

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



“MEJORA DE RED DE MONITOREO PARA PREVENCIÓN DE  
PELIGROS HIDROMETEOROLÓGICOS EN  
LA CUENCA DEL RÍO RÍMAC”

TESIS

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN  
GESTIÓN DE RIESGO DE DESASTRES

ELABORADO POR  
JORGE DANTE CHIRA LA ROSA

ASESOR  
Dr. JULIO MARTÍN KUROIWA ZEVALLOS

LIMA-PERÚ  
2016

**MEJORA DE RED DE MONITOREO PARA PREVENCIÓN DE  
PELIGROS HIDROMETEOROLÓGICOS EN  
LA CUENCA DEL RIO RÍMAC**

**Ing. Jorge Dante Chira La Rosa**

Presentado a la sección de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Civil en cumplimiento parcial  
de los requerimientos para el grado de:

**MAESTRO EN GESTIÓN DE RIESGO DE DESASTRES**

**DE LA**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**2016**

Autor : Ing. Jorge Dante Chira La Rosa

Recomendado : Dr. Julio Martín Kuroiwa Zevallos  
Asesor de la Tesis

Aceptado por : Dr. Víctor Sánchez Moya  
Jefe de la Unidad de Posgrado



## DEDICATORIA

A mis padres que me dieron la vida y que con su esfuerzo lograron convertirme en un profesional. En especial le agradezco a mi madre que siempre me motivó a salir adelante y que desde el cielo me ilumina.

A mi esposa por su paciencia, comprensión y ayuda incondicional. Gracias a su apoyo, consejos y cuidados, me ayudó a culminar este trabajo.

A mi hijo que tuvo la paciencia de compartir el tiempo que le dediqué, entre mi trabajo y mis estudios y que espero que mi esfuerzo le sirva de inspiración para superarme.

A mis maestros que gracias a sus enseñanzas me guiaron en el camino del conocimiento.

A mi familia, amigos y todos los que de una u otra forma me ayudaron a concluir esta tesis.



## AGRADECIMIENTO

Quiero dar la gracias a Dios por haberme dado la salud y conocimiento para llevar a cabo este emprendimiento-

Agradezco a la Universidad Nacional de Ingeniería, por haberme dado los conocimientos. Resalto la labor de sus profesores y personal administrativo, por el profesionalismo, gentileza y amabilidad para conmigo; quienes me apoyaron en todo momento para salir adelante en mis estudios.

Agradezco al Ing. Alfredo Pezo, por su valiosa enseñanza en la redacción de la Tesis.

Doy las gracias a mi asesor Dr. Julio Kuroiwa, quien me asesoro de manera muy profesional, me guío muy amablemente, corrigió mis errores y enseñó el camino de la ciencia y el esfuerzo por hacer las cosas bien.

Gracias a Sr. Niels Jensen por su valiosa información sobre radares LAWR.

Gracias al SENAMHI por su apoyo con la información y todo necesario para elaborar la presente tesis.

Finalmente quiero agradecer a todos las personas que de una u otra forma colaboraron conmigo de manera interesada, en la elaboración de la presente Tesis.



## INDICE GENERAL

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE GENERAL	v
LISTA DE TABLAS	vi
LISTA DE FIGURAS	viii
SIGLAS Y ABREVIATURAS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
Capítulo 1 MARCO CONCEPTUAL	1
1.1. Conceptos Básicos de Meteorología e Hidrología	2
1.2. Peligro Hidrometeorológico	4
1.3. Inundaciones y Huaycos	5
1.4. Escalas de Fenómenos Atmosféricos	11
1.5. Definición de Cuenca Hidrográfica	15
1.6. Estaciones Meteorológicas e Hidrológicas	17
1.7. Redes de Monitoreo	23
1.8. Evaluación de una Red de Monitoreo	33
Capítulo 2 DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA	35
2.1 Descripción General de la Cuenca	35
2.2 Análisis de la Precipitación y Descarga de la Cuenca	38
2.3 Marco Legal Pertinente	43
2.4 Diagnóstico de Peligros	45
2.5 Descripción del Sistema de Monitoreo Hidrometeorológico	54
Capítulo 3 DESARROLLO METODOLÓGICO	75
3.1 Criterios de Diseño de la Red	75
3.2 Actividades para el Diseño de la Red	77
Capítulo 4 PROPUESTA DE MEJORA TECNOLÓGICA	93
4.1 Mejora de la Capacidad de Transmisión Telemétrica	93
4.2 Mejora de Registro Espacial de la Precipitación	95
Capítulo 5 MODELO DE GESTIÓN DEL SISTEMA	103
5.1 Limitados Planes de Gestión	103
5.2 Difusión de los Avisos	105
5.3 Reevaluación Periódica de la Evolución de las Lluvias	105
5.4 Limitados Indicadores de Gestión	105
Capítulo 6 ANÁLISIS COMPARATIVO DE AMBAS REDES DE MONITOREO	108
6.1 Comparación de las redes de monitoreo	108
6.2 Propuesta de Idea de Proyecto de Inversión	110
6.3 Justificación Económica de la Propuesta	122
CONCLUSIONES	126
RECOMENDACIONES	127
BIBLIOGRAFIA	128
ANEXOS	134



## LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1	:	Variación de la Población de Lurigancho Chosica	37
Tabla N° 2	:	Caudales Máximos Diarios de la Cuenca	46
Tabla N° 3	:	Caudales Máximos Diarios Estación Chosica (m <sup>3</sup> /s)	42
Tabla N° 4	:	Caudales Máximos Diarios en la Cuenca	43
Tabla N° 5	:	Poblaciones Vulnerables por Activación de Quebradas	58
Tabla N° 6	:	Afectación por Huaycos en Chosica	58
Tabla N° 7	:	Estaciones Hidrometeorológicas de la Cuenca Media-Alta Del Río Rímac	62
Tabla N° 8	:	Estaciones Convencionales Medios de Comunicación Celular Voz y Data	63
Tabla N° 9	:	Estaciones Automáticas Medio de Comunicación Satelital	63
Tabla N° 10	:	Descripción de Estaciones Climatológicas e Hidrológicas	66
Tabla N° 11	:	Cuadro de Análisis FODA	78
Tabla N° 12	:	Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades 23.03.2015	83
Tabla N° 13	:	Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades 09.03.2015	86
Tabla N° 14	:	Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades 05.04.2015	89
Tabla N° 15	:	Clasificación de Radares-Ventajas y Desventajas	103
Tabla N° 16	:	Costo de Radar	106
Tabla N° 17	:	Propuesta de Nuevas Estaciones Automáticas	107
Tabla N° 18	:	Indicadores de Gestión del Sistema de Monitoreo	111



Tabla N° 19	:	Tareas de Realizar por Implementación de Red de Monitoreo	112
Tabla N° 20	:	Identificación de Medios Directos	117
Tabla N° 21	:	Identificación de Medios Indirectos	118
Tabla N° 22	:	Identificación de Fines Directos	119
Tabla N° 23	:	Mapa de Medios y Acciones	121
Tabla N° 24	:	Matriz Marco Lógico	123
Tabla N° 25	:	Costo de Sistema de Alerta Temprana	126
Tabla N° 26	:	Costos Anuales de Operación y Mantenimiento	127
Tabla N° 27	:	Perdidas evitadas por uso de sistema de alerta temprano	123
Tabla N° 28	:	Evaluación económica	125
ANEXOS			
Tabla N° 29	:	Relación precipitación en la altura	134
Tabla N° 30	:	Caudales máximos instantáneos	135



## LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1.1 :	Principales Tipos de Precipitación	3
Figura N° 1.2 :	Escala Horizontal y Temporal de los Fenómenos Meteorológicos	13
Figura N° 1.3 :	Ejemplo de un Sistema de Monitoreo y Alerta de Inundaciones	25
Figura N° 1.4 :	Gestión de Sistema de Monitoreo	26
Figura N° 1.5 :	Componentes de un SAT de Crecidas Repentinas	28
Figura N° 1.6 :	Elementos de un SAT Centrado en las Personas	32
Figura N° 2.1 :	Mapa de la Cuenca del Río Rímac	35
Figura N° 2.2 :	Población Estimada de Lurigancho Chosica y Proyección De Crecimiento	37
Figura N° 2.3 :	Distribución de Precipitación en la Cuenca del Río Rímac	38
Figura N° 2.4 :	Relación Altura-Precipitación Media Anual en la Cuenca	40
Figura N° 2.5 :	Relación Altura-Precipitación Máxima Histórica en la Cuenca	40
Figura N° 2.6 :	Curva de Frecuencia de Caudales Máximos Instantáneos Río Rímac – Estación Chosica	42
Figura N° 2.7 :	Curvas de Frecuencia de Caudales Máximos Instantáneos Río Rímac – Estación Chosica	43
Figura N° 2.8 :	Mapa de Peligros Naturales – Chosica	47
Figura N° 2.9 :	Distritos con Peligros de Huaycos e Inundaciones	48
Figura N° 2.10:	Mapa de Susceptibilidad a Movimientos en Masa	50
Figura N° 2.11:	Mapa de Sectores Críticos en Lima Metropolitana	51
Figura N° 2.12:	Mapa de Poblaciones Vulnerables por Activación de Quebrada	52





Figura N° 2.13:	Esquema del Funcionamiento de la Red de Estaciones del SENAMHI.	55
Figura N° 2.14:	Mapa de Estaciones Operativas en la Cuenca	56
Figura N° 2.15:	Diagrama de Monitoreo y Pronóstico de Crecidas	68
Figura N° 2.16:	Umbrales de Escorrentía en Condiciones Medias	69
Figura N° 2.17:	Hidrograma de Caudales del Río Rímac con Umbrales	69
Figura N° 2.18:	Diagrama Causa Efecto de las Limitadas Acciones Preventivas en la Cuenca del Río Rímac	71
Figura N° 2.19:	Diagrama Causa Efecto del Sistema de Monitoreo de Peligros	72
Figura N° 3.1 :	Diagrama Causa Efecto e Impactos del Limitado Diseño	76
Figura N° 3.2 :	Variación Diaria de la Precipitación (mm) Marzo-2015	79
Figura N° 3.3 :	Variación Horaria de la Precipitación (mm) de Chosica	80
Figura N° 3.4 :	Variación Diaria de la Precipitación (mm) Febrero 2015	82
Figura N° 3.5 :	Variación Horaria de la Precipitación (mm) Chosica	83
Figura N° 3.6 :	Variación Diaria de la Precipitación (mm) Abril 2015	85
Figura N° 3.7 :	Variación Horaria de la Precipitación (mm) Chosica	86
Figura N° 3.8 :	Propuesta de Nuevas Estaciones a la Red Hidrometeorológica	91
Figura N° 4.1 :	Diagrama Causa Efecto de la Limitada Capacidad Tecnológica	93
Figura N° 4.2 :	Telemetría GPRS en Estación Hidrometeorológica Automática	94
Figura N° 4.3 :	Cobertura GPRS en la Cuenca del Río Rímac	95
Figura N° 4.4 :	Funcionamiento de Radar	96
Figura N° 4.5 :	Esquema del Proceso de Producción de Imágenes de Radar	97
Figura N° 4.6 :	Radar LAWR	99



---

Figura N° 4.7 :	Características Técnicas del Radar LAWR	99
Figura N° 4.8 :	Diseño del Sistema Radar LAWR	100
Figura N° 4.9 :	Ubicación de Radar de Banda X en Cuenca del Río Rímac	101
Figura N°5.1 :	Diagrama Causa Efecto del Limitado Gestión de Monitoreo	103
Figura N° 6.1 :	Comparación de Ambos Sistemas	109
Figura N° 6.2 :	Árbol de Causas y Efectos	112
Figura N° 6.3 :	Árbol de Medios y Fines	116



## SIGLAS Y ABREVIATURAS

JICA	:	JAPAN INTERATIONAL COOPERATION AGENCY (AGENCIA INTERNACIONAL DE COOPERACIÓN DEL JAPÓN)
SENAMHI	:	SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ
INDECI	:	INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL
INEI	:	INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA
MEF	:	MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS
CENEPRED	:	CENTRO NACIONAL DE ESTIMACIÓN, PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES
EWC	:	EARLY WARNING CONFERENCE (CONFERENCIA DE ALERTA TEMPRANA)
INGEMMET	:	INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO
NOAA	:	NATIONAL OCEANIC ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (ADMINISTRACION PARA LA ATMÓSFERA Y EL OCÉANO DE LOS ESTADOS UNIDOS DE NORTEAMERICA)
OEA	:	ORGANIZACIÓN DE ESTADOS AMERICANOS
OMM	:	ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL
UN	:	UNITED NATIONS
EIRD	:	ESTRATEGIA INTERNACIONAL PARA LA REDUCCIÓN DE DESASTRES
UNESCO	:	UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN, LA CIENCIA Y LA CULTURA)
m <sup>3</sup> /s	:	Metros cúbicos por segundo
m	:	Metros
mm	:	Milímetros



## RESUMEN

La población mal asentada en la cuenca media alta del río Rímac, periódicamente es afectada por peligros hidrometeorológicos conocidos como Huaycos e Inundaciones, en las quebradas secas que se activan rápidamente por intensas precipitaciones súbitas, produciéndose eventualmente pérdidas de vidas humanas y pérdidas económicas.

El Sistema de Monitoreo Hidrometeorológico con que cuenta el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) tiene limitaciones en su diseño y equipamiento tecnológico. El superar estos obstáculos puede contribuir de manera significativa en la mitigación de los peligros de esta zona, dando avisos certeros y oportunos a la población en peligro.

Se elaboró una propuesta de mejora de este Sistema de Monitoreo, el que incluía principalmente una mejora en el diseño de la red, incrementando el número de estaciones automáticas; una propuesta tecnológica que implicaría un cambio en las telecomunicaciones con un sistema GPRS y la adquisición de un radar meteorológico del tipo LAWR (Radar Meteorológico de Área Local, en inglés); así como un modelo de gestión del sistema, lo cual vendría a constituir un Sistema de Alerta Temprana para la zona de Chosica.

Esta propuesta se basó en el análisis de la ocurrencia de huaycos e inundaciones en la cuenca media alta del río Rímac. Se observó que la ocurrencia de huaycos se debía principalmente a intensas precipitaciones asociadas a rápidas tormentas que se desarrollaban en menos de una hora, que es justamente la frecuencia de transmisión de datos del sistema actual. Ello ocasiona la limitación en emitir pronósticos con la suficiente antelación para avisar a la población potencialmente afectada; lo cual se espera corregir con el nuevo sistema. Asimismo se pudo determinar umbrales críticos de precipitaciones 10 mm/día y de 3 mm/hora, los que servirán de insumos para el sistema.

También se ha elaborado una propuesta de proyecto, a fin de poder conseguir el financiamiento respectivo y se pueda lograr la implementación del Sistema de Alerta Temprana para la zona de Chosica.



### ABSTRACT

The population that improperly occupies sectors of the upper and medium basin of the Rímac are regularly affected by known hydrometeorological hazards such as mudflow and flashfloods in ephemeral creeks that are usually dry. These watercourses produce flashfloods due to sudden and heavy rainfall. This has resulted sometimes in the loss of human lives and economic losses.

The Hydrometeorological Monitoring System available to the National Meteorology and Hydrology Service of Peru (SENAMHI) has limitations in its design and technological equipment. Overcoming these obstacles, could significantly contribute to mitigate the hazards in this area, by giving accurate and timely warnings to the occupants of hazardous areas.

A proposal to improve the monitoring system was done, which included a new design of the station network, such as increasing the number of automatic stations; a technological proposal which imply a change in telecommunications, with a GPRS system and the acquisition of a Local Area Weather Radar (LAWR); and finally a system management model, all of them would come to be an Early Warning System for the city of Chosica.

This proposal was based on the analysis of the occurrence of mudflows and flooding in the upper and medium basin of the Rimac River. It was observed that the occurrence of mudflows are mainly due to heavy rainfall associated with storms that developed in less than one hour, which is precisely the data transmission frequency of the current system. This causes the limitation to issue forecasts with sufficient anticipation to warn the potentially affected population; which will be corrected with the new system. It could also be determined that critical thresholds of rainfall 10 mm / day and 3 mm / hour generate runoff and landslides. This information will serve as input to the system.

Besides the proposal to improve the system, there has been a proposal project in order to get the respective financial aid and to obtain the resources to implement the improvements of an Early Warning System for this area.



## INTRODUCCIÓN

La cuenca media-alta del río Rímac en la Región Lima, es escenario de diversos desastres, particularmente en la temporada de lluvias. Las lluvias inducen el aumento del caudal del río, lo que genera su desborde e inundaciones posteriores que afectan principalmente a las comunidades que se encuentran asentadas en sus riberas y sobre la terraza de inundación del río, así como el Camino Nacional N° 22, PE-22 (Carretera Central), principal vía de acceso del abastecimiento alimentario de Lima. También, las lluvias activan las quebradas y las laderas inestables, pues provocan huaycos (flujos de agua, lodo, plantas y piedras), deslizamientos y derrumbes que causan daños a la carretera y las poblaciones asentadas cerca al curso de estas. (MEF, 2010).

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), cuenta con una Red de Monitoreo de estaciones meteorológicas e hidrológicas, en la cuenca del río Rímac; su actual diseño sirve para el pronóstico de los peligros de lluvias intensas e inundaciones; sin embargo no se ha realizado algún estudio que determine si esta red es la óptima para alertar adecuadamente a la población que se ve afectada por inundaciones y huaycos, especialmente en la cuenca media y alta del río Rímac, donde mayormente estos fenómenos impactan.

La comprensión de los peligros meteorológicos del pasado, el monitoreo del presente y la predicción del futuro, permitiría a las autoridades relacionadas a las acciones de prevención en la cuenca del río Rímac, estar mejor preparadas para reducir el riesgo de un desastre. El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), desempeña un papel fundamental en el aspecto de la gestión del riesgo de los desastres naturales relacionados con el clima.

Un requisito fundamental para un sistema de previsión de peligros efectivo, son los datos de observación adecuados. Un valioso instrumento para la recolección de datos es una red adecuada de monitoreo de peligros.

Los objetivos de este sistema de monitoreo es que la información generada debe apoyar directamente a la toma de decisiones en forma oportuna, a la gestión de riesgo de desastres, asimismo debe ser un instrumento para apoyar la planificación en general en la cuenca.

Este sistema de monitoreo debe ser capaz de detectar las respuestas hidrológicas debido a eventuales cambios en los sistemas meteorológicos. Estos cambios pueden ser debidos a la variabilidad y al cambio climático. Este trabajo se enfoca básicamente en los temas de pronóstico de inundaciones.

Esta tesis tiene como objetivo proponer una mejora en la implementación de un sistema de monitoreo hidrometeorológico, para el SENAMHI, que permita reducir el riesgo de desastres en la cuenca media del río Rímac.



## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Del análisis de la problemática de la cuenca, se ha identificado la relación causa-efecto de dos problemas principales, que son las Limitadas Acciones Preventivas, así como los Limitados Sistemas de Monitoreo de Peligros.

El estudio tratará lo concerniente a solucionar la problemática, del Limitados Sistemas de Monitoreo, esperando que esta mejora pueda contribuir a la mejora de capacidades del SENAMHI, para informar en forma rápida y oportuna, a las autoridades locales y regionales que reciben la información de la ocurrencia de los peligros.

La tesis es importante porque servirá como herramienta de gestión del SENAMHI, para implementar un sistema de monitoreo que permita informar a las autoridades para la toma de medidas de prevención, en la cuenca media del río Rímac.

Este trabajo contribuirá a mejorar la calidad de la información del SENAMHI, para alertar de un peligro inminente de ocurrencia de lluvias intensas que podrían ocasionar inundaciones y huaycos, que a su vez podrían afectar la vida y la propiedad de la población asentada en la cuenca media del río Rímac.

Se espera que esta tesis también permita incrementar el conocimiento de los peligros de la cuenca media del río Rímac, así como pueda servir como estudio piloto para el desarrollo de estudios en otras cuencas de similares características en el país.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General.-**

Proporcionar al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú una propuesta de mejora en la implementación de un sistema de monitoreo hidrometeorológico, que permita reducir el riesgo de desastres en la cuenca media del río Rímac.



### Objetivos Específicos.-

- Desarrollo de criterios de diseño de la red de estaciones meteorológicas e hidrológicas, para monitorear y pronosticar eficientemente los peligros hidrometeorológicos que afectan a la cuenca media del río Rímac.
- Propuesta de equipamiento tecnológico para la red de monitoreo y pronóstico, que permita contar con información de manera oportuna y con mayor frecuencia.
- Propuesta de un modelo de gestión de la red de estaciones, para contar con datos de manera continua y de mejor calidad que permita un mejor manejo del sistema y los recursos.

