso de las especificaciones de control	99
3.17. Ingreso de caudales de la Bocatoma Chillón	102
3.18. Hidrograma calibrado	110
3.19. Tiempo para el pronóstico y reacción	111
3.20. Hidrograma generado para periodo de retorno de 100 años	119
4.1. Pluviómetro automático utilizado en SIAT Piura vía Fax-Módem	122
4.2. Detalle del mecanismo interior de un pluviómetro	122
4.3. Detalle del mecanismo interior de una estación hidrométrica tipo radar	123
4.4. Esquema de operación del Sistema de Alerta Temprana Típico	127
4.5. Esquema de operación del Sistema de Alerta Temprana del río Chillón	127
4.6. Estación Meteodata – Geonica	134
4.7. Pluviómetro automático – Seba	134
4.8. Pluviómetro automático – Sutron	134

Lista de Fotografías

	Pág.
2.1. Zona denominada el Huerto	32
2.2. Inundación en la Urbanización San Diego	34
3.1. Estación pluviométrica automática Arahua	38
3.2. Estación climática ordinaria Canta	39
3.3. Estación pluviométrica Huamantanga	40
3.4. Estación pluviométrica Pariacancha	41
3.5. Estación pluviométrica Huaros	42
3.6. Estación pluviométrica Lachaqui	43
3.7. Estación pluviométrica Puente Magdalena	44
3.8. Estación hidrométrica Puente Magdalena	46
3.9. Estación hidrométrica Larancocha	47
3.10. Estación hidrométrica Pariacancha	48
3.11. Estación hidrométrica Obrajillo	49
3.12. Bocatoma del río Chillón	102

Lista de planos

	Pág.
T-1 Ubicación de estaciones	37
T-2 Topografía de la cuenca	55
T-3 Hidrología de la cuenca	56
T-4 Subcuencas	57
T-5 Tipo de cobertura vegetal	60
T-6 Tipo de suelos	61
T-7 Polígonos de Thiessen	88

INTRODUCCION

La ocurrencia de lluvias en el Perú durante épocas de Fenómeno del Niño, que generan en los ríos costeros un aumento de sus caudales en proporciones mayores a los habituales, sumada a las alteraciones de su cauce (erosión, actividades humanas, arrojamiento de desechos y basura, etc.), son los factores causantes de las inundaciones.

En vista a la gran cantidad de ríos existentes en la costa peruana, se hace necesario el desarrollo e implementación de estrategias que minimicen los daños causados por este fenómeno. Una de estas estrategias es la implementación de sistemas de alerta temprana de inundaciones.

Tomando como ejemplo la cuenca del río Chillón, uno de los ríos del departamento de Lima que constantemente se desborda en épocas de avenidas; se ha desarrollado una metodología para la implementación de un sistema de alerta de inundaciones; que alerte anticipadamente de ocurrencias de inundaciones en la parte baja de esta cuenca, la cual es la zona más poblada y vulnerable.

Esta metodología consiste primero en un análisis de los equipos de medición hidrometeorológica existentes en la cuenca y de los datos que estos proporcionan, para pasar luego a la creación de un modelo hidrológico con la finalidad de simular el comportamiento real del río frente a las precipitaciones en la parte alta de la cuenca y en consecuencia poder realizar predicciones de caudales; finalmente proponer mejoras en cuanto a los sistemas de recopilación

de información, que traen consigo la reducción de tiempos de reacción frente a estos desastres.

El trabajo ha sido dividido en cinco capítulos. En el capítulo 1 se trata acerca de los conceptos básicos referentes a los Sistemas de Alerta Temprana de Inundaciones. En el capítulo 2 se describen las características de la cuenca del río Chillón, las cuales son tomadas en cuenta al momento de realizar el modelamiento hidrológico. En el capítulo 3 en primer lugar se desarrolla una descripción del estado de todas las estaciones existentes en la cuenca; para luego pasar a la explicación de la creación del modelo hidrológico y su calibración, utilizando el HEC-HMS. En el capítulo 4 se describen los componentes y la operación del Sistema de Alerta propuesto, además de la presentación de un presupuesto y el cronograma para la implementación del Sistema. En el capítulo 5 se presentan las conclusiones y recomendaciones del trabajo.

Se espera que este trabajo sirva como ayuda y base para una futura implementación del Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones del río Chillón, así como de otros Sistemas de Alerta Temprana de Inundaciones en diferentes cuencas del país, vulnerables a este fenómeno natural.

CAPÍTULO 1: CONCEPTOS BASICOS

1.1. Objetivos de la Tesis

❖ Objetivo General

El objetivo general de la presente tesis es dar a conocer la importancia de los Sistemas de Alerta Temprana contra Inundaciones en las cuencas de costa.

❖ Objetivos Específicos

Como objetivos específicos se tiene:

- Proponer un Sistema de Alerta Temprana contra Inundaciones para el río Chillón basado en un Modelo Hidrológico.

Plantear una adecuación de los componentes del sistema de alerta como estaciones hidrométricas y pluviométricas.

- Mejorar la calidad de información que se proporcionaría las instancias competentes información oportuna para alertar a la población frente a las crecidas del río Chillón.

1.2. Inundaciones

Una inundación es un proceso de desbordamiento del agua fuera del cauce natural o artificial. Los desastres más devastadores según las estadísticas, se debe a las inundaciones.

Las inundaciones son los fenómenos más letales de los desastres naturales. Las inundaciones representan aproximadamente el 40% de las víctimas de los desastres naturales. Esto es reforzado por el hecho de que más de la mitad de la población mundial vive en las costas y a lo largo de ríos y estuarios.¹

1.2.1. Factores para la ocurrencia de una inundación

Algunos factores que intervienen en la ocurrencia de una inundación son los siguientes:

Lluvias en el Perú los meses más lluviosos son de diciembre a marzo, en la selva se prolonga hasta abril.

Alteración del cauce de los ríos (erosión, actividades humanas, etc.), disminuyendo su capacidad de conducción de las aguas.

Avalanchas, huaycos, deslizamientos.

1.2.2. Efectos provocados por una inundación

Los efectos provocados por una inundación son mencionados a continuación:

Extensas áreas cubiertas de agua.

Erosión de riberas.

Viviendas afectadas.

Interrupción de vías de comunicación.

Pérdidas de bienes y de vidas.

- Pérdidas de áreas de cultivos.

- Enfermedades, plagas.

Escasez de alimentos.

Contaminación del agua.

Erosión del suelo.

Sedimentación excesiva.

- Dificulta el drenaje e impide el empleo productivo de los terrenos.

¹ Página web del Servicio Nacional de Hidrología y Meteorología del Perú: www.senamhi.gob.pe

otros secundarios como: enfermedades, plagas, escasez de alimentación, contaminación del agua.

1.3. Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones

Los sistemas de alerta temprana son estructuras operativas que permiten a la población tomar medidas para minimizar los impactos debido a desastres naturales.

Los sistemas de alerta temprana tienen como objetivo alertar a la población en caso de un fenómeno natural de proporciones tales que pueda causar daños a la población.

Cualquier sistema de este tipo debe satisfacer el criterio operativo de brindar una alerta con suficiente anticipación para que la población pueda tomar las precauciones mínimas necesarias en relación al fenómeno que se aproxima.

1.3.1. Componentes de un Sistema típico de Alerta Temprana de Inundaciones

El siguiente cuadro muestra los componentes del sistema y tipo de respuesta para diferentes clases de cuencas:

Tabla No.1.1: Componentes de un sistema de alerta temprana
Fuente: Aspectos hidrológicos de Alerta de Inundaciones – U.S. Army Corps of Engineers

Tipo de cuenca	Tiempo de alerta	Componentes del Sistema	Respuesta
Riachuelos en montañas pequeñas	< 6 hr	Monitoreo regional, observadores.	Evacuación de emergencia de las planicies de inundación.
Riachuelos, tributarios o pequeños ríos (la mayoría de cuencas)	6 a 24 horas	Estaciones hidrométricas y posiblemente pluviométricas.	Evacuación asistida, conservación de los servicios vitales,

con pendiente suave y áreas de drenaje entre 51.8 y 777 Km ²)		Posiblemente modelo de predicción de caudales, dependiendo de las posibilidades de inversión.	reubicación de propiedades y otras acciones que pueden ser cumplidas en el tiempo de alerta.
Cuencas largas o grandes de ríos importantes	> 24 horas	Monitoreo con estaciones pluviométricas e hidrométricas. Modelos de predicción sofisticados.	Todo lo anterior incluyendo un esfuerzo significativo de lucha contra la inundación.

La cuenca del río Chillón es una cuenca larga de río importante y de acuerdo a la tabla debería contar con estaciones pluviométricas e hidrométricas, modelos de predicción sofisticados, además de un plan de emergencia bien elaborado.

1.4. Elementos de un Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones

Un Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones cuenta con los siguientes elementos:

- Reconocimiento de la Amenaza de Inundación.
Diseminación de Advertencias.
- Respuesta a las Advertencias.

A continuación se detalla cada uno de ellos.

1.4.1. Reconocimiento de la Amenaza de Inundación

El reconocimiento consiste en todas las actividades realizadas para conseguir una identificación temprana, localización, y grado de las situaciones potenciales de inundación.

Los elementos del reconocimiento son:

- Monitoreo.
- Predicción.

1.4.1.1. Monitoreo

El monitoreo consiste en:

- a) Medición y detección de condiciones hidrometeorológicas en la cuenca.
- b) Transmisión de datos obtenidos a la estación central.

El monitoreo puede variar desde una simple estación pluviométrica cuyas mediciones son observadas y comparadas con tablas hasta un sistema elaborado consistente en una red de estaciones pluviométricas e hidrométricas automáticas.

Esto depende del área, de las características hidrometeorológicas y de la capacidad de la comunidad local para operar y mantener el sistema.

a) Medición de datos

a.1.) Estaciones pluviométricas

Los pluviómetros se utilizan para estimar el volumen aproximado de lluvia que cae en cierta área.

a.1.1.) Tipos de pluviómetros

Existen dos tipos de pluviómetros de acuerdo al modo en el que se realizan las mediciones de lluvia:

- Pluviómetros manuales.
- Pluviómetros automáticos.

a.1.1.1.) Pluviómetro manual

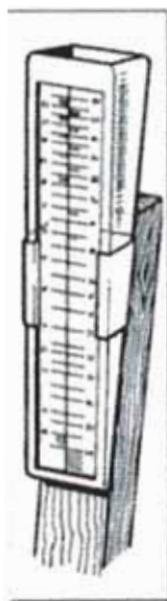
Un pluviómetro manual es un tipo de pluviómetro en el cual la cantidad de precipitación es registrada, almacenada y enviada por un operador a cargo.

Se compone normalmente de un recipiente cilíndrico, abierto y con el eje vertical, que termina por su parte superior en un borde de latón de filo cortante. El cilindro termina por abajo en una especie de embudo cónico, que en su extremidad inferior lleva una espita; al abrir ésta, la lluvia recogida durante un determinado periodo, se transvasa a recipientes graduados.

Conociendo la superficie de la base circular del cilindro se obtiene la cantidad de lluvia caída por unidad de superficie en el terreno de la zona. Dicha cantidad se expresa en milímetros, que representan la altura de la capa de agua caída.

La dimensión normal de la superficie anteriormente citada en estos instrumentos es de $0,1 \text{ m}^2$, por lo que un litro de agua recogida en el recipiente (equivale a 1 dm^3) representa 10 mm. de lluvia. La altura del cilindro normalmente es la necesaria para poder recoger hasta 400 mm. de lluvia.

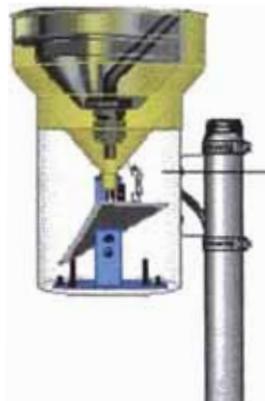
Figura No.1.1: Pluviómetro Manual tipo cuña
Fuente: www.geofiscal.eng.br



a.1.1.2.) Pluviómetro automático

Un pluviómetro automático es un tipo de pluviómetro en el cual la cantidad de precipitación es registrada, almacenada y enviada automáticamente a una estación receptora sin la necesidad de ser operado por una persona. Estos pluviómetros cuentan con una cubeta basculante, la cual genera una entrada digital a un almacenador de datos o transmisor cada vez que cierta cantidad de lluvia (1mm, 2mm, dependiendo del pluviómetro) pasa a través del embudo.

Figura No.1.2: Pluviómetro Automático
Fuente: www.practiciencia.com.ar



a.1.2.) Número de pluviómetros en un Sistema de Alerta de Inundaciones

El número de pluviómetros instalados influye directamente en la calidad de los datos y en la performance del modelo de predicción hidrológica. El número mínimo de pluviómetros a considerarse usualmente es 3. El número máximo de pluviómetros depende de los recursos económicos disponibles y del incremento en el tiempo de alerta que se desea lograr con el aumento de la densidad de estaciones en el área.

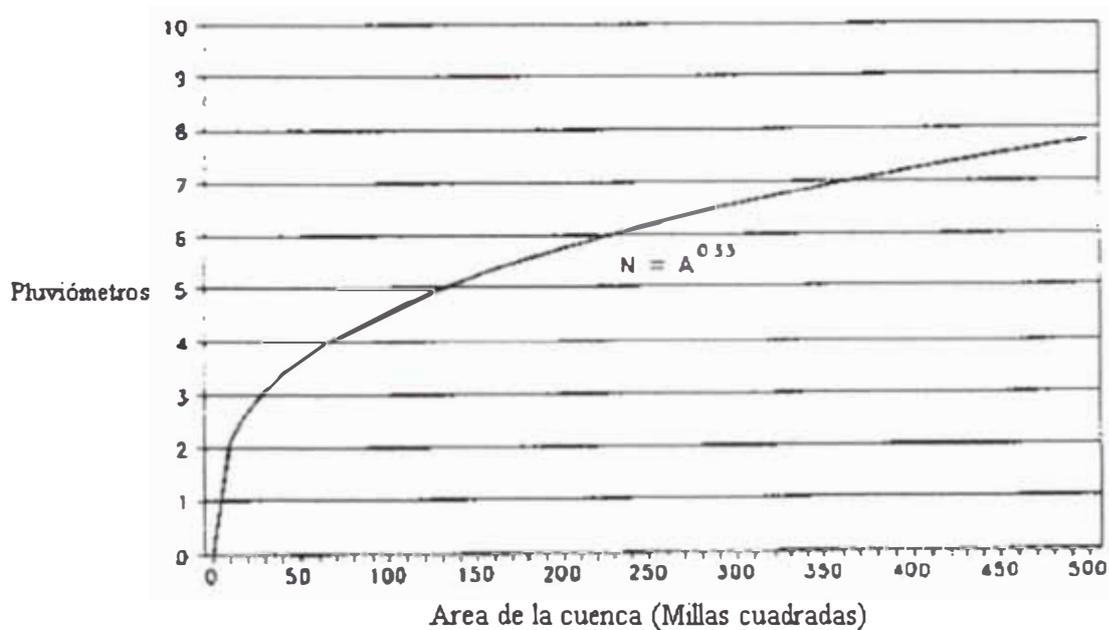
El número de pluviómetros depende también de las condiciones locales. Áreas con fuerte variación de la precipitación requiere un mayor número de pluviómetros para estimar la precipitación en la cuenca apropiadamente. Áreas montañosas requieren más pluviómetros que áreas planas. Áreas expuestas a

tormentas convectivas requieren más pluviómetros que áreas expuestas a tormentas frontales.

El Servicio Nacional del Tiempo de los Estados Unidos, recomienda un mínimo de tres pluviómetros y en ocasiones usa la siguiente relación entre el número mínimo de pluviómetros requeridos (N) y el área de la cuenca (A) en millas cuadradas (Schaaque 1980).²

$$N = A^{0.33} \quad (\text{Ecuación No. 1.1})$$

Figura No.1.3: Mínimo de pluviómetros en una red de medición
Fuente: Aspectos hidrológicos de Alerta de Inundaciones – U.S. Army Corps of Engineers



El Instituto de Tecnología de Massachussets, la Universidad de Stanford y otros han realizado también estudios acerca de la variabilidad espacial de las precipitaciones y el número de pluviómetros necesarios para predecir crecidas. EL siguiente cuadro sugiere el número mínimo de pluviómetro según el área de la cuenca:

² U.S Army Corps of Engineers, Hydrologic Aspects of Flood Warning (1996)

Tabla No. 1.2: Mínimo de pluviómetros respecto al área de la cuenca
Fuente: Manual de Sistemas Automáticos Locales de Alerta de Inundaciones – U.S. National Weather Service

Número de pluviómetros	Área de la cuenca (millas cuadradas)
3	<10
4	100
6	400
8	1000

La Organización Mundial de Meteorología (OMM) recomienda tener como mínimo una densidad de 500 Km²/estación.

a.1.3.) Localización de las estaciones pluviométricas

Deben ser considerados los siguientes factores en la localización de las estaciones³:

- Decisión hidrológica ingenieril, conocimiento de las características de las tormentas y lluvias.
- Requerimientos de la línea de transmisión telemétrica hacia la estación base.

Accesibilidad a la estación para mantenimiento y posible vandalismo.

Pendiente del terreno y efectos orográficos.

Ubicación de pluviómetros existentes.

a.2.) Estaciones hidrométricas

Proveen información acerca del estado actual del sistema de respuesta hidrológico.

Las estaciones hidrométricas pueden variar desde simples reglas limnimétricas, limnigrafos y tomos de aforo, hasta estaciones hidrométricas automáticas que

³ U.S Army Corps of Engineers, Hydrologic Aspects of Flood Warning (1996)

pueden incluir un pozo de aquietamiento o un transductor de presiones medidor de nivel de agua. El transductor de presión mide los cambios de nivel de agua por encima del orificio sensor de presión.

Para sistemas que no cuentan con predicción sofisticada, son solo necesarias estaciones hidrométricas. Esto es especialmente cierto en cuencas donde el tiempo de alerta es suficiente para responder a una emergencia basado en una estación aguas arriba del posible lugar de inundación.

En inundaciones repentinas o locales, las estaciones hidrométricas se vuelven menos importantes y son solamente utilizadas como herramienta de verificación.

a.2.1.) Localización de estaciones hidrométricas

La localización de las estaciones hidrométricas busca satisfacer dos necesidades: requerimientos de alerta pública y predicción hidrológica así como los requerimientos de modelamiento de la cuenca.

A continuación se listan algunas consideraciones en la localización de estaciones hidrométricas para una apropiada operación:

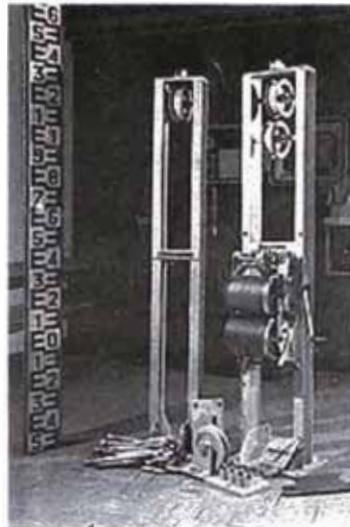
Ubicación sujeta a un lugar con mínima erosión y sedimentación.

Curso general del río, recto 100 m. aguas arriba y aguas abajo de la ubicación de la estación.

Lugar lo suficientemente alejado de la confluencia de otro río o de su influencia.

Además muchos de los aspectos a tener en cuenta en la localización de estaciones pluviométricas, deben ser considerados también en la localización de las estaciones hidrométricas.

Figura No.1.4: Regla limnométrica y torno de aforo
Fuente: www.geofiscal.eng.br



a.3.) Estimación de lluvias por radar

Los radares pueden observar la caída de lluvia sobre grandes áreas. Sin embargo las cantidades estimadas de lluvias sobre áreas específicas son muchas veces imprecisas.

La idea principal es combinar el uso de pluviómetros y el radar debido a que los pluviómetros son precisos para medir la lluvia en un punto y el radar es sensible detectando la extensión areal de la lluvia. Las mediciones en tiempo real de pluviómetros puede ser usada para calibrara las estimaciones del radar para conseguir la mejor estimación del verdadero volumen de lluvia que cae en una cuenca.

a.4.) Predicción meteorológica

Las predicciones del desarrollo de las condiciones meteorológicas son especialmente útiles en dar un inicio adelantado en al análisis las emergencias potenciales.

En cuencas de respuesta rápida, los pronósticos meteorológicos debe ser la única herramienta efectiva para dar las alertas adecuadas de inundaciones.

b) Transmisión de datos obtenidos a la estación central

Diferentes tipos de medio de comunicación son usados para transportar la información desde las locaciones remotas hasta una estación central de procesamiento de datos.

b.1.) Teléfono

Los sistemas telefónicos son frecuentemente usados en los sistemas de colección automática de datos. Los sistemas telefónicos tienen sus ventajas pero no son recomendados para alerta de inundaciones. Estos generalmente colapsan durante tormentas, y ese es el momento cuando se requiere de la máxima integridad del sistema de datos. Además para estaciones remotas, particularmente en montañas o áreas rurales, el acceso telefónico no es disponible.

b.2.) Satélite

La recolección de datos de grandes áreas se realiza utilizando satélites. Las plataformas de recolección de datos pueden estar a cientos o miles de kilómetros de la estación central. Los datos son transmitidos a un satélite en la órbita de la tierra y reenviarlos a una estación receptora en tierra. Un simple satélite puede reenviar datos de cualquier lugar que se encuentre en su área de visión, hacia la estación receptora.

El sistema de satélites de la NOAA está compuesto por satélites geoestacionarios (GOES) para predicción y alerta de corto alcance; y satélites de órbita polar (POES) para predicción de largo alcance. Ambos tipos de satélites son necesarios para contar con un sistema de monitoreo del clima completo y global.

Los datos de los POES ayudan a realizar a un amplia gama de aplicaciones de monitoreo ambiental, incluyendo análisis de clima y predicción, investigación del clima y predicción, medidas de la temperatura de la superficie del océano,

sondeos atmosféricos de la temperatura y humedad, investigación de la dinámica de los océanos monitoreo de erupciones volcánicas, detección de incendios forestales, análisis de la vegetación global, búsqueda y rescate y muchas otras aplicaciones.

Los satélites GOES realizan un tipo de monitoreo continuo necesario para el análisis intensivo de datos. Rodean la tierra en una órbita geosincronizada, esto quiere decir, que orbitan el plano ecuatorial de la tierra a su misma velocidad de rotación. Esto les permite permanecer continuamente sobre una posición en la superficie. El plano de geosincronización está cerca de los 35800 Km. sobre la tierra, lo suficientemente alto para permitir a los satélites obtener una vista completa del planeta.

Los satélites GOES realizan vigilia constante de los fenómenos atmosféricos para condiciones de tiempo severas como tornados, inundaciones, tormentas y huracanes. Cuando se desarrollan esas condiciones, los satélites GOES están hábiles para monitorear el desarrollo de las tormentas y seguir sus movimientos. Las imágenes de satélite GOES también son usadas para estimar lluvias durante tormentas y huracanes y dar alerta de inundaciones; estimar acumulaciones de nieve, etc.

El sistema de satélites comúnmente usado para recolección de datos hidrológicos es el sistema GOES. A horas definidas las plataformas de recolección de datos envían la información al satélite para su inmediato reenvío a la estación en tierra. Generalmente estas transmisiones se realizan cada 3 horas.

El sistema GOES es excelente para información de grandes áreas. Sin embargo, las estaciones de tierra son costosas, por lo que son manejadas por agencias Federales en los Estados Unidos. Para pequeños usuarios de la información los datos son transmitidos desde la estación de tierra por teléfono. El costo, las limitaciones en los tiempos de reporte y las conexiones telefónicas limitan la efectividad del sistema GOES para situaciones críticas como detección de inundaciones repentinas.

b.3.) Radio VHF/UHF

El uso de frecuencias de radio es empleado normalmente cuando las distancias son relativamente cortas. Los sistemas VHF/UHF son llamados sistemas de línea de visión, debido a que es necesaria la no existencia de obstáculos entre dos estaciones. Si existiesen obstáculos como montañas o edificios, se requiere el uso de repetidores de radio.

Los sistemas basados en comunicación radial son usados comúnmente para sistemas de alerta de inundaciones repentinas.