### HIPÓTESIS

La mejora del sistema de monitoreo hidrometeorológico del SENAMHI, permitirá mejorar las capacidades para pronosticar los peligros e informar en forma oportuna y adecuada a las autoridades en gestión de riesgos de la cuenca media del río Rímac.

Este documento presenta en el **primer capítulo**, el marco conceptual de los peligros, los conceptos de redes y Sistemas de Monitoreo Hidrometeorológico, así también los sistemas de alerta temprana y los criterios que permiten optimizar y evaluar una red de monitoreo. En el **segundo capítulo** se realiza un diagnóstico de la cuenca del río Rímac, describiendo sus características geográficas, la precipitación y descarga que registra en la cuenca, el marco legal pertinente. También se revisan los peligros que la afectan y finalmente, así como el sistema de monitoreo hidrometeorológico que opera actualmente. El **tercer capítulo** describe el plan de monitoreo, el análisis y el criterios de diseño y de mejoras de una red hidrometeorológica. El **cuarto capítulo** define una propuesta de mejora tecnológica, el equipamiento utilizado y los componentes necesarios para la mejora del sistema. En el **quinto capítulo** se propone un modelo de gestión del sistema de monitoreo y los indicadores asociados. En el **sexto capítulo** se realiza una comparación del sistema de monitoreo actual con el sistema mejorado. También se describe una propuesta de idea de proyecto de inversión con los costos asociados y la evaluación económica correspondiente.





## CAPÍTULO 1. MARCO CONCEPTUAL

Este capítulo presenta una serie de conceptos básicos relacionados con los temas de peligros, redes y sistemas de monitoreo Hidrometeorológico, así también la gestión de datos e información y los indicadores que permiten medir una mejora de un sistema de monitoreo.

Hay muchos factores que deben ser considerados cuando se diseña una red operacional que apoye el pronóstico y alerta de inundaciones.

Esencialmente esta red está basada en una combinación de puntos de monitoreo de lluvia y nivel de agua de ríos (y posiblemente caudales), reportando en tiempo real o casi real a una central de operaciones y control del sistema. Asimismo se requiere que la información de alerta de inundaciones llegue con la mayor oportunidad y exactitud posible a la población.

Este tipo de red requiere ser de alta confiabilidad y resiliencia y ser fuertemente construida alrededor de monitoreo, procesamiento y recuperación de datos en forma automática.

Aunque las facilidades de monitoreo pueden ser compartidas con redes para otros objetivos, los componentes de un sistema de monitoreo y pronóstico de inundaciones debe ser considerado como una entidad independiente.

El diseño de un sistema de monitoreo empieza con definir la información necesaria para toma de decisiones. La información necesaria determina los atributos a ser medidos, los tipos de data a ser colectados y la clase de análisis a ser aplicados.

En el pasado, los Servicios Meteorológicos se han centrado en proveer información de pronósticos Hidrometeorológicos de manera muy general; sin embargo, debido al impacto de las fuertes precipitaciones en poblaciones vulnerables asentadas cerca de los ríos, se requiere pronósticos a nivel de cuenca que permitan que la población expuesta sea debidamente informada y se toman acciones para protegerlas. Para llevar a cabo esta tarea se requiere de un sistema que integre los datos registrados por una red observacional eficiente, un sistema que transmita estos datos, un centro de control, que integre y procese estos datos y medios para difundir los productos que requieren los usuarios.



## 1.1 CONCEPTOS BÁSICOS DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA

### 1.1.1 Precipitación

Se llama precipitación, a toda agua meteórica que cae en la superficie de la Tierra, tanto en forma líquida (llovizna, lluvia, etc.) y sólida (nieve, granizo, etc.) y las precipitaciones ocultas (rocío, la helada blanca, etc.). Ellos son provocados por un cambio de la temperatura o de la presión.

### 1.1.2 Formación de las Precipitaciones

Para que la humedad, presente en la atmósfera, se transforme en precipitación, se requieren tres condiciones: producirse un estado de saturación (generalmente por enfriamiento), un cambio de fase del vapor de agua a líquido o sólido, y un crecimiento de las pequeñas gotas o cristales de hielo que permitan su caída.

Como resultado de las dos primeras condiciones se forman las nubes, pero no necesariamente la precipitación, para que se formen gotas, de suficiente tamaño y peso deben existir núcleos de condensación, constituidos por polvo atmosférico o cristales de sales. El enfriamiento se produce por efecto de ascenso de una masa de aire, el cual define los tipos de precipitaciones.

Por su forma, la precipitación se clasifica en lluvia y llovizna. Cuando el diámetro de la gota es mayor a 0.5 mm se denomina lluvia, mientras que cuando el diámetro es menor a 0.5 mm se denomina llovizna.

Según su formación, existen tres tipos de precipitaciones: ciclónica, orográfica y convectiva. (Ver figura N° 1.1.)

### 1.1.3 Precipitación Ciclónica

Resulta del ascenso de la masa de aire cálido como consecuencia de la colisión de aire cálido y liviano con aire frío y más pesado. Este proceso está asociado a zonas de baja presión atmosférica, las cuales se convierten en centros de atracción de vientos. La precipitación ciclónica puede ser no frontal y frontal.

- La precipitación ciclónica no frontal resulta de una convergencia y ascenso de la masa de aire, asociada a un área de baja presión atmosférica que produce lluvia (o nieve) de moderada intensidad, pero de considerable duración. En regiones extra tropicales estas precipitaciones pueden tener una duración de 24 a 72 horas con una lluvia total de hasta 150mm. En el caso de regiones tropicales su duración puede ser entre 12 y 24 horas con una lluvia total de hasta 350 mm.
- La precipitación ciclónica frontal está relacionada con el avance, hacia una región, de masas de aire frío (frente frío) o cálido (frente cálido).

Existe también, el encuentro de dos frentes fríos que producen el ascenso del aire cálido (frente ocluido).

Un frente se define como la superficie de separación entre masas de aire de diferente temperatura y densidad.

#### 1.1.4 Precipitación Orográfica

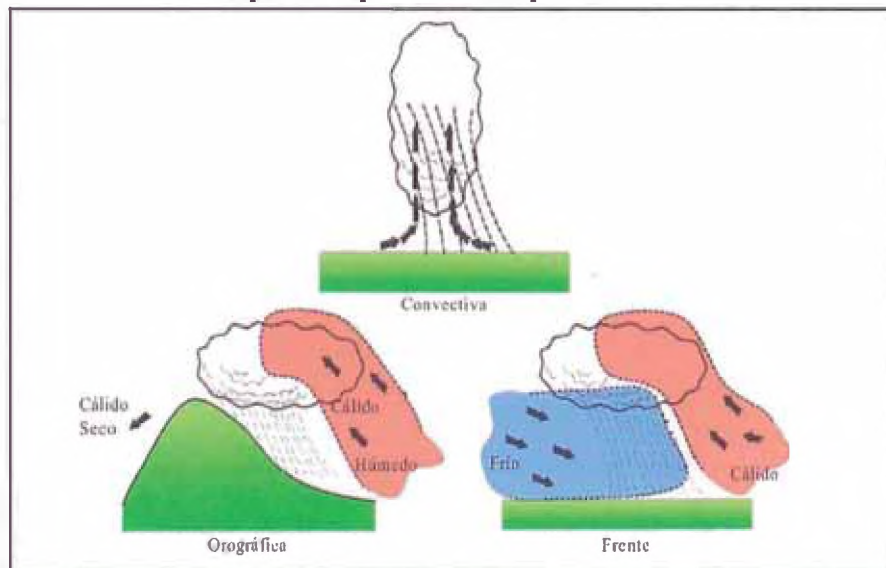
Se forma cuando el aire es forzado a elevarse y enfriarse por efecto de una barrera natural, como una montaña o cadena de montañas; lo que es al mismo tiempo un factor importante en la intensificación de la precipitación.

#### 1.1.5 Precipitación Convectiva

Resultan de un súbito ascenso de una masa del aire cálido y húmedo en la atmósfera. Se asocia a nubes cúmulos y cumulonimbos, de gran desarrollo vertical.

La precipitación que resulta de este proceso es generalmente tempestuosa, de corta duración (menos de una hora), de intensidad fuerte y de una extensión espacial débil.

**Figura N° 1.1**  
**Principales Tipos de Precipitación**



Fuente: UNESCO (2006)

#### 1.1.6 Interpretación de Datos de Lluvia

Para realizar una adecuada interpretación de los registros de precipitación se deben tener en cuenta la lámina, la intensidad y la duración de la lluvia, con las cuales se construyen diagramas como el hietograma que considera la distribución en el tiempo de la lluvia, o gráficos como la curva de masa de lluvia, útiles en el diseño hidrológico.



Se entiende por lámina (L) el total de la lluvia caída en determinado tiempo (1 hora-24 horas-1 mes-1 año, etc.) en un punto (lluvia puntual) o sobre un área (lámina media). Se expresa en milímetros (mm), así 1 mm de lámina sobre un área de 1 hectárea equivale a un volumen de agua de  $10 \text{ m}^3$ .

Se define duración (D) como el período de tiempo durante el cual llueve; ésta tiene importantes implicaciones en el diseño de infraestructuras.

Se entiende por intensidad a la tasa de la precipitación caída en un intervalo de tiempo (L/D) expresada generalmente en milímetros por hora (mm/hora). Es un valor importante en el diseño hidrológico, por ejemplo una lluvia de intensidad de 60 mm/día tiene efectos y consecuencias muy diferentes a una de 60 mm/hora. La lluvia en función de su intensidad, puede ser identificada como: suave (valores hasta 3 mm/h), moderada (mayor de 3 y hasta 10 mm/h) y fuerte (mayor de 10 mm/h).

La precipitación media es la lámina media caída sobre un área dada. Es común en mediciones puntuales asignar a cada punto un área de influencia donde se asume que llueve un valor igual al medido.

El hietograma es un gráfico de lámina o intensidad de lluvia en función del tiempo que generalmente se aplica, en diseño hidrológico, a tormentas individuales.

## 1.2 PELIGRO HIDROMETEOROLÓGICO

Un peligro o amenaza hidrometeorológica, es un proceso o fenómeno de origen atmosférico, hidrológico u oceanográfico que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales. EIRD (2009).

Entre los peligros hidrometeorológicos se encuentran las tempestades, granizadas, tormentas de nieve, fuertes nevadas, avalanchas, inundaciones (entre éstas las inundaciones repentinas), sequías, olas de calor y de frío. Las condiciones meteorológicas también pueden representar un factor para otras amenazas, tales como aludes, incendios forestales, plagas de langosta, epidemias, y el transporte y la dispersión de sustancias tóxicas y material de erupciones volcánicas.

Otra definición de peligro, se refiere al factor externo de un sujeto o sistema, asociado con un fenómeno físico de origen natural o tecnológico que puede presentarse en un sitio específico y en un tiempo determinado produciendo efectos adversos en las personas, los bienes y/o el medio ambiente; matemáticamente expresado como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un evento con una cierta intensidad en un cierto sitio y en cierto período de tiempo. (Cardona, 2001).



Dentro del contexto de este estudio, un peligro hidrometeorológico es una situación meteorológica determinada, que esté relacionada con las inundaciones y tenga potencial para infligir pérdidas o daños a la comunidad o al medio ambiente. Un desastre natural es un fenómeno extremo causado por un peligro natural que afecta gravemente el tejido social de una comunidad y suele requerir la intervención del gobierno para devolver la comunidad a la normalidad.

Los peligros pueden inducir la crisis, sin ocasionar desastres necesariamente. Aunque muchos peligros naturales pueden ser inevitables, los desastres naturales no lo son totalmente. Un desastre dependerá de las características, la probabilidad y la intensidad de peligro, así como de la vulnerabilidad de la comunidad expuesta con base en las condiciones físicas, sociales, económicas y ambientales. En algunos ejemplos, los desastres naturales no pueden evitarse. Sin embargo, su impacto general puede reducirse significativamente gracias a la prevención y mitigación de desastres. La mitigación de desastres es el proceso de gestionar los “riesgos” asociados con desastres naturales potenciales de modo que se minimicen o incluso se eliminen las pérdidas.

Los principales elementos a considerar en una amenaza por inundaciones son:

- El origen de la inundación (precipitación intensa, deshielo, rotura de represamiento, etc.).
- El tipo de curso fluvial en que nos encontremos (gran río, curso de montaña, rambla, curso de recorrido corto...) y el tramo del mismo (alto, medio- bajo, tramo encajado o divagante).
- El volumen de la inundación y especialmente la altura máxima que alcanza el agua.
- La velocidad de propagación, la rapidez de subida del agua, que condiciona la posibilidad de alertar y evacuar a tiempo a la población.
- La duración de la inundación, muy importante de cara a los daños económicos por paralización de actividades.
- La época de año en que se produzca el evento, lo cual puede ser relevante para determinadas actividades económicas.
- El área inundada o magnitud de inundación.
- Parámetros fundamentales: la frecuencia del proceso y la probabilidad de que se produzca en el futuro.

### 1.3 INUNDACIONES Y HUAYCOS

#### 1.3.1 Inundación

Es el aumento, generalmente de corta duración, en el nivel de agua en un arroyo a un máximo a partir del cual el nivel de agua se aleja a un ritmo más lento.

También se define como el flujo relativamente alto del caudal, medido por el estado de nivel o descarga de la corriente.



De acuerdo a sus impactos, la inundación es el desborde del agua de los confines normales de un arroyo u otro cuerpo de agua, o la acumulación de agua por el drenaje en áreas que no están normalmente sumergidas.

### **1.3.2 Inundaciones repentinas (Flash floods)**

Estas inundaciones se asocian con frecuencia, a violentas tormentas convectivas de corta duración, que ocurren en un área pequeña. Las inundaciones repentinas pueden ocurrir en casi cualquier área donde hay fuertes pendientes, pero es más común en zonas montañosas sujetas a frecuentes tormentas eléctricas severas. Las inundaciones repentinas son a menudo el resultado de fuertes lluvias de corta duración. Esta particular tipo de inundaciones comúnmente arrasa casas, carreteras y puentes, por lo que tiene un impacto crítico en las comunidades y en el transporte, en estas zonas a menudo remotas. Las inundaciones repentinas también pueden ocurrir en áreas localizadas donde el suelo ha estado seco por un período largo de tiempo, por ausencia de lluvias.

### **1.3.3 Consideraciones sobre las crecidas repentinas**

La combinación de una descarga alta de lluvia y producción muy eficiente de escorrentía es común a la mayoría de los eventos de crecida repentina.

En algunas situaciones, las características de la escorrentía pueden ser tan o más importantes que la cantidad de lluvia.

La humedad del suelo, la permeabilidad del suelo, las alteraciones a la superficie del suelo y el perfil vertical del suelo son características importantes del suelo que afectan la producción de escorrentía y por lo tanto ayudan a definir las áreas que son propensas a las crecidas repentinas.

Las características de la cuenca (ej., tamaño, forma, pendiente, cobertura del suelo) influyen la escorrentía y por lo tanto el potencial de ocurrencia de una crecida repentina.

La urbanización y los incendios pueden aumentar significativamente el potencial de crecida repentina al incrementar tanto el volumen potencial de escorrentía como la velocidad con la que ocurre la escorrentía.

### **1.3.4 Inundación Fluvial**

Se presenta en una amplia gama de ríos y sistemas hidrográficos. Las inundaciones en los valles de los ríos se producen sobre todo en las llanuras de inundación o tierras de lavado como resultado del flujo inferior o igual a la capacidad de los canales de corriente y se derrama sobre los bancos naturales o terraplenes artificiales. Las inundaciones repentinas son a menudo más perjudiciales, cuando ocurren en valles cerrados estrechos, empinados y, caracterizados como su nombre indica, por la rapidez de formación siguiendo a las precipitaciones y altas



velocidades de flujo. La rapidez los hace particularmente peligrosos para la salud de la vida humana.

### **1.3.5 Inundaciones por Eventos Individuales**

Este es el tipo más común de las inundaciones, en el que intensas lluvias generalizadas duran de varias horas hasta algunos días; resultando en la cuenca de drenaje con graves inundaciones. Normalmente, estas fuertes lluvias están asociadas con perturbaciones ciclónicas, depresiones de latitudes medias y tormentas, con sistemas frontales bien marcados, de escala sinóptica.

### **1.3.6 Inundaciones por Eventos Múltiples**

Es el resultado de las fuertes lluvias asociadas con perturbaciones climáticas sucesivas una después de otra.

Múltiples eventos de inundaciones también pueden afectar a grandes cuencas en zonas de latitudes medias.

### **1.3.7 Inundaciones Estacionales**

Estas son las inundaciones que se producen con regularidad; en general como resultado de la actividad principal de las lluvias estacionales.

Las inundaciones estacionales también pueden ser el resultado de los altos niveles de agua en los lagos en la parte alta de una cuenca. Otro tipo de inundación estacional puede ser el resultado de condiciones de humedad en un parte superior de una cuenca, que experimenta un régimen climático diferente de la cuenca baja, afectándola.

### **1.3.8 Inundaciones Urbanas**

Las inundaciones urbanas se producen cuando las lluvias intensas en pueblos y ciudades crean escurrimiento rápido en zonas asfaltadas y áreas urbanizadas, excediendo la capacidad de los sistemas de drenaje. En las zonas de baja altitud dentro de las ciudades; la formación de estanques de escorrentía se producen no sólo debido a las altas tasas de precipitación, sino también debido a obstrucciones en el drenaje causados por el bloqueo de los desechos en alcantarillas y puntos de salida, a menudo por falta de mantenimiento.

### **1.3.9 Efectos de las Inundaciones**

Las inundaciones se producen anualmente con diferente intensidad, principalmente entre los meses de noviembre y abril de cada año, que es la temporada de lluvias. Los desbordes se producen en su mayoría en las llanuras donde los ríos alcanzan pendientes de 0 a 5%, que para el caso de los ríos de la Costa, son los tramos finales antes de su desembocadura. Debido al arrastre de suelos, la sedimentación, colmatación de los ríos y la falta de políticas de mantenimiento de los cauces, cada año los ríos desbordan con menor caudal.



El aumento del caudal de los ríos no solo produce desbordes e inundaciones sino también erosión fluvial y caídas de los taludes laterales, cortando así tramos de carreteras que generalmente discurren paralelas a ellos y los terrenos de cultivo en las márgenes. La erosión fluvial ocurre casi a todo lo largo de los ríos de la costa, sierra y selva, especialmente en aquellos de régimen torrencioso y durante las grandes descargas ocasionadas por fuertes lluvias; es el caso de erosiones que cada año se producen en ambas márgenes del río Rímac, en los sectores de Chosica, Carapongo, Huachipa y Puente Santa Rosa.

### 1.3.10 Huaycos

Constituyen flujos de lodo rápidos e intempestivos, que arrastran suelos finos, enormes bloques de rocas y maleza, que encuentran a su paso; desplazándose a lo largo de un cauce definido, produciendo desbordes laterales y conformando al final de su recorrido, un cono o abanico.

Los huaycos son fenómenos comunes en el país debido al relieve de nuestro territorio, constituido por montañas áridas y deleznales en el lado occidental, por grandes picos con elevada pendiente en la parte media, y por montañas en proceso de deforestación en el lado oriental, que es territorio de selva alta. Estos flujos hídricos por lo general están circunscritos a la reactivación periódica o excepcional de quebradas, debido a fuertes precipitaciones.

- **Factores que favorecen su ocurrencia**

Los factores que favorecen su ocurrencia son las lluvias persistentes, la existencia de suelos en estabilidad precaria, la acumulación de materiales en el lecho de las quebradas, la existencia de laderas con pendientes altas y taludes inestables cuyo derrumbe o deslizamiento incrementa material en el lecho de las quebradas, la tala indiscriminada de árboles, la carencia de cobertura vegetal, y las variaciones climáticas importantes como las producidas en el contexto del Fenómeno El Niño (FEN).

- **Recurrencia**

Los huaycos pueden ser periódicos, ocasionales y excepcionales. Los periódicos se presentan con mayor frecuencia y se producen durante la temporada de lluvias, entre diciembre y abril; por su recurrencia, causan acumulativamente los mayores daños. Los ocasionales pueden o no generarse con lluvias estacionales, su frecuencia es menor. Los excepcionales tienen un periodo de retorno mayor y están relacionados a variaciones climáticas importantes, como las causadas por eventos como un FEN intenso y excepcional; en ese contexto se incrementa el número y la magnitud de estos flujos de lodo, debido a las lluvias intensas que caen sobre las cuencas de la costa, que activan muchas quebradas y torrenteras.





### ✓ Localización Espacial Predominante

**Los huaycos periódicos y ocasionales** ocurren en quebradas de la cordillera occidental, en quebradas confinadas en laderas de valles interandinos y afluentes de valles principales, con amplias cuencas de recepción, en zonas con índices de pluviosidad alta y donde hay erosión de laderas y relieves de moderada a fuerte pendiente.

**Los huaycos excepcionales** pueden ocurrir en terrenos de relieve más llanos, en quebradas de la vertiente occidental con pendientes moderadas a suaves, con áreas desprovistas de vegetación y gran acumulación de material removible en sus cuencas y donde pueden ocurrir lluvias excepcionales (no por el volumen de precipitación sino por no ser comunes en la zona), que lavan y transportan los sedimentos en cauces amplios o quebradas secas. La Cuenca del Río Rímac (Lima) es una de las zonas en el país más propensa a presentar huaycos.

#### 1.3.11 Umbrales de Lluvia o de Nivel del Río

Cuando sucede una inundación hay una sobre-elevación de los niveles normales de las aguas en los cauces de los ríos, que originan desbordamientos y que las planicies de inundación sean inundadas. Durante las temporadas de lluvias, estas se traducen en nivel de agua en los cauces.

Se entiende por umbral el valor de la magnitud física peligrosa a partir de la cual se justifica la aplicación de una determinada medida de protección.

Los umbrales se convierten en “niveles de alerta”, cuando se hace una aplicación para inundaciones. Facilitan a la población de las comunidades, un tiempo de antelación suficiente para prepararse ante una probable inundación.

Para fines de alerta temprana ante inundaciones es posible definir dos tipos de umbrales:

- a. **Umbral de lluvia:** indica a partir de que cantidad de precipitación acumulada es probable que el río se desborde provocando una inundación;
- b. **Umbral del nivel del río:** indica el nivel del río a partir del cual es probable que se presente una inundación.

#### 1.3.12 Umbrales de lluvia

Los valores de umbrales de alerta dependen de la región de estudio. La escala varía de acuerdo al orden de las lluvias. Dado que las características que identifican las lluvias son la intensidad, la duración y



la extensión, se consideran en algunos casos los umbrales para dos tipos de lluvias: la precipitación ocurrida en 1 hora, para las lluvias intensas; y las ocurridas en 24 horas para las lluvias persistentes y, generalmente extensas.

Los umbrales de lluvia tienen la ventaja de proveer más tiempo para desarrollar las actividades de respuesta en un Sistema de Alerta Temprana, pues hay un tiempo de traslado de lluvia (desde la cabecera de la cuenca hasta el punto de análisis), y el tiempo de traslado de la crecida, desde el punto de análisis (regularmente es una estación de nivel) hasta la comunidad o comunidades en riesgo de inundación. La ventaja consiste en que los datos de monitoreo de la lluvia llegan a la Oficina de Emergencia antes de que éstas se conviertan en crecida en el punto de control o medición; y permite el análisis y definir si se procede a dar un aviso o alerta.

Los pasos para definir una curva de lluvia acumulada-niveles de alerta, inician con definir la lluvia máxima diaria estimada, realizando posteriormente una distribución hipotética horaria de la lluvia y finalmente se obtiene la curva de lluvia acumulada.

Se genera una distribución hipotética a falta de otros datos. El mejor criterio para esto es hacer un “estudio de las tormentas”; pero lamentablemente, la información de este tipo es muy difícil de obtener. Ante esta situación, los investigadores han propuesto distribuciones de tormentas de tipo hipotético. Las crecidas en una cuenca generalmente están asociadas a lluvias de corto tiempo (horas), llamadas tormentas.

Una tormenta puede ser una lluvia que empezó a las 11:00 horas y finalizó a las 14 horas, con un acumulado de lluvia que produce una crecida considerable aguas abajo. El mejor criterio para el estudio de crecidas es encontrar las tormentas asociadas. Los Servicios Meteorológicos operan en sus redes, medidores de lluvia diaria o pluviómetros totalizadores. Son muy pocos los aparatos que registran lluvia continua. Por lo anterior, el dato que comúnmente es obtenido es la lluvia diaria.

Diferentes hidrólogos han realizado estudios de tormentas para definir las distribuciones típicas horarias para algunas regiones hidrológicas. Como resultado, se han propuesto diferentes distribuciones típicas.

Los análisis conducen a identificar tres categorías o niveles de umbrales, relacionados con los colores: verde, amarillo y rojo; aunque en algunos países se incluye el umbral de color naranja.

La condición de alerta verde está relacionada con la cantidad de lluvia acumulada que determina una crecida en los ríos, pero que no causa su desbordamiento; la condición de alerta amarilla está relacionada con la cantidad de lluvia acumulada que determina crecida en los ríos, aunque no causa desbordamiento del mismo, pero que de continuar lloviendo generaría su desbordamiento; y la condición de alerta roja está



relacionada con la cantidad de lluvia acumulada que origina desbordamiento en los ríos.

### 1.3.13 Umbrales de Nivel de Río

#### Generalidades y Métodos de Cálculo

La identificación de un umbral para una probable inundación de un Sistema de Alerta Temprana, se hace con la determinación de un valor límite de lluvia o un valor límite de nivel del río.

En este caso, la ecuación definida para la relación del nivel con el caudal es:

$$Q = aH^2 + bH - c$$

Donde H es el nivel del río en metros y Q es el caudal en metros cúbicos por segundo. Este tipo de curva es definido para cada estación hidrométrica y los Servicio Meteorológicos e Hidrológicos la actualizan constantemente. Por lo tanto es una herramienta de apoyo para el conocimiento de las relaciones lluvia, caudal y nivel del río.

Adicionalmente, el estudio de las crecidas registradas puede relacionarse con el acontecimiento de las inundaciones.

En la comunidad normalmente se tiene conocimiento de cuando sucedió una crecida y se pueden definir los niveles que alcanzo el río.

Si se tiene un registro de inundaciones, se puede calcular el valor mínimo del nivel del río que provoca una inundación pequeña, o bien definir un valor máximo o mayor de nivel del río que provoca una inundación extrema o superior. Con estos valores se puede elaborar una Tabla de Umbrales de nivel de río.

## 1.4 ESCALAS DE FENÓMENOS ATMOSFÉRICOS

En la atmósfera pueden coexistir varios fenómenos meteorológicos de distintas escalas. Por ejemplo, un núcleo tormentoso puede extenderse sólo unos pocos kilómetros en escala horizontal con una duración de varias horas, mientras que un ciclón tropical puede tener unos 1.000 kilómetros de longitud en escala horizontal, con una duración de 10 días o más; muchos núcleos tormentosos aparecen y desaparecen en el tiempo que dura un ciclón tropical.

Por consiguiente, la frecuencia y separación de las observaciones debe ser adecuada para obtener datos que describan los cambios en el tiempo y en el espacio del fenómeno meteorológico, con suficiente resolución para satisfacer las necesidades de los usuarios. Si la separación entre las observaciones es superior a 100 km, los fenómenos meteorológicos que tengan menos de 100 km en la escala horizontal no podrán ser detectados normalmente.



La clasificación de las escalas horizontales de los fenómenos meteorológicos que figura en el volumen I del Manual del Sistema Mundial de Observación (OMM–Nº 544) es la siguiente:

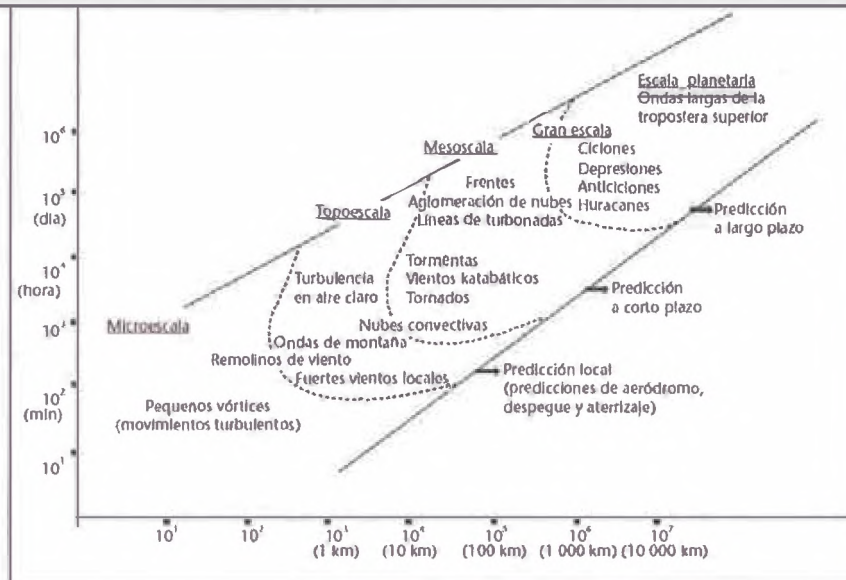
- a) Microescala (menos de 100 m) para meteorología agrícola, por ejemplo evaporación.
- b) Topoescala o escala local (100 m a 3 km), por ejemplo, contaminación del aire, tornados.
- c) Mesoescala (3 km a 100 km), por ejemplo, tormentas, brisa de mar y de montaña.
- d) Gran escala (100 km a 3.000 km), por ejemplo, frentes, diversos ciclones, formaciones de nubes; y
- e) Escala Planetaria (más de 3.000 km), por ejemplo, ondas largas de la tropósfera superior.

Otras referencias indican que, la escala espacial oscila entre el orden milimétrico y la longitud de la circunferencia terrestre en la dirección horizontal y el espesor total de la atmósfera en la dirección vertical. En lo concerniente a la escala temporal, el rango varía desde una pequeña fracción de segundo hasta varios meses o años. Estas escalas del movimiento se clasifican generalmente en tres amplias categorías denominadas: microescala, mesoescala y macroescala. En la literatura, a veces, se usan términos tales como local, regional y global para caracterizar las escalas atmosféricas y los fenómenos asociados a ellos.

Las escalas horizontales están estrechamente relacionadas con las escalas de tiempo de los fenómenos. Cuanto mayor sean las perturbaciones en la escala horizontal mayor será la probabilidad de que dure un período de tiempo más largo (Ver figura Nº 1.2). En consecuencia, la predicción meteorológica a corto plazo exige observaciones más frecuentes procedentes de una red más densa en un área limitada, con el fin de detectar cualquier fenómeno de pequeña escala y su desarrollo. A medida que aumenta la longitud del período previsto, aumenta también el área de la que se necesitan observaciones. Debido a la interacción dinámica que existe entre los fenómenos meteorológicos de distintas escalas quizás no sea posible especificar definitivamente las necesidades de cada una de dichas escalas.



**Figura N° 1.2**  
**Escala Horizontal y Temporal de los Fenómenos Meteorológicos**



Fuente: Boshell (2011)

#### 1.4.1 Pronóstico Meteorológico

Es una declaración certera o un cálculo estadístico de la posible ocurrencia de un evento o condiciones futuras en una zona específica. En meteorología, un pronóstico se refiere a una condición futura, en tanto que una alerta se refiere a una condición futura potencialmente peligrosa. Definiciones de los intervalos de pronóstico meteorológico.

- Nowcasting.  
Es una descripción de los parámetros actuales del tiempo y descripción de los parámetros meteorológicos pronosticados de 0 -2 horas.
- Pronóstico Meteorológico de Muy Corto Plazo.  
Pronóstico de los parámetros meteorológicos de hasta 12 horas de extensión.
- Pronóstico Meteorológico de Corto Plazo.  
Pronóstico de los parámetros meteorológicos más allá de 12 horas y hasta 72 horas.
- Pronóstico de Rango Medio.  
Pronóstico de los parámetros meteorológicos más allá de las 72 horas y hasta 240 horas.
- Pronóstico Meteorológico Extendido.



Pronóstico de los parámetros meteorológicos más allá de 10 días y hasta 30 días. Por lo general como un promedio y expresado como una desviación de los valores climáticos para ese período.

f. Predicción a Largo Plazo.

Pronóstico de 30 días hasta dos años. A continuación se describen varios tipos de predicción a largo plazo:

✓ Perspectiva Mensual.

Descripción de los parámetros meteorológicos promediados expresada como una desviación (desviación, variación, anomalía) de los valores climáticos de ese mes (no necesariamente el próximo mes).

✓ Perspectiva de Tres meses o 90 días.

Descripción de los parámetros meteorológicos promediados expresado como una desviación de los valores climáticos para ese período de 90 días (no necesariamente el período de 90 días siguiente).

✓ Perspectiva estacional.

✓ Descripción de parámetros meteorológicos promediados, expresado como una desviación de los valores climáticos para esa temporada.

En algunos países, las predicciones a largo plazo son considerados como productos climáticos.

La Estación ha sido vagamente definida como el período comprendido entre diciembre / enero / febrero = verano, marzo / abril / mayo = otoño, etc., en el hemisferio sur.

También se pueden proporcionar perspectivas que abarcan varios meses conocidos como perspectivas multiestacionales o perspectivas de temporada de lluvias tropicales.

g. Pronóstico del clima.

Pronóstico más allá de los dos años. Aquí se describen los tipos de pronóstico del clima.

h. Predicción de la variabilidad del clima.

Descripción de los parámetros climáticos esperados asociados con la variación de escala interanual, decadal y anomalías climáticas multidecenales.

i. Escenarios Climáticos.

Descripción del clima futuro, se espera incluir los efectos de las influencias naturales y humanas.



### 1.4.2 Predicción Hidrológica

Una predicción hidrológica es la estimación del estado futuro de los fenómenos hidrológicos.

A continuación se definen los términos normalmente usados para identificar el alcance de las predicciones hidrológicas:

- ✓ Predicción hidrológica a corto plazo – Predicción de los valores futuros de una variable hidrológica para un período no mayor de dos días después de la emisión de la predicción.
- ✓ Predicción hidrológica a plazo medio (extendida) – Predicción de los valores futuros de una variable hidrológica para un período que finaliza entre dos y diez días después de la emisión de la predicción.
- ✓ Predicción hidrológica a largo plazo – Predicción de los valores futuros de una variable hidrológica para un período que se extiende más allá de 10 días después de la emisión de la predicción.
- ✓ Predicción hidrológica estacional – Predicción de los valores futuros de una variable hidrológica para una estación en general cubre un período de varios meses o más).
- ✓ Aviso hidrológico – Información de emergencia sobre un fenómeno hidrológico esperado que es considerado peligroso.

Las predicciones hidrológicas tienen seis características principales:

- a. Variable que se debe predecir, elementos hidrológicos que se predicen.
- b. Plazo de la predicción, también llamado período de predicción o de advertencia.
- c. Métodos del cálculo utilizados.
- d. Finalidad de la predicción.
- e. Forma de presentación, por ejemplo, un solo valor esperado, hidrograma total, distribución de probabilidad; y
- f. Medios de difusión.

### 1.5 DEFINICIÓN DE CUENCA HIDROGRÁFICA

Según la OEA (2010), una cuenca hidrográfica es una superficie de drenaje natural, donde convergen las aguas que fluyen a través de valles y quebradas, formando de esta manera una red de drenajes o afluentes que alimentan a un desague principal, que forma un río.

Fatorelli (2011) define la cuenca hidrográfica como un sistema que presenta como principal entrada la lluvia, y como salidas el caudal, la evapotranspiración, el flujo subsuperficial y la percolación. Las tres últimas son salidas que tienen poco valor en el marco de una creciente súbita, pero son importantes en relación al flujo base



y en la consideración de modelos de simulación continua, así como en la condición antecedente del suelo en lluvias prolongadas, especialmente de regiones húmedas.

La divisoria es la línea topográfica que separa superficialmente dos cuencas hidrográficas o sistemas de drenaje independiente en dirección y sentido, cuyas salidas no necesariamente coinciden en un río común determinado.

Aparte de la divisoria topográfica o superficial, existe la divisoria freática o subterránea. Esta última establece los límites de los cuerpos de agua subterránea, de donde se deriva el caudal base de la misma cuenca. Las dos divisorias difícilmente coinciden. La divisoria freática varía con la posición del nivel freático. Se acostumbra definir el área de drenaje de una cuenca de acuerdo con su divisoria topográfica.

El nivel freático, es el nivel que determina el agua subterránea y sobre el que actúa la presión atmosférica. El caudal base es el caudal dado por el nivel freático.

Para la NOAA (2010), una cuenca hidrológica es un área con una salida común para su escorrentía superficial. Las propiedades físicas de una cuenca y sus cursos de agua influyen la cantidad y el momento en que ocurre la escorrentía y por lo tanto la probabilidad de crecida repentina en la salida de la cuenca. Cualquier factor que aumente la velocidad y la eficiencia de los procesos de producción de escorrentía pueden hacer que una cuenca específica sea más propensa a una crecida repentina.

Ordoñez (2011) refiere a que existe confusión entre los términos de cuenca hidrográfica y cuenca hidrológica, siendo ésta última una unidad para la gestión que se realiza dentro de la cuenca hidrográfica

### 1.5.1 Clasificación de los Cursos de Agua

Con base en la constancia de la escorrentía, los cursos de agua se pueden dividir en:

- a. Perennes:
  - Corrientes con agua permanente.
  - El flujo subterráneo mantiene una alimentación continua produciendo un flujo base que es permanente, salvo situaciones extremadamente secas.
- b. Intermitentes:
  - Corrientes que presentan un flujo base sólo en estaciones de lluvia.
  - El nivel de agua subterránea supera el nivel del lecho del río en la época lluviosa. En épocas de lluvias escasas o nulas ese nivel baja manteniendo un flujo subterráneo.
- c. Efimeros o ríos secos:
  - Carecen generalmente de flujo base. Los escurrimientos superficiales se generan solamente ante la presencia de una lluvia





(generalmente de alta intensidad) sobre la cuenca. En zonas áridas, por ejemplo, en los torrentes se producen crecientes súbitas.

### 1.5.2 Tiempo de Concentración

Es un parámetro que se usa intensamente en los cálculos de la relación precipitación-escorrentía. El tiempo de concentración de la cuenca es el tiempo que una partícula de agua tarda en llegar del punto más alejado al punto de desagüe.

## 1.6 ESTACIONES METEOROLÓGICAS E HIDROLÓGICAS

Las estaciones meteorológicas, agrometeorológicas e hidrológicas son instalaciones destinadas a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas e hidrológicas en lugares seleccionados bajo normas técnicas de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y del SENAMHI, para ser utilizadas en la definición del estado del tiempo, clima y agua.

Según SENAMHI (2013), las estaciones se clasifican en Meteorológicas Sinópticas, Climatológicas, Agrometeorológicas, Hidrológicas, Propósitos específicos, Estaciones Aéreas.

En general, las estaciones pueden ser clasificadas según diversos criterios y pueden pertenecer a más de una de dichas clasificaciones; dependiendo de su aplicación u observaciones adicionales realizadas.

Una clasificación básica que se utiliza es si la estación es Convencional (Manual) o Automática.

### Estaciones Meteorológicas Convencionales

Se denominan estaciones meteorológicas convencionales, a las estaciones en las cuales se hacen observaciones de superficie, equipadas con instrumentos de lectura directa o de registro, cuya medida de la variable se realiza en forma manual, así como también en forma mecánica en un gráfico de registro.

Dentro de la clasificación de estaciones climatológicas que maneja SENAMHI se distinguen cuatro tipos diferentes de estaciones en función de su equipamiento, programa de observación, dotación o uso final de la observación. Estos tipos son los siguientes:

- ✓ **Climatológicas Principales (CP).**- Se utilizan para el conocimiento del clima y su evolución. Las observaciones se realizan en horas fijas 3 veces al día.
- ✓ **Climatológicas Ordinarias (CO).**- Se utilizan para el mismo fin que las anteriores. La diferencia estriba en el número de parámetros climáticos que se miden, que en el caso de éstas estaciones se reduce a tres. Las observaciones también se realizan en horas fijas 3 veces al día.
- ✓ **Pluviométricas (PLU).**- Miden la precipitación acumulada diariamente.



- ✓ **Propósitos Específicos (PE).**- Estaciones de propósito específico cuyas medidas se ajustan a los requerimientos de los objetivos de los planes y proyectos para los que fueron instaladas.

### **Estaciones Hidrológicas Convencionales**

Se denominan estaciones hidrológicas las estaciones para las observaciones de los cursos de agua. Dentro de la clasificación que maneja SENAMHI para este tipo de estaciones se encuentran:

- ✓ **Estaciones Hidrométricas** (limnimétricas, limnigráficas, aforos y calidad del agua)
- ✓ **Estaciones climatológicas para fines hidrológicos**
- ✓ **Estaciones de agua subterránea**
- ✓ **Estaciones hidrológicas para propósitos específicos**

### **Estaciones Automáticas**

Una estación meteorológica automática (**EMA**) o hidrológica automática (**EHA**), es aquella estación que consta de sensores que registran las variables hidrometeorológicas y las almacenan en una plataforma colectora de datos y eventualmente transmiten en forma automática, en tiempo real o cuasi real<sup>1</sup>. Cuando no transmite se denomina como “fuera de línea”.