1.4.1.2. Predicción

El sistema de predicción puede estar compuesto por:

Sistemas manuales consistentes en tablas, gráficos y diagramas derivados de precipitaciones e índices de inundación.

Sistemas computarizados que incluyen el manejo de datos, modelamiento y predicción.

Dentro de los sistemas computarizados es muy común el uso de modelos hidrológicos para conseguir las predicciones de los caudales de los ríos.

Un modelo hidrológico comprende un conjunto de abstracciones matemáticas que describen fases relevantes del ciclo hidrológico, con el objetivo de simular numéricamente los procesos identificados en el estudio.

Existen muchos modelos hidrológicos, uno de ellos y posiblemente el más utilizado es el Sistema de Modelamiento Hidrológico (HEC-HMS) creado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE.UU.; este provee una variedad de opciones para simular procesos de precipitación - escurrimiento y también transito de caudales entre otros. Posteriormente se tratará con más detalle acerca de este modelo hidrológico.

La automatización del Sistema de Reconocimiento de la Amenaza reduce el tiempo para las diferentes actividades (transmisión de datos, análisis y preparación de la predicción).

- **Estación Central de Control**

Por lo general, la etapa de predicción se realiza en una estación central donde todos los datos del monitoreo son analizados.

La estación central tiene a su cargo el acopio de datos hidrometeorológicos para su subsecuente análisis. Como tal, juega un papel protagónico en el Sistema de Alerta Temprana, al tener la responsabilidad de indicar a las autoridades municipales, cuerpos de socorro y a la entidad nacional de protección civil la posibilidad de que se manifieste un fenómeno de trascendencia.

1.4.2. Diseminación de Advertencias

La diseminación de la advertencia es el nexo crítico entre el reconocimiento de una posible inundación y la ejecución de acciones de respuesta a la emergencia.

La diseminación de la advertencia consta de tres partes⁴:

- Un criterio para realizar o no la advertencia.

- La formulación de la advertencia.

- La identificación de la audiencia apropiada y los medios (radio, televisión, sirenas, aviso puerta a puerta, etc.).

Cuando las predicciones muestren la inminencia de desbordes se realizará la advertencia. La advertencia deberá incluir detalles precisos de las zonas en peligro y niveles de inundación tales como⁵:

- Localización del desborde.

⁴ M.Sc. Ing. Roberto Campaña Toro, Apuntes de clase Introducción a la Hidráulica Fluvial

⁵ M.Sc. Ing. Roberto Campaña Toro, Apuntes de clase Introducción a la Hidráulica Fluvial

Hora de desborde.

Probable extensión de la inundación.

Reconociendo que algunos fenómenos como las inundaciones pueden predecirse con algún tiempo de antelación, se puede entonces elaborar criterios para la emisión de 4 tipos de advertencias distintas:

Verde:

Cuando existen las condiciones generales para que se presenten fenómenos.

Amarilla:

Cuando se están generando las condiciones específicas para un fenómeno potencialmente grave.

Naranja:

Cuando se han concretado las condiciones necesarias para que se presente el fenómeno y sólo sea cuestión de minutos y horas para que se manifieste el fenómeno.

Roja:

Cuando ya se manifestó el fenómeno y ha causado o está causando daños.

La audiencia apropiada para esta advertencia debe ser la población susceptible a la inundación, los establecimientos de servicios vitales y las instituciones de control.

Un elemento clave en los sistemas de alerta temprana es la manera como los usuarios y oficiales locales son informados de las condiciones peligrosas que se están desarrollando. Las autoridades pueden ser alertadas mediante llamada telefónica o beeper.

Una vez que el personal de emergencia ha sido alertado, entran en juego las técnicas de diseminación en masa. Para esto son herramientas efectivas la radio y la televisión. La diseminación puerta por puerta puede ser usada si existiese tiempo suficiente.

1.4.3. Respuesta a las Advertencias

La respuesta a la emergencia es el plan de acción de la comunidad para responder la potencial amenaza de inundación y minimizar pérdidas de vida y propiedad.

Componentes de un plan de respuesta:

- Evacuación y rescate.
- Reducción del daño.
- Recuperación.
- Información pública.
- Implementación del plan.
- Mantenimiento del plan.

1.4.3.1. Evacuación y rescate

Son parte de la evacuación y rescate las siguientes acciones:

- Identificar áreas a evacuar.
- Desarrollar procedimientos de evacuación.
- Pre-establecer ubicación y logística de centro de operaciones.
- Pre-definir acciones de emergencia.

1.4.3.2. Reducción del daño

Forman parte de la reducción del daño:

- Establecer acciones y procedimientos de emergencia para retrasar o atenuar desbordes.
- Establecer medidas y procedimientos para mantener servicios vitales.
- Establecer medidas de control de tráfico.

1.4.3.3. Recuperación

Mantenimiento de la salud pública.
Reanudación de servicios vitales.
Rehabilitación y Reparación.

1.4.3.4. Información Pública

Educación de la comunidad.
Información de la emergencia.

1.4.3.5. Implementación del Plan

Identificación de recursos necesarios.
Asignación de responsabilidades.
Establecer coordinaciones necesarias.

1.4.3.6. Mantenimiento del plan

Reactualización del plan.
Mejoramiento del plan
- Simulacros del plan

1.5. Sistemas de Alerta Temprana de Inundaciones en la Actualidad

Los sistemas de alerta temprana de inundaciones vienen siendo utilizados en muchas partes del mundo, a continuación se mencionará algunos de ellos:

❖ Estados Unidos

Debido a su adelanto tecnológico, cuenta con Sistemas de Alerta Temprana en muchos de sus estados y con características similares.

El sistema ALERT (Automated Local Evaluation in Real Time), consiste en sensores meteorológicos e hidrológicos, de reporte automático, equipos de comunicación y equipos de computo (software y hardware).

Los sensores ALERT transmiten señales codificadas, generalmente vía radio VHF y UHF, a la estación base. La estación base consiste en un equipo receptor de radio y un microprocesador con el software ALERT, la que recoge las señales codificadas, procesa y las transforma en información hidrometeorológica.

Una larga red de sistemas ALERT forman un sistema IFLOWS (Integrated Flood Observing and Warning System). Estos sistemas sirven como un sistema de recopilación y disseminación de información. Además de recopilar información y procesarla en tiempo real, el software IFLOWS maneja una red interconectada y transfiere información. El sistema IFLOWS se extiende a lo largo de 200 ciudades a través de 13 estados del este.

❖ Nicaragua

Río Escondido

Durante el 2000 y el 2001, el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) instaló cinco estaciones hidrológicas, cada una a un costo de 40,000 dólares, en cinco de los principales afluentes del Río Escondido, en la ciudad de El Rama, las que transmiten datos de manera automática y en tiempo real vía satélite a la

sede de INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales) en Managua. La Administración Nacional Oceanográfica y Atmosférica (NOAA) instaló cinco estaciones meteorológicas en la misma cuenca, las que también transmiten datos en tiempo real.

Río Malacotoya

El Sistema de Alerta Temprana de la cuenca del río Malacotoya fue desarrollado con la asistencia de la agencia NOAA y el INETER. Este sistema beneficia a la comunidad de Malacotoya la cual se ve afectada por las inundaciones del río en la temporada lluviosa. El sistema está apoyado en los datos transmitidos por las estaciones instaladas en la cuenca que transmiten vía satélite, en intervalos de 15 minutos.

❖ México

Sistema de Alerta Hidrometeorología de Acapulco - Guerrero

El Sistema de Alerta de Acapulco se compone de 15 estaciones remotas y dos puestos centrales de registro. Las estaciones están distribuidas en la bahía del puerto y en las regiones conurbadas de Pie de la Cuesta, Ciudad Renacimiento, El Coloso y Aeropuerto. Las 15 estaciones hasta ahora instaladas en Acapulco son exclusivamente para medición de precipitación e intensidad de lluvia. Se tiene previsto instalar 3 estaciones para medir el nivel del agua en los tres ríos principales que escurren hacia la bahía.

El sistema se basa en una computadora, *Telemetría*, que interroga vía radio desde el puesto Central de Registro PCR-1 a cada estación pluviométrica y recoge los datos de lluvia registrados en el último intervalo de 10 minutos. Una vez recibidos, los decodifica, analiza y finalmente los despliega en pantalla en forma tabular. El sistema consta además de un programa que se ejecuta en la computadora Hidráulica, el cual efectúa el análisis de los datos de lluvia recopilados por la computadora *Telemetría*.

Esta compuesta además por una estación base (EB)(microcomputador PC) responsable de la recolección de datos de las estaciones remotas (ER). Esta comunicación ocurre por medio de líneas privadas y sistema de radio VHF. La EB interroga a las ER con una frecuencia fijada por el operador, en este caso cada 10 minutos. El conjunto de informaciones enviadas a la EB de Alto Tiete consiste en datos de lectura de los instrumentos de medida de nivel de los ríos y reservorios e índices pluviométricos que son recolectados por las ER.

❖ Perú

Sistema de Alerta Temprana del Río Piura

El SIAT incluyó la implementación de una Red de Telemetría la cual, conecta 30 estaciones instaladas en puntos estratégicos de la cuenca del río Piura, equipadas con material de medición pluviométrica e hidrométrica, una antena retransmisora y una estación central ubicada en la Ciudad de Piura donde se analiza y procesa la información con el modelo hidrológico NAXOS - PRAEDICT

Los resultados del Modelo permiten realizar el pronóstico de avenidas en la Cuenca del río Piura. La alerta se transmite oportunamente al Centro de Información Regional (CIR) en el CTAR- PIURA, para la toma de decisiones a través de sus organismos y al Sistema de Defensa Civil, apoyando en las decisiones, para mitigar el impacto negativo en las zonas más vulnerables.

CAPITULO 2: CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA DEL RIO CHILLON

2.1. Ubicación

La cuenca del río Chillón esta ubicada en el departamento de Lima, ocupando parte de la provincia de Lima y la totalidad de la provincia de Canta; entre las coordenadas geográficas: 11°15' a 12°00' de latitud sur y 76°25' a 77°10' longitud oeste y con altitudes que oscilan entre los 0 m.s.n.m. en el límite del Océano Pacífico, y los 5000 m.s.n.m., en la cordillera La Viuda.

El ámbito de la cuenca abarca una extensión de 2444 Km² de los cuales 1089 Km² (46%) corresponden a la denominada Cuenca Húmeda. Limita por el norte con la cuenca del río Chancay-Huaral; por el este con la cuenca del río Mantaro; por el sur, con la cuenca del río Rímac y por el oeste, con el océano Pacífico.⁶

Los distritos que se encuentran enmarcados dentro de la cuenca son: Arahua, Canta, Huamantanga, Huaros, Lachaqui, San Buenaventura y Santa Rosa de Quites pertenecientes a la provincia de Canta; Carabaylo, Puente Piedra, Ventanilla, parte de Coma, San Martín de Porres y Los Olivos, pertenecientes a la provincia de Lima.⁷

2.2. Hidrografía

El río Chillón recorre una distancia de 126 Km. y presenta una pendiente promedio de 3.85%. En su curso superior, hasta la localidad de Canta, tiene una pendiente de 6%; en su curso medio, de la localidad de Canta a la de Santa Rosa de Quites, una pendiente de 5% y, en su curso inferior, a partir de Santa Rosa de Quites, en donde el valle empieza a abrirse, la pendiente disminuye a 2%.⁸

⁶ Centro de Información y Desarrollo Integral de Autogestión, La Cuenca del Río Chillón

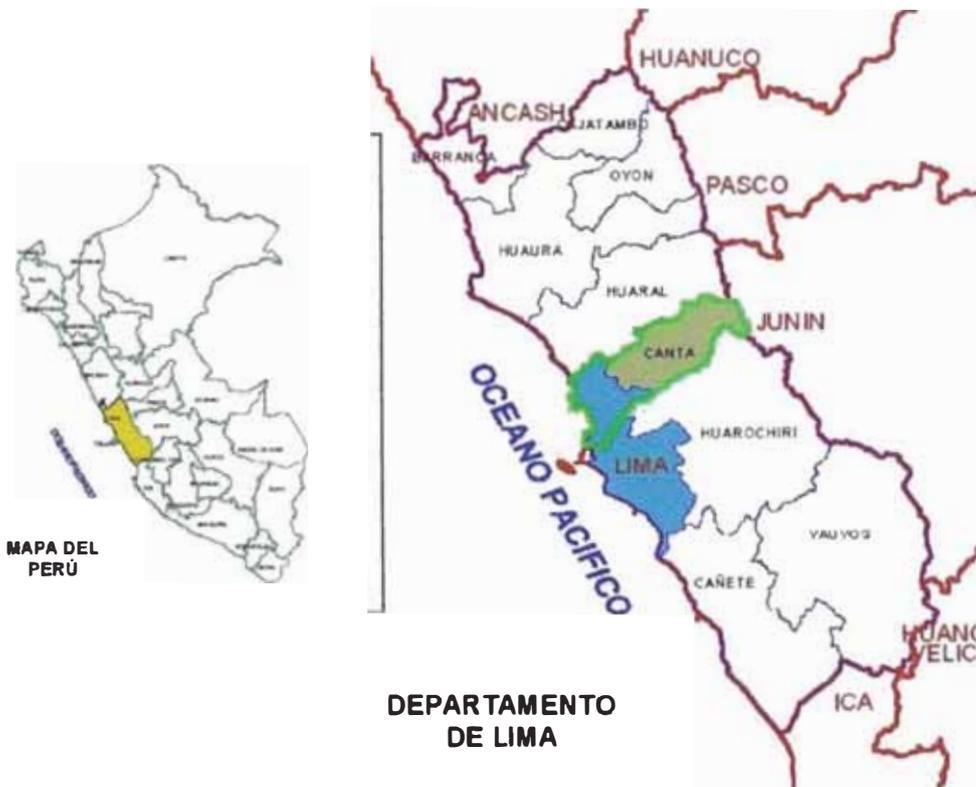
⁷ Centro de Información y Desarrollo Integral de Autogestión, La Cuenca del Río Chillón

⁸ ONERN, Inventario y Evaluación de los Recursos Naturales del Proyecto Marcapomacocha

El relieve general de la cuenca es el que caracteriza a la mayoría de los ríos de la vertiente Occidental, es decir, el de una hoya hidrográfica alargada, de fondo profundo y quebrado y de pendiente fuerte; presenta una fisiografía escarpada y en partes abruptas, cortada por quebradas de fuerte pendiente y estrechas gargantas. La cuenca se encuentra limitada por cadenas de cerros que en dirección hacia aguas abajo muestran un descenso sostenido del nivel de cumbres. La parte superior de la cuenca alta presenta un gran número de lagunas, originadas por la reducida pendiente, lo que ha permitido el represamiento parcial del escurrimiento superficial, fenómeno que se ve favorecido, además por la presencia de nevados⁹.

El río Chillón, en su recorrido, recibe el aporte de varios ríos o quebradas, siendo las más importantes Olivar, Trapiche, Socos, Tararacra, Hurimayo, Huancho, Yamecoto y Acocancha, por la margen derecha, y Culebras y Arahuy, por la margen izquierda, siendo esta última la mas importante de toda la cuenca¹⁰.

Figura No. 2.1. Ubicación de la cuenca del río Chillón



⁹ ONERN, Inventario y Evaluación de los Recursos Naturales del Proyecto Marcapomacocha
¹⁰ ONERN, Inventario y Evaluación de los Recursos Naturales del Proyecto Marcapomacocha

Tabla No.2.1: Características de la red hidrográfica de la Cuenca del Río Chillón
Fuente: Inventario y Evaluación de los Recursos Naturales de la zona del Proyecto
Marcapomacocha -ONERN

Nombre del Río	Extensión de la Cuenca			Longitud (Km.)	Pendiente (%)
	Húmeda (Km ²)	Seca (Km ²)	Total (Km ²)		
1. Chillón	1039	1405	2444	126	3.85
a. Culebras	-	178	178	22	9.73
b. Arahuay	316	62	378	43	7.91
c. Olivar	-	74	74	14	9.29
d. Trapiche	-	42	42	17	5.18
e. Socos	19	168	187	27	7.78
f. Tararacra	38	15	53	17	15.29
g. Hurimayo	40	5	45	14	21.79
h. Huancho	59	-	59	17	12.35
i. Yamecoto	50	-	50	13	15.00
j. Acocancha	48	-	48	12	12.00
2. Chillón en Puente Magdalena	1010	231	1241	76	5.13

Tabla No.2.2: Ciclo Hidrológico del Río Chillón
Fuente: Inventario y Evaluación de los Recursos Naturales de la zona del Proyecto
Marcapomacocha -ONERN

Descripción	Periodo de Avenidas		Periodo Transicional		Periodo de Estiaje		Periodo Transicional	
	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final
Fecha Promedio	18 Ene.	7 Abr.		11 May.		5 Dic.		18 Ene.
Desviación Standard (días)	22.6	18.5		20.1		32.2		22.6
Fecha anterior al 95%	12 Dic.	7 Mar.		8 Abr.		13 Oct.		12 Dic.
Fecha posterior al 95%	24 Feb.	7 May.		13 Jun.		27 Ene.		24 Feb.
Rango de Variación (90%)	74 días	61 días		66 días		106 días		74 días
Duración Media (meses)	2 ½		1		7		1 ½	
Volumen Descargado (%)	58		14		17		11	
Modulo (m ³ /seg.)	24.23		10.01		2.70		8.83	

2.3. Geología y uso actual de suelos

Se considera que la cuenca tuvo inicialmente una ubicación en forma longitudinal a la actual cordillera de los Andes, depositándose en ella sedimentos de procedencia marina y continental. Posteriormente estos fueron modificándose por efectos tectónicos como consecuencia del emplazamiento del Batolito de la Costa y de los procesos orogénicos y epirogénicos que generaron fuerzas de tensión y compresión, cuya evidencia constituye el levantamiento de la cordillera de los Andes y las estructuras geológicas resultantes, tales como fallas, pliegues, sobreescurremientos, etc. Estas cadenas de montañas resultantes fueron erosionadas antes que se depositaran las capas rojas y conglomerados terciarios, así como las lavas y piroclastos terciarios y cuaternarios, habiéndose alcanzado por procesos de relleno y asentamiento la nivelación casi compleja de la región. De la deformación de estos sedimentos se produjo un segundo sistema de cordilleras, que es el paisaje actual.¹¹

Los siguientes suelos pertenecen a la cuenca del río Chillón:

2.3.1. Fluvisol éútrico (irrigado)

Suelos con relieve topográfico predominantemente plano, presentan morfología estratificada, habiéndose formado sobre depósitos recientes de origen aluvial, son suelos aluviales irrigados de drenaje libre.

Tabla No.2.3: Perfil de suelo fluvisol éútrico (irrigado)

Horizonte	Prof./cm.	Textura y color
Ap	0 – 30	Franco, pardo grisáceo oscuro.
AC	30 – 55	Franco, pardo grisáceo muy oscuro.
C	55 + 110	Arena franca con grava y guijarros angulares y subangulares en un 50%.

¹¹ Centro de Información y Desarrollo Integral de Autogestión, La Cuenca del Río Chillón

2.3.2. Fluvisol éútrico (seco)

Son suelos formados por los rellenos aluviónicos del Cuaternario, generados por las corrientes de curso intermitente, quebradas secas y pampas eriazas que se hallan enmarcadas en los valles o vecinos a estos.

Tabla No.2.4: Perfil de suelo fluvisol éútrico (seco)

Horizonte	Prof./cm.	Textura y color
C1	0 – 75	Arena franca, pardo.
C2	75 – 95	Arena, pardo oscuro.
C3	95 – 140	Arena franca, pardo oscuro.

2.3.3. Andosol vítrico

Son suelos originados a partir de materiales vítricos que contienen alto porcentaje de cenizas volcánicas vítricas, escorias u otros materiales piroclásticos en las fracciones de suelo, de color pardo a pardo oscuro y con más de 1% de materia orgánica. El perfil es de textura franca y con presencia de fragmentos gruesos.

Se presentan tanto en topografía plana como en topografía accidentada.

Tabla No.2.5: Perfil de suelo andosol vítrico

Horizonte	Prof./cm.	Textura y color
Ap	0 – 35	Franco, pardo a pardo oscuro.
C1	35 – 45	Franco, pardo amarillento.
C2	45 – 110	Franco, pardo amarillento.
C3	110 – 270	Franco, pardo amarillento.

2.3.4. Paramosol Andosol

Este suelo se ha desarrollado a partir de materiales volcánicos complejos, bajo condiciones climáticas frío húmedas, por encima de los 4000 m.s.n.m.

Tiene un potencial agrícola limitado debido a la inclemencia del clima, por lo que algunas áreas son utilizadas en la actividad pecuaria lanar extensiva y temporal.

Tabla No.2.6: Perfil de suelo paramosol andosol

Horizonte	Prof./cm.	Textura y color
A1	0 – 20	Franco, de color pardo oscuro.
(B)	20 – 40	Franco arcillo arenoso, de color pardo.
C	40 – 80	Franco arenoso, de color pardo amarillento oscuro.

2.3.5. Litosol andino dístico

Son suelos con perfil (A) CR o (A) R. Están ampliamente distribuidas en toda la cuenca, extendiéndose a partir de los 2800 metros de elevación. Litológicamente se desarrollan sobre materiales predominantemente volcánicos (andesitas, tufos, brechas, etc.).

2.3.6. Litosol desértico

Son suelos con perfiles (A) CR o (A) R. El horizonte (A) es muy delgado, pálido (ócrico) y generalmente, gravo-pedregoso, descansando sobre roca consolidada o detritus rocoso.

La topografía es abrupta, con pendientes dominantes de mas de 70%. Se extiende desde los 300 m.s.n.m hasta aproximadamente 2600 m.s.n.m.

Tabla No.2.7: Perfil de suelo lltosol desértico

Horizonte	Prof./cm.	Textura y color
A	0 – 20	Franco arenoso, de color pardo claro a pardo oliva.
R	20 – +	Roca (arenisca).

2.3.7. Paramosol éútrico

Son suelos con perfil A, AC, C o A (B) C; el horizonte A es oscuro y prominente (epipedón mólico), bien dotado de materia orgánica, mientras que el horizonte B es de matices pardos, con débil estructuración. Se presentan como inclusiones en la parte alta de la cuenca, en altitudes de 3800 m.s.n.m., con relieves relativamente suaves y desarrollados sobre materiales sedimentarios.

Tabla No.2.8: Perfil de suelo paramosol éútrico

Horizonte	Prof./cm.	Textura y color
A	0 – 20	Franco, pardo rojizo oscuro.
AC	20 – 40	Franco, pardo rojizo oscuro.
C	40 – +200	Franco, pardo rojizo oscuro.

❖ Textura de suelo y cobertura vegetal

Tabla No. 2.9: Textura y biología de las diferentes formaciones ecológicas de la cuenca del Río Chillón

Formación ecológica	Textura	Biología
Área agrícola de valle (0 – 1200 m.s.n.m.)	Moderadamente fina a gruesa, de drenaje muy pobre.	Vegetación consistente en plantas cultivadas.
Área agrícola de quebrada (600 – 800 m.s.n.m.)	Gruesa a moderadamente gruesa.	Plantas cultivadas y monte ribereño.

Pampas y colinas pre-áridas (0 – 800 m.s.n.m.)	Variable con predominancia de arena y grava.	La vegetación en su mayoría compuesta por tillandsias.
Pampas eriazas (0 – 800 m.s.n.m.)	Media a gruesa.	La vegetación en su mayoría compuesta por tillandsias.
Área agrícola de quebrada y piedemonte (800 – 2200 m.s.n.m.)	Media a fina.	Cultivos alimenticios por lo general frutas.
Montañas áridas (800 – 2200 m.s.n.m.)	Media.	Vegetación natural xerofítica variada.
Área agrícola de ladera (2200 – 3100 m.s.n.m.)	Media y de buen drenaje.	Cultivos alimenticios, pastos cultivados y plantaciones de eucaliptos.
Montañas semi-áridas (2200 – 3100 m.s.n.m.)	Media y de buen drenaje.	Cactáceas, árboles y gramíneas forrajeras, arbustos.
Área agrícola de ladera (3100 – 3800 m.s.n.m.)	Media y de buen drenaje.	Cultivos alimenticios, pastos cultivados y plantaciones de eucaliptos.
Montañas subhúmedas (3100 – 3800 m.s.n.m.)	Media y de buen drenaje.	Vegetación natural herbácea en laderas, arbórea y arbustiva en cauces y quebradas.
Praderas y montañas subhúmedas (3800 – 4800 m.s.n.m.)	Media, de drenaje imperfecto a bueno.	Vegetación consistente en gramíneas forrajeras.
Bosques residuales (3800 – 4200 m.s.n.m.)	Media, de drenaje imperfecto a bueno.	Especies arbustivas y arbóreas de quinuales.
Montañas pluviales y glaciares (4800 – 5000 m.s.n.m.)	Media, de drenaje imperfecto a bueno.	Especies de porte cespitoso y almohadillas.