#### **1.6.1 Instalación de Estaciones**

La instalación de las estaciones debe realizarse según los planos de diseño y distribución del instrumento y con los materiales a usarse por cada tipo de estación.

En el caso de instalación de una estación meteorológica automática, ésta debe estar ubicada en un lugar relativamente abierto, lejos de árboles y edificios (a una distancia por lo menos 4 veces la altura del mástil o torre a usarse) y en un espacio mínimo requerido<sup>2</sup> (6 x 6 m). Por razones de seguridad y confiabilidad de los registros, deben contar con cerco de protección.

Las estaciones meteorológicas, agrometeorológicas e hidrológicas deben ubicarse en lugares donde el registro de las variables a medir sea representativo de las condiciones atmosféricas típicas del área objeto del monitoreo. En lo posible deben evitarse sitios que tengan obstáculos alrededor de la estación, que puedan afectar las mediciones de las variables.

<sup>1</sup> Es la transmisión que se efectúa en tiempo diferido

<sup>2</sup> En casos excepcionales, debidamente justificados puede reducirse a 5 x 5 m



La instalación de las estaciones hidrológicas debe cumplir el Reglamento Técnico de Hidrología. Vol. III, OMM N° 49, en lo concerniente a:

- Deben estar ubicadas en secciones de ríos que permitan la exposición y el funcionamiento correcto de los instrumentos y realizar observaciones instrumentales y no instrumentales satisfactorias.
- Cada estación hidrométrica debe estar ubicada en un sitio que permita el funcionamiento ininterrumpido de por lo menos 10 años, a menos que los fines específicos justifiquen su funcionamiento durante un periodo de tiempo más corto.
- Cada estación hidrológica para fines especiales deberá estar situada en un lugar y en condiciones que permitan el correcto funcionamiento durante el período de tiempo requerido.

## 1.6.2 Observaciones Meteorológicas, Agrometeorológicas e Hidrológicas.

La observación es la evaluación o medida y registro de uno o más elementos meteorológicos, agrometeorológicos o hidrológicos.

La observación visual es aquella que realiza el observador sin el empleo de instrumentos, sino únicamente por estimación y experiencia.

La observación instrumental es aquella que se realiza con el empleo de instrumentos, los cuales deben ser instalados bajo condiciones determinadas y de acuerdo con las recomendaciones de la OMM (Guía N° 8).

### 1.6.2.1 Observaciones Meteorológicas

Es la evaluación o medida de una o más variables meteorológicas por medio visual o instrumental. Una observación visual se realiza únicamente por estimación y experiencia. Por otro lado, una observación instrumental es aquella realizada con instrumentos, los cuales deben ser instalados de acuerdo con las recomendaciones de la OMM<sup>3</sup>, OMM (2006)

### 1.6.1.2 Observaciones Hidrológicas

Es la evaluación o medida de una o más variables hidrológicas, como el nivel de agua, el caudal, la temperatura del agua, etc. Así, una observación visual se realiza únicamente por estimación y experiencia. Por otro lado, una observación instrumental es aquella realizada con instrumentos, los cuales deben ser instalados de acuerdo con las recomendaciones de la OMM<sup>4</sup>. Las observaciones hidrológicas pueden agruparse en hidrométricas,

<sup>3</sup> Reglamento Técnico de Hidrología OMM N° 49, vol. III

<sup>4</sup> Reglamento Técnico de Hidrología OMM N° 49, vol. III



climatológicas para fines hidrológicos, agua subterránea y para propósitos específicos.

### **1.6.3 Instrumentos de las Estaciones Meteorológicas, Agrometeorológicas e Hidrológicas.**

#### **1.6.3.1 Generalidades**

Las estaciones meteorológicas deben estar equipadas con instrumentos debidamente calibrados y en ellas se aplicarán las técnicas adecuadas de observación y medición de las diversas variables, con la finalidad de satisfacer las necesidades de los usuarios para fines sinópticos, climatológicos y agrícolas, etc.

#### **1.6.3.2 Abrigo Meteorológico**

Algunos instrumentos en una estación convencional se encuentran alojados en un abrigo o caseta meteorológica.

El Abrigo Meteorológico es una estructura de madera en forma de caja, de aproximadamente 85 cm. de frente por 60 cm. de fondo y 80 cm. de alto, con una puerta al frente, pintada de color blanco esmalte, siendo diseñada para proteger a los instrumentos convencionales, de la radiación directa del sol, de la radiación terrestre nocturna, precipitación y condensación, mientras que al mismo tiempo permiten una adecuada ventilación.

#### **1.6.3.3 Instrumentos Para Estaciones Convencionales**

Se describen la distribución de instrumentos para cada categoría de acuerdo a la clasificación de estaciones que maneja el SENAMHI.

- **Estación Climatológica Principal (CP)**

Los instrumentos consisten en Anemógrafo o anemómetro, Termógrafo, Termómetros de máxima y mínima del aire, Higrógrafo, Psicrómetro, Barómetro, Microbarógrafo, Pluviómetro o pluviógrafo<sup>5</sup>.

- **Estación Climatológica Ordinaria (CO)**

Los instrumentos consisten en Anemómetro o anemógrafo y veleta o equivalente, Termómetros de máxima y mínima del aire, Psicrómetro, Tanque de evaporación y componentes accesorios, Pluviómetro, Heliógrafo.

---

<sup>5</sup> Si se instala solo pluviógrafo, debe ir acompañado de una probeta para su ajuste respectivo



- **Estación Pluviométrica (PLU)**  
Los instrumentos consisten en un pluviómetro o pluviógrafo. La distribución del instrumento para la categoría de esta estación será en el centro de la parcela.
- **Estaciones Hidrológicas**  
Las estaciones hidrológicas deben estar equipadas con instrumentos debidamente calibrados; se aplicarán las técnicas de observación y medición establecidas a fin de lograr que éstas sean lo suficientemente precisas para satisfacer las necesidades de la hidrología operativa. Los instrumentos que se utilizarán estarán en función a la categoría de la estación y a los fines.
- **Estaciones Limnimétricas (HLM)**  
Los instrumentos básicos son las Miras Limnimétricas.
- **Estaciones Limnigráficas (HLG)**  
Los instrumentos básicos son los siguientes:
  - Miras Limnimétricas.
  - Limnígrafo.
  - También pueden contener sensores electrónicos de nivel y calidad del agua.
- **Estaciones de Aforo de Caudales**  
Los instrumentos básicos son los siguientes:
  - Miras Limnimétricas.
  - Limnígrafo.
  - Correntómetro.
  - Flotadores.
  - Estructura de aforo (para suspensión).
  - Pueden contener sensores de nivel y precipitación.

**Notas:**

- a) También se puede contar con bote, trazadores, sustancias para aplicación del método de dilución y muestreadores de sedimentos.
- b) El método de las mediciones y cálculo del caudal dependerá de las condiciones existentes en un emplazamiento o sección de control. Por lo general el valor del caudal se expresa en función de la altura correspondiente del agua en una estación de aforo.
- c) En las nuevas estaciones de medición serán necesarias numerosas mediciones del caudal para definir la relación



- altura-caudal durante las variaciones de nivel. Será necesario efectuar mediciones periódicas con el fin de definir las variaciones de la relación altura-caudal. Se recomienda un mínimo de 10 mediciones del caudal anual. OMM (2008)
- d) El error típico en las mediciones del caudal de los ríos debe estar alrededor del 5 %.
  - e) Los niveles de los ríos, lagos, embalses y napas freáticas se determinan con una exactitud de:
    - De 1 a 0,3 cm en general.
    - De 0,3 a 0,1 cm para fines especiales.
  - f) En general, el nivel de agua debe ser medido con una exactitud de un centímetro, mientras que en las estaciones de aforo, que efectúan registros continuos, la exactitud debe ser de tres milímetros. OMM (2008)
  - g) La frecuencia con que debe realizarse el registro del nivel de agua está condicionada por el régimen hidrológico del curso de agua y por el fin que se asigne a la concentración de los datos. Si se requiere un registro casi continuo, las lecturas sistemáticas deben ser cuatro veces al día, complementadas con lecturas más próximas entre sí durante épocas de crecidas.

#### 1.6.3.4 Instrumentos para las Estaciones Automáticas

A. Los Instrumentos, Sensores y Componentes para Estaciones Meteorológicas Automáticas son:

- Sensor de temperatura y humedad relativa (Termohigrómetro).
- Sensor(es) de radiación solar global o componentes de la radiación solar o atmosférica, o rad. neta, o UV-A, UV-B (radiómetros).
- Sensor de precipitación (Pluviómetro).
- Sensor de velocidad y dirección de viento (Anemómetro-Veleta).
- Sensor de presión barométrica (Barómetro).
- Otros sensores dependiendo del objetivo de estudio.
- Plataforma colectora de datos (está conformado por un microprocesador, una memoria para el almacenamiento de los datos y otros componentes).
- Medio de transmisión (vía teléfono móvil, radio HF/UHF, Internet, satelital).

B. Los Instrumentos para las Estaciones Hidrológicas Automáticas son:



- Sensor de nivel de agua.
- Plataforma colectora de datos (está conformado por un microprocesador, una memoria para el almacenamiento de los datos y otros componentes).
- Dispositivo de transmisión (vía teléfono móvil, radio HF/UHF, Internet, satelital).
- Adicionalmente puede contar también con sensores meteorológicos.
- 

## 1.7 REDES DE MONITOREO

Las redes de monitoreo están compuestas con sensores de lluvia, nivel de río, radar, entre otros, los cuales recolectan información que son utilizados por modelos de predicción para pronosticar crecidas repentinas.

Las redes de monitoreo y alerta de inundaciones está basada normalmente en redes hidrometeorológicas, que pueden ser complementarias, pero se debe evaluar que la ubicación geográfica de la red para pronóstico y alerta de inundaciones puede ser distinta de la red hidrometeorológica. (OMM N° 1072).

### 1.7.1 Red Hidrometeorológica

Una red hidrometeorológica es el conjunto de localidades distribuidas en donde se llevan a cabo mediciones hidrológicas y meteorológicas en forma manual o automatizada. A éstas localidades o puntos se les denomina estaciones meteorológicas, estaciones hidrológicas o estaciones hidrometeorológicas.

El objeto de las redes de monitoreo hidrometeorológico es obtener una muestra representativa en espacio y tiempo de una variable determinada.

Esencialmente una red de monitoreo para pronóstico y alerta de inundaciones, está basada en una combinación de puntos de monitoreo de lluvia y nivel de río (y posiblemente flujo), reportando en tiempo real o casi real a un centro de operación y control del sistema.

Esta red debe entregar información en relación a áreas donde el alto riesgo de inundación se combina con el alto impacto de inundación. Esta debe contar con un número suficiente de estaciones de tal forma que permita monitorear el desarrollo de la inundación y provea el tiempo suficiente para que “corran” los modelos de pronóstico y se genere y emita alertas oportunas para los tomadores de decisiones.



### 1.7.2 Tipos de Redes

- Red mínima o básica.- Es aquella red que proporciona las características generales de la precipitación, la escorrentía u otras variables, y ayuda a establecer su eventual densificación, en función de necesidades reales que permiten llegar a una red óptima. Esta red tiene como dos objetivos primordiales: uno, recolectar información básica para el conocimiento de las condiciones climáticas (régimen de lluvias y factores meteorológicos) y la disponibilidad real del recurso hídrico, tanto superficial como subterráneo y otro, considerar según las condiciones físicas y meteorológicas de las diferentes zonas, las necesidades potenciales de los usuarios de la red (Ej.: soporte agrícola o ganadero, abastecimiento de necesidades de riego, disponibilidad de agua para uso doméstico, industrial, minero, etc.). El estudio de una red básica debe también considerar factores socio-económicos y de desarrollo que permitan establecer una relación beneficio/costo de la red a implementar.
- Red Óptima.- Es aquella red que tiene un fin específico, tal como pronóstico de niveles y caudales (alerta hidrológica, demanda municipal e industrial, navegación) o pronósticos de volúmenes (manejo de embalses, generación hidroeléctrica, turismo, demanda de riego),  
Uno de los objetivos fundamentales en la optimización de redes, es la densificación o relocalización de estaciones, en la cual resulta primordial el análisis y levantamiento de la información de redes preexistentes que en la mayoría de los casos formarán parte de la red futura.

### 1.7.3 Sistema de Monitoreo

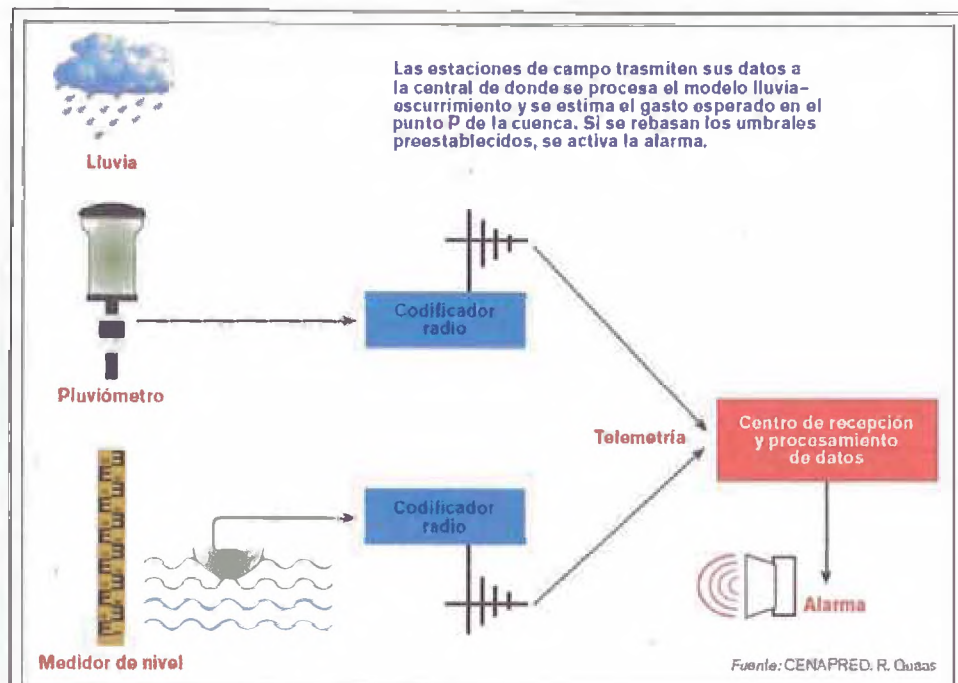
Monitoreo es el proceso de observar lo que está sucediendo.

Un sistema de monitoreo y alerta de inundaciones está compuesto principalmente por: (Ver figura N° 1.3)

- a) Un centro de pronóstico relacionado al pronóstico de lluvia y caudal, apoyo con modelos de predicción numérica.
- b) Una red de estaciones hidrometeorológicas, unidas al centro de pronóstico mediante algún sistema de telemetría.
- c) Programas de pronóstico de inundación, unido a la red de estaciones hidrometeorológicas y operando en tiempo real.



**Figura N° 1.3**  
**Ejemplo de un Sistema de Monitoreo y Alerta de Inundaciones**



Fuente: OEA (2010)

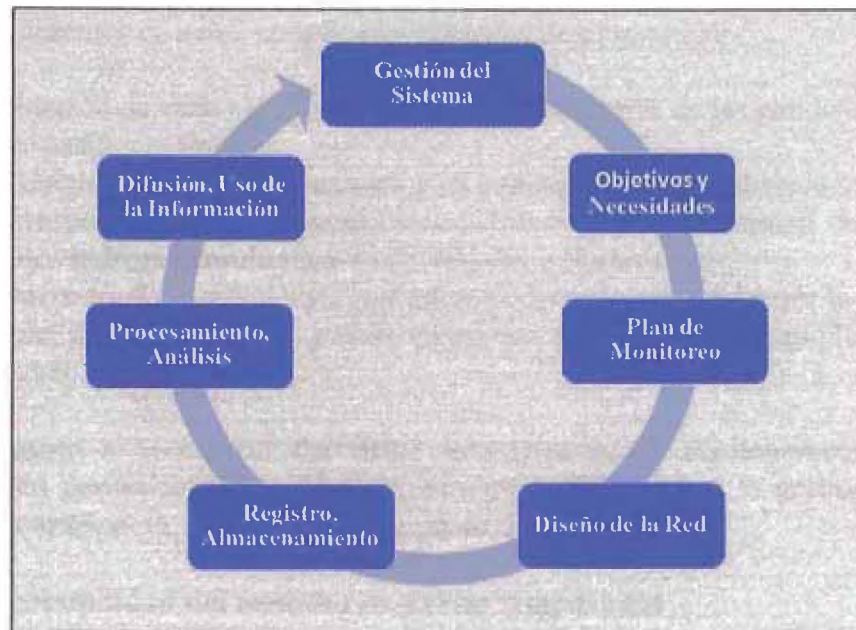
Un Sistema de Monitoreo, requiere de un Plan de Monitoreo, el cual proporciona la base o fundamento para el diseño de redes de monitoreo. El Plan de Monitoreo debe especificar lo que tiene que ser medido y por qué.

El diseño de la red especifica cómo y dónde se debe medir. Por tanto, el plan de monitoreo debe incluir el análisis de datos y procedimientos de información que a su vez pueden influir en los requisitos de diseño de la red.

La siguiente figura N° 1.4 esquematiza la Gestión de un Sistema de Monitoreo, donde cada componente del ciclo de monitoreo está sujeta a cambios y mejoras en el tiempo, lo que se reflejará en los cambios en el conocimiento o las metas, lo que conllevará a mejoras en los métodos, instrumentación y nuevos presupuestos.



**Figura N° 1.4**  
**Gestión de Sistema de Monitoreo**



Fuente: Elaboración propia adaptado de Loucks y Van Beek, (2005)

Los elementos de un plan de monitoreo son:

- La información que será cubierta por los programas de seguimiento y, de igual importancia, las necesidades de información que no serán cubiertas por la estrategia de seguimiento.
- El tipo de monitoreo (hidrológicos, alerta temprana, etc.), la variable a medir y las condiciones previas para la selección de ubicaciones (mínima / máxima distancia de la frontera, el punto de entrada, etc.) y el muestreo de frecuencias (en términos de fiabilidad).
- Los métodos de cálculo y los gráficos, estadísticas y otras herramientas que se utilizarán.
- Las condiciones previas, suposiciones y descripciones de la zona, las organizaciones pertinentes, las principales demandas y así sucesivamente.
- Las responsabilidades de organización de los programas de seguimiento.
- Un plan para el diseño e implementación de la Red de Monitoreo.
- Un análisis de los riesgos y los problemas posibles que pueden conducir al fracaso de los programas de seguimiento.

La selección de los parámetros a ser monitoreados por lo general se basa en su carácter indicativo, su ocurrencia y los peligros que presentan. Por



razones de eficiencia, el número de parámetros monitoreados debe restringirse a aquellos cuyos usos son explícitamente identificados.

Los siguientes criterios se aplican a las redes de observación:

- a. La ubicación de cada estación deben ser representativa de las condiciones en el espacio y el tiempo.
- b. El espaciamiento de las estaciones y el intervalo entre las observaciones se corresponden con la deseada resolución espacial y temporal de las variables hidrometeorológicas a ser medidas u observadas.
- c. El número total de estaciones, por razones de economía, debe ser lo más pequeño posible, pero tan grande como sea necesario para cumplir los requisitos.

En cuanto a la calidad del datos esto requiere el mantenimiento y chequeo periódico de la red de monitoreo también como la gestión de datos computacionales y almacenamiento del sistema.

- **Accesibilidad del medidor en varias temporadas.**

En las nuevas estaciones, se necesitan muchas medidas de descarga a diferentes niveles de flujo, para definir las relaciones nivel-caudal. En las estaciones existentes la frecuencia de las mediciones es dictada en parte por el número necesario para mantener la relación nivel-caudal hasta la fecha.

#### 1.7.4 Sistema de Alerta Temprana

Es “el conjunto de capacidades necesarias para generar y difundir información de alerta que sea oportuna y significativa, con el fin de permitir que las personas, las comunidades y las organizaciones amenazadas por un peligro, se preparen y actúen en de forma apropiada y con suficiente tiempo de anticipación para reducir la posibilidad de que se produzcan pérdidas o daños. Un sistema de alerta temprana en función de la gente comprende cuatro elementos fundamentales: el conocimiento del riesgo; el seguimiento de cerca (o monitoreo), el análisis y el pronóstico de las amenazas; la comunicación o la difusión de las alertas y los avisos; y las capacidades locales para responder frente a la alerta recibida”. UN/EIRD. (2009).

Para el seguimiento o monitoreo se requiere obtener en una estación central, los datos en tiempo real de variables hidrometeorológicas (lluvias, nieve, caudales, temperatura) provenientes de estaciones remotas (incluso de sitios inaccesibles en determinadas épocas del año).

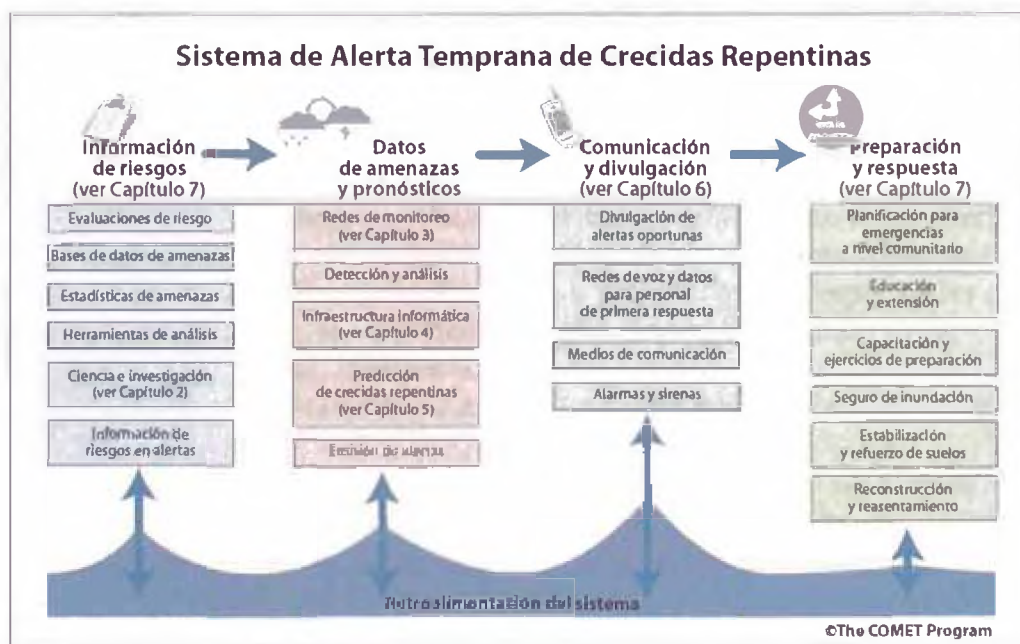
Estos datos son controlados, depurados y procesados “en línea” y con ellos alimentar modelos matemáticos que pronostican valores de caudales a esperar. Hay diversas formas de monitorear las estaciones remotas.

El objetivo de estos pronósticos es para alertar a poblaciones, para ordenar cierres temporarios y desvíos de rutas, para ayudar a manejar embalses, para reordenar el tránsito de grandes ciudades o aislar áreas críticas, para evacuar lugares de asentamientos turísticos y de recreación, para el manejo de ríos navegables entre otros.

Los beneficios directos de prevención de daños materiales y/o salvaguarda de vidas son fácilmente demostrables, pero también los indirectos que hacen a la calidad de vida en ciudades donde se pueden evitar o al menos minimizar los inconvenientes de inundación de calles y rutas con oportunos avisos de cortes de rutas y calles y/o desvíos.

Resulta oportuno en este marco de beneficios recalcar algo que es fundamental. Un buen sistema de alerta temprana, no depende tanto del uso de tecnología sofisticada, como de la implementación de sistemas sencillos y confiables y sobre todo de un eficiente sistema de diseminación de la información y eficientes sistemas de implementación de ayudas ó avisos. (Ver figura N° 1.5)

**Figura N° 1.5**  
**Componentes de un SAT de Crecidas Repentinas**



Fuente: NOAA (2010)

Un sistema de alerta temprana para crecientes torrenciales (“flash floods”), consta de dos elementos básicos:

- ✓ Debe existir un adecuado sistema de prealerta que permita el seguimiento de la tormenta (radar ó aviso temprano de la creciente cuando hay distancia suficiente entre la cuenca y la zona en peligro).



- ✓ El sistema de divulgación de la alerta, la toma de decisiones y la ayuda debe estar extremadamente coordinado y con absoluta rapidez en la respuesta.

Lo que caracteriza es este tipo de sistema es el breve tiempo de respuesta (cortos tiempos de concentración) de la cuenca. (Rural ó urbana).

- **Consideraciones adicionales de diseño y manejo**

Según la NOAA (2010), en términos generales un sistema de alerta temprana integra los siguientes elementos:

1. **Pronóstico Meteorológico de Situaciones de Alerta** (Aviso cuando se dan las condiciones para fuertes lluvias) – y monitoreo de condiciones atmosféricas propicias para la ocurrencia de lluvias torrenciales o largos períodos de lluvia sobre una región o cuenca.
2. **Radar Meteorológico** digitalizado de 5 ó 10 centímetros de longitud de onda y de ser posible con efecto Doppler (muy aconsejable).
3. **Red de Estaciones Terrestres** de lluvia y de caudales que transmitan en tiempo “verdaderamente real”, es decir a modo evento, por sistema radial VHF ó UHF a una estación central.
4. **Central Operativa** de recepción de la información y diseminación de las alertas. Esta central, equipada convenientemente debe contar con personal permanente y funcionar las 24 horas, en épocas críticas y no tener interferencias de tipo burocrático al igual que todo el sistema de alerta.
5. Una coordinación segura y precisa con los responsables de tomar acciones, operadores del embalse, Defensa Civil, Vialidad, Policía, Bomberos, Radios y TV.
6. Un problema cultural y de enseñanza en la población afectada.

En el marco de lo expresado se debe destacar que un sistema de aviso temprano de crecientes es un sistema integrado, de los módulos indicados, cada uno de los cuales es complejo y que cualquier deficiencia en uno de ellos afectara la performance del conjunto. Es decir es un sistema de actividad multisectorial, que requiere inputs y expertos de numerosos organismos, estos inputs se deben manejar en forma conjunta y efectiva para que el sistema funcione y sea exitoso.

El Sistema funciona en las siguientes etapas:

1. **DETECCIÓN:** Esto involucra la recepción y evaluación de datos meteorológicos sobre condiciones atmosféricas que son positivas (o no) para la formación de tormentas.



2. **PRONÓSTICO:** En base a las condiciones que genera la red (y/o radar se va realizando un seguimiento y con las tablas de inundación y/o las normas del embalse o modelo en línea y se emite el pronóstico y la generación o no de alertas.
3. **DISEMINACIÓN Y ALERTA:** Esta etapa involucra la toma de decisiones relacionadas con los avisos tempranos de posibles crecientes, basados en las condiciones de las cuencas, lluvias antecedentes, posibles escorrentías, manejo del embalse y pasaje de toda esa información a los organismos correspondientes.
4. **RESPUESTA:** Esta etapa es clásicamente la más difícil de implementar por la gran coordinación que es necesaria y porque debe estar totalmente exenta de ineficiencias burocráticas, tan comunes, entre organismos de diferentes jurisdicciones.

Finalmente los elementos claves que hacen a un sistema de alerta temprana de lluvias son:

- ✓ Arreglos institucionales.
- ✓ Asignación de frecuencias.
- ✓ Tecnología adecuada para los fines y las condiciones climáticas e hidrológicas.
- ✓ Interacción-Coordinación entre instituciones y entre personas.
- ✓ Capacitación e idoneidad.
- ✓ Información y conocimiento a organismos y a la comunidad (cultura del aluvión).

#### 1.7.5 Tablas de Inundación

Estas tablas ("Flood tables") resultan un elemento clave de ayuda para los operadores de la central de recepción y diseminación. Se calculan en base a estudios de tormentas históricas (tablas de Intensidad-Duración-Frecuencia) a las condiciones de infiltración de las cuencas y a las estaciones de la red que se ubican en cada cuenca.

En ellas se indica, la condición de humedad antecedente (en base a las lluvias antecedente de 24 ó 48 horas), y la intensidad de la lluvia real con lo que se emiten los niveles de alerta, en la zona que corresponde, según la afectación de la cuenca (o las cuencas) que están siendo afectadas por la tormenta.

Estas tablas, en sistemas pequeños (comunidades chicas, áreas de turismo o recreación), pueden reemplazar a un modelo "en línea" de lluvia-caudal.



### **1.7.6 Sistema Efectivo de Alerta Temprana**

Un Sistema de alerta debe empoderar individuos, comunidades y organizaciones para responder oportuna y apropiadamente a los peligros para reducir el riesgo de muerte, daños, pérdida a la propiedad y daños en general. Las alertas deben llegar adecuadamente y estimular a aquellos que están en riesgo a tomar acción. (Ver figura N° 1.6).

Los tomadores de decisión en mitigación de desastres requieren el incremento de precisión en las alertas. Para ello se requiere mejorar las alertas en:

- a) Extender el tiempo de anticipo de alerta.
- b) Mejorar la exactitud de la alerta.
- c) Aumentar los pronósticos probabilísticos.
- d) Mejorar la comunicación y diseminación de alertas.
- e) Usar nuevas técnicas para alertar al público.
- f) Derivar los servicios de alertas de usuarios específicos (información correcta a la persona correcta, en el momento y lugar correcto).
- g) Los mensajes de alerta son entendidos y se toman las acciones de respuesta apropiadas.



**Figura N° 1.6**  
**Elementos de un SAT Centrado en las Personas**



Fuente: EWC (2006)





## 1.8 EVALUACION DE UNA RED DE MONITOREO

### 1.8.1 Criterios de Optimización de Red Hidrometeorológica.

Para un óptimo diseño de red, la primera restricción a ser considerada es la homogeneidad. Otras restricciones relevantes son una apropiada instalación y representatividad.

Una medida del nivel de optimización de una red debería ser expresada por un simple y bien definido parámetro.

Para un primer orden de aproximación tal parámetro es escogido basado en un análisis estadístico de la distancia entre cada estación y la estación más cercana.

Este parámetro representa por ejemplo el porcentaje de todas las ubicaciones en una distancia más grande que una cierta distancia para cualquier estación.

Otras técnicas estadísticas usadas para el diseño de la red, está basado en distancias mutuas entre todas las estaciones o entre las estaciones cercanas solamente.

### 1.8.2 Criterios de Evaluación del Rendimiento de la Red

Una red de monitoreo se puede gestionar mejor si se mantienen registros continuos de rendimiento a nivel diario y mensual.

Para ello se debe establecer procedimientos de control de calidad en tiempo real de los datos registrados por las estaciones; estos procedimientos tienen sus limitaciones y los errores pueden no ser detectados, tales como cambios a largo plazo en sensores y errores en la transmisión de datos, por ello se requiere un control a nivel de bases de datos en los centros de análisis de datos.

La calidad de un sistema de medición se puede evaluar mediante la comparación de los requerimientos del usuario, con la capacidad de los sistemas para cumplir estos requerimientos. Esta compatibilidad debe ser considerada no sólo en el diseño y la fase de planificación de un proyecto, sino también durante la operación del mismo.

El objetivo del rendimiento del monitoreo es revisar continuamente la calidad de las datos, en cada estación de observación.

Hay varios aspectos a considerar en el rendimiento del monitoreo, como son:

- a) Se debe utilizar la información de los centros de análisis de datos, para registrar los errores detectados por los procedimientos de control de calidad.
- b) Los datos de cada estación deben ser compilados en secciones temporales, los cuales deben ser utilizados para identificar variaciones sistemáticas de las estaciones. Esto es útil para obtener



- estadísticas de la media y la dispersión de las variaciones. Los métodos gráficos son eficaces para estos fines.
- c) Los informes deben ser obtenidos de estaciones de campo, sobre fallas de los equipos. Los registros obtenidos permiten la identificación de fallas sistemáticas en el rendimiento debido a factores que afectan a los datos, tales como la exposición o cambios de calibración, el deterioro de los equipos, los cambios en la calidad de insumos o la necesidad de entrenamiento.
  - d) Los resultados del rendimiento del monitoreo deben ser utilizados para la retroalimentación a las estaciones de campo. Los resultados también indicarán cuándo es necesario la acción de reparar o actualizar el equipo de campo.

La supervisión del rendimiento es una tarea en el tiempo, en la que el administrador de la red debe asignar los recursos adecuados.



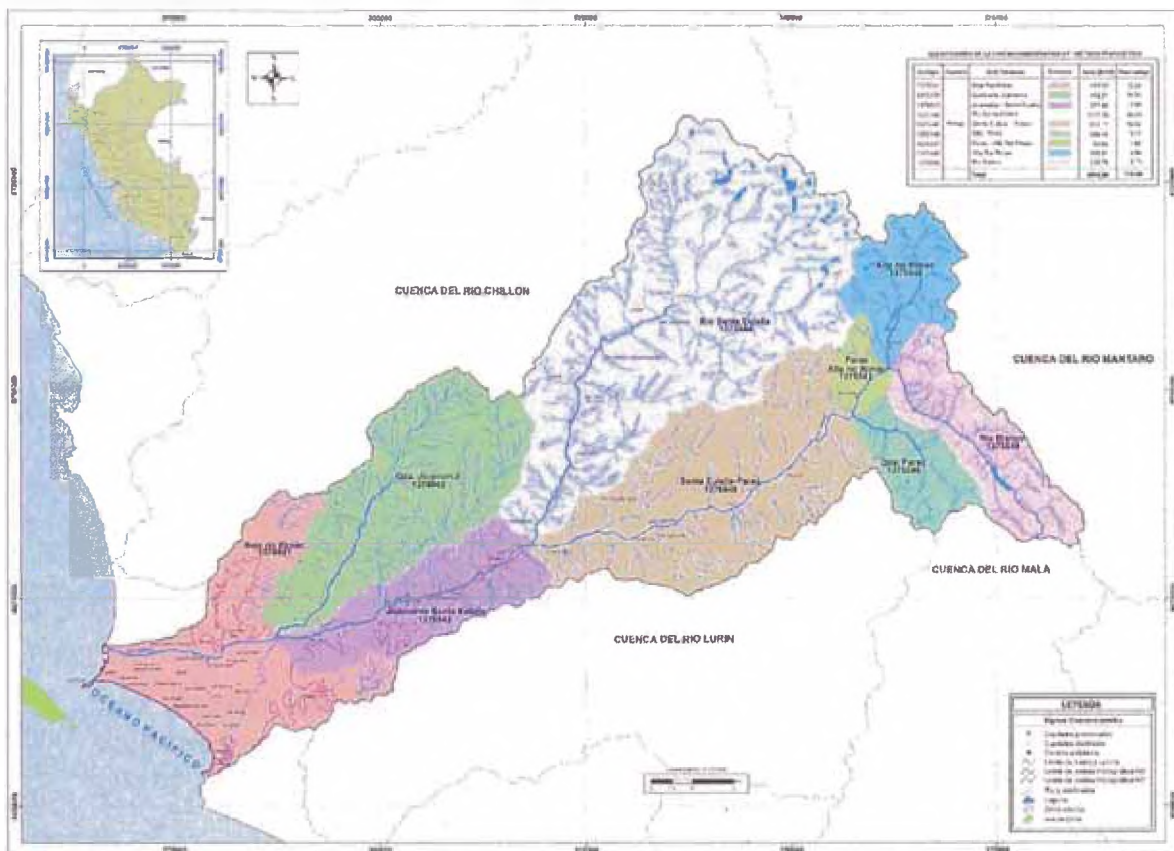
## CAPÍTULO 2. DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA

### 2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CUENCA

La cuenca del río Rímac está localizada entre los  $11^{\circ}36'52''$  y  $12^{\circ}05'47''$  de latitud Sur y entre los  $76^{\circ}11'05''$  y  $77^{\circ}04'36''$  de longitud Oeste. (Ver figura N° 2.1)

El río Rímac está formado por las subcuencas de los ríos Santa Eulalia y San Mateo que, al unirse a la altura de la ciudad de Chosica, forman el río principal que pasa por la ciudad de Lima. La cuenca como sistema hidrográfico y ámbito del presente trabajo, tiene una superficie de drenaje, desde las nacientes hasta la desembocadura al mar de su colector principal, el área de la cuenca es de  $3,503.95 \text{ km}^2$ , de la cual  $2,302.1 \text{ km}^2$  corresponde a la cuenca húmeda, que representa el 65.7% sobre los 2,500.00 msnm.

Figura N° 2.1  
Mapa de la Cuenca del Río Rímac



Fuente: ANA (2010)



Los ríos San Mateo y Santa Eulalia, hasta su confluencia, tienen una pendiente promedio de 4.94% y 6.33% respectivamente, en el curso inferior del río Rímac, desde la confluencia de los ríos Santa Eulalia y San Mateo, cuenta con una pendiente de 1.7%.

Altitudinalmente se desarrolla desde el nivel del mar hasta los 4,700.00 msnm que corresponde al abra Atincona en Ticlio. En el contorno de la cuenca hay cumbres con más de 4,750.00 msnm de altitud.

A partir de la confluencia de dichos ríos, el valle empieza a abrirse y es en ese tramo que el río ha formado su cono de deyección sobre el cual se encuentra una importante zona agrícola y la ciudad de Lima.

El escurrimiento natural del río se origina como consecuencia de las precipitaciones estacionales que ocurren en su cuenca alta. En época de estiaje, durante los meses de junio a noviembre, el río Rímac baja notoriamente su caudal, de acuerdo a los registros de la estación Chosica.

En su parte alta, la cuenca del río Rímac cuenta con un número considerable de lagunas, donde se regulan parcialmente y en forma natural, las aguas de precipitación. La capacidad de embalse de estas lagunas no es de consideración como para que sean utilizadas con fines de regulación del riego del valle, pero sí podrían tomarse en cuenta para proyectos de mejoramiento del riego de tierras cultivadas en la zona de sierra, en los distritos de Callahuanca, Ricardo Palma, entre otros. Las características generales del régimen de descargas del río Rímac son similares a las que presentan la mayoría de los ríos de la Costa del Perú, con descargas irregulares, torrentoso y marcadas diferencias entre sus parámetros extremos.

La población de la cuenca media y alta del río Rímac, es compartida por las provincias de Lima y Huarochiri. El distrito de la provincia de Lima vinculado a la cuenca es Lurigancho Chosica, con una población de 218,976 habitantes, mientras que para la provincia de Huarochiri los distritos a lo largo de la cuenca tienen: Chicla (7,632 habitantes), Matucana (3,680 habitantes), San Mateo (5,017 habitantes), Ricardo Palma (6,103 habitantes), Santa Cruz de Cocachacra (2,477 habitantes), Surco (1,938 habitantes) y San Bartolomé (2,271 habitantes).

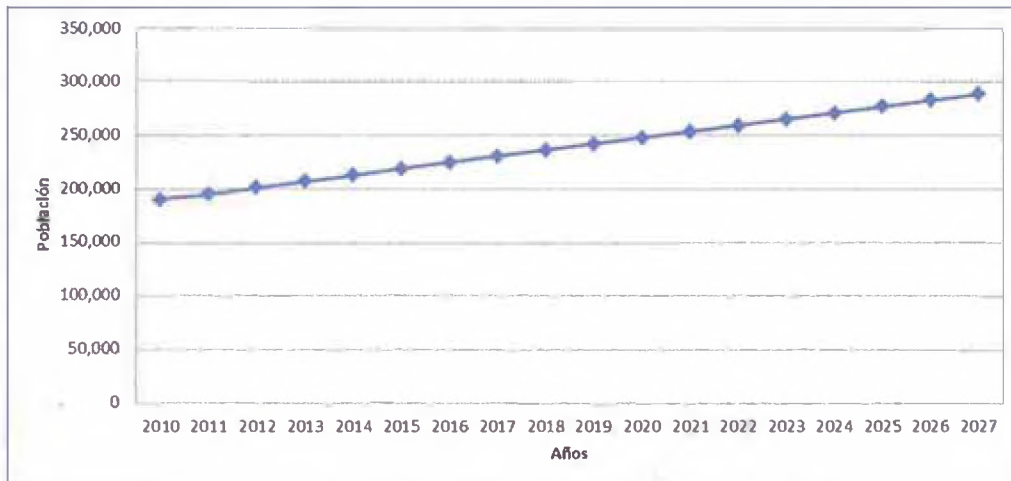
Los distritos de la provincia de Huarochiri no han tenido un crecimiento uniforme, siendo que en algunos distritos la población ha disminuido, mientras que en otros ha aumentado; probablemente debido a fenómenos migratorios.