2.4. Antecedentes de Inundaciones

Dada la configuración de la región de Lima, podemos decir que es muy vulnerable a los efectos del Fenómeno del Niño que se manifiestan por el aumento de la temperatura del mar y el receso de los vientos alisios, que originan fuertes lluvias, inundaciones y huaycos, etc., en las zonas alto-andinas de la región y maretaños en las áreas costeras.

En general durante este fenómeno, todas las cuencas hidrográficas de Lima aumentan su caudal, poniendo en peligro a las poblaciones y originan desabastecimiento, por el bloqueo de carreteras.

Coincidentemente la mayoría de los eventos abajo enunciados, sucedieron por efecto de este fenómeno.

- **Año 1891**

El 23 de marzo de este año el desborde del río Chillón debido al Fenómeno del Niño, que invade la línea del tren a Ancón. La hacienda Infantas y el puente Chillón fueron destruidos.

Los primeros días de abril, el río Carabayllo se desborda, debido a esto, fundo Gallinazo situado a la altura del Km. 26 de la Panamericana Norte desaparece.

- **Año 1925**

Se producen inundaciones que afectaron a las poblaciones ubicadas en las riberas del río Chillón, debido a esto se forman nuevos asentamientos donde se reubican a los damnificados y pobladores rurales. La precipitación en Lima llegó hasta los 200 mm.

- **Año 1970**

Se producen desbordes que inundaron gran parte de tierras de cultivos y viviendas del Sector Chillón Bajo. Las inundaciones se debieron a intensas precipitaciones en la parte alta de la cuenca y excepcionales precipitaciones en la parte baja. El agua alcanzó una altura de 1.2 m.

- **Año 1972**

Debido a inundaciones se presentan daños en la agricultura con la destrucción de 179 Has. y 19 bocatomas de canales de riego. Inclusive existieron pérdidas de vidas humanas en asentamientos poblacionales.

- **Año 1975**

Desborde en la zona denominada El Huerto.

Fotografía No. 2.1: Zona denominada El Huerto



- **Año 1997**

Desbordamiento del río en la parte baja de la cuenca; cuya fuerza prácticamente carcomió parte de las riberas ensanchando el cauce del río. Por lo menos diez hectáreas de cultivo fueron arrasadas.

- **Año 1998**

La vía Lima-Canta fue seriamente afectada por huaicos y desbordes del río Chillón, además dos puentes fueron destruidos y varios tramos de la vía quedaron enterrados bajo lodo y piedras.

- **Año 2001**

El populoso distrito de San Martín de Porres sufrió la inundación de un millar de casas en la Urbanización San Diego; el río Chillón se desbordó por su ribera izquierda debido a la falla del dique, inundando una área de unas 15 cuadras de largo por dos de ancho, llegando el agua en algunos casos a medio metro de altura, y en otros hasta el techo. Los damnificados en San Diego fueron 1200 personas.

El desborde afectó además viviendas y cultivos en los distritos de Lachaqui y Huaros, en las estribaciones de la cordillera de los Andes. Además deslizamientos de lodo y rocas bloquearon la carretera principal de la zona, que incomunicaron Lachaqui y Huaros.

Fotografía No. 2.2: Inundación en la Urbanización San Diego



CAPITULO 3: MODELAMIENTO HIDROLOGICO DE LA CUENCA DEL RIO CHILLON

Un sistema hidrológico se define como una estructura o volumen en el espacio, rodeada por una frontera, que acepta agua y otras entradas, opera en ellas internamente y las produce como salidas.¹²

El objetivo de un modelamiento hidrológico es encontrar relaciones entre las entradas y las salidas que simulen adecuadamente lo que ocurre en el sistema hidrológico real, despreciando aspectos poco significativos desde un punto de vista práctico.

Un modelo hidrológico comprende un conjunto de abstracciones matemáticas que describen fases relevantes del ciclo hidrológico, con el objetivo de simular numéricamente los procesos identificados en el estudio.

Los modelos hidrológicos pretenden reproducir matemáticamente el fenómeno de transformación de lluvia en caudal. Tienen la ventaja de poder simular aceptablemente el proceso hidrológico de la generación de la avenida, si se estiman satisfactoriamente los parámetros necesarios. Su principal limitación es precisamente la elección adecuada de los parámetros, errores en esta etapa, inducen a obtener resultados que no corresponden a la realidad.

3.1. Red Hidrometeorológica

Para desarrollar el modelo hidrológico de la cuenca del río Chillón es necesario conocer la procedencia de la información hidrológica a utilizar.

La cuenca del río Chillón cuenta con diversas estaciones para la medición de precipitaciones y caudales; las cuales fueron visitadas con el fin de realizar un análisis de su estado y proponer mejoras de ser necesario.

¹² Ven Te Chow, Hidrología Aplicada

3.1.1. Estaciones Pluviométricas

En la siguiente tabla se enumeran las estaciones pluviométricas, que se encuentran en la cuenca.

Tabla 3.1: Estaciones pluviométricas ubicadas en la cuenca del río Chillón

Estación	Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m.)	Provincia	Distrito
Arahuay	11° 37'	76° 42'	2800	Canta	Arahuay
Canta	11° 28'	76° 37'	2832	Canta	Canta
Huamantanga	11° 30'	76° 45'	3400	Canta	Huamantanga
Pariacancha	11° 23'	76° 30'	3800	Canta	Huaros
Huaros	11° 24'	76° 34'	3585	Canta	Huaros
Lachaqui	11° 33'	76° 37'	3668	Canta	Lachaqui
Pte. Magdalena	11° 42'	76° 51'	1000	Canta	Sta. Rosa de Quives

Para realizar el modelamiento hidrológico, se utilizaron los registros de precipitación total diaria de todas las estaciones, los días 7, 8 y 9 de marzo del 2003 (fechas donde se genera el mayor caudal del año 2003).

Para realizar la generación de máximas avenidas para diferentes periodos de retorno se utilizó los registros de precipitación máxima en 24 horas, desde el año 1992 hasta el año 2003.

Estación pluviométrica Arahuary

- **Ubicación:** Se encuentra ubicada en la localidad de Arahuary, en el colegio de la localidad.
- **Coordenadas:** 11°37' Latitud y 76°42' Longitud
- **Altitud:** 2800 m.s.n.m.
- **Equipamiento:** Cuenta con un pluviómetro automático y un almacenador de datos; protegido por mallas de acero.
- **Comunicación:** Esta estación no cuenta con transmisión automática, por lo que los datos de lluvias solamente son almacenados hasta que personal del Senamhi tome nota de ellos.
- **Estado actual:** En funcionamiento

Fotografía 3.1: Estación pluviométrica automática Arahuary



Estación Climatológica Ordinaria Canta

- **Ubicación:** Esta ubicada en la localidad de Canta, en el morro Canchón.
- **Coordenadas:** 11°28' Latitud y 76°37' Longitud.
- **Altitud:** 2832 m.s.n.m.
- **Equipamiento:** Cuenta con diversos dispositivos para medir parámetros climatológicos (velocidad y dirección del viento, humedad, temperatura, precipitación, etc.) dentro de los cuales se encuentra el pluviómetro manual.
- **Comunicación:** La comunicación con la estación central se realiza vía línea telefónica.
- **Estado actual:** En funcionamiento

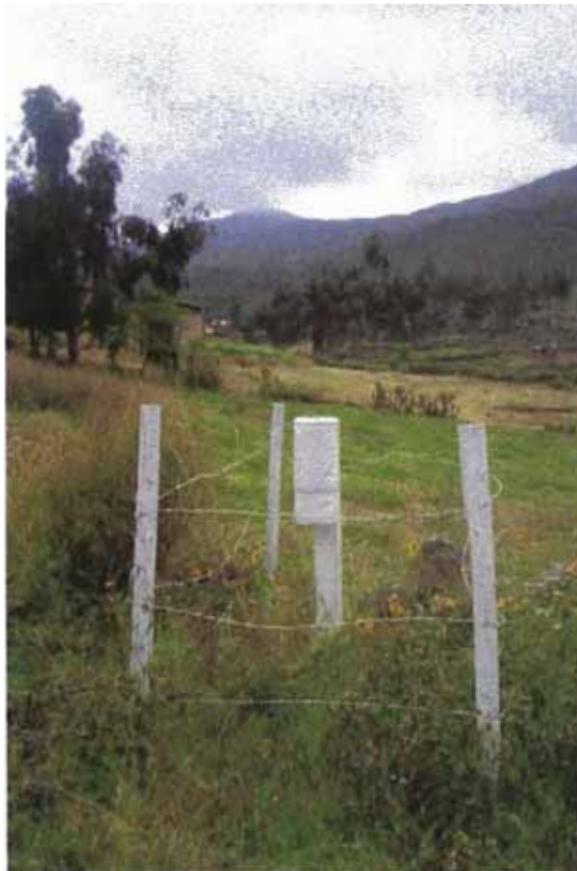
Fotografía 3.2: Estación climatológica ordinaria Canta



Estación pluviométrica Huamantanga

- **Ubicación:** Se encuentra ubicada en la localidad de Huamantanga, en una zona plana a la derecha del camino de entrada a la localidad.
- **Coordenadas:** 11°30' Latitud y 76°45' Longitud
- **Altitud:** 3400 m.s.n.m.
- **Equipamiento:** Cuenta solamente con un pluviómetro convencional protegido por alambre de púas.
- **Comunicación:** En esta estación no se cuenta con radio ni línea telefónica para la comunicación con la estación central del Senamhi, las cartillas con la información pluviométrica son llevadas a Lima posteriormente, cada fin de mes.
- **Estado actual:** En funcionamiento

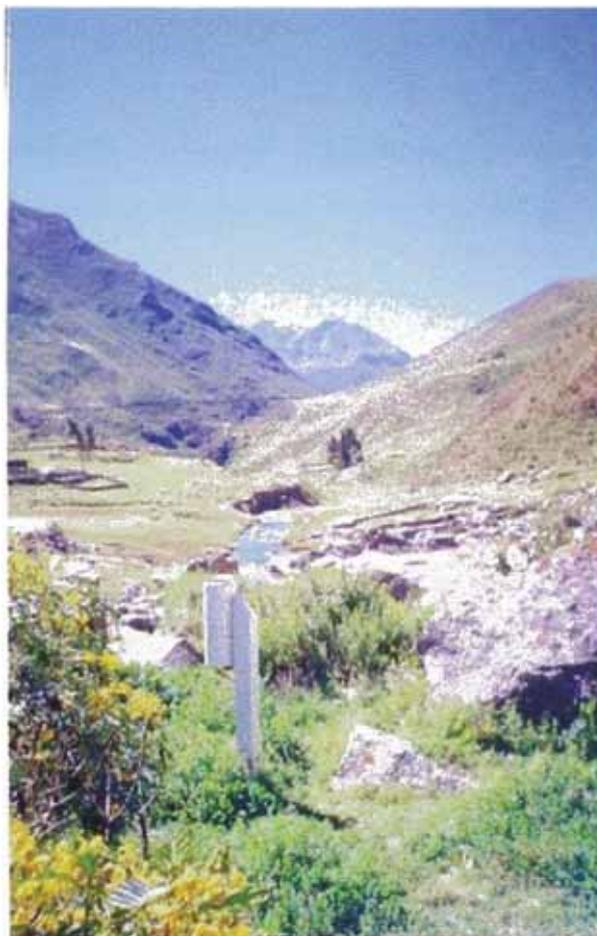
Fotografía 3.3: Estación pluviométrica Huamantanga



Estación pluviométrica Pariacancha

- **Ubicación:** Se encuentra ubicada a 3000 m. aguas arriba de la localidad de Cullhuay, muy cercana a la estación hidrométrica del mismo nombre.
- **Coordenadas:** 11°24' Latitud y 76°38' Longitud
- **Altitud:** 3800 m.s.n.m.
- **Equipamiento:** Cuenta solamente con un pluviómetro convencional.
- **Comunicación:** En esta estación no se cuenta con radio ni línea telefónica para la comunicación con la estación central del Senamhi, las cartillas con la información pluviométrica son llevadas a Lima posteriormente, cada fin de mes.
- **Estado actual:** En funcionamiento

Fotografía 3.4: Estación pluviométrica Pariacancha



Estación pluviométrica Huaros

- **Ubicación:** Se encuentra ubicada en la localidad de Huaros, en el Centro de salud de la localidad.
- **Coordenadas:** 11°14' Latitud y 76°34' Longitud
- **Altitud:** 3585 m.s.n.m.
- **Equipamiento:** Es una de las estaciones meteorológicas automáticas de la red del Senamhi. Cuenta con diversos dispositivos para medir parámetros climatológicos (temperatura del aire, humedad, presión atmosférica, precipitación, etc.). Las mediciones de precipitación se realizan cada hora, mediante un pluviómetro automático. Se encuentra también el pluviómetro convencional con el que se realizaban las antiguas mediciones de precipitación.
- **Comunicación:** Telemetría
- **Estado actual:** En funcionamiento

Fotografía 3.5: Estación pluviométrica Huaros



Estación pluviométrica Lachaqui

- **Ubicación:** Se encuentra ubicada en la localidad de Lachaqui, en la zona alta del pueblo, cercana a la acequia.
- **Coordenadas:** 11°33' Latitud y 76°37' Longitud
- **Altitud:** 3668 m.s.n.m.
- **Equipamiento:** Cuenta solamente con un pluviómetro convencional protegido por mallas de acero.
- **Comunicación:** En esta estación no se cuenta con radio ni línea telefónica para la comunicación con la estación central del Senamhi, las cartillas con la información pluviométrica son llevadas a Lima posteriormente, cada fin de mes.
- **Estado actual:** En funcionamiento

Fotografía 3.6: Estación pluviométrica Lachaqui



Estación pluviométrica Puente Magdalena

- **Ubicación:** Esta estación se encuentra ubicada a menos de 1 Km. aguas arriba de la localidad de Yangas a la margen derecha del río, en el Puente Magdalena.
- **Coordenadas:** 11°42' Latitud y 76°51' Longitud
- **Altitud:** 1000 m.s.n.m.
- **Equipamiento:** Es una de las estaciones meteorológicas automáticas de la red del Senamhi. Cuenta con diversos dispositivos para medir parámetros climatológicos (temperatura del aire, humedad, presión atmosférica, precipitación, etc.). Las mediciones de precipitación se realizan cada hora, mediante un pluviómetro automático.
- **Comunicación:** Telemetría
- **Estado actual:** En funcionamiento

Fotografía 3.7: Estación pluviométrica Puente Magdalena



3.1.2. Estaciones Hidrométricas

En la siguiente tabla se muestra las estaciones hidrométricas que existen en la cuenca. Todas estas estaciones se encuentran operativas a excepción de las estaciones Pte. Huarabí y Larancocha, que se encuentran desactivadas.

Tabla 3.2: Estaciones hidrométricas ubicadas en la cuenca del río Chillón

Estación	Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m.)	Provincia	Distrito
Pte. Huarabí	11° 40'	76° 52'	800	Canta	Sta. Rosa de Quives
Pte. Magdalena	11° 42'	76° 51'	950	Canta	Sta. Rosa de Quives
Larancocha	11° 41'	76° 48'	1181	Canta	Sta. Rosa de Quives
Obrajillo	11°27'	76° 38'	2700	Canta	Canta
Pariacancha	11° 24'	76° 31'	3800	Canta	Huaros

Los registros hidrométricos que se utilizaron para la calibración del modelo, son los correspondientes a lecturas de caudales tomados en la Bocatoma Chillón, en los días 7, 8 y 9 de marzo del 2003; días donde se produjeron las máximas avenidas del año 2003.

No se utilizaron registros hidrométricos de las estaciones antes mencionadas por encontrarse en la parte alta y media de la cuenca, y se necesita un punto de comparación en la parte baja de la cuenca.

Estación hidrométrica Puente Magdalena

- **Ubicación:** Esta estación se encuentra ubicada a menos de 1 Km. aguas arriba de la localidad de Yangas a la margen derecha del río, en el Puente Magdalena.
- **Coordenadas:** 11°42' Latitud y 76°51' Longitud
- **Altitud:** 950 m.s.n.m.
- **Equipamiento:** Cuenta con una mira de 2 m. de altura que se encuentra ubicada en la margen derecha. También cuenta con un limnógrafo cercano a la mira limnimétrica. Además se ha instalado un sensor tipo radar para la medición automática del tirante del río.
- **Función:** Instalada con el propósito de determinar las disponibilidades de agua para riego en la cabecera del valle del Chillón.
- **Comunicación:** Telemetría
- **Estado actual:** En funcionamiento

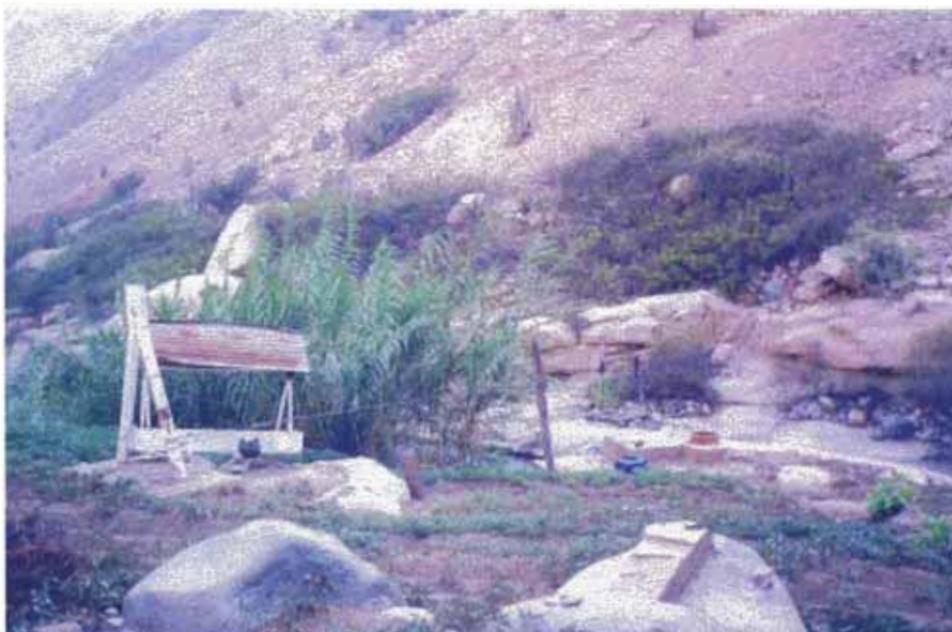
Fotografía 3.8: Estación hidrométrica Puente Magdalena



Estación hidrométrica Larancocha

- **Ubicación:** Esta estación se encuentra ubicada a 1500 m. aguas debajo de la localidad de Santa Rosa de Quives y a 2000 m. de la confluencia con la quebrada Arahuay. La sección de aforos se encuentra en un tramo encañonado y estable del río, de 8 m. de ancho.
- **Coordenadas:** 11°41' Latitud y 76°48' Longitud
- **Altitud:** 1181 m.s.n.m.
- **Equipamiento:** La estación consta con un huaro con carro-carril; una regla limnimétrica que se encuentra en mal estado, al margen izquierdo y es leída con dificultad. Se puede notar además que existía un limnógrafo que ya ha sido desinstalado.
- **Función:** Fue instalada con el propósito de determinar las disponibilidades de agua para el riego en la cabecera del valle del Chillón.
- **Estado actual:** Clausurada

Fotografía 3.9: Estación hidrométrica Larancocha



Estación hidrométrica Parlacancha

- **Ubicación:** Se encuentra ubicada a 3000 m. aguas arriba de la localidad de Cullhuay, junto a un puente pequeño y en una sección estable del río.
- **Coordenadas:** 11°24' Latitud y 76°38' Longitud
- **Altitud:** 3800 m.s.n.m.
- **Equipamiento:** Cuenta con una mira de 2 m. de altura, que se encuentra ubicada en la margen derecha y es leída si ninguna dificultad, por un observador que vive a 50 m. de distancia.
- **Función:** Fue instalada con el propósito de conocer el aporte de los deshielos de los nevados y desagües de las lagunas, localizados en la cuenca alta.
- **Comunicación:** En esta estación no se cuenta con radio ni línea telefónica para la comunicación con la estación central del Senamhi, las cartillas son llevadas a Lima posteriormente.
- **Estado actual:** En funcionamiento

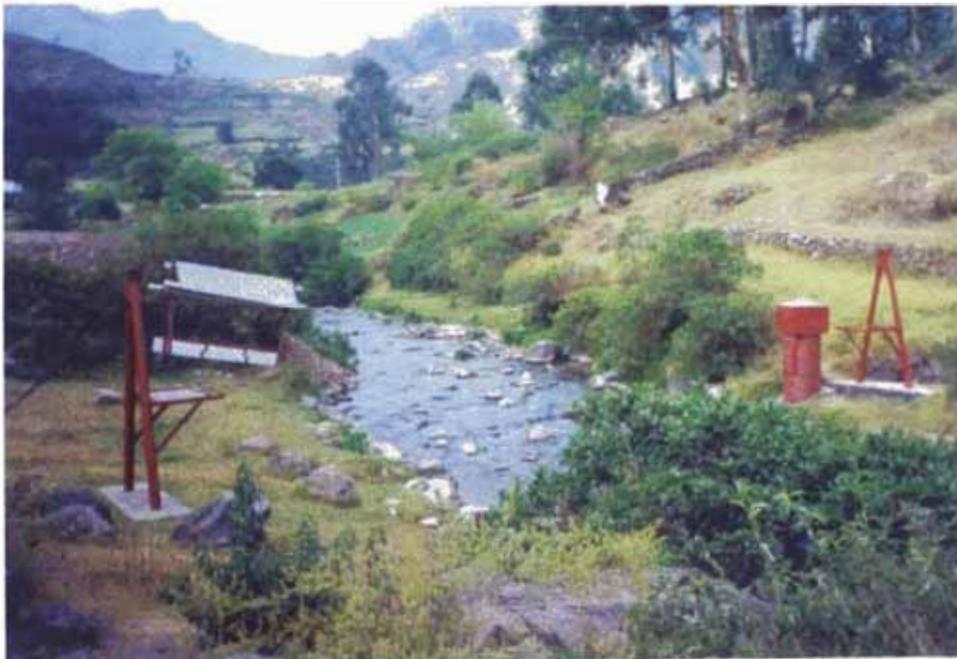
Fotografía 3.10: Estación hidrométrica Parlacancha



Estación hidrométrica Obrajillo

- **Ubicación:** Esta estación se encuentra ubicada en el pueblo de Obrajillo a 1 Km. de Canta.
- **Coordenadas:** 11°27' Latitud y 76°38' Longitud
- **Altitud:** 2700 m.s.n.m.
- **Equipamiento:** Cuenta con una mira de 3 m. de altura compuesta por dos cuerpos, limnógrafo de registro mensual y estructura con carro huaro para realizar aforos de suspensión.
- **Función:** Registrar el aporte del recurso hídrico de la parte alta de la cuenca del Chillón.
- **Comunicación:** En esta estación no se cuenta con radio ni línea telefónica para la comunicación con la estación central del Senamhi, las cartillas son llevadas a Lima posteriormente.
- **Estado actual:** En funcionamiento

Fotografía 3.11: Estación hidrométrica Obrajillo



3.2 Modelo Hidrológico HEC-HMS

El centro de Ingeniería Hidrológica, del Cuerpo de Ingenieros del Ejercito de los EEUU, diseñó el programa de computación Sistema de Modelamiento Hidrológico (HEC-HMS), este provee una variedad de opciones para simular procesos de precipitación - escurrimiento y también transito de caudales entre otros.