En el caso específico del distrito de Lurigancho Chosica, éste si ha tenido un incremento constante y progresivo en el tiempo, que según una proyección lineal que a la fecha se viene notando, para el año dentro de 10 años podría llegar a



tener una población de que para el año 2025, podría llegar a superar los 250,000 habitantes. (Ver figura N° 2.2 y Tabla N° 1)

**Figura N° 2.2**  
**Población Estimada de Lurigancho Chosica y Proyección de Crecimiento**



Fuente: Elaboración propia con datos de INEI

**Tabla N° 1**  
**Variación de la Población de Lurigancho Chosica**

AÑO	Población	Variación Anual
2010	189,974	2.92
2011	195,542	2.93
2012	201,248	2.92
2013	207,070	2.89
2014	212,987	2.86
2015	218,976	2.81

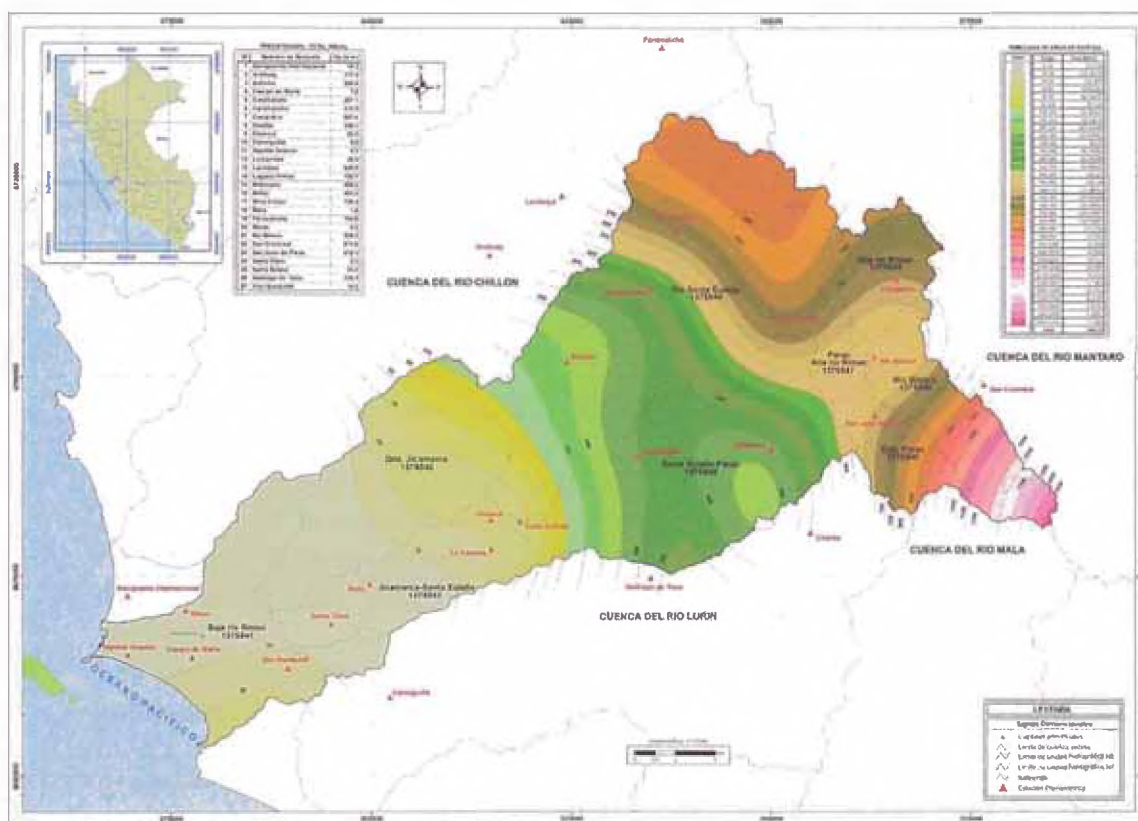
Fuente: INEI (2015)

## 2.2 ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN Y DESCARGA DE LA CUENCA

### PRECIPITACION

Los valores más altos de precipitación se registran en la parte alta de la cuenca; y los menores se registran en la parte baja de la cuenca, según se muestra en la figura N° 2.3

**Figura N° 2.3**  
**Distribución de Precipitación en la Cuenca del Río Rímac**



Fuente: ANA (2010)

En la figura anterior, se observa las isoyetas de precipitación (isoyetas) que representa la distribución espacial de la precipitación media anual a nivel de la cuenca del río Rímac. La precipitación, varía desde valores cercanos a 0 mm en la parte baja de la cuenca, hasta valores superiores a 800 mm, en la parte alta de la cuenca.



El período de lluvias de mayor magnitud comienza a partir del mes de diciembre y se prolonga hasta marzo. El período seco, comprende los meses de mayo a setiembre y los meses transitorios corresponden a abril, octubre a noviembre.

La cuenca húmeda es solo la parte alta de la cuenca a partir de la estación Chosica para arriba, de ahí para abajo la cuenca es seca y no hay precipitación significativa. La superficie total de la cuenca húmeda tiene un área aproximada de 2,318.22 km<sup>2</sup>.

La máxima precipitación media mensual en la cuenca media, tomando como representación la estación Chosica, no supera los 8 mm y se da en el mes de febrero, la precipitación media mensual máxima se produce en el mes de marzo, especialmente en la cuenca alta, donde la precipitación supera los 100mm.

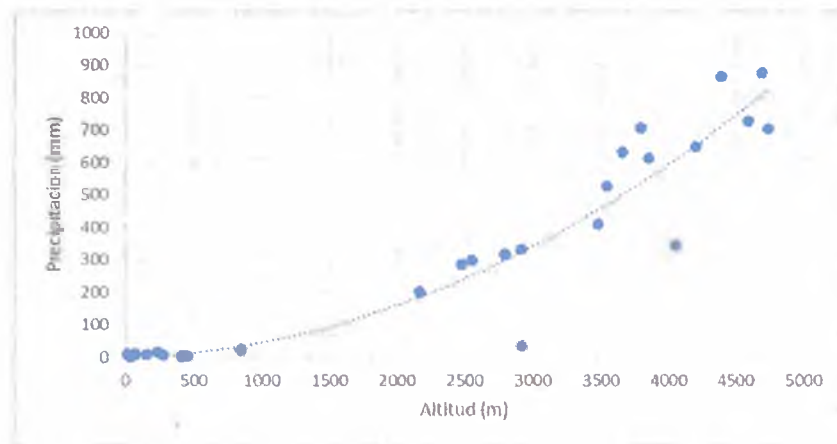
La precipitación máxima en 24 horas en Chosica durante su período histórico es 30.7 mm y se ha producido en el año 2002.

La cuenca del Rímac es un caso típico de cuenca de la costa con un río de régimen intermitente torrentoso, con caudales extremos en los meses de avenidas (enero marzo) y caudales mínimos de estiaje (abril a diciembre). Sin embargo estas condiciones han sido alteradas, especialmente en los caudales de estiaje que han aumentado, por efecto de varias obras de regulación y trasvases efectuadas en la cuenca propia y de la cuenca del Mantaro. En cuanto a la descarga del río Rímac, según ANA (2010), la descarga media mensual bordea los 80 m<sup>3</sup>/s en la estación Chosica, mientras que las máximas instantáneas varía de 154 m<sup>3</sup>/s, para un período de retorno de 2 años y de 646 m<sup>3</sup>/s, para un período de retorno de 1,000 años.

Las precipitaciones medias, presentan una marcada dependencia altitudinal, sin embargo las precipitaciones máximas históricas son prácticamente independientes de la altura. Esto podría explicar la ocurrencia de eventos extremos (huaycos, inundaciones), en zonas donde la precipitación media anual es prácticamente nula o muy escasa. (Ver figuras N° 2.4 y 2.5). Datos en Tabla 1 del Anexo.

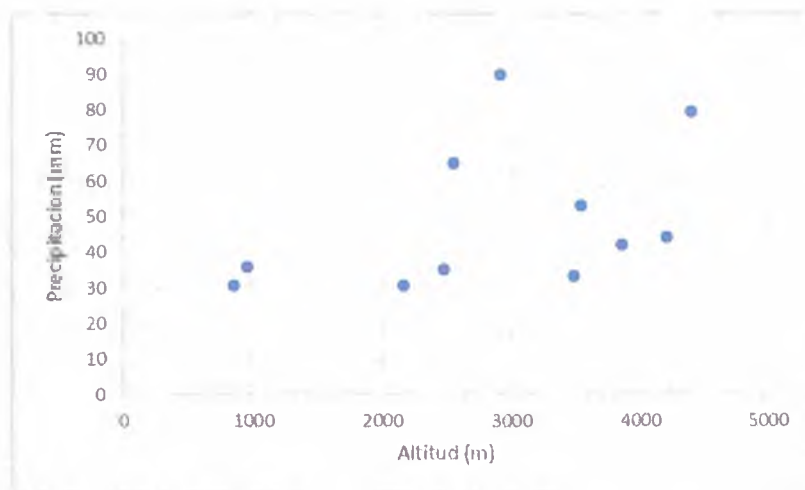


**Figura N° 2.4**  
**Relación Altura – Precipitación Media Anual en la Cuenca**



Fuente: Elaboración propia con datos de SENAMHI

**Figura N° 2.5**  
**Relación Altura – Precipitación Máxima Histórica en la Cuenca**



Fuente: Elaboración propia con datos de SENAMHI





## DESCARGAS

En relación a las descargas o caudales, según INDECI (2005), basado en el estudio de JICA, encontró que los caudales máximos diarios medidos en la confluencia del río Santa Eulalia y San Mateo (Chosica), estimaba en 204 m<sup>3</sup>/s para un periodo de retorno de 2 años, mientras que presentaba un caudal de 660 m<sup>3</sup>/s, para un periodo de retorno de 100 años. Los análisis indicaron que los datos se ajustaban mejor a una distribución Pearson Tipo III. (Ver tabla N° 2).

**Tabla N° 2**  
**Caudales Máximos Diarios en la Cuenca**

Nombre	Área	Caudales (m <sup>3</sup> /s)					
		PERÍODO DE RETORNO (Años)					
		2	5	10	20	50	100
Quebrada. Carosio	0.4	2	3	4	5	7	8
Quebrada Corrales	1.4	4	7	9	11	15	18
Quebrada Quirio	10.4	18	28	38	48	64	75
Quebrada Pedregal	10.6	18	28	38	47	62	73
Quebrada Cashahuacra	15.1	26	39	53	65	86	100
<b>R. Rímac en Chosica</b>	<b>2,250.0</b>	<b>204</b>	<b>290</b>	<b>380</b>	<b>470</b>	<b>580</b>	<b>660</b>

Fuente: INDECI (2005)

Asimismo ANA (2010), encontró que los caudales máximos instantáneos en la estación Chosica, variaba desde 154 m<sup>3</sup>/s, para un periodo de retorno de 2 años hasta 452 m<sup>3</sup>/s, para un periodo de retorno de 100 años. (Ver tabla N° 3).

Según este estudio los datos se ajustaban mejor a la distribución Gumbel, sin embargo utilizaban la distribución LogNormal de 2 parámetros, máxima verosimilitud, por ser más conservadora de la información. (Ver figura N° 2.6). Datos en Tabla 30 de Anexos.

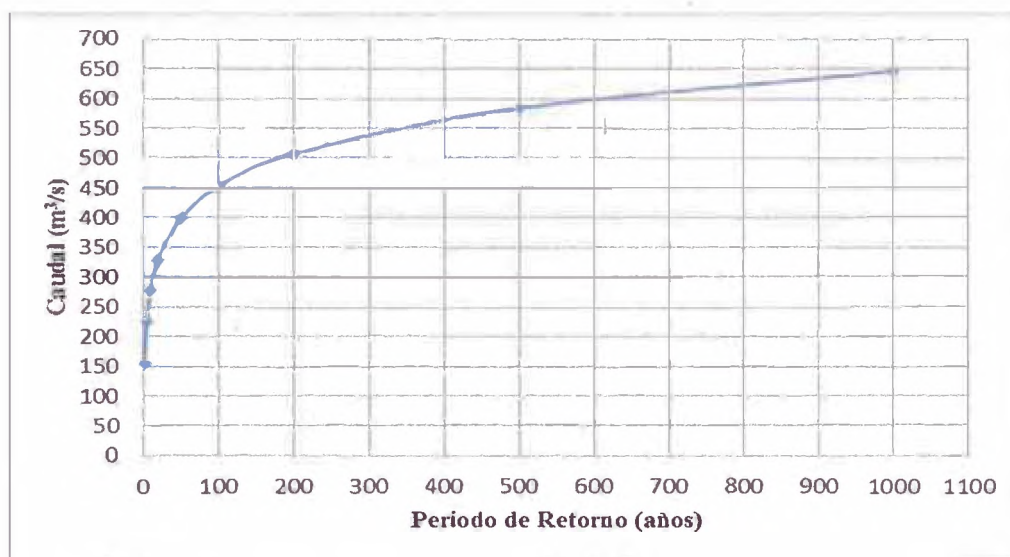


**Tabla N° 3**  
**Caudales Máximos Diarios Estación Chosica ( $m^3/s$ )**  
**Período de Retorno (Años)**

	2	5	10	20	50	100
<b>Gumbel</b>	156	223	267	310	365	406
<b>LogNormal 2P</b>	154	227	278	329	398	452
<b>LogNormal 3P</b>	153	227	279	331	401	456
<b>LogPearson III Versml.</b>	153	226	278	331	403	460
<b>LogPearson III-Momentos</b>	153	227	279	333	406	464

Fuente: ANA (2010)

**Figura N° 2.6**  
**Curva de Frecuencia de Caudales Máximos Instantáneos**  
**Río Rímac - Estación Chosica**



Fuente: ANA (2010)

SENAMHI (2012), encontró que varias distribuciones representaban bien los datos de máximas avenidas; sin embargo utilizan la distribución Gumbel para una validación de análisis comparativo de diferentes periodos de registro. Así para un período de retorno de 5 años, los caudales máximos se encuentran alrededor de  $152 m^3/s$ , mientras que para un periodo de retornos de 100 años, los caudales máximos se encuentran alrededor de  $257 m^3/s$ . (Ver tabla N° 4 y figura N°2.7).



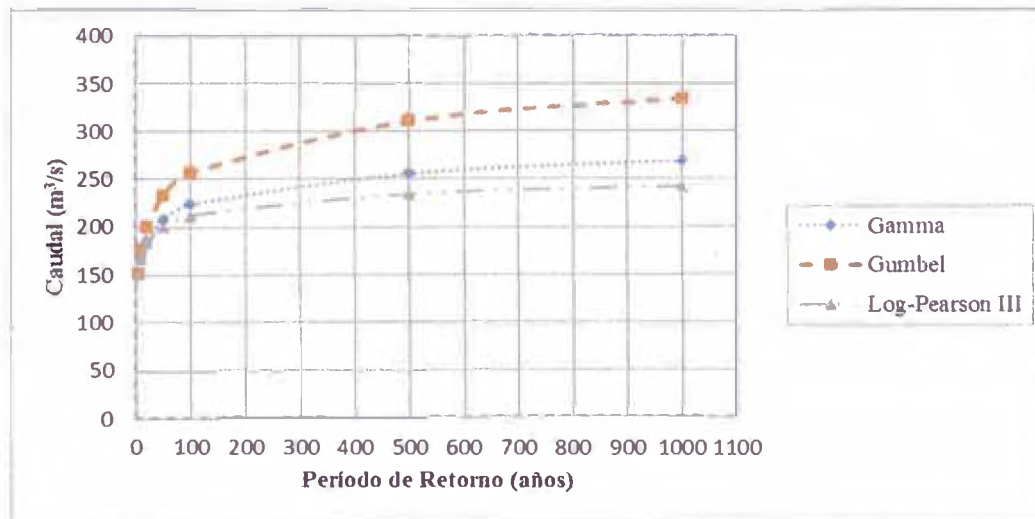
Las diferencias entre los caudales estimados en los diversos estudios, se basa en los diversos períodos de análisis y en la consistencia de la información, siendo la del SENAMHI la estimación mas conservadora.

**Tabla N° 4**  
**Caudales Máximos Diarios en la Cuenca**

	Período de Retorno (años)					
	2	5	10	20	50	100
Gamma		149	169	187	208	224
Gumbel		152	177	201	233	257
Log-Pearson III		150	168	184	201	212

Fuente: SENAMHI (2012)

**Figura N° 2.7**  
**Curvas de Frecuencia de Caudales Máximos Instantáneos**  
**Río Rímac - Estación Chosica**



Fuente: SENAMHI (2012)

### 2.3 MARCO LEGAL PERTINENTE

- Según su ley orgánica 24031, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - SENAMHI, es la entidad encargada de: Organizar, operar, controlar y mantener la Red Nacional de Estaciones Meteorológicas, Hidrológicas y Agrometeorológicas, de conformidad con las normas técnicas



de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y las necesidades de desarrollo nacional, a excepción de las redes de estaciones establecidas con fines específicos.

Asimismo, el SENAMHI debe realizar y formular los estudios e investigaciones que satisfagan las necesidades de desarrollo y defensa nacional, en lo concerniente a su aplicación en las diferentes áreas de la meteorología, hidrología, agrometeorología y otras conexas.

- Según su reglamento de organización y funciones, la Autoridad Nacional del Agua, organismo técnico especializado, adscrito al Ministerio de Agricultura, creada con Decreto Legislativo 997, es el ente rector del Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos, el cual es parte del Sistema Nacional de Gestión Ambiental, y se constituye en la máxima autoridad técnico - normativa en materia de recursos hídricos.
- Según su Ley Orgánica, el Gobierno Regional de Lima, es el encargado de diseñar y ejecutar programas regionales de cuencas, corredores económicos y de ciudades intermedias, así como dirigir el Sistema Regional de Defensa Civil en la región.
- De acuerdo a la ley anteriormente citada, la Municipalidad Metropolitana de Lima tiene las competencias y funciones reconocidas al gobierno regional en la jurisdicción de la provincia de Lima.
- Según la Ley 29664, que crea el Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres-SINAGERD, los Gobiernos regionales y Gobiernos locales, son los responsables directos de incorporar los procesos de Gestión del Riesgo de Desastres en la gestión del desarrollo, en el ámbito de su competencia. Así también, según el reglamento de esta misma Ley, los Presidentes Regionales, ahora llamados Gobernadores Regionales, los Alcaldes y Titulares de las entidades y sectores del Gobierno Nacional, constituyen y presiden Grupos de Trabajo de la Gestión del Riesgo de Desastres.
- Así también, los órganos y unidades orgánicas de los Gobiernos Regionales y Locales deberán incorporar e implementar en su gestión, los proceso de estimación, prevención, reducción de riesgo, reconstrucción, preparación, respuesta y rehabilitación, transversalmente en el ámbito de sus funciones. La alerta temprana es parte de los procesos, de preparación y de respuesta. Para la preparación consiste en recibir información, analizar y actuar organizadamente sobre la base de sistemas de vigilancia y monitoreo de peligros y en establecer y desarrollar las acciones y capacidades locales para actuar con autonomía y resiliencia.
- Según el Decreto Supremo 048-2011, reglamento de Ley 29664, establece al Centro Nacional de Prevención de Desastres, organismo público, adscrito a la Presidencia del Consejo de Ministros, la función de rectoría de la normatividad que asegure y facilite los procesos técnico administrativo de estimación, prevención y reducción de riesgo, así como de reconstrucción.



- De acuerdo al Decreto Supremo N° 043-2013-PCM, compete al Instituto Nacional de Defensa Civil-INCEDI, organismo público adscrito a la Presidencia de Consejo de Ministros, la función de coordinar, facilitar y supervisar la formulación e implementación de la Política Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres, referido a la preparación, respuesta y rehabilitación; así como desarrollar, coordinar facilitar la formulación, implementación, ejecución, seguimiento y evaluación del Plan Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres. También le compete al INDECI, a través del **Centro de Operaciones de Emergencia Nacional-COEN**, Monitorear y gestionar información en forma permanente sobre peligros, emergencias o desastres y peligro inminentes que afecten el territorio nacional.
- Según el Reglamento de la Ley N° 29664, aprobado mediante Decreto Supremo N° 048-2011-PCM, los Sistemas Regionales de Defensa Civil tienen en su estructura a los Centros de Operaciones de Emergencia Regional - COER y los Centros de Operaciones de Emergencia Local – COEL.
- Según la norma anterior, los Centros de Operaciones de Emergencia - COE, son órganos que funcionan de manera continua en el monitoreo de peligros, emergencias y desastres, así como en la administración e intercambio de la información, para la oportuna toma de decisiones de las autoridades del Sistema, en sus respectivos ámbitos jurisdiccionales. Asimismo, los COE, en todos sus niveles, permanentemente obtienen, recaban, y comparten información sobre el desarrollo de los eventos descritos y proporcionan la información procesada disponible que requieran las autoridades encargadas de conducir o monitorear emergencias, así como a los COE de los niveles inmediatos respectivos para coadyuvar a la toma de decisiones de las autoridades correspondientes, contando, para el cumplimiento de sus actividades, con el Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación – SINPAD, administrado por el INDECI, como componente del Sistema Nacional de Información del SINAGERD.