El HEC-HMS comprende una interface gráfica para el usuario (GUI), componentes de análisis hidrológicos, capacidades para manejo y almacenamiento de datos, y facilidades para expresar los resultados mediante gráficas y reportes tabulados. La GUI provee los medios necesarios para especificar los componentes de la cuenca, para introducir los respectivos datos de estos componentes y para visualizar los resultados.

El modelo representa una cuenca como un sistema de componentes interconectados. Cada componente modela un aspecto del proceso precipitación-escorrentía dentro de cada subcuenca; entre estos componentes tenemos la escorrentía superficial en la subcuenca, el transito de ríos o canales, y los puntos de salida y análisis y combinación de hidrogramas.

En cada subcuenca, se hace la suposición de que la lluvia, como las abstracciones, está distribuida uniformemente sobre ella. Luego, el exceso de precipitación se aplica al hidrograma unitario de la subcuenca, para calcular el hidrograma de escorrentía directa. El hidrograma de escorrentía directa se suma al flujo base para obtener el hidrograma de caudal de la subcuenca.

El componente de tránsito de caudales o crecientes representa el movimiento de las ondas de creciente de un río o canal. El dato de entrada de este componente es el hidrograma de caudal aguas arriba, que resulta de las contribuciones de los hidrogramas de cada subcuenca, debidamente combinados y transitados; lo cual implica que la utilización de este componente requiere que exista previamente uno o más componentes de escorrentía superficial.

Los puntos de salida, análisis y combinación de hidrogramas, también conocidos como puntos de confluencia, son puntos en los cuales se observan los hidrogramas producidos a través del modelo. En estos puntos confluyen los hidrogramas de dos o mas subcuencas o ríos, se combinan, y el hidrograma resultante transita aguas abajo.

El proceso de simulación hidrológica se inicia en la parte mas alta de la cuenca, en una da las subcuencas, y continúa aguas abajo hasta llegar a una confluencia.

La ejecución de una simulación en el HEC-HMS, requiere las siguientes especificaciones:

El primer conjunto, llamado **Modelo de Cuenca**, contiene parámetros y datos conectados para elementos hidrológicos. Los tipos de elementos son: Subcuenca, transito de avenidas, empalme o cruce, reservorio, fuente, retención y distribución.

- El segundo conjunto llamado **Modelo Meteorológico**, consiste en datos meteorológicos e información requerida para procesarlos.

El tercer conjunto, llamado **Especificaciones de Control**, con el cual se especifica información de relación tiempo para efectuar la simulación.

3.2.1. Modelo de Cuenca

El modelo de la cuenca considera el límite de la cuenca y la división de las subcuencas, área, tasa de pérdidas, transformación de lluvia en escurrimiento y flujo base.

3.2.1.1. Límite de la cuenca

Para la delimitación de la cuenca y subcuencas se utilizó las cartas nacionales del IGN: Chancay (24-i), Chosica (24-j), Canta (23-j), Ondores (23-k), Matucana (24-j); en escala 1:100 000. Las cartas fueron escaneadas y digitalizadas en AutoCad 2000.

Los límites de la cuenca y subcuencas se hallaron siguiendo la línea divisoria de aguas hacia un sector de drenaje natural, en ésta se delimitaron 50 subcuencas, que se muestran en el plano de la página siguiente; y también el cuadro de áreas de las subcuencas calculadas en el Autocad.

Este mapa de la cuenca y subcuencas además fue utilizado como mapa de fondo mediante otro formato, en el programa HEC-HMS. Estos límites no son parámetros considerados en el cálculo ya que solo se utiliza para representar la disposición espacial de las subcuencas.

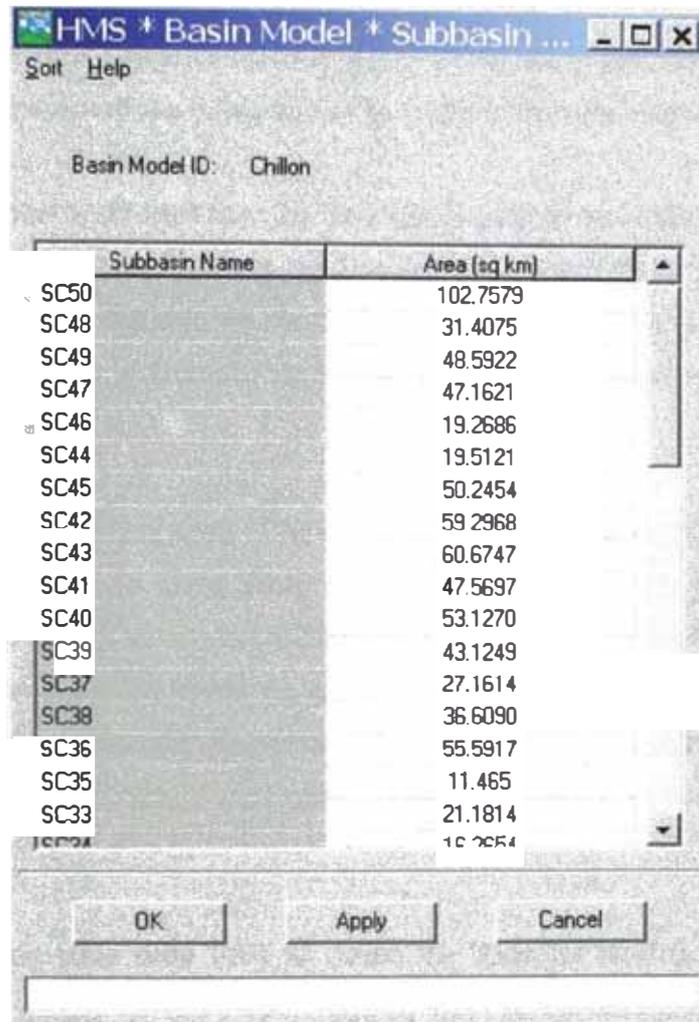
Tabla 3.3: Cálculo de áreas de subcuencas

Subcuenca	Área (Km2)
50	102.7579
49	48.5922
48	31.4075
47	47.1621
46	19.2686
45	50.2454
44	19.5121
43	60.6747
42	59.2968
41	47.5697
40	53.1270
39	43.1249
38	36.6090
37	27.1614
36	55.5917
35	11.4650
34	16.2654
33	21.1814

Subcuenca	Área (Km2)
32	39.5754
31	102.5745
30	12.9153
29	34.6385
28	46.2288
27	59.3358
26	8.4743
25	68.1830
24	24.2170
23	31.3968
22	22.1716
21	17.2508
20	16.4614
19	23.6618
18	9.6392
17	30.6924
16	37.7438
15	26.4801
14	54.5331
13	34.0729
12	70.1850
11	8.8055
10	15.0720
9	64.6333
8	38.4446
7	50.0672
6	48.3813
5	47.1117
4	19.0271
3	4.7061
2	102.9855
1	52.2251
TOTAL	1'972.9037

Luego los parámetros calculados fueron ingresados al programa HEC-HMS como se muestra en la imagen.

Figura 3.2: Ingreso de áreas de cada subcuenca



Subbasin Name	Area (sq km)
SC50	102.7579
SC48	31.4075
SC49	48.5922
SC47	47.1621
SC46	19.2686
SC44	19.5121
SC45	50.2454
SC42	59.2968
SC43	60.6747
SC41	47.5697
SC40	53.1270
SC39	43.1249
SC37	27.1614
SC38	36.6090
SC36	55.5917
SC35	11.465
SC33	21.1814

3.2.1.2. Abstracciones o Pérdidas

La infiltración es el proceso por el cual el agua penetra la superficie del terreno hacia el suelo. Existen diversos factores que influyen en la tasa de infiltración, tales como la condición del suelo y la cubierta vegetal, propiedades del suelo

como la conductividad hidráulica o la porosidad, el contenido de humedad, entre otros.¹³

Las abstracciones o pérdidas vienen a ser el agua perdida para la escorrentía superficial; es decir, es parte de la precipitación que no genera escorrentía y queda como retención superficial o infiltración. Finalmente, esta porción de agua termina evapotranspirándose o llegando a la escorrentía subterránea.¹⁴

El HEC-HMS contiene diferentes métodos para el calculo de la tasa de perdidas, uno de ellos es el Número de Curva del Soil Conservation Service (SCS); que es el utilizado para el modelamiento de la cuenca del río Chillón, y que requiere como datos de ingreso el Número de Curva, Pérdidas Iniciales y Porcentaje de impermeabilidad.

Los valores de Número de Curva (CN) se han desarrollado para muchos tipos de uso de tierra, incluyendo usos tanto en zonas urbanas como rurales. Si se conoce el tipo de suelo, el uso de la tierra y la condición de humedad para una determinada cuenca o subcuenca, se entra a tablas desarrolladas, y en función a estos datos se determina directamente el valor de CN. Conociendo este valor podemos calcular las abstracciones que se producen para una lluvia o tormenta dada.

Se han elaborado para esta fase el mapa de tipos de suelos (Clasificación Hidrológica) y el mapa de cobertura vegetal, que se muestran en las páginas siguientes. El mapa de tipo de suelos se elaboró basándose en el mapa de tipo de suelos del "Inventario y Evaluación de los Recursos Naturales de la zona del Proyecto Marcapomacocha" mientras que el mapa de cobertura vegetal se elaboró basándose en el mapa ecológico del mismo inventario, mapas de cobertura vegetal del Perú del Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA) y también en visitas de campo.

¹³ Ven Te Chow, Hidrología Aplicada

¹⁴ Ven Te Chow, Hidrología Aplicada

Los números de curva han sido tabulados por el SCS en base al tipo de suelo y su cobertura. En el caso de los tipos de suelos, se han clasificado en cuatro grupos hidrológicos, que son los siguientes:

Grupo A: Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.

Grupo B: Suelos poco profundos depositados por el viento, marga arenosa.

Grupo C: Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.

Grupo D: Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

Otra definición para los mismos grupos es la siguiente:

Grupo A: Potencial de escurrimiento bajo. Suelos que tienen altas capacidades de infiltración cuando están completamente húmedos: principalmente arenas y gravas muy bien ordenadas. Estos suelos tienen alta velocidad de transmisión de agua.

- Grupo B: Suelos que tienen capacidades de infiltración moderadas cuando están completamente húmedas: principalmente suelos medianamente profundos y drenados, con textura de sus agregados variando entre moderada y muy fina. Están caracterizadas porque tienen velocidades medias de transmisión de agua.

Grupo C: Suelos que tienen capacidades de infiltración bajas cuando están completamente húmedas principalmente de suelos que contienen una capa que impide el movimiento hacia abajo del agua o suelos con textura fina o moderadamente fina, estos suelos tienen baja transmisión de agua.

- Grupo D: Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos. Estos suelos tienen una velocidad de transmisión de agua muy baja.

Para la cuenca del río Chillón se ha elaborado la siguiente tabla de los valores de Número de Curva correspondientes:

Tabla 3.4: Valores de Número de Curva SCS para la Condición de Humedad Antecedente Normal AMC II

Tipo de Cobertura	Grupo de Suelo			
	A	B	C	D
Cultivos	62	71	78	81
Tillandsias	63	77	85	88
Vegetación xerofítica variada	64	75	82	85
Cactáceas, arbustos y gramíneas forrajeras	65	75	82	86
Vegetación natural herbácea en laderas, arbórea y arbustiva en cauces y quebradas	68	79	86	89
Especies arbustivas y arbóreas de quinares	62	73	81	84
Especies de porte cespitoso y almohadillas	60	71	78	81

Existen muchas subcuencas en los que se tienen diferentes combinaciones de suelos y cobertura vegetal, por lo cual se procede a hallar un valor de CN compuesto, dado por:

$$CN_{comp} = \frac{\sum A_i CN_i}{\sum A_i} \quad (\text{Ecuación No. 3.1})$$

Donde: CN_i : Valor de CN de la subdivisión "i".

A_i : Área de la subdivisión "i".

Finalmente se emplean las siguientes ecuaciones para el cálculo de la pérdida inicial:

$$I_a = 0.2 \times S \quad (\text{Ecuación No.3.2})$$

$$S = \frac{254000}{CN} - 254 \quad (\text{Ecuación No.3.3})$$

Donde: I_a : Pérdidas iniciales.
 S : Retención potencial máxima
 CN : Número de Curva.

El último parámetro a ingresar es el del porcentaje de impermeabilidad, que es el porcentaje del área de la subcuenca en el cual no se presentan perdidas por infiltración, evaporación u otros procesos.

No obstante, los valores del Número de Curva que figuran en las tablas desarrolladas por el SCS ya incluyen este porcentaje de impermeabilidad. Por lo tanto, si se adoptan estos valores el porcentaje de impermeabilidad es cero.¹⁵

El cálculo de los Números de Curva de cada subcuenca se muestra a continuación.

Tabla 3.5: Cálculo de número de curva para cada subcuenca para la Condición de Humedad Antecedente Normal AMC II

Subcuenca	Tipo de suelo	Vegetación	Área	%	CN	CN pond
50	D	Arbustivas y arbóreas	35.1510	0.342	84	28.73
	C	Arbustivas y arbóreas	12.9794	0.126	81	10.23
	D	Cespitoso	53.4137	0.520	81	42.10
	C	Arbustivas y arbóreas	0.1592	0.002	81	0.13
	C	Arbustivas y arbóreas	1.0547	0.010	81	0.83
		Total	102.7580	1.000		82.03
49	C	Cespitoso	7.7397	0.159	78	12.42
	D	Cespitoso	5.8725	0.121	81	9.79
	C	Arbustivas y arbóreas	0.1399	0.003	81	0.23
	C	Arbustivas y arbóreas	14.3458	0.295	81	23.91
	C	Arbustivas y arbóreas	6.3407	0.130	81	10.57
	C	Cespitoso	0.0909	0.002	78	0.15
	D	Arbustivas y arbóreas	14.0627	0.289	84	24.31
		Total	48.5922	1.000		81.38
48	D	Cespitoso	14.6318	0.466	81	37.74
	C	Cespitoso	2.6410	0.084	78	6.56
	D	Arbustivas y arbóreas	3.5617	0.113	84	9.53
	C	Arbustivas y arbóreas	10.5730	0.337	81	27.27
		Total	31.4075	1.000		81.09

¹⁵ Manual Técnico del HEC-HMS

Subcuenca	Tipo de suelo	Vegetación	Área	%	CN	CN pond
47	C	Cespitoso	3.5972	0.076	78	5.95
	D	Cespitoso	19.6526	0.417	81	33.75
	D	Arbustivas y arbóreas	20.3688	0.432	84	36.28
	C	Arbustivas y arbóreas	2.9382	0.062	81	5.05
	C	Vegetación herbácea	0.6054	0.013	86	1.10
		Total	47.1622	1.000		82.13
46	D	Arbustivas y arbóreas	1.1251	0.058	84	4.90
	C	Arbustivas y arbóreas	5.9600	0.309	81	25.05
	C	Vegetación herbácea	2.7267	0.142	86	12.17
	D	Arbustivas y arbóreas	8.8352	0.459	84	38.52
	D	Cespitoso	0.6216	0.032	81	2.61
		Total	19.2686	1.000		83.26
45	D	Cespitoso	23.1675	0.461	81	37.35
	D	Arbustivas y arbóreas	23.5353	0.468	84	39.35
	C	Arbustivas y arbóreas	1.9978	0.040	81	3.22
	C	Vegetación herbácea	1.5448	0.031	86	2.64
		Total	50.2454	1.000		82.56
44	D	Arbustivas y arbóreas	4.5846	0.235	84	19.74
	C	Arbustivas y arbóreas	2.5034	0.128	81	10.39
	C	Vegetación herbácea	7.6625	0.393	86	33.77
	C	Arbustivas y arbóreas	1.7652	0.090	81	7.33
	D	Arbustivas y arbóreas	2.9964	0.154	84	12.90
		Total	19.5121	1.000		84.13
43	D	Cespitoso	17.2253	0.284	81	23.00
	D	Arbustivas y arbóreas	28.7761	0.474	84	39.84
	D	Vegetación herbácea	1.2258	0.020	89	1.80
	C	Arbustivas y arbóreas	5.9165	0.098	81	7.90
	C	Vegetación herbácea	5.3852	0.089	86	7.63
	C	Cactáceas	1.3764	0.023	82	1.86
	B-C	Cactáceas	0.7694	0.013	79	1.00
		Total	60.6747	1.000		83.03
42	D	Cespitoso	0.2224	0.004	81	0.30
	D	Arbustivas y arbóreas	7.9970	0.135	84	11.33
	C	Arbustivas y arbóreas	0.5791	0.010	81	0.79
	D	Vegetación herbácea	0.4820	0.008	89	0.72
	C	Vegetación herbácea	18.4645	0.311	86	26.78
	C	Cactáceas	6.1724	0.104	82	8.54
	B-C	Cactáceas	7.5915	0.128	79	10.11
	B-C	Vegetación herbácea	0.9455	0.016	83	1.32
	C	Arbustivas y arbóreas	6.9184	0.117	81	9.45
	D	Arbustivas y arbóreas	9.9240	0.167	84	14.06
		Total	59.2968	1.000		83.41

Subcuenca	Tipo de suelo	Vegetación	Área	%	CN	CN pond
37	C	Arbustivas y arbóreas	1.8280	0.067	81	5.45
	C	Cactáceas	8.1945	0.302	82	24.74
	C	Vegetación herbácea	10.3923	0.383	86	32.90
	B-C	Vegetación herbácea	0.5741	0.021	83	1.75
	B	Vegetación herbácea	3.4594	0.127	79	10.06
	B	Xerofítica	2.4277	0.089	75	6.70
	B	Agrícola	0.0958	0.004	71	0.25
	A	Agrícola	0.1896	0.007	62	0.43
		Total	27.1614	1.000		82.30
36	D	Arbustivas y arbóreas	2.4022	0.043	84	3.63
	C	Arbustivas y arbóreas	2.3516	0.042	81	3.43
	C	Vegetación herbácea	10.5357	0.190	86	16.30
	C	Cactáceas	10.6855	0.192	82	15.76
	B-C	Cactáceas	17.8307	0.321	79	25.34
	B	Cactáceas	9.5207	0.171	75	12.84
	B	Xerofítica	2.2669	0.041	72	2.94
		Total	55.5933	1.000		80.23
35	B	Xerofítica	1.1007	0.096	75	7.20
	A	Agrícola	1.5117	0.132	62	8.17
	A	Cactáceas	0.5952	0.052	65	3.37
	B	Cactáceas	6.3580	0.555	75	41.59
	B	Vegetación herbácea	0.8825	0.077	79	6.08
	B-C	Cactáceas	1.0170	0.089	79	7.01
		Total	11.4651	1.000		73.43
34	B	Cactáceas	8.8865	0.546	75	40.98
	B	Xerofítica	7.3789	0.454	75	34.02
		Total	16.2654	1.000		75.00
33	B	Cactáceas	0.1330	0.006	75	0.47
	B	Xerofítica	4.4784	0.211	75	15.86
	A	Agrícola	3.4290	0.162	62	10.04
	B	Xerofítica	0.9771	0.046	75	3.46
	B	Cactáceas	12.1640	0.574	75	43.07
		Total	21.1815	1.000		72.90
32	D	Cespitoso	11.1145	0.281	81	22.75
	D	Arbustivas y arbóreas	18.1597	0.459	84	38.54
	C	Arbustivas y arbóreas	6.8173	0.172	81	13.95
	C	Vegetación herbácea	3.4839	0.088	86	7.57
		Total	39.5754	1.000		82.82

Subcuenca	Tipo de suelo	Vegetación	Área	%	CN	CN pond
31	D	Cespitoso	29.1121	0.284	81	22.99
	D	Arbustivas y arbóreas	40.8211	0.398	84	33.43
	C	Arbustivas y arbóreas	15.3057	0.149	81	12.09
	C	Vegetación herbácea	13.7517	0.134	83	11.13
	C	Cactáceas	1.3290	0.013	79	1.02
	C	Agrícola	2.2542	0.022	78	1.71
		Total	102.5738	1.000		82.37
30	D	Arbustivas y arbóreas	0.3847	0.030	84	2.50
	C	Arbustivas y arbóreas	2.5152	0.195	81	15.77
	C	Vegetación herbácea	2.8916	0.224	86	19.25
	C	Agrícola	0.5619	0.044	78	3.39
	B	Agrícola	2.3154	0.179	71	12.73
	C	Cactáceas	4.2465	0.329	82	26.96
		Total	12.9153	1.000		80.61
29	D	Cespitoso	3.3620	0.097	83	8.06
	D	Arbustivas y arbóreas	17.9180	0.517	84	43.45
	C	Arbustivas y arbóreas	9.2349	0.267	81	21.60
	C	Vegetación herbácea	2.4971	0.072	86	6.20
	B-C	Vegetación herbácea	1.0201	0.029	83	2.44
	B	Vegetación herbácea	0.4549	0.013	79	1.04
	B	Agrícola	0.1515	0.004	71	0.31
		Total	34.6385	1.000		83.10
28	D	Arbustivas y arbóreas	9.7328	0.211	84	17.68
	B-C	Arbustivas y arbóreas	11.9482	0.258	77	19.90
	B-C	Vegetación herbácea	7.9698	0.172	83	14.31
	B-C	Xerofítica	0.8405	0.018	79	1.44
	B	Vegetación herbácea	3.6102	0.078	79	6.17
	B	Xerofítica	11.7350	0.254	75	19.04
	A	Agrícola	0.3924	0.008	62	0.53
		Total	46.2289	1.000		79.07
27	D	Arbustivas y arbóreas	1.9506	0.033	84	2.76
	C	Arbustivas y arbóreas	4.5239	0.076	81	6.18
	B-C	Arbustivas y arbóreas	7.8832	0.133	77	10.23
	B-C	Vegetación herbácea	10.6780	0.180	83	14.94
	B	Vegetación herbácea	2.3346	0.039	79	3.11
	B	Cactáceas	4.5485	0.077	75	5.75
	A	Agrícola	5.1876	0.087	62	5.42
	B	Agrícola	2.1716	0.037	71	2.60
	B	Xerofítica	3.3340	0.056	75	4.21
	B	Cactáceas	10.1544	0.171	75	12.84
	C	Cactáceas	6.5693	0.111	82	9.08
			Total	59.3357	1.000	

Subcuenca	Tipo de suelo	Vegetación	Área	%	CN	CN pond
26	B	Cactáceas	1.3274	0.157	75	11.75
	B	Xerofítica	2.2378	0.264	75	19.81
	A	Agrícola	4.3192	0.510	62	31.60
	B	Cactáceas	0.5899	0.070	75	5.22
			Total	8.4743	1.000	
25	B-C	Arbustivas y arbóreas	12.1315	0.178	77	13.70
	B-C	Vegetación herbácea	19.4332	0.285	83	23.66
	B-C	Cactáceas	2.7324	0.040	79	3.17
	B	Vegetación herbácea	7.7024	0.113	79	8.92
	B	Cactáceas	23.0179	0.338	75	25.32
	B	Xerofítica	3.1656	0.046	75	3.48
		Total	68.1830	1.000		78.25
24	B	Vegetación herbácea	1.8428	0.076	79	6.01
	B	Cactáceas	9.0911	0.375	75	28.16
	B	Xerofítica	3.2722	0.135	75	10.13
	A	Agrícola	4.9026	0.202	62	12.55
	B	Xerofítica	4.2290	0.175	75	13.10
	B	Cactáceas	0.8794	0.036	75	2.72
		Total	24.2171	1.000		72.67
23	B	Cactáceas	2.5283	0.081	75	6.04
	B	Xerofítica	2.8539	0.091	75	6.82
	A	Agrícola	6.3845	0.203	62	12.61
	B	Xerofítica	15.8853	0.506	75	37.95
	B	Cactáceas	3.7448	0.119	75	8.95
		Total	31.3968	1.000		72.36
22	B-C	Cactáceas	2.0511	0.093	79	7.31
	B-C	Vegetación herbácea	2.4875	0.112	83	9.31
	B	Vegetación herbácea	0.9500	0.043	79	3.38
	B	Cactáceas	11.6099	0.524	75	39.27
	B	Xerofítica	1.6040	0.072	75	5.43
	A	Agrícola	1.4901	0.067	62	4.17
	B	Xerofítica	1.9791	0.089	75	6.69
			Total	22.1717	1.000	
21	B-C	Cactáceas	1.6806	0.097	79	7.70
	B	Cactáceas	12.9134	0.749	75	56.14
	B	Xerofítica	2.6568	0.154	75	11.55
		Total	17.2508	1.000		75.39
20	B	Cactáceas	7.2304	0.439	75	32.94
	B	Xerofítica	3.2639	0.198	75	14.87
	A	Agrícola	4.1086	0.250	62	15.47
	B	Xerofítica	1.8585	0.113	75	8.47
		Total	16.4614	1.000		71.76

Subcuenca	Tipo de suelo	Vegetación	Área	%	CN	CN pond
19	B	Cactáceas	4.0891	0.173	75	12.96
	B	Xerofítica	6.1165	0.258	75	19.39
	A	Agrícola	3.2802	0.139	62	8.60
	B	Xerofítica	10.1759	0.430	75	32.25
		Total	23.6617	1.000		73.20
18	B	Cactáceas	1.1690	0.121	75	9.10
	B	Xerofítica	6.7167	0.697	75	52.26
	A	Agrícola	1.7535	0.182	62	11.28
		Total	9.6392	1.000		72.64
17	A	Agrícola	0.6242	0.020	62	1.26
	B	Xerofítica	24.1158	0.786	75	58.93
	B	Cactáceas	5.9524	0.194	75	14.55
		Total	30.6924	1.000		74.74
16	B	Cactáceas	3.5821	0.095	75	7.12
	B	Xerofítica	20.8153	0.551	75	41.36
	A	Agrícola	4.8263	0.128	62	7.93
	B	Xerofítica	8.5201	0.226	75	16.93
		Total	37.7438	1.000		73.34
15	B	Cactáceas	17.0452	0.644	75	48.28
	B	Xerofítica	9.4349	0.356	75	26.72
		Total	26.4801	1.000		75.00
14	B-C	Cactáceas	24.9280	0.457	79	36.11
	B-C	Xerofítica	6.3990	0.117	79	9.27
	B	Cactáceas	7.0628	0.130	75	9.71
	B	Xerofítica	16.1432	0.296	75	22.20
		Total	54.5330	1.000		77.30
13	B	Cactáceas	4.5539	0.134	68	9.09
	B	Xerofítica	29.5190	0.866	75	64.98
		Total	34.0729	1.000		74.06
12	B	Cactáceas	4.0684	0.058	68	3.94
	B	Xerofítica	66.1166	0.942	75	70.65
		Total	70.1850	1.000		74.59
11	B	Xerofítica	3.1800	0.361	75	27.09
	A	Agrícola	3.4709	0.394	62	24.44
	B	Xerofítica	2.1546	0.245	75	18.35
		Total	8.8055	1.000		69.88
10	A	Agrícola	1.2968	0.086	62	5.33
	B	Agrícola	5.1864	0.344	71	24.43
	B	Xerofítica	8.5889	0.570	75	42.74
		Total	15.0721	1.000		72.51

Subcuenca	Tipo de suelo	Vegetación	Área	%	CN	CN pond
9	A	Agrícola	1.9104	0.030	62	1.83
	B	Agrícola	9.4224	0.146	71	10.35
	B	Tillandsias	4.7017	0.073	77	5.60
	B	Xerofítica	48.5988	0.752	72	54.14
		Total	64.6333	1.000		71.92
8	A	Agrícola	11.9322	0.310	62	19.24
	B	Xerofítica	26.5124	0.690	72	49.65
		Total	38.4446	1.000		68.90
7	B	Cactáceas	12.2883	0.245	68	16.69
	B	Xerofítica	37.7789	0.755	72	54.33
		Total	50.0672	1.000		71.02
6	B	Cactáceas	2.7221	0.056	68	3.83
	B	Xerofítica	45.6592	0.944	72	67.95
		Total	48.3813	1.000		71.77
5	B	Tillandsias	8.9068	0.189	77	14.56
	B	Xerofítica	38.2050	0.811	72	58.39
		Total	47.1118	1.000		72.95
4	B	Agrícola	0.8280	0.044	71	3.09
	B	Tillandsias	12.4386	0.654	77	50.34
	B	Xerofítica	5.7605	0.303	72	21.80
		Total	19.0271	1.000		75.23
3	A	Agrícola	2.6067	0.554	62	34.34
	B	Agrícola	0.5701	0.121	71	8.60
	B	Tillandsias	1.5294	0.325	77	25.02
		Total	4.7062	1.000		67.96
2	B	Xerofítica	6.3004	0.061	72	4.40
	A	Agrícola	12.0436	0.117	62	7.25
	B	Tillandsias	20.8291	0.202	77	15.57
	B	Xerofítica	63.8123	0.620	72	44.61
		Total	102.9854	1.000		71.84
1	A	Agrícola	12.6939	0.243	62	15.07
	B	Tillandsias	7.8207	0.150	77	11.53
	B	Tillandsias	17.9026	0.343	77	26.40
	B	Xerofítica	13.8080	0.264	72	19.04
		Total	52.2252	1.000		72.03

Se procede a realizar el cálculo de los números de curva e infiltración inicial para las diferentes condiciones de humedad, los que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3.6: Coeficiente de almacenamiento y umbral de infiltración para distintas condiciones antecedentes de humedad

Subcuencia	Secas (I)			Normales (II)			Húmedas (III)		
	CN	S (pulg.)	I (mm.)	CN	S (pulg.)	I (mm.)	CN	S (pulg.)	I (mm.)
50	62,85	150,13	30,03	80,11	63,05	12,61	90,26	27,42	5,48
49	57,30	189,30	37,86	76,16	79,50	15,90	88,02	34,57	6,91
48	60,30	167,22	33,44	78,34	70,23	14,05	89,27	30,54	6,11
47	62,63	151,54	30,31	79,96	63,65	12,73	90,18	27,67	5,53
46	56,67	194,23	38,85	75,69	81,58	16,32	87,75	35,47	7,09
45	63,11	148,47	29,69	80,29	62,36	12,47	90,36	27,11	5,42
44	54,37	213,21	42,64	73,93	89,55	17,91	86,71	38,93	7,79
43	60,60	165,14	33,03	78,55	69,36	13,87	89,39	30,16	6,03
42	54,99	207,92	41,58	74,42	87,32	17,46	87,00	37,97	7,59
41	52,70	227,96	45,59	72,62	95,74	19,15	85,92	41,63	8,33
40	53,06	224,74	44,95	72,91	94,39	18,88	86,09	41,04	8,21
39	58,28	181,84	36,37	76,88	76,37	15,27	88,44	33,20	6,64
38	53,07	224,58	44,92	72,92	94,32	18,86	86,10	41,01	8,20
37	50,75	246,47	49,29	71,05	103,52	20,70	84,95	45,01	9,00
36	53,46	221,13	44,23	73,23	92,87	18,57	86,28	40,38	8,08
35	45,15	308,57	61,71	66,22	129,60	25,92	81,84	56,35	11,27
34	49,27	261,48	52,30	69,81	109,82	21,96	84,18	47,75	9,55
33	47,23	283,82	56,76	68,06	119,21	23,84	83,05	51,83	10,37
32	60,00	169,33	33,87	78,13	71,12	14,22	89,15	30,92	6,18
31	59,63	171,95	34,39	77,86	72,22	14,44	89,00	31,40	6,28
30	54,64	210,90	42,18	74,14	88,58	17,72	86,83	38,51	7,70
29	57,17	190,30	38,06	76,06	79,93	15,99	87,97	34,75	6,95
28	48,16	273,37	54,67	68,87	114,81	22,96	83,57	49,92	9,98
27	47,07	285,59	57,12	67,92	119,95	23,99	82,97	52,15	10,43
26	44,91	311,57	62,31	66,00	130,86	26,17	81,70	56,90	11,38
25	43,94	324,04	64,81	65,11	136,10	27,22	81,11	59,17	11,83

Subcuenca	Secas (I)			Normales (II)			Húmedas (III)		
	CN	S (pulg.)	I (mm.)	CN	S (pulg.)	I (mm.)	CN	S (pulg.)	I (mm.)
	24	46,15	296,37	59,27	67,11	124,48	24,90	82,44	54,12
23	48,51	269,58	53,92	69,17	113,23	22,65	83,77	49,23	9,85
22	46,84	288,23	57,65	67,72	121,06	24,21	82,84	52,63	10,53
21	48,55	269,16	53,83	69,20	113,05	22,61	83,79	49,15	9,83
20	46,87	287,91	57,58	67,75	120,92	24,18	82,85	52,58	10,52
19	49,40	260,14	52,03	69,92	109,26	21,85	84,24	47,50	9,50
18	49,13	262,95	52,59	69,70	110,44	22,09	84,10	48,02	9,60
17	50,72	246,77	49,35	71,02	103,64	20,73	84,93	45,06	9,01
16	49,90	254,99	51,00	70,34	107,09	21,42	84,51	46,56	9,31
15	48,81	266,34	53,27	69,43	111,86	22,37	83,93	48,64	9,73
14	53,15	223,87	44,77	72,98	94,03	18,81	86,14	40,88	8,18
13	51,26	241,47	48,29	71,47	101,42	20,28	85,21	44,09	8,82
12	51,64	237,90	47,58	71,77	99,92	19,98	85,39	43,44	8,69
11	47,23	283,83	56,77	68,06	119,21	23,84	83,05	51,83	10,37
10	50,45	249,48	49,90	70,80	104,78	20,96	84,79	45,56	9,11
9	51,83	236,09	47,22	71,92	99,16	19,83	85,49	43,11	8,62
8	48,20	273,02	54,60	68,90	114,67	22,93	83,59	49,86	9,97
7	50,72	246,80	49,36	71,02	103,65	20,73	84,93	45,07	9,01
6	51,65	237,82	47,56	71,77	99,88	19,98	85,40	43,43	8,69
5	53,10	224,30	44,86	72,95	94,21	18,84	86,11	40,96	8,19
4	56,05	199,17	39,83	75,23	83,65	16,73	87,47	36,37	7,27
3	47,12	285,05	57,01	67,96	119,72	23,94	82,99	52,05	10,41
2	51,73	237,03	47,41	71,84	99,55	19,91	85,44	43,28	8,66
1	51,96	234,81	46,96	72,03	98,62	19,72	85,56	42,88	8,58

Ahora, se debe de escoger la condición de humedad a utilizar, de acuerdo a la Tabla 3.7 y a los registros de las estaciones en la cuenca mostrados en la Tabla 3.8.

Tabla 3.7: Clasificación de clases antecedentes de humedad (AMC) para el método de abstracciones de lluvia del SCS
Fuente: Soil Conservation Service

Grupo AMC	Lluvia antecedente total de 5 días (pulg.)	
	Estación inactiva	Estación de crecimiento
I	Menor que 0.5	Menor que 1.4
II	0.5 a 1.1	1.4 a 2.1
III	Sobre 1.1	Sobre 2.1

Tabla 3.8: Cálculo de lluvia antecedente total de 5 días

Fecha	Huaros (mm.)	Canta (mm.)	Arahuay (mm.)	Lachaqui (mm.)
01/03/2003	8.00	6.20	1.70	5.20
02/03/2003	5.40	16.60	5.00	16.50
03/03/2003	1.40	0.50	0.00	4.60
04/03/2003	4.30	13.00	0.20	9.80
05/03/2003	7.50	2.80	0.50	20.50
TOTAL (mm.)	26.60	39.10	7.40	56.60
TOTAL (pulg.)	1.05	1.54	0.29	2.23

Por lo tanto la condición antecedente de humedad sería AMC III; ya que se cumple dicha condición en la estación Lachaqui.

Seguidamente los parámetros calculados de número de curva e infiltración inicial para las condiciones húmedas AMC III, son ingresados también al programa HEC-HMS.

Figura 3.3: Ingreso de número de curva e infiltración inicial

The screenshot shows the 'HMS * Basin Model * Subbasin Editor' dialog box. The 'Subbasin Name' is 'SC21' and the 'Area (sq. km.)' is '431249'. The 'Loss Rate' tab is selected, showing the 'Method' as 'SCS Curve No.', 'Initial Loss (mm)' as '21.418', '% Impervious' as '0.0', and 'SCS Curve No.' as '70.34'. The 'OK', 'Apply', and 'Cancel' buttons are visible at the bottom.

3.2.1.3. Transformación del exceso de precipitación en escorrentía directa

El objetivo del modelamiento es determinar el hidrograma de tormenta producto de una lluvia, con el fin de conocer los caudales pico y el tiempo en el que se producen. Un hidrograma de tormenta consta de dos componentes: la escorrentía directa y el flujo base.

Para determinar el hidrograma de escorrentía directa resultante de cualquier cantidad de exceso de precipitación puede utilizarse el hidrograma unitario (Ver Anexo No.1).

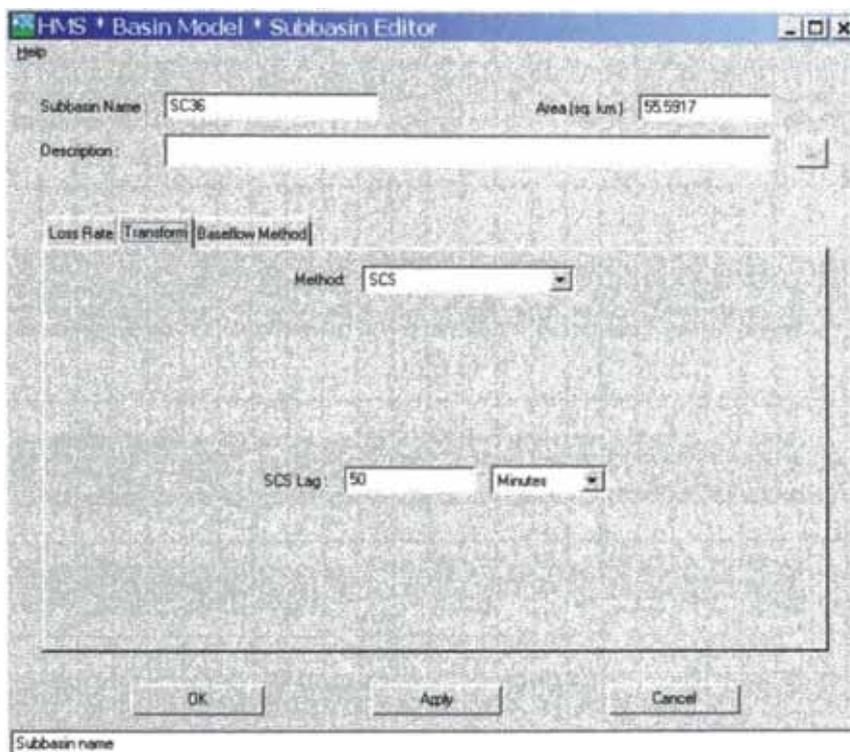
Para nuestro modelamiento se utilizaron los siguientes hidrogramas unitarios sintéticos:

- **Hidrograma adimensional SCS.-**

Para el cálculo de la escorrentía el HEC-HMS solo necesita del ingreso del tiempo de concentración. El programa procederá a realizar los cálculos del método que es descrito más adelante (Ver Anexo No.1).

Los cálculos de parámetros de este método se muestran en la página siguiente.

Figura 3.4: Ingreso de parámetros del hidrograma adimensional SCS



- **Modelo de la Onda Cinemática.-**

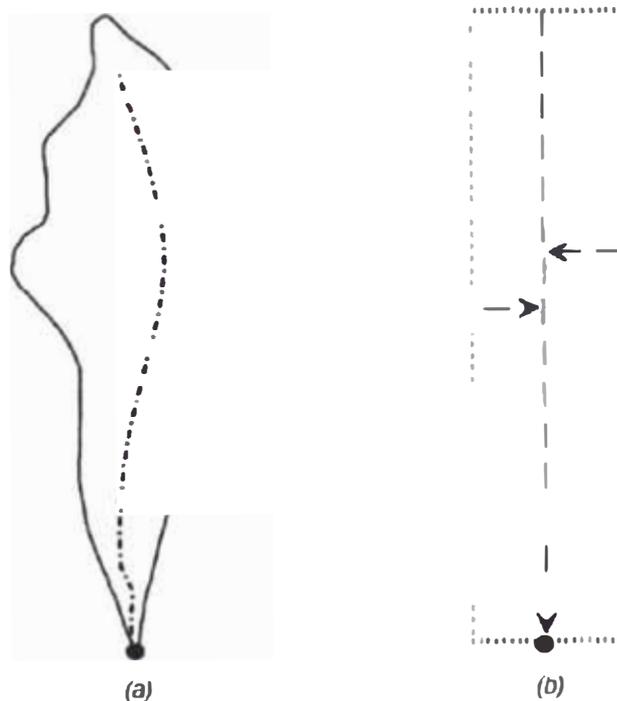
Este modelo conceptual está incluido en el HEC-HMS como alternativa a los modelos empíricos de hidrogramas unitarios. Este modelo representa a la cuenca de drenaje como un canal abierto muy ancho; con flujo de entrada al canal, igual al exceso de precipitación.

La figura 3.5 (a) representa una cuenca simple en la cual se calculara la escorrentía para diseño, planeamiento o regulación. Para la rutina de la onda cinemática, la cuenca y sus canales son conceptualizados como se muestra en la figura 3.5 (b). Esta representa a la cuenca como dos superficies planas sobre las cuales el agua discurre hasta que ingresa al canal. Luego el agua fluye aguas abajo hacia la salida.

El modelo de flujo sobre terreno de la onda cinemática representa comportamientos de flujo sobre terreno en las superficies planas. El modelo también puede ser usado para simular comportamientos de flujos en los cauces de la cuenca de drenaje (Ver Anexo No.1).

Figura 3.5: Representación de una cuenca mediante el modelo de la onda cinemática

Fuente: Manual Técnico HEC-HMS – U.S. Army Corps of Engineers



Se muestran las pantallas de ingreso de datos de las superficies que representan a la cuenca y de los tramos de río:

Figura 3.6: Ingreso de datos de superficies

	Plane 1	Plane 2
Length (m)		
Slope (m/m)		
Roughness		
Percent of subbasin area		
Minimum number of distance steps	5	5

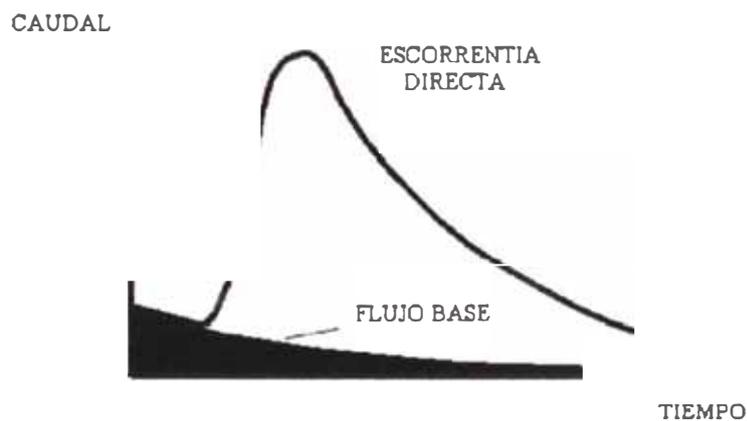
Figura 3.7: Ingreso de datos de tramos de río

	Collector Channel 1	Collector Channel 2	Main Channel
Length (m)			
Slope (m/m)			
Manning's n			
Shape	TRAPEZOID	TRAPEZOID	TRAPEZOID
Width or Diameter (m)			
Side Slope (xH:1v)			
Contributing Area per Collector (sq km)			
Minimum No. of Distance Steps (opt.)	2	2	2

3.2.1.4. Flujo Base

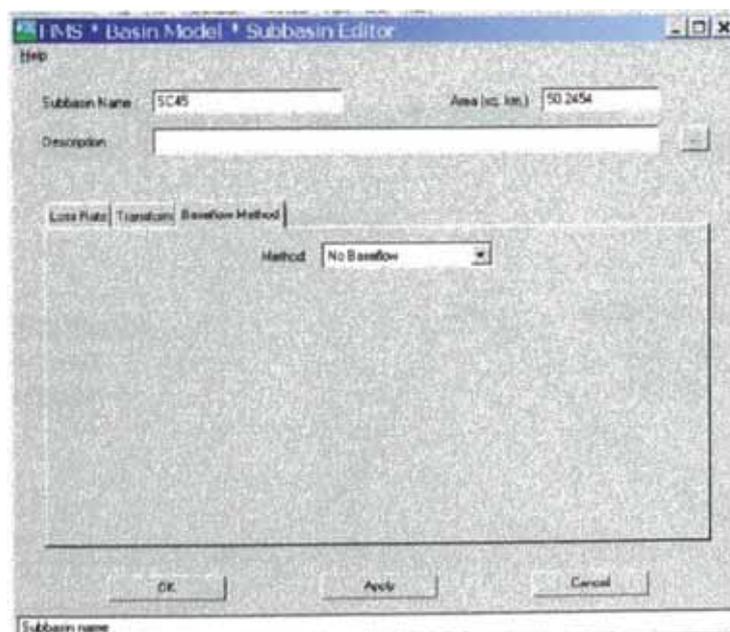
El flujo base está conformado por la cantidad de agua almacenada en la cuenca durante la lluvia anterior y el flujo superficial.

Figura 3.8: Flujo Base
Fuente: Manual Técnico HEC-HMS – U.S. Army Corps of Engineers



No se ha considerado flujo base en el modelamiento hidrológico de la cuenca debido a que en los registros de caudales existen lecturas de 0 m³/s, en los meses más secos. Se muestra la pantalla para el ingreso del método de flujo base.

Figura 3.9: Ingreso de flujo base



3.2.1.5. Tránsito de hidrogramas

El tránsito de hidrogramas es un procedimiento para determinar el tiempo y la magnitud del caudal en un punto de un río (hidrograma de salida), empleando hidrogramas conocidos en uno o más puntos aguas arriba (hidrograma de entrada).¹⁶

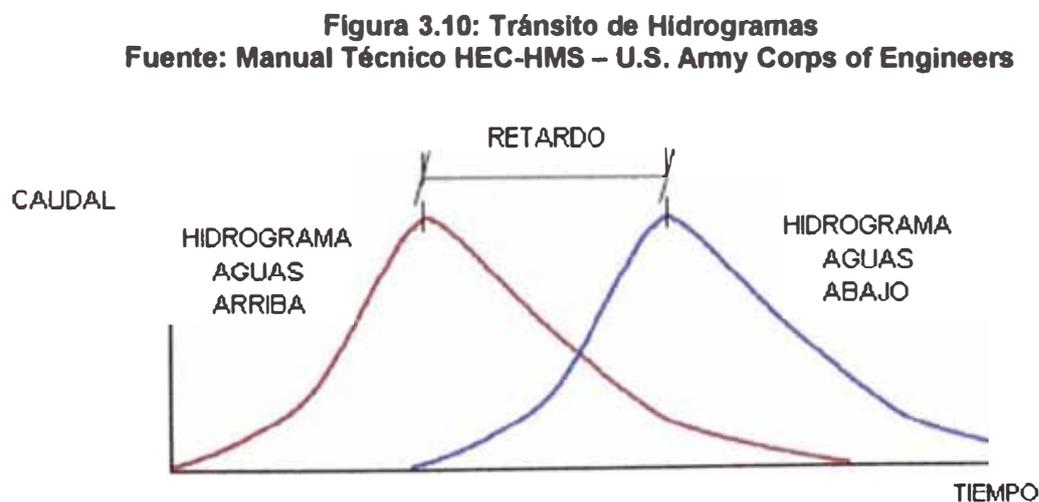
- **SCS Lag**

Uno de los métodos para calcular el tránsito de hidrogramas en el canal fue el del SCS Lag o tiempo de retardo.

$$Lag (hr) = (2.587 * L^{0.8} * ((1000/CN) - 9)^{0.7}) / (1900 * S^{0.5}) \quad (\text{Ecuación No.3.22})$$

Siendo: L : Longitud del canal principal en metros
 S : Pendiente (%) del canal principal
 CN : Número de curva de SCS para la cuenca en cuestión

Este método de tránsito es el más simple, donde el hidrograma de salida es igual al de entrada, el flujo no es atenuado y la forma del hidrograma no cambia, normalmente es usado en canales de drenaje urbano. Se usa este método cuando no existe disponibilidad de datos de las secciones de tránsito.



¹⁶ Ven Te Chow, Hidrología Aplicada

Se realizó el cálculo de los parámetros del método SCS Lag; pero solamente se utilizaron en algunas subcuencas, debido a que se produce un transito de crecida mayor al calculado para la Onda Cinemática.