## 2.4 DIAGNÓSTICO DE PELIGROS

El río Rímac nace en las alturas de Ticlio, presentando un valle encajonado y teniendo como principales afluentes al río Santa Eulalia y quebrada de Jicamarca por la margen derecha y al río Blanco por la margen izquierda. Este río es el de mayor caudal entre los que drenan la zona de estudio, y su poder erosivo es tan fuerte que en épocas de intensas precipitaciones erosiona y socava los taludes del valle, arrasando chacras, carreteras y viviendas. Así mismo, de las quebradas laterales se originan fuertes avalanchas de lodo y rocas, ocasionando pérdidas materiales y humanas.

Los fenómenos de geodinámica externa que más daños provocan en la cuenca son las lloccllas-huaycos (flujos de detritos) y los desbordamientos del río Rímac.



Estos fenómenos inciden principalmente en la Carretera Central y Línea Férrea, alterando periódicamente el ritmo de vida en un vasto sector de nuestro territorio. Estos fenómenos se acentúan durante los fenómenos de El Niño, tales como: Huaycos que se ubican en el sector comprendido entre Cocachacra y Matucana; otro son los deslizamientos como los de la quebrada Llanahualla; así también se producen derrumbes que es el desprendimiento de material como en los sectores de Casapalca y Huariquiña; así también tenemos los desprendimientos de rocas que se dan en el A.H. Mariscal Castilla, A.H. Buenos Aires y en el tramo entre el kilómetro 40 y 48 de la Carretera Central; así como la Erosión Fluvial que se presenta en todos los cursos de escurrimiento de las aguas superficiales sobre todo en la época de lluvias.

JICA (1988) encontró 7 zonas vulnerables desastres en la cuenca de acuerdo a sus características geológicas y topográficas, identificando a estas zonas como las quebradas: Quirio, Pedregal, Carossio, Corrales, Río Seco, Paihua, Cashahuacra.

Según Carrillo-Gil (s.f) las lluvias y "huaycos" que más castigaron a Chosica se dieron en los años 1909, 1915, 1925, 1926, 1936, 1939, 1967, 1971, 1972, 1975, 1983 y 1987 fechas en las que se han activado las quebradas tributarias. Este autor citando un estudio realizado por PREDES, menciona que durante el verano de 1989, también ocurrieron numerosos huaycos en las quebradas de Nicolás de Piérola, San Antonio del Pedregal, Carossio, Corrales, Cashahuacra principalmente, y en otras quebradas menores en la margen izquierda del río Rímac; en las áreas de la Cantuta, Santo Domingo y La Ronda.

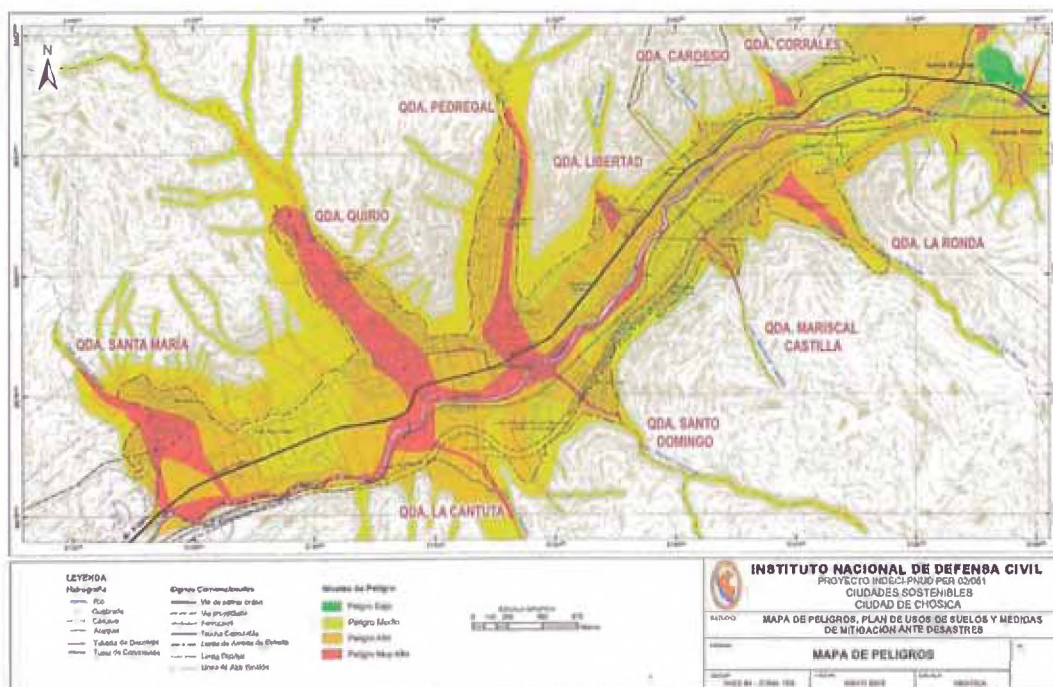
Según este autor, el área de Chosica es vulnerable a los flujos de lodos y escombros, por lo que es necesario determinar los niveles de lluvia en las quebradas, determinar las condiciones mínimas de intensidad de lluvia y la duración sostenida, necesaria para causar el flujo de escombros. Las condiciones para el inicio del "huayco" en esta área se pueden predecir observando y vigilando la cantidad de lluvia que cae en la temporada de verano, evaluando además la lluvia adicional probable para las zonas puntualmente críticas. Tales predicciones dependen de informes en tiempo-real de lluvia desde lugares remotos, predicción precisa de lluvia adicional y determinación específica de donde pueden ocurrir las fallas.

Indeci (2005) elaboró un mapa de peligros para la ciudad de Chosica. En este estudio identificó 18 sectores críticos, susceptibles de ser afectados por huaycos. Estos lugares eran:



- Sector I : Corrales
- Sector II : Carosio
- Sector III : La Libertad
- Sector IV : Zona Central Calles Arequipa- Huacho
- Sector V : Zona Central, Eje Av. 28 de Julio-Mercado
- Sector VII : Parte Baja Pedregal
- Sector VIII : Parte Baja Pedregal-Quirio
- Sector IX : Sierra Limeña
- Sector X : Quirio
- Sector XI : Yanacoto
- Sector XII : Área Recreativa
- Sector XIII : Luis Bueno-Cañaverales-Módulos
- Sector XIV : Santo Domingo-Villa El Sol
- Sector XV : La Cantuta
- Sector XVI : Mariscal Castilla
- Sector XVII : La Ronda
- Sector XVIII : La Florida

**Figura N° 2.8**  
**Mapa de Peligros Naturales – Chosica**



Fuente: INDECI (2005)

En el Mapa de Peligros (Ver figura N° 2.8), se identifican las principales quebradas críticas de ese estudio.



Fidel et al. (2006), analizando el flujo de detritos o huaycos en la zona de Matucana, encontró que ésta zona, se ha visto afectada por flujo de detritos de magnitud destructiva en los años 1959 y 1983, sin embargo ello no ha implicado la producción de flujo de detritos en toda la cuenca. Los flujos de gran tamaño han sido esporádicos; siendo que éstos han ocurrido en solo uno de los tres eventos de El Niño más graves desde 1980. Esto sugiere que sólo se producen flujo de detritos importantes en las quebradas, siguiente a períodos suficientemente largos después de un flujo anterior, necesario para recargar sedimentos.

El Centro de Estudios y Prevención de Desastres - PREDES, mediante el proyecto “Prevención y Preparativos para afrontar Huaycos e Inundaciones en la Cuenca Alta del Río Rímac - DIPECHO I”, el año 2006, realizó estudios de riesgo y vulnerabilidad e identificó 6 distritos donde existe mayor riesgo de huaycos e inundaciones: Surco, Matucana, San Mateo, Santa Cruz de Cocachacra, Ricardo Palma y Santa Eulalia, como se observa en la Figura 2.9.

**Figura N° 2.9**  
**Distritos con Peligro de Huaycos e Inundaciones**



Fuente: PREDES (2006)

A su vez, Sandra Villacorta et. Al (2015), en una evaluación de los huaycos ocurridos en Chosica en Marzo de 2015, menciona que en Chosica se han producido huaycos en los años 1909, 1925, 1970, 1976, 1983, 1987, 1998, 2009, 2012 y 2015. En dicha evaluación manifiesta que resultaron como zonas afectadas, las quebradas Quirio, Pedregal, Libertad, Carossio, Rayos de Sol y Cashahuacra. El estudio menciona que Chosica seguirá soportando éstos





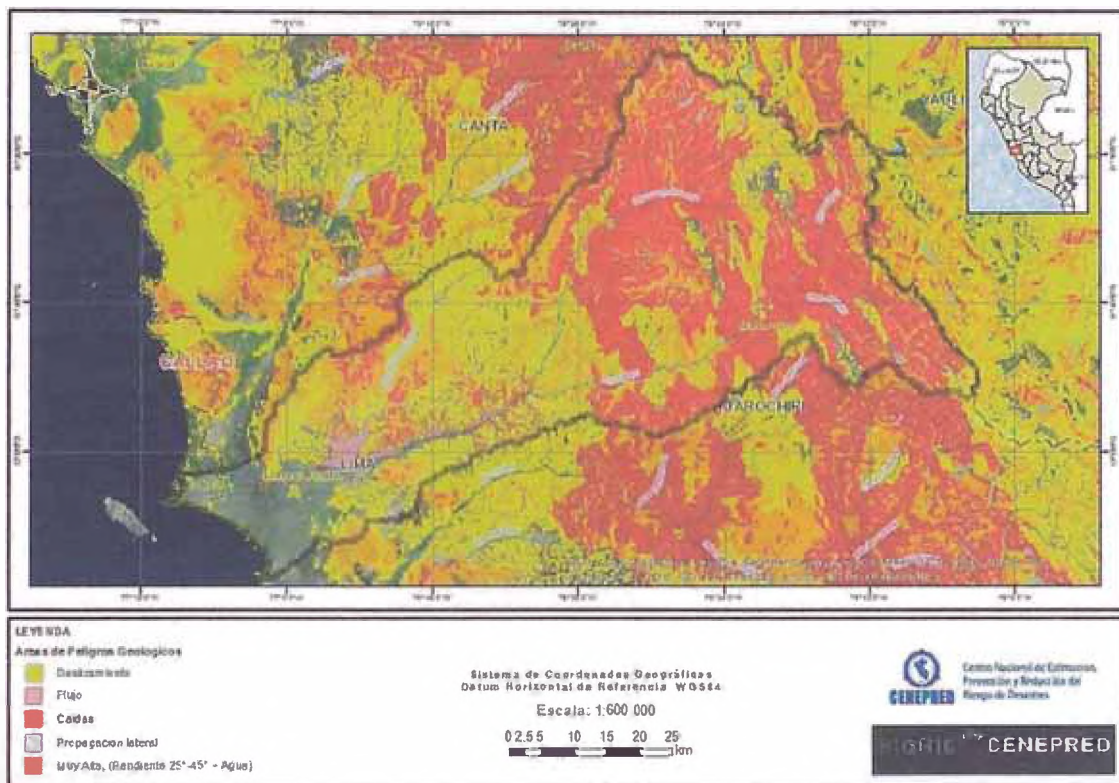
fenómenos por ser eventos geológicos cíclicos; que las quebradas circundantes a la ciudad de Chosica, se caracterizan por tener en su cauce y laderas abundante material suelto, que ante lluvias extraordinarias son de fácil remoción y que muchas viviendas están ubicadas justo en el lecho de la quebrada; justo en el cauce por donde debe discurrir libremente y que al no encontrar un cauce libre, va a causar destrucción a todas aquellas viviendas e infraestructuras que están ubicadas en su curso.

Varias organizaciones de manera coordinada con CENEPRED, que es un organismo público ejecutor, perteneciente a la Presidencia de Consejo de Ministros y que conforma el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, han dispuesto su información de mapas de peligros en un sistema denominado SIGRID, que es un sistema de información en línea, diseñado e implementado pensando en su uso masivo por parte de las diversas entidades públicas.

El INGEMMET (2010) ha elaborado un Mapa de Susceptibilidad a Movimientos en Masa, donde identifica la alta vulnerabilidad a estos fenómenos geológicos en la cuenca media alta del río Rímac. La cuenca alta presenta mayor susceptibilidad a caídas y deslizamientos, mientras que la cuenca media presenta una mayor susceptibilidad a flujos. (Ver figura N° 2.10).



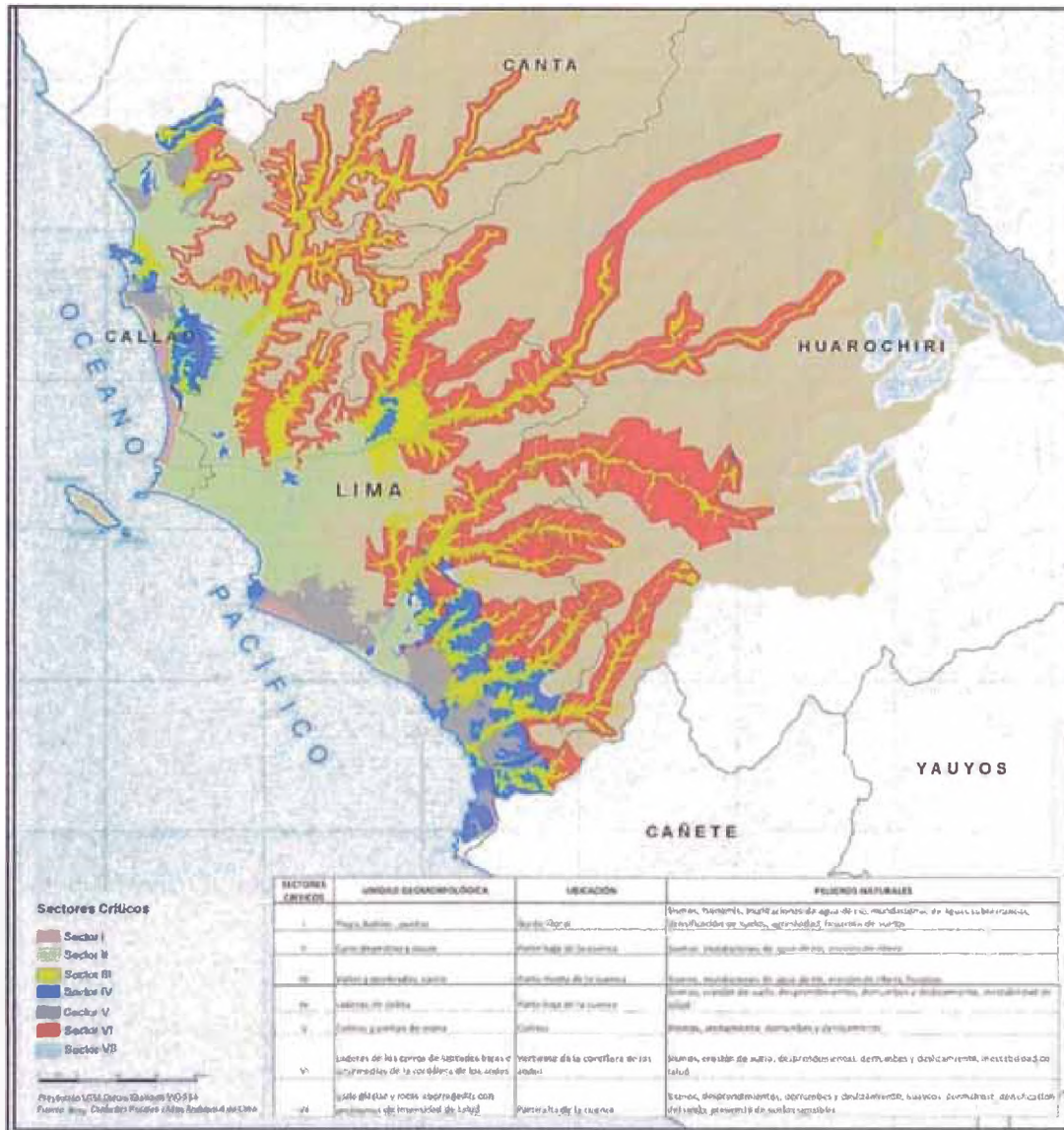
**Figura N° 2.10**  
**Mapa de Susceptibilidad a Movimientos en Masa**



Fuente: Elaboración propia con información de INGEMMET y CENEPRED

Allende et. al, (2012), ha identificado hasta 7 sectores críticos por peligros naturales en Lima Metropolitana. Particularmente la zona de estudio, presentaba los siguientes peligros: Sismos, huaycos inundaciones, erosión de ribera de río, derrumbes y deslizamientos. (Ver figura N° 2.11).

**Figura N° 2.11**  
**Mapa de Sectores Críticos en Lima Metropolitana**



Fuente: Allende et. al (2012)

A su vez, ANA (2015), ha determinado ocho (8) zonas críticas, en las quebradas próximas a la ciudad de Chosica. Estas zonas se encuentran asentadas cerca de las quebradas Mariscal Castilla, Cupiche, Carossio, Corrales, Pedregal, Huayaringa, Las Cruces y Cashahuacra. (Ver figura 2.12 y tabla N° 5)

**Figura N° 2.12**  
**Mapa de Poblaciones Vulnerables por Activación de Quebrada**



Fuente: Elaboración propia con datos de ANA (2015) y CENEPRED



**Tabla N° 5**  
**Poblaciones Vulnerables por Activación de Quebradas**

N	Quebrada	Provincia	Distrito	Longitud	Latitud	Altitud	N° Vivien da en Riesgo	N° Habitante s en Riesgo (Directam ente Afectados)	N° Habitantes en Riesgos (Indirectam ente Afectados)	Total de Habitan tes Afectad os
1	Mariscal Castilla	LIMA	LURIGANCHO	-76° 41' 5.769"	-11° 56' 10.031"	1012	200	800	1064	1864
2	Cupicbc	HUARO-CHIRÍ	RICARDO PALMA	-76° 36' 34.081"	-11° 55' 39.012"	1324	50	200	266	466
3	Carossio	LIMA	LURIGANCHO	-76° 41' 13.976"	-11° 55' 29.009"	932	200	800	1064	1864
4	Corrales	LIMA	LURIGANCHO	-76° 40' 50.536"	-11° 55' 22.218"	918	100	400	532	932
5	Pedregal	LIMA	LURIGANCHO	-76° 42' 9.630"	-11° 55' 18.651"	1086	100	400	532	932
6	Huayarin-ga	HUARO-CHIRÍ	SANTA EULALIA	-76° 39' 7.987"	-11° 55' 16.544"	1042	20	280	372	652
7	Las Cruces	HUARO-CHIRÍ	SANTA EULALIA	-76° 40' 34.321"	-11° 54' 57.223"	1051	150	600	798	1398
8	Cashahua-cra	HUARO-CHIRÍ	SANTA EULALIA	-76° 40' 18.673"	-11° 54' 27.441"	1099	150	600	798	1398

**TOTAL 970 4080 5426 9506**

Según SENAMHI (2015), el río Rímac en eventos el Niño débiles ha presentado caudales que bordearon el límite superior a lo normal.

Se ha realizado una estimación de los 3 últimos huaycos (febrero 2015, marzo 2015 y abril 2012) descritos en la presente tesis basada en los reportes de COEN-INDECI, donde se observa que al menos se ha tenido una cantidad de 11 personas fallecidas y 29 heridos. (Ver tabla N° 6).

**Tabla N° 6**  
**Afectaciones por Huaycos en Chosica**

FALLECIDOS	HERIDOS	DAMNIFI-CADOS	AFECTA-DOS	VIVIENDAS DESTRUIDAS	VIVIENDAS AFECTADAS	INSTUTO EDUCATIVO AFECTADO
11	29	1808	6086	698	1124	60

Fuente: Elaboración propia con datos de COEN-INDECI

CARE (2013) analizando los Sistemas de Alerta Temprana en el Perú, encontró que entre una de las vulnerabilidades de estos sistemas, era la falta de Centros de Operaciones de Emergencia y la falta de monitoreo de los peligros a que estaban



expuestos los distritos y provincias donde se ejecutaban los proyectos de Reducción de riesgos y Preparación ante desastres.

Los SATMC relacionados a peligros hidrometeorológicos identificaron la vulnerabilidad en las redes de monitoreo del SENAMHI, en especial para el monitoreo lluvias y caudales. Entre las vulnerabilidades encontradas estaban:

- Existencia de estaciones convencionales con equipos obsoletos o defectuosos.
- Falta de equipos para el monitoreo de lluvias y caudales de ríos en comunidades o distritos vulnerables a peligros por huaycos e inundaciones.
- Falta de equipos o técnicas para el monitoreo de peligros de deslizamientos.

CARE no menciona las limitaciones para la transmisión oportuna de la información, sin embargo se desprende que está incluido en la falta de equipos para el monitoreo de peligros.