Tabla 3.11: Parámetros del método SCS Lag

Subcuenca	T lag (horas)	Subcuenca	T lag (horas)
50	1.073	25	0.666
49	0.506	24	0.400
48	0.523	23	0.643
47	0.605	22	0.248
46	0.482	21	0.322
45	0.596	20	0.444
44	0.345	19	0.387
43	0.631	18	0.284
42	0.516	17	0.584
41	0.464	16	0.482
40	0.600	15	0.414
39	0.571	14	0.723
38	0.456	13	0.619
37	0.536	12	0.635
36	0.826	11	0.472
35	0.252	10	0.503
34	0.298	9	1.020
33	0.441	8	0.618
32	0.601	7	0.653
31	1.144	6	0.671
30	0.338	5	0.585
29	0.521	4	0.353
28	0.468	3	0.306
27	0.449	2	0.891
26	0.317	1	0.590

- **Onda Cinemática**

El modelo de la onda cinemática para tránsito de hidrogramas esta basado en la aproximación por diferencias finitas de la ecuación de continuidad y la ecuación del momentum.¹⁷ Este método fue tratado anteriormente.

Los datos requeridos para usar este método son:

Forma de la sección del cauce (triangular, circular, rectangular, etc.)

Dimensiones principales: ancho del cauce, diámetro del conducto.

Talud de la sección trapezoidal

- Longitud del cauce
- Gradiente de energía
- Coeficiente de Manning

Se muestra pantalla de ingreso de parámetros para la aplicación del método de la Onda Cinemática y en la siguiente página el cálculo de estos.

Figura 3.11: Ingreso de parámetros para el método de onda cinemática (tránsito)

¹⁷ Manual Técnico del HEC-HMS

Tabla 3.12: Parámetros de tránsito de hidrograma – Onda cinemática

Tramo	Forma	Longitud (m)	Pendiente (m/m)	Ancho de tramo (m)	Manning (n)
R27	DEEP	6716.2	0.061	2.6	0.035
R26	DEEP	5068.3	0.039	2.6	0.035
R25	DEEP	4697.5	0.081	2.6	0.035
R24	DEEP	7629.8	0.075	6.5	0.037
R23	DEEP	5797.7	0.057	10.8	0.038
R22	DEEP	7970.6	0.055	10.8	0.038
R21	DEEP	4916.3	0.043	16.9	0.038
R20	DEEP	2036.3	0.034	21.8	0.039
R19	DEEP	4267.6	0.035	27.5	0.04
R18	DEEP	6764.7	0.033	27.5	0.04
R14	DEEP	5325.1	0.07	29.6	0.04
R17	DEEP	4267.6	0.07	12.3	0.035
R16	DEEP	9770.6	0.14	17.4	0.038
R15	DEEP	3631.1	0.047	22.9	0.039
R13	DEEP	1424.7	0.018	30.8	0.045
R12	DEEP	3618.7	0.025	35	0.045
R11	DEEP	3210.1	0.028	45	0.045
R10	DEEP	1877.8	0.021	50	0.045
R9	DEEP	4273.5	0.028	50	0.045
R8	DEEP	3136.7	0.016	55	0.045
R5	DEEP	6387.9	0.033	60	0.045
R4	DEEP	8334.5	0.022	65	0.045
R1	DEEP	5721.2	0.03	70	0.045

Nota: Datos recogidos del Estudio "Generación de descargas máximas de avenidas para diferentes periodos de retorno para la cuenca del río Chillón, Departamento de Lima"

3.2.2. Modelo Meteorológico

El modelo meteorológico permite calcular la precipitación areal sobre cada subcuenca.

Existen diversos métodos para calcular la precipitación areal; el método a utilizarse será el polígono de Thiessen, en el cual se le asignan pesos relativos a cada estación para calcular la precipitación en cada subcuenca.

Este método establece que la precipitación en cualquier punto de la cuenca es igual a la precipitación que se registra en la estación más cercana, ya que este punto se ubica dentro del área de influencia de la estación. La lámina de precipitación que se registra en cualquier estación se aplica hasta la mitad de la distancia a la siguiente estación en cualquier dirección. El área de influencia se determina a partir de los polígonos de Thiessen, cuyas fronteras están formadas por los bisectores perpendiculares a los segmentos de línea que unen estaciones adyacentes (es decir, las mediatrices de estos segmentos). Los pesos relativos de cada estación, en cada subcuenca se determinan a partir de estas áreas de influencia.

Figura 3.12: Método de los polígonos de Thiessen
Fuente: Manual Técnico HEC-HMS – U.S. Army Corps of Engineers

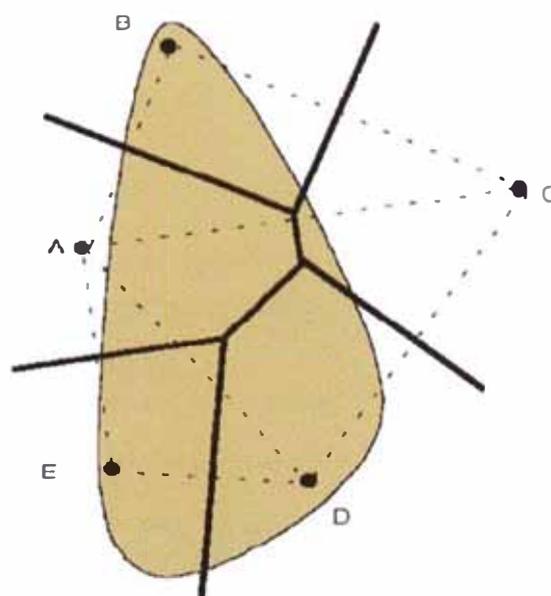


Tabla 3.13: Calculo de los pesos relativos de las estaciones por cada subcuenca

Subcuenca	Estación	Área (Km ²)	Área Total (Km ²)	Porcentaje
50	Pariacancha	102.7579	102.7579	100.00
49	Pariacancha	48.5922	48.5922	100.00
48	Pariacancha Huaros	31.3439 0.0635	31.4074	99.80 0.20
47	Pariacancha Huaros	31.8137 15.3484	47.1621	67.46 32.54
46	Pariacancha Huaros	5.7713 13.4973	19.2686	29.95 70.05
45	Huaros	50.2454	50.2454	100.00
44	Huaros	19.5121	19.5121	100.00
43	Huaros Canta	23.3041 37.3705	60.6746	38.41 61.59
42	Huaros Canta	22.4002 36.8966	59.2968	37.78 62.22
41	Canta Lachaqui	41.7052 5.8644	47.5696	87.67 12.33
40	Huamantanga Canta Lachaqui Arahuay	18.8815 14.4265 17.5672 2.2518	53.1270	35.54 27.15 33.07 4.24
39	Canta Huamantanga	4.8850 38.2399	43.1249	11.33 88.67
38	Lachaqui Huamantanga Arahuay	3.4883 4.6651 28.4556	36.6090	9.53 12.74 77.73
37	Huamantanga Arahuay	26.0173 1.1441	27.1614	95.79 4.21
36	Huamantanga Arahuay	54.1545 1.4373	55.5918	97.41 2.59
35	Arahuay	11.4650	11.4650	100.00
34	Huamantanga Arahuay	6.7443 9.5211	16.2654	41.46 58.54
33	Huamantanga Arahuay	0.0450 21.1365	21.1815	0.21 99.79
32	Lachaqui	39.5754	39.5754	100.00
31	Pariacancha Huaros Canta Lachaqui	4.1583 15.2692 21.2284 61.9186	102.5745	4.05 14.89 20.70 60.36
30	Lachaqui Arahuay	10.0232 2.8921	12.9153	77.61 22.39
29	Lachaqui Arahuay	31.2156 3.4228	34.6384	90.12 9.88
28	Arahuay	46.2288	46.2288	100.00

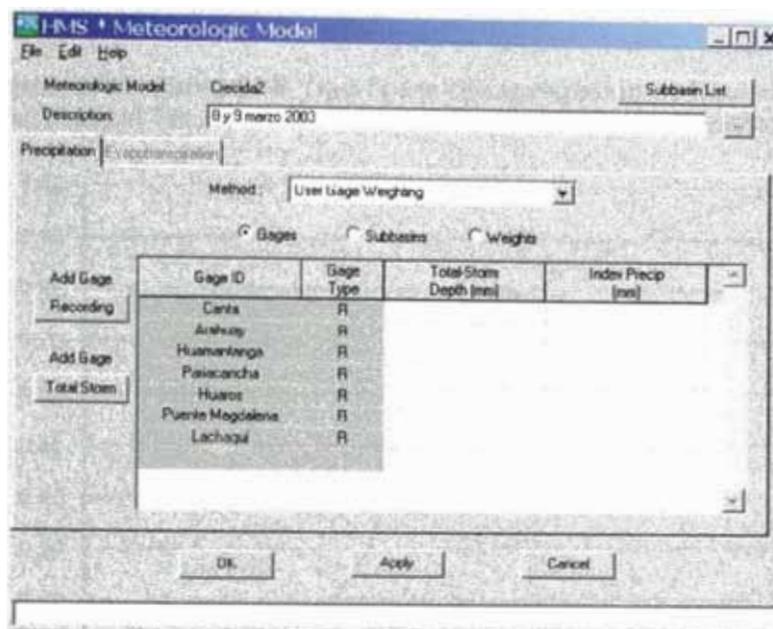
Subcuenca	Estación	Área (Km ²)	Área Total (Km ²)	Porcentaje
27	Arahuay	58.8828		99.24
	Lachaqui	0.4530	59.3358	0.76
26	Arahuay	8.4743	8.4743	100.00
25	Arahuay	65.2739		95.73
	Pte. Magd	2.9091	68.1830	4.27
24	Arahuay	16.7194		69.04
	Pte. Magd	7.4976	24.2170	30.96
23	Arahuay	15.4953		49.35
	Pte. Magd	15.9015	31.3968	50.65
22	Pte. Magd	22.1716	22.1716	100.00
21	Pte. Magd	17.2508	17.2508	100.00
20	Pte. Magd	16.4614	16.4614	100.00
19	Pte. Magd	23.6618	23.6618	100.00
18	Pte. Magd	9.6392	9.6392	100.00
17	Pte. Magd	30.6924	30.6924	100.00
16	Pte. Magd	37.7438	37.7438	100.00
15	Pte. Magd	8.4424		31.88
	Arahuay	0.6594		2.49
	Huamantanga	17.3783	26.4801	65.63
14	Pte. Magd	7.7326		14.18
	Huamantanga	46.8005	54.5331	85.82
13	Pte. Magd	34.0729	34.0729	100.00
12	Pte. Magd	62.1247		88.52
	Huamantanga	8.0602	70.1850	11.48
11	Pte. Magd	8.8055	8.8055	100.00
10	Pte. Magd	15.0720	15.0720	100.00
9	Pte. Magd	64.6333	64.6333	100.00
8	Pte. Magd	38.4446	38.4446	100.00
7	Pte. Magd	50.0672	50.0672	100.00
6	Pte. Magd	48.3813	48.3813	100.00
5	Pte. Magd	47.1117	47.1117	100.00
4	Pte. Magd	19.0271	19.0271	100.00
3	Pte. Magd	4.7061	4.7061	100.00
2	Pte. Magd	102.9855	102.9855	100.00
1	Pte. Magd	52.2251	52.2251	100.00

Tabla 3.14: Desagregación de precipitación del día 5 de Marzo del 2003

Fecha	P total (mm.)	Factor	Lachaqui	Canta	Arahuay	Huamantanga	Pariacancha	Huaros	Pte. Magd.
05-03-03	01:00	0,0170	20,5	2,8	0,5	2,1	17,5	7,5	0,0
05-03-03	02:00	0,0171	0,35	0,05	0,01	0,30	0,04	0,13	0,00
05-03-03	03:00	0,0193	0,35	0,05	0,01	0,30	0,04	0,13	0,00
05-03-03	04:00	0,0207	0,40	0,05	0,01	0,34	0,04	0,14	0,00
05-03-03	05:00	0,0246	0,42	0,06	0,01	0,36	0,04	0,16	0,00
05-03-03	06:00	0,0241	0,50	0,07	0,01	0,43	0,05	0,18	0,00
05-03-03	07:00	0,0312	0,49	0,07	0,01	0,42	0,05	0,18	0,00
05-03-03	08:00	0,0364	0,64	0,09	0,02	0,55	0,07	0,23	0,00
05-03-03	09:00	0,0602	0,75	0,10	0,02	0,64	0,08	0,27	0,00
05-03-03	10:00	0,2559	1,23	0,17	0,03	1,05	0,13	0,45	0,00
05-03-03	11:00	0,1106	5,25	0,72	0,13	4,48	0,54	1,92	0,00
05-03-03	12:00	0,0615	2,27	0,31	0,06	1,94	0,23	0,83	0,00
05-03-03	13:00	0,0476	1,26	0,17	0,03	1,08	0,13	0,46	0,00
05-03-03	14:00	0,0374	0,98	0,13	0,02	0,83	0,10	0,36	0,00
05-03-03	15:00	0,0364	0,77	0,10	0,02	0,65	0,08	0,28	0,00
05-03-03	16:00	0,0293	0,75	0,10	0,02	0,64	0,08	0,27	0,00
05-03-03	17:00	0,0271	0,60	0,08	0,01	0,51	0,06	0,22	0,00
05-03-03	18:00	0,0259	0,56	0,08	0,01	0,47	0,06	0,20	0,00
05-03-03	19:00	0,0287	0,53	0,00	0,01	0,45	0,05	0,19	0,00
05-03-03	20:00	0,0213	0,59	0,00	0,01	0,50	0,06	0,22	0,00
05-03-03	21:00	0,0202	0,44	0,02	0,01	0,37	0,04	0,16	0,00
05-03-03	22:00	0,0175	0,41	0,01	0,01	0,35	0,04	0,15	0,00
05-03-03	23:00	0,0154	0,36	0,00	0,01	0,31	0,04	0,13	0,00
05-03-03	00:00	0,0146	0,32	0,00	0,01	0,27	0,03	0,12	0,00
05-03-03			0,30	0,00	0,01	0,26	0,03	0,11	0,00

Estos parámetros fueron ingresados al programa HEC-HMS para la aplicación del modelo meteorológico.

Figura 3.13: Modelo meteorológico



Previamente a la creación del modelo meteorológico es necesario el ingreso de los datos de cada estación pluviométrica, es decir, nombre, coordenadas y precipitación. Como se va a modelar hidrológicamente una crecida del río, es más útil el ingreso de datos horarios de precipitación, conocidos en conjunto como hietogramas.

La mayoría de los datos proporcionados por Senamhi son datos de precipitación total diaria, a excepción de los datos de las estaciones pluviométricas automáticas que si son datos de precipitación horaria. Para esto, en el caso de los datos de precipitación total diaria se ha utilizado un método de desagregación de lluvias del SCS, el cual permite conseguir los respectivos hietogramas.

El método de desagregación de lluvias consiste en multiplicar la precipitación total por factores de acuerdo a la curva de distribución hipotética de lluvias del SCS, para el caso de la cuenca del Chillón se consideró la curva SCS Tipo I, que corresponde a la curva de tormentas de la costa este de los Estados Unidos.

Se escogió la curva SCS Tipo I por la similitud de las características de la costa este de los Estados Unidos y la costa del Perú; como por ejemplo la topografía de las cuencas que genera el fenómeno de convección orográfica y el mar frío que no genera tormentas tropicales que produzca lluvias de alta intensidad.

Figura 3.14: Curva SCS Tipo I para desagregación de lluvias
 Fuente: Manual Técnico HEC-HMS – U.S. Army Corps of Engineers

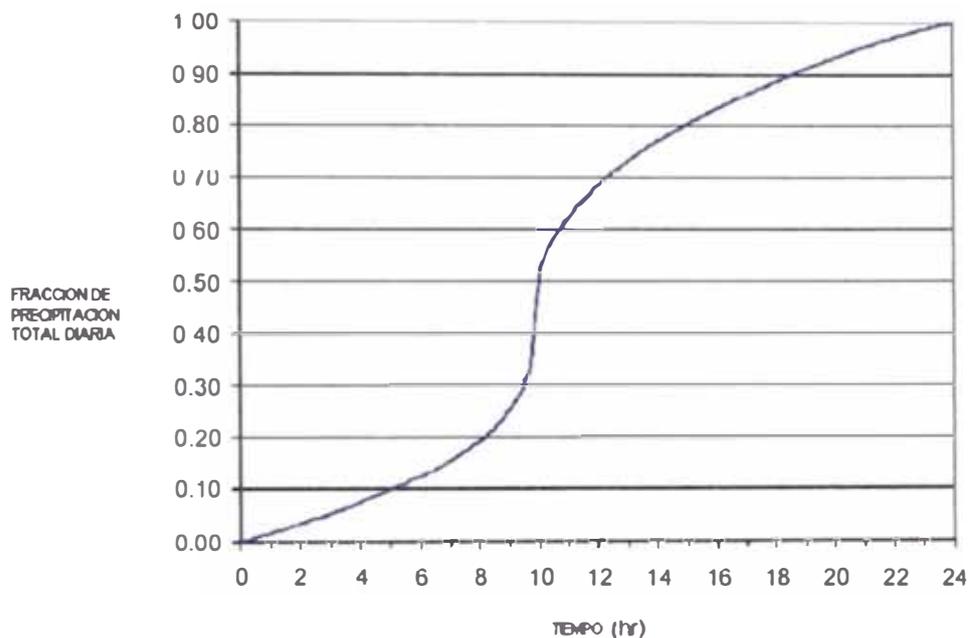
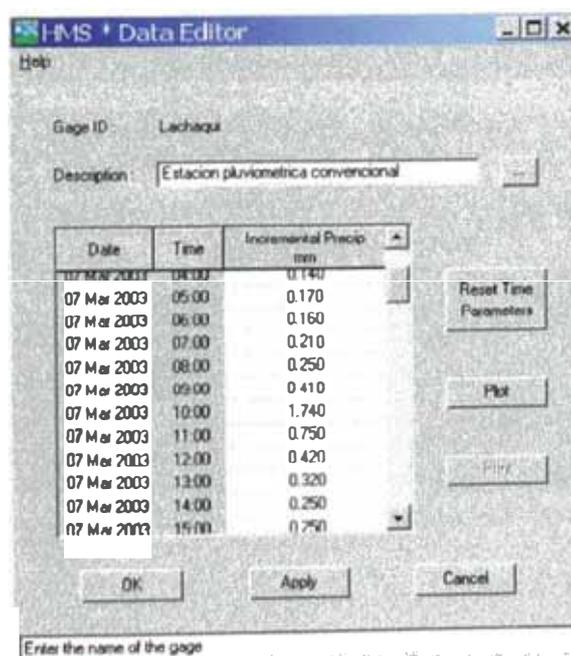


Figura 3.15: Ingreso de las precipitaciones desagregadas para cada estación



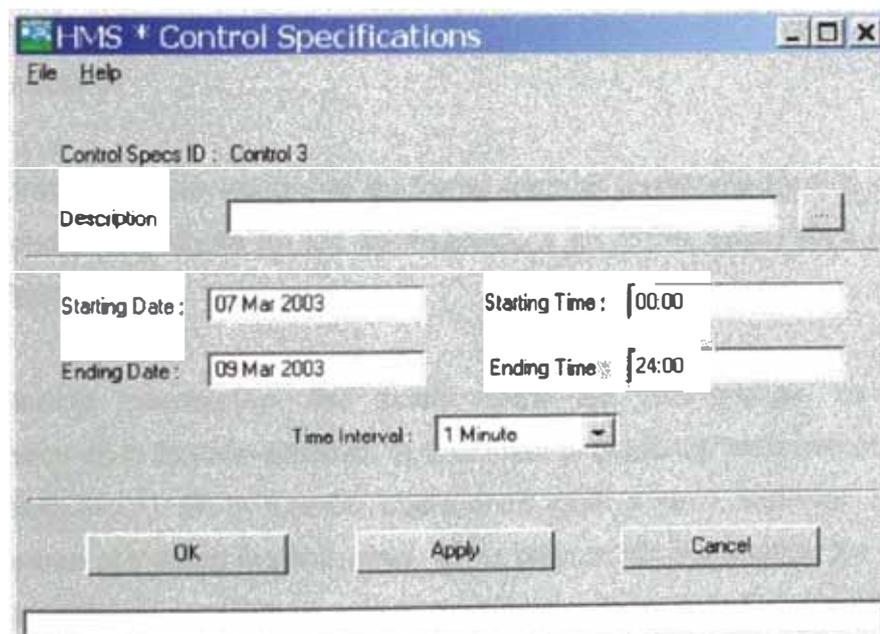
3.2.3. Especificaciones de control

En las especificaciones de control se establece cual será el intervalo de tiempo para el cual se realizará el computo del modelo. En el cual se debe de especificar: Fecha y hora de inicio; Fecha y hora de término; Intervalo de tiempo (Δt).

Para el caso de este modelamiento, se escogió como fecha de inicio el 7 de Marzo del 2003 a las 0:00 y como fecha de término el 9 de marzo del 2003 a las 24:00; debido a que en este intervalo de tiempo se tienen los caudales máximos del año 2003.

Una vez creados el modelo de la cuenca, el modelo meteorológico y las especificaciones de control, se puede hacer la simulación del modelo hidrológico. Los resultados de esta simulación serán hidrogramas de salida en forma gráfica o tabular. Ver los resultados en forma gráfica del modelamiento en la página siguiente.

Figura 3.16: Ingreso de las especificaciones de control



3.2.4. Calibración

La calibración es un proceso por el cual se modifican los valores de algunos parámetros que contiene el modelo hasta que los resultados obtenidos a través del mismo se ajusten lo mejor posible a la información histórica.

Los modelos matemáticos incluidos en el HEC-HMS, que simulan los procesos físicos que se llevan a cabo en una cuenca, requieren del ingreso de parámetros para su correcto funcionamiento. Las expresiones para el cálculo de los parámetros, en función de las características de la cuenca, fueron estudiadas anteriormente. Las expresiones y metodologías para calcular los parámetros del modelo permiten obtener estimaciones iniciales de los mismos; ya que la mayoría son fórmulas empíricas obtenidas a través de la observación y experimentación en otras cuencas. Para esto, los resultados obtenidos empleando éstas formulas no deben considerarse como valores definitivos, sino que deben de verificarse comparando los hidrogramas calculados con los hidrogramas observados en estaciones hidrométricas.

Por lo tanto los parámetros calculados sirven solo como buenas estimaciones iniciales. Los parámetros definitivos son los que se obtienen mediante el proceso de calibración.

La calibración puede realizarse en forma manual (mediante técnica del tanteo, modificando los valores de los parámetros) o en forma automática (opción del HEC-HMS).

Una medida cuantitativa del ajuste entre los hidrogramas calculados y observados es la función objetivo, la cual mide el grado de variación entre ambos (ver Anexo No.1). Si la función objetivo es igual a cero, significa que ambos hidrogramas coinciden exactamente. En la calibración automática los valores de los parámetros se modifican hasta que se logre minimizar la función objetivo, con lo cual se tienen los valores óptimos de los parámetros.¹⁸

¹⁸ Manual del usuario del HEC-HMS

Para el caso de la calibración de nuestro modelo hidrológico, en primera instancia se realizó una calibración automática, logrando resultados no muy satisfactorios; por lo que se procedió a realizar la calibración manual, obteniendo mejores resultados.

El punto de comparación de caudales es la Bocatoma del Río Chillón; ubicada en las coordenadas 11°48' de Latitud y 77°00' de Longitud, a 350 m.s.n.m. Los registros de caudales se muestran a continuación.

Tabla 3.20: Registros de caudales Bocatoma Chillón

	Q (m ³ /s)			
	08-Mar-03	09-Mar-03	10-Mar-03	11-Mar-03
1:00	-	52.30	41.69	34.09
2:00	-	53.82	48.39	35.51
3:00	-	53.23	42.42	33.78
4:00	-	51.46	39.64	30.52
5:00	-	50.29	38.23	30.60
6:00	-	49.79	36.77	29.45
7:00	-	46.96	36.26	27.97
8:00	-	44.23	33.73	26.39
9:00	-	43.06	33.29	26.39
10:00	-	41.22	32.87	27.33
11:00	-	40.12	27.28	25.82
12:00	36.45	38.95	30.00	25.50
13:00	35.07	38.98	33.79	26.17
14:00	36.94	40.00	32.13	25.51
15:00	36.45	37.81	30.75	23.63
16:00	37.72	36.79	30.46	22.98
17:00	36.81	37.04	29.33	23.86
18:00	36.49	36.85	30.36	21.49
19:00	34.77	36.99	28.74	22.75
20:00	36.45	37.17	28.81	24.00
21:00	36.69	37.05	26.83	24.37
22:00	51.14	38.15	31.10	23.70
23:00	53.49	40.97	30.60	26.39
24:00	53.20	39.92	33.13	32.25

Nota: Los registros fueron obtenidos del Estudio "Aprovechamiento Optimo de las Aguas superficiales y Subterráneas del Río Chillón" – Consorcio Agua Azul

Figura 3.17: Ingreso de caudales de la Bocatoma Chillón

HMS Data Editor

Help

Gage ID : Bocatoma

Description : Descargas en bocatoma Chillon - Punchauca K

Date	Time	Discharge m3/s
07 Mar 2003	24:00	35.730
08 Mar 2003	01:00	42.470
08 Mar 2003	02:00	42.790
08 Mar 2003	03:00	46.290
08 Mar 2003	04:00	48.310
08 Mar 2003	05:00	47.490
08 Mar 2003	06:00	46.530
08 Mar 2003	07:00	44.570
08 Mar 2003	08:00	41.340
08 Mar 2003	09:00	40.160
08 Mar 2003	10:00	37.690
08 Mar 2003	11:00	38.190
08 Mar 2003	12:00	36.450
08 Mar 2003	13:00	35.070

Reset Time Parameters

Plot

Print

OK Apply Cancel

Enter the name of the gage

Fotografía No.3.12: Bocatoma del Río Chillón



3.2.5 Tiempo máximo de pronóstico o reacción

Es el tiempo que transcurre entre una precipitación y el paso del caudal generado por dicha precipitación, por un punto de control. Se ha calculado de dos maneras; la primera mediante sumatoria de tiempos de concentración de las subcuencas integrantes de la ruta de flujo más larga, y la segunda gráficamente ayudados por reportes gráficos del programa HEC-HMS.

Considerando la ruta de flujo más larga hasta la bocatoma, a través de las subcuencas 49, 46, 44, 42, 41, 40, 38, 35, 33, 23, 22, 20, 19, 18, 16, 11, 2 y 1; y sumando sus respectivos tiempos de concentración de acuerdo a la tabla 3.7; se obtiene un tiempo máximo de pronóstico de 14.17 horas.

De acuerdo al reporte grafico del programa HEC-HMS se sabe que la máxima precipitación en la cuenca se produjo el día 8 de marzo del 2003 a las 10 a.m. El caudal generado por esa precipitación, que a su vez fue caudal máximo, se produjo el día 8 de marzo del 2003 a las 21:48 p.m. Por lo tanto la diferencia de tiempo entre ambos sucesos es de 12 horas aproximadamente, que es el tiempo con el que podemos pronosticar un caudal en la zona de la bocatoma. Es decir, podemos conocer 12 horas anticipadamente acerca de la inminente ocurrencia de una inundación.

Tabla 3.21: Parámetros calibrados de número de curva e infiltración

Subcuenca	Originales			Calibrados		
	CN	lo (mm)	% Imperm.	CN	lo (mm)	% Imperm.
50	90.26	5.48	0.00	75.00	16.93	0.00
49	88.02	6.91	0.00	80.00	12.7	0.00
48	89.27	6.11	0.00	80.00	12.7	0.00
47	90.18	5.54	0.00	89.00	6.28	0.00
46	87.75	7.09	0.00	85.00	8.96	0.00
45	90.36	5.42	0.00	93.00	3.82	0.00
44	86.71	7.79	0.00	86.71	7.79	0.00
43	89.39	6.03	0.00	87.00	7.59	0.00
42	87.00	7.59	0.00	90.00	5.64	0.00
41	85.92	8.33	0.00	90.00	5.64	0.00
40	86.09	8.21	0.00	90.00	5.64	0.00
39	88.44	6.64	0.00	90.00	5.64	0.00
38	86.10	8.20	0.00	89.00	6.28	0.00
37	84.95	9.00	0.00	89.00	6.28	0.00
36	86.28	8.08	0.00	89.00	6.28	0.00
35	81.84	11.27	0.00	89.00	6.28	0.00
34	84.18	9.55	0.00	89.00	6.28	0.00
33	83.05	10.37	0.00	89.00	6.28	0.00
32	89.15	6.18	0.00	80.00	12.7	0.00
31	89.00	6.28	0.00	80.00	12.7	0.00
30	86.83	7.70	0.00	86.00	8.27	0.00
29	87.97	6.95	0.00	78.00	14.33	0.00
28	83.57	9.98	0.00	83.57	9.99	0.00
27	82.97	10.43	0.00	92.00	4.42	0.00
26	81.70	11.38	0.00	81.70	11.38	0.00
25	81.11	10.43	0.00	81.11	11.83	0.00
24	82.44	10.82	0.00	82.44	10.82	0.00
23	83.77	9.85	0.00	89.00	6.28	0.00
22	67.72	24.21	0.00	82.84	10.53	0.00

Subcuenca	Iniciales			Calibrados		
	CN	lo (mm)	% Imperm.	CN	lo (mm)	% Imperm.
21	69.20	22.61	0.00	69.20	22.61	0.00
20	67.75	24.18	0.00	67.75	24.18	0.00
19	69.92	21.85	0.00	69.92	21.85	0.00
18	69.70	22.09	0.00	69.70	22.09	0.00
17	71.02	20.73	0.00	71.02	20.73	0.00
16	70.34	21.42	0.00	70.34	21.42	0.00
15	83.93	9.73	0.00	83.93	9.73	0.00
14	86.14	8.18	0.00	86.14	8.18	0.00
13	71.47	20.28	0.00	71.47	20.28	0.00
12	71.77	19.98	0.00	71.77	19.98	0.00
11	68.06	23.84	0.00	68.06	23.84	0.00
10	70.80	20.96	0.00	70.80	20.96	0.00
9	71.92	19.83	0.00	71.92	19.83	0.00
8	68.90	22.93	0.00	68.90	22.93	0.00
7	71.02	20.73	0.00	71.02	20.73	0.00
6	71.77	19.98	0.00	71.77	19.98	0.00
5	72.95	18.84	0.00	72.95	18.84	0.00
4	75.23	16.73	0.00	75.23	16.73	0.00
3	67.96	23.94	0.00	67.96	23.94	0.00
2	71.84	19.91	0.00	71.84	19.91	0.00
1	72.03	19.72	0.00	72.03	19.72	0.00

Figura 3.18: Hidrograma calibrado

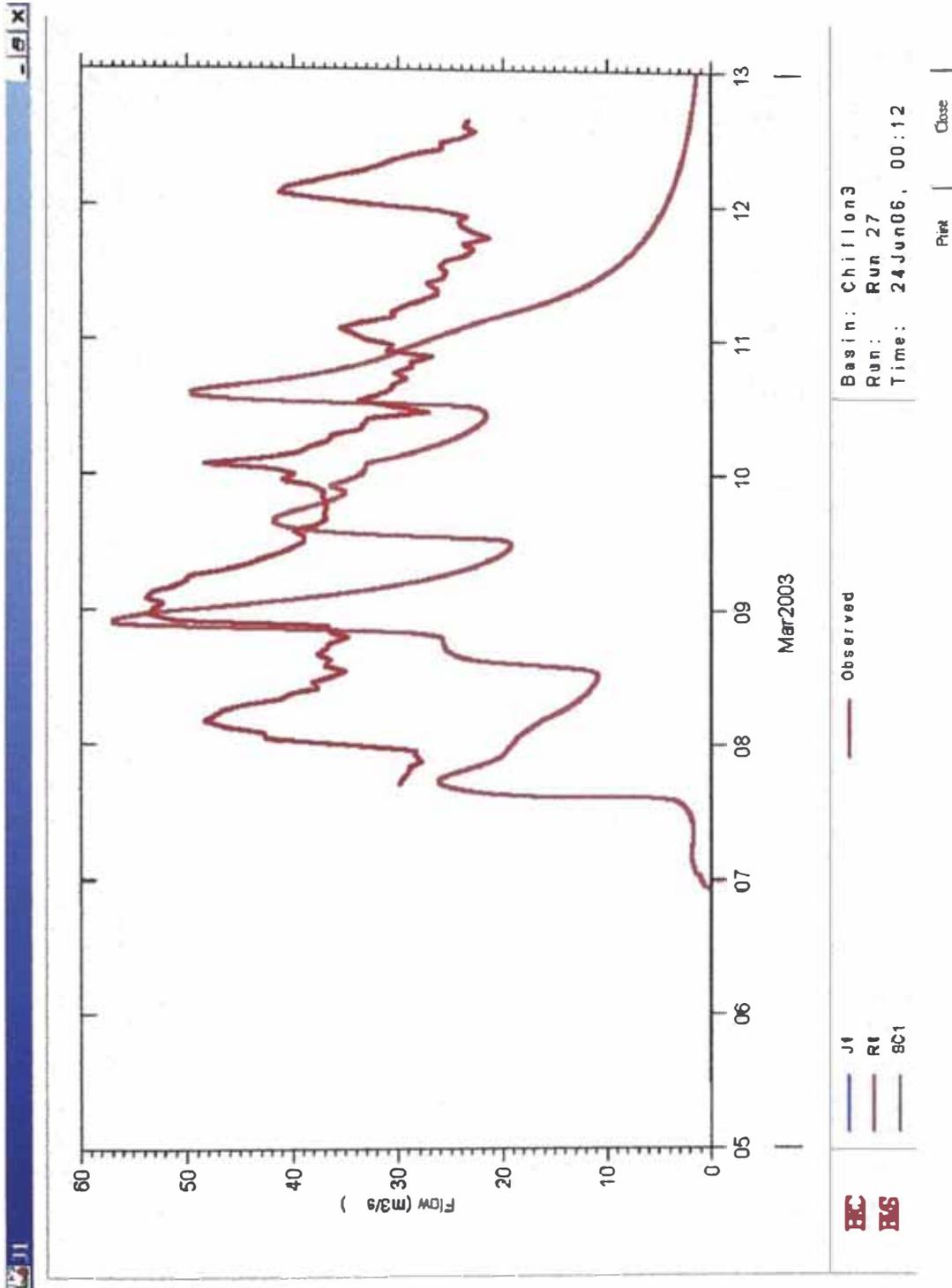
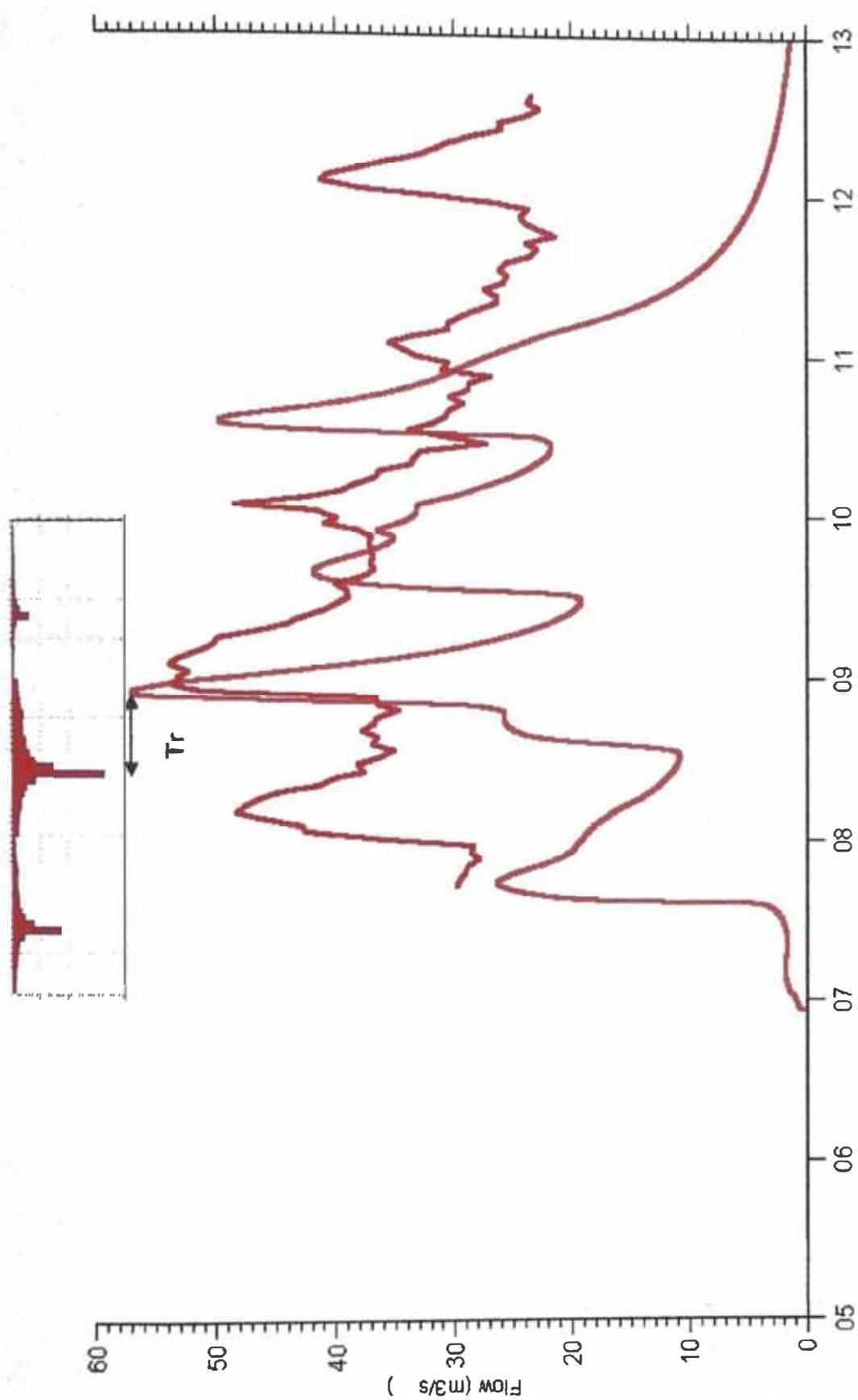


Figura 3.18: Tiempo para el pronóstico y reacción



3.2.6. Generación de máximas avenidas para diferentes períodos de retorno

Luego de calibrado el modelo hidrológico, se procedió a la generación de máximas avenidas para diferentes periodos de retorno siguiendo el siguiente procedimiento:

- a. Recopilación de registros pluviométricos (precipitaciones máximas en 24 horas) de cada estación de la cuenca durante los años 1992 – 2001 (ver Anexo No.2), debido a la coincidencia en el intervalo de tiempo registrado. Con esta información se elige la precipitación máxima en 24 horas para cada año.

Tabla 3.24: Precipitaciones máximas en 24 horas (mm)

Año	Canta	Lachaqui	Pariacancha	Huamantanga	Arahuay	Huaros
1992	0.9	20.0	26.8	19.4	12.0	11.7
1993	9.4	21.7	24.8	22.8	27.0	21.0
1994	15.5	30.9	27.7	22.0	16.5	26.4
1995	12.4	17.1	29.2	29.6	11.4	25.0
1996	16.7	17.7	17.7	19.5	18.5	23.6
1997	30.0	24.8	24.2	17.8	25.4	20.9
1998	30.5	26.8	38.0	33.6	30.2	20.5
1999	24.1	14.7	20.9	25.4	23.8	23.0
2000	19.2	19.5	25.0	27.5	31.7	22.3
2001	33.5	26.2	22.6	19.4	21.5	24.4

- b. Se aplican los diferentes métodos de análisis estadístico, ayudado por el programa SMADA 6.0 – DISTRUB 2.13 para la generación de los caudales de diferentes períodos de retorno. Este programa además permite darnos cuenta gráficamente de la bondad del ajuste de la distribución estadística (ver Anexo No.3).
- c. Para todas las estaciones, se escogieron los resultados del método de distribución Normal, porque tienen un buen ajuste de bondad; el cual fue confirmado mediante la prueba de Smirnov – Kolmogorov (ver Anexo No.4).

Tabla 3.25: Precipitaciones de diseño para diferentes periodos de retorno (mm)

T (años)	Canta	Lachaqui	Pariacancha	Huamantanga	Arahuay	Huaros
2	19.22	21.94	25.69	23.70	21.80	22.51
5	27.96	26.23	30.29	28.07	27.79	26.10
10	32.53	28.47	32.70	30.36	30.92	27.98
25	37.40	30.87	35.26	32.80	34.26	29.98
50	40.55	32.41	36.92	34.38	36.42	31.27
100	43.38	33.80	38.41	35.80	38.36	32.43

- d. Procedemos a la desagregación de la precipitación generada por el programa SMADA 6.0 – DISTRUB 2.13; de acuerdo a la curva de tormenta SCS tipo I.
- e. Los datos de lluvia horarios que se generaron, son ingresados al HEC-HMS; para el modelamiento hidrológico.
- f. Finalmente obtenemos los hidrogramas que son resultado del modelamiento hidrológico, con los cuales podemos conocer las máximas avenidas para los diferentes periodos de retorno.
- g. Los caudales generados para los diferentes periodos de retorno son similares a los mencionados en muchos estudios. Por lo que confirmamos un buen modelamiento de la cuenca.

CAPITULO 4: DISEÑO DEL ESQUEMA FISICO DEL SISTEMA DE ALERTA

4.1 Componentes del sistema

El principal componente físico de un sistema de alerta temprana, son las estaciones de medición automáticas, ya sean pluviométricas o hidrométricas; estas a su vez, se componen de otros elementos que son indispensables para su correcto funcionamiento.

En la cuenca del río Chillón, se recomienda la instalación de estaciones automáticas, actualmente solo existen dos automáticas con transmisión de datos en tiempo real (Estación Huaros y Puente Magdalena); una estación es automática pero sin transmisión en tiempo real (Estación Arahua); el resto son estaciones convencionales, que además, no funcionan de una manera adecuada y organizada.

Cada estación pluviométrica automática de transmisión de datos en tiempo real debe constar básicamente del siguiente equipo: un pluviómetro, un panel solar, una batería, una antena y un módulo electrónico de registro y control instalado en el interior de un gabinete metálico.

Dada la importancia de operar confiablemente y en forma continua las estaciones, especialmente bajo condiciones ambientales muy adversas, por ejemplo, durante una tormenta, es necesario diseñar la estación en forma robusta y con protecciones especiales. Evidentemente la alimentación eléctrica de los equipos es esencial. Para garantizar un suministro permanente e independiente de energía, se necesita equipar las estaciones de registro de precipitación con una batería y un panel solar, además de un circuito para controlar la carga y la regulación del voltaje.

De esta manera en el día la celda convierte la energía solar en electricidad y carga la batería que de noche toma toda la carga y alimentación de la estación. Los equipos se deben diseñar y dimensionar de manera que, aún bajo

condiciones prolongadas de intensos nublados en los cuales el panel es poco eficiente en su proceso de conversión de luz solar en energía eléctrica, la estación pudiese operar sin problemas por lapsos de varias semanas.

Para el registro de la lluvia cada estación cuenta con un sensor de precipitación o pluviómetro, un circuito electrónico que almacena los datos proporcionados por el sensor y un contador electromecánico de respaldo.

El pluviómetro recomendado es del tipo balancín, similar al mostrado en la Figura 4.1. Consiste de un recipiente cilíndrico en cuya parte superior se encuentra expuesto un embudo a través del cual se que capta el agua de lluvia. Esta se conduce hacia una balanza o balancín con dos recipientes. Cuando la cantidad de agua acumulada en uno de los recipientes llega a una cierta cantidad, el peso de la misma hace que el balancín salga de equilibrio, con lo cual se vierte el agua y queda en posición para captar agua el otro recipiente. Este movimiento del balancín activa momentáneamente un interruptor y produce una señal que es registrada como un pulso o cuenta por la tarjeta de control y registro. Cada movimiento del balancín equivale por tanto a una determinada cantidad de agua de lluvia que se mide en milímetros o pulgadas.

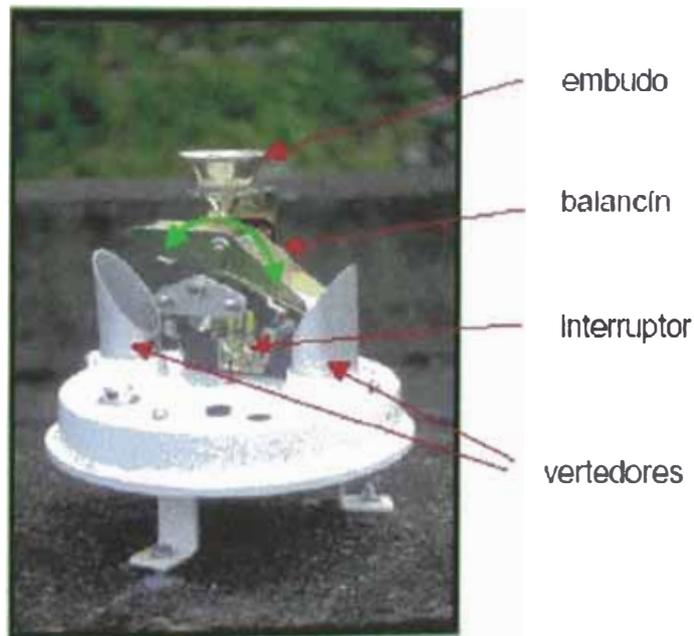
La precipitación acumulada en las estaciones es registrada por la tarjeta de control que la despliega a través de un visualizador alfanumérico. A manera de respaldo también se acumulan los pulsos directamente en un contador electromecánico. Las cuentas de ambos indicadores dan la precipitación total acumulada desde que se instaló la estación o desde la última vez que se visitó la estación y se iniciaron a cero los contadores.

Otro tipo de pluviómetros no cuenta con contador electromecánico, simplemente el agua de lluvia que entró en el pluviómetro es almacenada en un bidón; esta agua almacenada viene a ser la cantidad de lluvia acumulada, que es comparada con las lecturas electrónicas.

Figura No.4.1: Pluviómetro automático utilizado en SIAT Plura vía Fax-Módem
Fuente: Manual de funcionamiento pluviómetro automático Seba



Figura No.4.2: Detalle del mecanismo interior de un pluviómetro
Fuente: Sistema de Alerta Hidrometeorológica de Acapulco, Guerrero



En el caso de las estaciones hidrométricas automáticas; el tipo de almacenamiento de datos y de transmisión, es similar al de las estaciones pluviométricas, es decir, se puede componer de un panel solar, una batería, una antena y un módulo electrónico de registro y control instalado en el interior de un gabinete metálico.

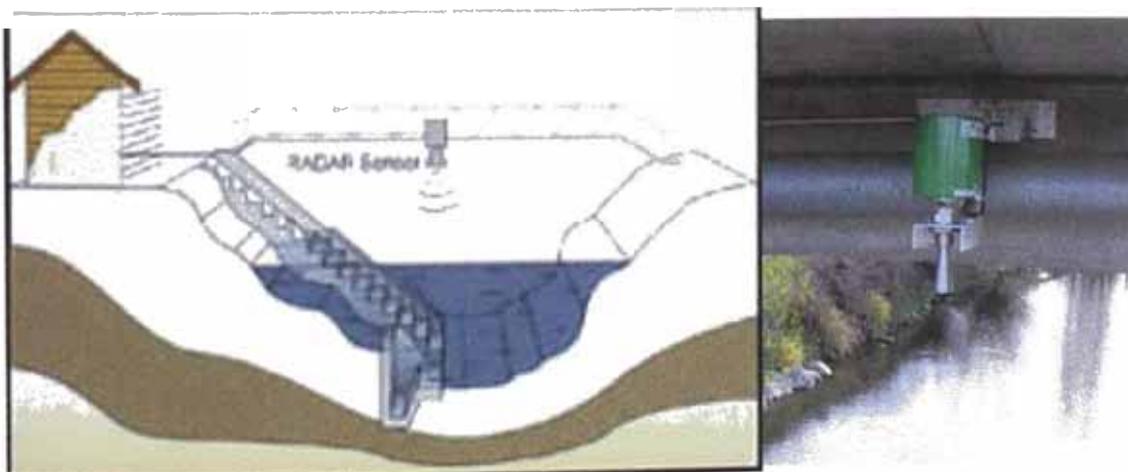
Para la medición de niveles de caudal existen diversos tipos de equipos por ejemplo, sensor de flotación, sensor neumático de presión (ver Anexo No.4) y sensor tipo radar.

Para el caso de la cuenca del Chillón se recomienda el sensor tipo radar, ya que, para su funcionamiento no requiere estar en contacto con el agua, evitando así malos funcionamientos ocasionados por choque de piedras u otros elementos que el río Chillón traslada, por lo general en épocas de grandes avenidas y huaycos.

Funcionamiento del sensor tipo radar.- La medida del nivel de líquidos o sólidos se realiza de modo continuo, sin contacto con la superficie en cuestión. Un transductor ultrasónico emite un tren de ondas, cuya reflexión permite determinar el tiempo de tránsito de ida y vuelta de los impulsos y por tanto calcular así la distancia o el nivel deseado.

Figura No.4.3: Detalle del mecanismo interior de una estación hidrométrica tipo radar

Fuente: Manual de funcionamiento Seba



Debido al alto costo de estos equipos, es recomendable ubicar las estaciones en sitios seguros, por ejemplo, Postas Médicas, Municipalidades, Comisarias, etc. Muchas veces esto no es posible, ya que los lugares destinados a la ubicación de las estaciones se encuentran muy alejados de los poblados; por eso es necesaria la instalación de cercos de seguridad equipados a veces con electricidad, para evitar maltrato de los equipos y/o robos. La electricidad para los cercos de seguridad se consigue mediante un panel solar y batería adicionales.

Existen diferentes marcas de equipos, pero a raíz que en la cuenca del río Chillón ya se han instalado estaciones automáticas marca Sutron, se recomienda la adquisición de equipos de marca similar. Podrían ser recomendadas también las estaciones automáticas marca Seba, ya que se vienen utilizando con éxito en el Sistema de Alerta de la cuenca del río Piura y se cuenta con la experiencia de su manejo.

4.2 Reglas de Operación

Como ya es sabido, el Sistema de Alerta está basado en un conjunto de estaciones pluviométricas e hidrométricas, ubicadas en las diferentes subcuencas hidrológicas en que se divide la región en estudio.

Estas estaciones miden la precipitación acumulada, la intensidad de lluvia y los niveles de los cauces y envían la información por telemetría a una Estación central de registro preferentemente ubicado en el cono norte de Lima; de no ser así, esta estación podría ubicarse en las instalaciones del SENAMHI, donde se cuenta además con facilidades para la comunicación.

La transmisión de los datos desde las estaciones automáticas (pluviométricas e hidrométricas) hacia la Estación Central será en tiempo real y se realizará mediante el uso de satélites. Se propone que la frecuencia mínima de medición y transmisión de datos sea de una hora, es decir, que no se debe de pasar de una hora sin tener datos de todas las estaciones.

El uso de la transmisión vía radio frecuencia no es recomendable por la dificultad de encontrar una línea de visión entre estaciones remotas y estación central, debido principalmente a la topografía de la cuenca.

La Estación central, recoge, procesa y analiza; para esto se necesitará de un programa que permita la conversión de las señales de los pluviómetros en milímetros de lluvia (este programa es proporcionado por el proveedor de los pluviómetros automáticos), y luego estos datos serán trabajados por el modelo hidrológico para el pronóstico de avenidas, creado especialmente para la cuenca. La información de niveles de caudal recogidas por las estaciones hidrométricas servirá para la calibración y ajuste del modelo hidrológico.

Al rebasarse ciertos umbrales establecidos, se activan alarmas indicando a los usuarios, generalmente autoridades del Municipio de los distritos afectados, Defensa Civil, Policía Nacional y Bomberos, sobre el peligro de la posible ocurrencia de flujos e inundaciones que pudiesen provocar daños en una cierta

área de la cuenca y poder poner a sí en marcha un plan de emergencia previamente establecido.

En la tesis "Zonificación de áreas inundables utilizando un sistema de información geográfica – Aplicación al tramo final del río Chillón"; se han identificado y cuantificado las diferentes áreas en riesgo de inundación, así como la cantidad de habitantes bajo amenaza, para diferentes periodos de retorno y caudales. Los umbrales a establecer deben tomar en cuenta dicha información.

Tabla 4.2: Información a tener en cuenta para el estableciendo de umbrales

T (años)	Caudal (m³/s)	Área de planicie de inundación (ha.)	Area urbana afectada (ha.)	Habitantes bajo amenaza
2	56	-	-	-
5	90	48808	32617	3971
10	113	81754	57966	7104
50	162	189213	153942	18576
100	183	192284	157460	18655
500	231	198708	161430	19025

Es importante instruir a los pobladores de la cuenca acerca de la importancia del sistema de alerta temprana y de los equipos instalados en sus poblados o cerca de sus poblados; muchas veces al tener este conocimiento brindan apoyo a técnicos o ingenieros de mantenimiento; en caso contrario los pobladores pueden pensar que se trata de equipos de exploración minera y temen la expropiación de sus tierras, por lo que reaccionan agresivamente.

En la figura 4.4 se ilustra el esquema de operación de un Sistema de Alerta Temprana típico y en la figura 4.5 se aplica este esquema al caso de la cuenca del río Chillón.

Figura No.4.4: Esquema de operación del Sistema de Alerta Temprana Típico

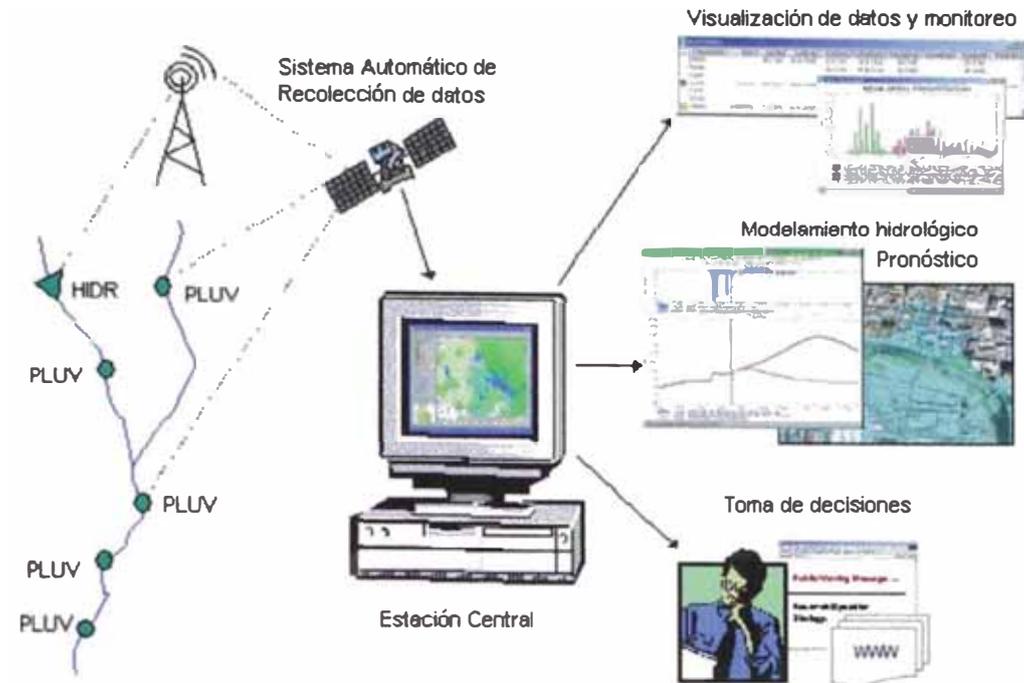
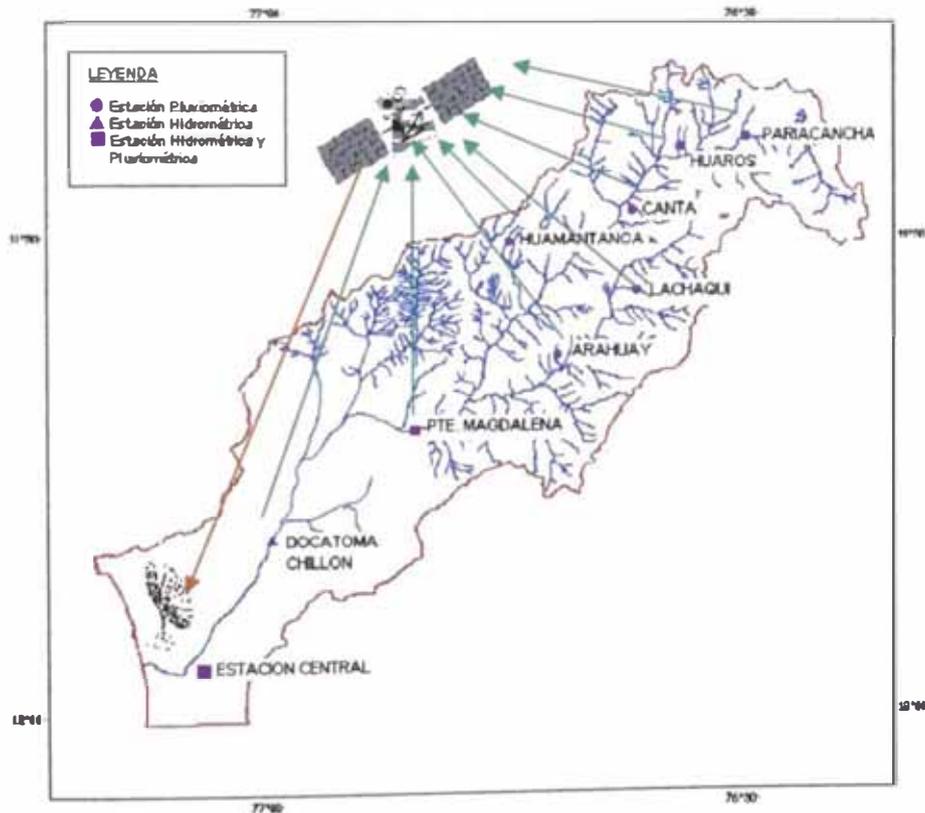


Figura No.4.5: Esquema de operación del Sistema de Alerta Temprana del río Chillón



4.3 Implementación del proyecto

En la implementación del proyecto se está considerando la instalación de 5 estaciones pluviométricas automáticas (Arahuay, Huamantanga, Lachaqui, Pariacancha, Canta) que deberán mantener similitud con las ya instaladas en Huaros y Puente Magdalena. Y la instalación de una estación hidrométrica automática en la parte baja de la cuenca para complementar las mediciones de la estación hidrométrica automática de Puente Magdalena.

La ubicación de las nuevas estaciones será la misma que las estaciones pluviométricas convencionales de la cuenca, administradas por el Senamhi.

4.3.1 Programación

Para realizar la programación de la implementación del Sistema de Alerta Temprana se ha tomado en cuenta la programación propuesta para el Sistema de Alerta Temprana de la cuenca del río Piura, en el Estudio Definitivo para la Reconstrucción y rehabilitación del Sistema de Defensas contra Inundaciones en el Bajo Piura.

La programación de la implementación, cuenta con los siguientes ítems:

- *Movilización*: consiste en el traslado del personal, maquinaria y materiales al lugar donde se realizarán los trabajos de instalación de las estaciones remotas y estación central.
- *Preparación de infraestructura de estaciones remotas*: consiste en la construcción de losas de concreto para colocación de pluviómetros e instalación de rejas de seguridad para la protección de los diferentes equipos.
- *Preparación infraestructura Estación central*: consiste en la construcción y/o mejoramiento de instalaciones de la Estación central.
- *Transporte, aduana, almacenaje*: como consecuencia de que los equipos son comprados a empresas extranjeras, estos deben de ser transportados al Perú y realizar dichos procesos.

- *Instalación del sistema de hardware:* consiste en la instalación de los equipos de medición pluviométrica e hidrométrica; colocación de antenas, instalación de baterías y paneles solares, etc.
- *Instalación de paquetes de software:* consiste en la instalación de los programas que trabajan con las estaciones remotas para la administración y recepción de la información.
- *Pruebas, ajustes y puesta en operación:* la empresa que realiza la instalación y que es la misma que suministra los equipos, debe entregar estos funcionando adecuadamente.
- *Capacitación del personal:* la empresa que suministra las estaciones remotas, también debe de realizar charlas de capacitación acerca del funcionamiento y mantenimiento de los equipos.
- *Desmovilización:* consiste en el traslado del personal, maquinaria y sobrante de materiales a Lima.

4.3.2 Presupuesto

Para preparar el presupuesto se solicitó información a las diferentes empresas que fabrican e instalan equipos para Sistemas de Alerta, en diferentes países; estas fueron Seba Hydrometrie (Alemania), Sutron (Estados Unidos) y Geonica (España).

Cada una de ellas envió un presupuesto aproximado de los equipos de medición pluviométrica e hidrométrica, de acuerdo a los requerimientos. De acuerdo a estos presupuestos, se ha realizado un cuadro comparativo, considerando solamente el costo de los equipos, tratando de esta manera de uniformizar funciones y moneda presupuestada.

La hoja de programación, presupuestos de instalación y operación, además de los modelos de equipos se muestran en las páginas siguientes.

Tabla 4.1: Cuadro comparativo de precios de equinoss

ESTACION PLUVIOMETRICA		GEONICA		SEBA		SUTRON	
Cantidad	Descripción	Unitario (\$)	Total (\$)	Unitario (\$)	Total (\$)	Unitario (\$)	Total (\$)
5	Pluviómetro	642	3210	1997	9985	1400	7000
5	Soporte pluviómetro	173	865	212	1060		
5	Panel Solar	494	2470	1195	5975	6500	32500
5	Equipamiento adicional y transmisión	2925	14625	5247,4	26237		
			21170		43257		39500

ESTACION HIDROMETRICA		GEONICA		SEBA		SUTRON	
Cantidad	Descripción	Unitario (\$)	Total (\$)	Unitario (\$)	Total (\$)	Unitario (\$)	Total (\$)
1	Medidor de tirante de río	1358	1358	1484	1484	3300	3300
1	Equipamiento adicional y transmisión	-	-	4249	4249	-	-
			1358		5733		3300

ESTACION BASE		GEONICA		SEBA		SUTRON	
Cantidad	Descripción	Unitario (\$)	Total (\$)	Unitario (\$)	Total (\$)	Unitario (\$)	Total (\$)
1	Equipamiento	-	-	1490	1490	2900	2900
1	Software	-	-	2492	2492	1400	1400
1	Montaje	-	-	926	926	2000	2000
					4908		6300

TOTAL	22528	53898	49100
--------------	-------	-------	-------

(\$) DOLARES AMERICANOS

Tabla 4.2: Presupuesto referencial de instalación

Item	Descripción	Unidad	Metrado	Costo unitario	Subtotal
1.00	OBRAS PRELIMINARES				
1.01	Movilización y desmovilización	u	5.00	\$300.00	\$1,500.00
1.02	Trazo y replanteo	u	5.00	\$100.00	\$500.00
1.03	Cartel de obra	u	5.00	\$40.00	\$200.00
2.00	INFRAESTRUCTURA				
2.01	Losa de concreto para estación remota	u	5.00	\$1,500.00	\$7,500.00
2.02	Cerco de protección con malla y puerta	u	5.00	\$800.00	\$4,000.00
2.03	Preparación y/o remodelación estación central	u	1.00	\$2,000.00	\$2,000.00
2.04	Losa para caseta de grupo electrógeno	u	1.00	\$800.00	\$800.00
3.00	EQUIPAMIENTO				
3.01	Pluviómetro automático	u	5.00	\$1,997.00	\$9,985.00
3.02	Soporte para pluviómetro	u	5.00	\$212.00	\$1,060.00
3.03	Panel solar	u	5.00	\$1,195.00	\$5,975.00
3.04	Equipamiento adicional y transmisión	u	5.00	\$5,247.00	\$26,235.00
3.05	Sistema de protección, pararrayos	u	5.00	\$100.00	\$500.00
3.06	Grupo electrógeno	u	1.00	\$1,400.00	\$1,400.00
3.07	Equipo de aire acondicionado	u	2.00	\$600.00	\$1,200.00
3.08	Equipamiento y muebles estación central	glb	1.00	\$1,490.00	\$1,490.00
3.09	Equipo de computo	glb	1.00	\$1,800.00	\$1,800.00
3.10	Software	glb	1.00	\$2,492.00	\$2,492.00
3.11	Montaje	glb	1.00	\$926.00	\$926.00
4.00	VARIOS				
4.01	Stock básico de repuestos	glb	1.00	\$1,000.00	\$1,000.00
4.02	Herramientas reparación	glb	1.00	\$1,500.00	\$1,500.00
4.03	Herramientas mantenimiento	glb	1.00	\$1,200.00	\$1,200.00
TOTAL COSTO DIRECTO					\$73,263.00

Tabla 4.3: Presupuesto referencial de operación anual

Item	Descripción	Unidad	Metrado	Costo unitario	Subtotal
1.00	LOCAL				
1.01	Alquiler de estación central	mes	12	\$200.00	\$2,400.00
2.00	PERSONAL				
2.01	Jefe del Sistema de Alerta	mes	12	\$900.00	\$10,800.00
2.02	Técnico de mantenimiento	mes	12	\$460.00	\$5,520.00
3.00	MANTENIMIENTO DE ESTACIONES				
3.01	Movilidad	mes	12	\$242.00	\$2,904.00
3.02	Viáticos	mes	12	\$91.00	\$1,092.00
3.03	Stock adicional de repuestos	glb	1	\$1,000.00	\$1,000.00
TOTAL					\$23,716.00

Tabla 4.4: Cronograma de instalación del Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones

Nº	Actividad	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
1	Movilización	■					
2	Preparación infraestructura estaciones remotas	■	■				
3	Preparación infraestructura estación central		■	■			
4	Transporte, aduana, almacenaje			■			
5	Instalación sistema hardware				■		
6	Instalación paquetes software				■		
7	Pruebas, ajustes y puesta en operación					■	
8	Capacitación personal					■	
9	Desmovilización						■
10	Término de obra						■

Figura 4.6: Estación meteorológica automática - GE NICA



Figura 4.7: Pluviómetro automático - SE



Figura 4.8: Pluviómetro automático SUTRON



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones: Red Hidrometeorológica actual

1. El número de estaciones pluviométricas (07) en la cuenca es el adecuado.
2. La mayoría de las estaciones pluviométricas actuales no son automáticas (05); ni realizan transmisión de datos teleméricamente; la información recopilada por los encargados de estas estaciones llega a Lima cada fin de mes para ser analizada, por lo que se hace imposible la predicción de eventos.
3. Estas estaciones no proporcionan información horaria de lluvias. Proporcionan información de precipitación máxima o precipitación acumulada por día.
4. Las personas encargadas de las mediciones de las estaciones pluviométricas, son pobladores vecinos a la estación y capacitados por el Senamhi; tienen la indicación de realizar las mediciones 2 veces al día; pero no podemos saber si son realizadas correctamente, a la hora indicada y con la frecuencia adecuada.

Conclusiones: Modelamiento Hidrológico

1. Para realizar el modelamiento hidrológico se empleó el programa HEC-HMS.
2. La cuenca total fue subdividida en 50 subcuencas; en cada una de estas se simula el proceso hidrológico. La precisión de los resultados del modelo aumenta en forma proporcional al número de subcuencas.

3. Se emplearon datos de precipitación total en 24 horas, a los cuales se les aplicó el método de desagregación de lluvias para obtener precipitaciones horarias.
4. En el caso del modelamiento del tránsito de crecidas, se pudo observar que mediante el método SCS Lag, se sobreestima el tiempo de tránsito. Todo lo contrario sucede con el método de la onda cinemática en el cual el tiempo de tránsito se subestima.
5. La calibración se realizó evaluando la sensibilidad de los resultados ante el cambio de los parámetros de número de curva e infiltración. Se inició de forma automática con la opción de calibración del HEC-HMS; para luego realizar una calibración manual, debido a que la calibración automática no proporcionaba los resultados deseados.
6. El tiempo máximo con el que se podría pronosticar una inundación es de 12 horas aproximadamente. También es llamado tiempo máximo de reacción, el cual sería más preciso y real si se tuvieran estaciones que proporcionaran información horaria, transmitida vía telemetría.
7. Posteriormente a la calibración se realizaron simulaciones para obtener caudales máximos para diferentes periodos de retomo, los cuales coincidieron con los que normalmente se encuentran en las diferentes investigaciones hidrológicas de la cuenca. Se obtuvo así un caudal pico de $202 \text{ m}^3/\text{s}$ para un periodo de retomo de 100 años.

Conclusiones: Implementación del Sistema de Alerta Temprana

1. El sistema de alerta temprana debería constar de estaciones pluviométricas e hidrométricas que transmitan la información en tiempo real.
2. El costo estimado de la implementación asciende a \$ 73,263.00 dólares americanos.
3. El costo estimado de operación anual asciende \$ 23,716.00 dólares americanos.
4. El tiempo de implementación del sistema de alerta temprana sería de 180 días calendario.

Recomendaciones

1. Continuar con la modernización de las estaciones pluviométricas e hidrométricas para así poder generar modelos hidrológicos precisos. Esto permitirá obtener datos más confiables y reales, además de proporcionar registros de lluvias en intervalos de tiempo menores.
2. Implementar la telemetría para conseguir una transmisión de información pluviométrica e hidrométrica en tiempo real.
3. Instalar una estación hidrométrica automática en la bocatoma Chillón o aguas arriba de esta, para poder realizar un control cercano a la zona poblada donde existe peligros de inundación.
4. Implementar el plan y promover la creación de un Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones para la cuenca del río Chillón.

BIBLIOGRAFIA

o LIBROS

CHOW, Ven Te; MAIDMENT, David; MAYS, Larry; Hidrologia Aplicada – Bogota, Colombia 1994.

FLOOD CONTROL DISTRICT OF MARICOPA COUNTY; Guidelines for Developing a Comprehensive Flood Warning Program, 1997.

OFICINA NACIONAL DE EVALUACIÓN DE RECURSOS NATURALES (ONERN); Inventario y Evaluación de los Recursos Naturales de la Zona del Proyecto Marcapomacocha.

U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE; Automated Local Flood Warning Systems Handbook, 1997.

US ARMY CORPS OF ENGINEERS; Hydrologic Aspects of Flood Warning – Preparedness Programs, 1996.

o MANUALES Y ARTICULOS

ORGANIZACIÓN DE LOS ESTADOS AMERICANOS, UNIDAD DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE; Manual para el Diseño e Implementación de un Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones en Cuencas Menores.

SIAT CUENCA DEL RIO PIURA; Manual de Gestion del Sistema de Alerta Temprana.

US ARMY CORPS OF ENGINEERS – HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER; Hidrologic Modeling System HEC-HMS: Technical Reference Manual, 2000.

US ARMY CORPS OF ENGINEERS – HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER; Hidrologic Modeling System HEC-HMS: User's Manual, Version 2.1, 2001.

VILLAGRAN, Juan; Sistemas Comunitarios de Alerta Temprana en América Central.

○ **ESTUDIOS**

ASOCIACIÓN TAHAL ASCOSESÁ; Estudio de Factibilidad del Desarrollo para el Aprovechamiento Óptimo de las Aguas Superficiales y Subterráneas del Río Chillón.

CONSORCIO CLASS SALZGITTER; Estudio Definitivo para la Reconstrucción y Rehabilitación del Sistema de Defensas Contra Inundaciones en el Bajo Piura – Modelo Hidrológico y ampliación de la red meteorológica, 2001.

PACIFIC S.A.; Estudio de Impacto Ambiental de la Red de Distribución de Gas Natural en Lima – Callao, 2001.

○ **TESIS**

PALOMINO CUYA, Daly Grace; Zonificación de áreas inundables utilizando un sistema de información geográfica. Aplicación al tramo final del río Chillón

BOHL ARBULU, Alfredo; Diseño de un Sistema de Alerta Temprana de Caudales: Aplicación a la Cuenca de Influencia de la ciudad de Ica

VERA HERNÁNDEZ, Luis; Análisis de aforo de la Estación Hidrométrica Obrajillo – Periodo 2000 - 2001

○ **APUNTES DE CLASES**

CAMPAÑA TORO, Roberto; Apuntes del curso Introducción a la Hidráulica Fluvial.