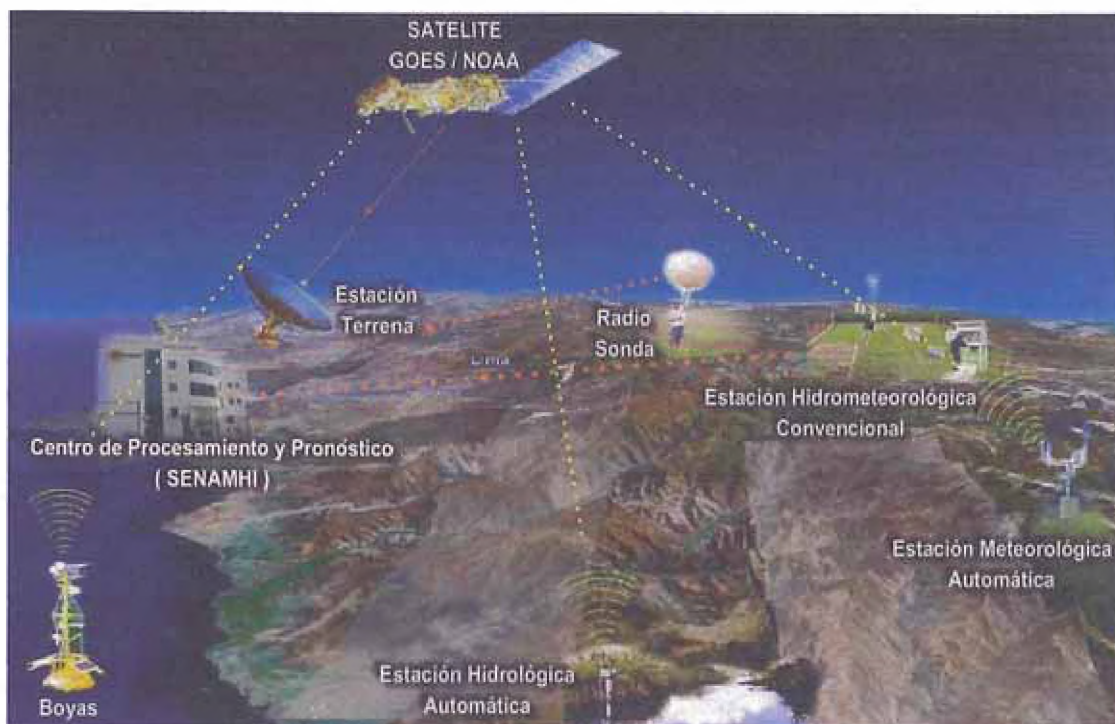
## **2.5 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO HIDROMETEOROLÓGICO.**

El actual sistema de monitoreo hidrometeorológico en la cuenca, es manejado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), el cual es un organismo público ejecutor, adscrito al Ministerio del Ambiente, cuya misión es “proveer productos y servicios meteorológicos, hidrológicos y climáticos confiables y oportunos”, y cuya visión es que “la sociedad peruana toma decisiones oportunas basadas en la información meteorológica, hidrológica y climática para su desarrollo sostenible”.

Este sistema permite realizar, el monitoreo de peligros hidrometeorológicos (precipitaciones extremas, niveles y caudales críticos, temperaturas extremas) a nivel regional, y local.

El sistema está compuesto por una red de estaciones meteorológicas e hidrológicas; medios de comunicación, tecnología de información y personal que gestiona los datos, monitorea los datos y elabora los pronósticos y avisos respectivos a los usuarios. (Ver figura N° 2.13).

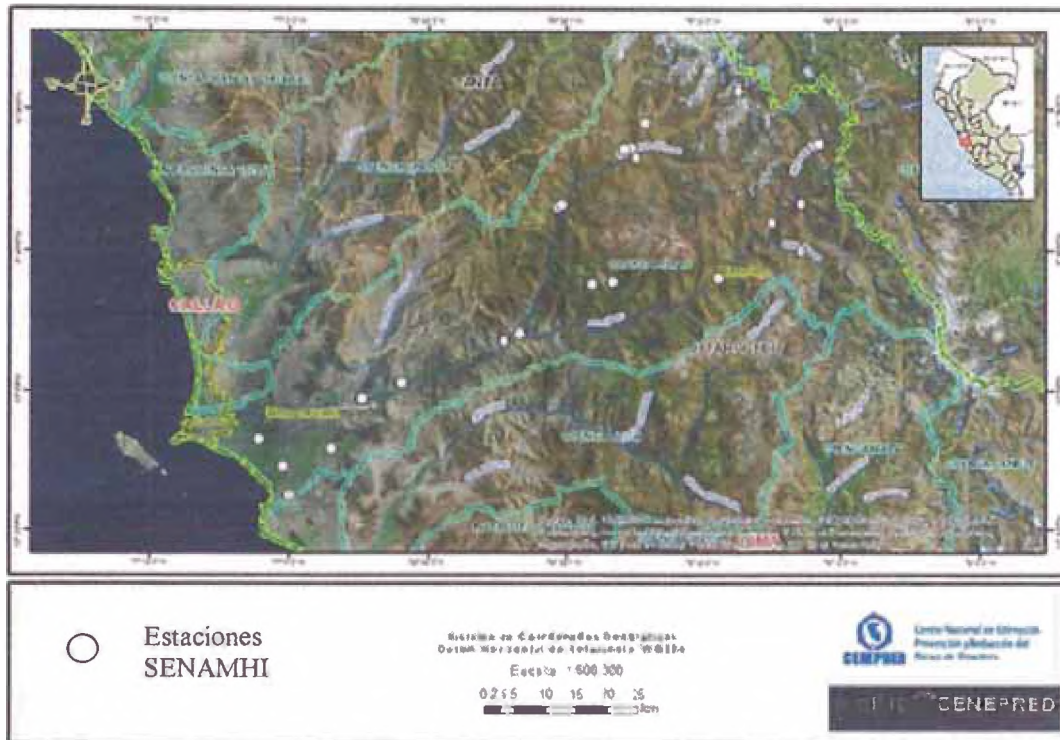
**Figura N° 2.13**  
**Esquema del Funcionamiento de la Red de Estaciones del SENAMHI**



La red comprende: estaciones meteorológicas e hidrológicas automáticas y estaciones convencionales, éstas últimas cuentan con un observador para el registro diario de las variables meteorológicas e hidrológicas, en planillas diseñadas para tal fin.

El SENAMHI en la cuenca Media Alta tiene instalada una red de 17 estaciones meteorológicas e hidrológicas entre automáticas y convencionales. El mayor porcentaje de la red son estaciones convencionales (manuales) y sólo miden precipitación. (Ver figura N° 2.14).

**Figura N° 2.14**  
**Mapa de Estaciones Operativas de la Cuenca**



Fuente: Elaboración propia con datos de SENAMHI y CENEPRED

Las estaciones convencionales están ubicadas en predios, que son de propiedad del observador de la estación, que es contratado por el SENAMHI. A su vez las estaciones automáticas se instalan dentro de las estaciones convencionales, viniendo a conformar una sola entidad.

Anteriormente se han clasificado las estaciones de acuerdo al tipo de instrumental, que posee; a ésta clasificación también se le denomina categoría, por eso se puede observar nombres repetidos en algunas estaciones (PLU/HLM/HLG/EMA). Para el caso de ésta tesis, se han agrupado en una sola estación. (Ver tabla N° 7).

En la cuenca hay instaladas 7 estaciones automáticas, las cuales se encuentran ubicadas dentro del predio de estaciones convencionales. Cinco de éstas estaciones se han instalado recientemente, en el marco del programa presupuestal 068 PREVAED (Programa de Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias y Desastres) y se tiene programado instalar otras estaciones, las cuales se anexarían al sistema de monitoreo meteorológico e hidrológico en la cuenca del río Rímac.





El medio de transmisión de datos, en las estaciones convencionales es: correo postal, telefonía celular RPM (empresa Telefónica del Perú) y telemetría satelital GOES; recientemente se viene utilizando el sistema de Voz y Data (empresa Claro), que es un sistema de transmisión de datos via internet/celular. (Ver tabla N° 8 y 9).

Las estaciones automáticas ubicadas en la cuenca media y alta, utilizan al satélite GOES 13 como medio de comunicación. Este satélite pertenece a la NOAA (Administración para la Atmósfera y el Océano de los Estados Unidos de Norteamérica), organización con quien el SENAMHI tiene un convenio, para la utilización en forma gratuita de ésta comunicación.

Las estaciones mayormente se han venido instalando usando criterios empíricos por facilidad de instalación, relacionado a limitaciones en seguridad y el acceso a la estación.

**Tabla N° 7**  
**Estaciones Hidrometeorológicas de la Cuenca Media - Alta del Río Rímac**

	ESTACIÓN	CATEGORÍA	PROVINCIA	DISTRITO	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD (msnm)	TIPO
1	AUTISHA	PLU/HLM	HUAROCHIRI	SAN ANTONIO	76° 36'41	11° 44'18,2	2,237	C
2	CANCHACALLA	PLU	HUAROCHIRI	SAN MATEO DE OTAO	76° 31'53,9	11° 50'42,3	2,487	C
3	CARAMPOMA	PLU	HUAROCHIRI	CARAMPOMA	76° 30'56	11° 39'19,1	3,426	C
4	CASAPALCA	PLU/EMA	HUAROCHIRI	CHICLA	76° 14'1,3	11° 38'53,5	4,100	C/A
5	CHOSICA	HLG/PLU/EHA	LIMA	LURIGANCHO	76° 41'23,8	11° 55'48,5	906	C/A
6	MATUCANA	CO/EMA	HUAROCHIRI	MATUCANA	76° 22'41,8	11° 50'21,8	2,431	C/A
7	MILLOC	PLU/HLM	HUAROCHIRI	CARAMPOMA	76° 21'1	11° 34'17,6	4,361	C
8	ÑAÑA	CO	LIMA	LURIGANCHO	76° 50'20,8	11° 59'19,7	523	C
9	PUENTE HUACHIPA	HLM	LIMA	LURIGANCHO	76° 53'41,4	12° 00'46,9	393	C
10	RIO BLANCO	PLU/HLG	HUAROCHIRI	CHICLA	76° 15'33	11° 44'5,3	3,550	C
11	SAN JOSE DE PARAC	PLU	HUAROCHIRI	SAN MATEO	76° 15'30,2	11° 48'2,9	3,805	C
12	SAN MATEO DE HUANCHOR	PLU/HLG	HUAROCHIRI	SAN MATEO	76° 18'4,6	11° 45'37,6	3,182	C
13	SAN MATEO DE OTAO	EMA	HUAROCHIRI	SAN MATEO DE OTAO	76° 33'46	11° 50'51	3,504	A
14	SANTA EULALIA	PLU/HLM	HUAROCHIRI	SANTA EULALIA	76° 40'1,4	11° 55'5,9	945	C/A
15	SANTIAGO DE TUNA	EMA	HUAROCHIRI	SANTIAGO DE TUNA	76° 31'39	11° 59'6	2,920	A
16	SHEQUE	PLU/EHA	HUAROCHIRI	CARAMPOMA	76° 29'56,3	11° 40'8	3,630	C/A
17	TINGO	PLU	HUAROCHIRI	HUANZA	76° 29'1	11° 37'1	3,991	C



**Leyenda:**

**Categoría/Tipo**

C	=	Convencional
A	=	Automática
PLU	=	Pluviométrica
HLG	=	Limnigráfica
HLM	=	Limnimétrica
CO	=	Climatológica Ordinaria
EHA	=	Estación Hidrológica Automática
EMA	=	Estación Meteorológica Automática

**Tabla N° 8**  
**Estaciones Convencionales**  
**Medio de Comunicación Celular Voz y Data**

	<b>ESTACION</b>	<b>TIPO</b>
1	CARAMPOMA	C
2	CASAPALCA	C/A
3	MATUCANA	C/A
4	MILLOC	C
5	PUENTE HUACHIPA	C
6	SAN JOSE DE PARAC	C
7	SANTA EULALIA	C

**Tabla N° 9**  
**Estaciones Automáticas**  
**Medio de Comunicación Satelital (GOES)**

	<b>ESTACIÓN</b>	<b>CATEGORIA</b>	<b>TIPO</b>
1	CASAPALCA	PLU/EMA	C/A
2	CHOSICA	HLG/PLU/EHA	C/A
3	MATUCANA	CO/EMA	C/A
4	SAN MATEO DE OTAO	EMA	A
5	SANTA EULALIA	PLU/HLM/EHA	C/A
6	SANTIAGO DE TUNA	EMA	A
7	SHEQUE	PLU/EHA	C/A

Los datos registrados por las estaciones convencionales son tomados diariamente por el observador y compilados por él mismo en una planilla mensual de datos, que la remite a inicio del siguiente mes, a la Dirección Regional de Lima, quien



luego de un control preliminar son digitalizados a través del **Sistema Meteorológico e Hidrológico Automatizado (SISMETHA)**, el cual es un sistema informático de ingreso de datos del SENAMHI, que permite su almacenamiento en una base de datos de la Oficina General de Estadística e Informática en la Sede Central, para su posterior control de calidad y procesamiento en esta misma oficina.

Adicionalmente se cuenta con un sistema celular de transmisión digital de datos, denominado, Sistema de Voz y Data, mediante el cual los observadores transmiten datos de 4 observaciones meteorológicas al día, a través de un teléfono celular; siendo recibida esta información en la sede central de SENAMHI.

Además del registro manual, se cuenta con un registro de las estaciones automáticas cuya transmisión es realizado por telemetría satelital mediante el satélite GOES 13. El SENAMHI cuenta para ello, con una estación terrena que recibe la información telemétrica de las estaciones automáticas. Los datos de toda la red de estaciones automáticas en la cuenca media y alta, se transmiten en forma horaria, y están disponibles en la Web.

Existe además un equipo de profesionales, que de manera coordinada transforma los datos, en productos (monitoreo, pronósticos, avisos y estudios); este equipo de profesionales se encuentran ubicados en, la Dirección General de Meteorología (**DGM**), la Dirección General de Hidrología y Recursos Hídricos (**DGH**) así como por la Dirección Regional de Lima (**DR-Lima**) y la Oficina General de Operaciones Técnicas (**OGOT**).

La **DGM** y la **DGH** son denominadas Direcciones de Línea, oficinas encargadas del monitoreo y pronóstico de las condiciones meteorológicas e hidrológicas respectivamente. Estas oficinas tienen equipos de profesionales que elaboran productos que tienen un ámbito nacional y la difusión de sus productos se dirigen principalmente a los medios de comunicación y a los diferentes sectores que se solicitan dichos productos. Solamente la **DGH** elabora productos relacionados a la cuenca del río Rímac.

**La Dirección Regional de Lima**, es un órgano desconcentrado del SENAMHI y es la oficina encargada de ejecutar y administrar las actividades meteorológicas, hidrológicas, agro meteorológicas y afines, cuyo ámbito de competencia son los departamentos de Ancash y Lima; en el cual se encuentra comprendida la cuenca del río Rímac. Ésta tiene un presupuesto de medio millón de soles para la operación y mantenimiento de toda su red, cuenta con 15 personas para gestionar la red de su jurisdicción. Entre ellos está un Ing. Agrícola como Director, un Ing. Electrónico para el mantenimiento de estaciones, un Ing. Informático para el procesamiento de información, un Ing. Meteorólogo y un Ing. Hidrólogo para el monitoreo y elaboración de productos; así como un Lic. Físico, para modelamiento numérico y un personal digitador. También cuenta con 4 técnicos para la instalación y mantenimiento preventivo de estaciones convencionales y 04 personal administrativo.



Los productos que elabora esta oficina tienen un ámbito más local y sus usuarios son las autoridades regionales y locales.

**La Oficina General de Operaciones Técnicas (OGOT)**, es un órgano de apoyo a las Direcciones Regionales del SENAMHI, como la Dirección Regional de Lima. Esta oficina se encarga del planeamiento, desarrollo, ejecución, control y mantenimiento de la Red Nacional de estaciones meteorológicas, agrometeorológicas, hidrológicas y medio ambiental, así como también de la infraestructura del Sistema de Telecomunicaciones.

Existen otros organismos que intervienen en la cuenca, como EDEGEL y SEDAPAL, en la cual la primera es una compañía peruana que se dedica a la generación y comercialización de energía eléctrica y la segunda es una empresa estatal de derecho privado íntegramente de propiedad del Estado, constituida como Sociedad Anónima; las cuales poseen también estaciones que utilizan para sus propios fines.

El mantenimiento preventivo de las estaciones, así como el contraste de los datos en campo es ejecutado por la Dirección Regional de Lima, durante sus visitas a las mismas; el mantenimiento correctivo y la calibración de instrumentos y sensores está bajo la responsabilidad de la OGOT.

Al respecto, no se cuenta con un sistema de gestión que permita mantener la operatividad de las estaciones de manera continua debido a falencias como falta de suministros, limitado personal calificado y a limitaciones administrativas para el apoyo logístico.

### **2.5.1 Descripción de las Estaciones de la Cuenca**

Existen 17 estaciones en la cuenca, de las cuales, sólo 7 estaciones son automáticas, siendo dos de ellas estaciones hidrológicas automáticas, midiendo el nivel del río a la altura de Chosica y Santa Eulalia. También en la estación de Chosica se mide el Caudal y el otro punto es en San Mateo. (Ver tabla N° 10).

Todas las estaciones automáticas registran y transmiten por el satélite gratuito GOES 13, cada hora. De las siete (7) estaciones que tiene equipamiento automático, tres (03) de ellas también tienen instrumental convencional y se realizan observaciones que se transmiten mediante el sistema de comunicación modem celular Voz y Data; sin embargo de ésta forma solo se transmiten tres (03) veces al día, las variables temperatura y precipitación. Recientemente también se han incorporado en el sistema Voz y Data registros de niveles de las estaciones hidrológicas.

El costo de una estación meteorológica automática supera los US \$20,000.00 dólares americanos y el de una estación hidrológica automática supera los US \$30,000.00 dólares americanos.

La estación automática más antigua es la de Chosica instalada el año 2000. El resto de estaciones han sido instaladas entre el 2013 y 2014.



Las estaciones convencionales, ya sea pluviométrica o Climatológica, tienen datos más antiguos pero tienen cierta discontinuidad y solo se tienen datos en determinadas horas del día.

La propiedad del predio en la mayoría de las estaciones le pertenece al observador, lo cual indica la poca disponibilidad de lugares donde se podría instalar nuevas estaciones.

Si bien el acceso no es muy difícil, el efecto de urbanización viene afectando a las estaciones en algunos casos, cercadas por obstáculos que limitan su representatividad.

**Tabla N° 10**  
**Descripción de Estaciones Climatológicas e Hidrológicas**

#### **ESTACIÓN SHEQUE**

La estación SHEQUE, se encuentra ubicada en el distrito de Carampoma, provincia de Huarochirí. Tiene equipamiento meteorológico automático de marca Vaisala, Modelo MAWS 301. Mide las variables temperatura, precipitación, humedad, viento, radiación solar y presión atmosférica. Registra y transmite información con telemetría satelital cada hora. Fue instalada el año 2013.

En las cercanías de esta instalación se encuentra equipamiento pluviométrico convencional.

Los datos de la estación convencional se tienen desde el 1989.

El predio es de propiedad del observador.





### ESTACIÓN SANTIAGO DE TUNA

La estación Santiago de Tuna, se encuentra ubicada en el distrito de Santiago de Tuna, provincia de Huarochirí. Tiene equipamiento meteorológico automático de marca Vaisala, Modelo MAWS 301. Mide las variables temperatura, precipitación, humedad, viento, radiación solar y presión atmosférica.

Registra y transmite información con telemetría satelital cada hora. Fue instalada el año 2013.

Los datos de la estación convencional se tienen desde el 1963.

El predio es de propiedad del observador.



### ESTACION SAN MATEO OTAO

La estación San Mateo de Otao, se encuentra ubicada en el distrito de San Mateo de Otao, provincia de Huarochirí. Tiene equipamiento meteorológico automático de marca Vaisala, Modelo MAWS 301. Mide las variables temperatura, precipitación, humedad, viento, radiación solar y presión atmosférica.

Registra y transmite información con telemetría satelital cada hora. Fue instalada el año 2013.

El predio es de propiedad de la Municipalidad.





### ESTACIÓN MATUCANA

La estación Matucana, Se encuentra ubicada en el distrito de Matucana, provincia de Huarochirí. Tiene equipamiento meteorológico automático de marca Vaisala, Modelo MAWS 301. Mide las variables temperatura, precipitación, humedad, viento, radiación solar y presión atmosférica.

Registra y transmite información con telemetría satelital cada hora. Fue instalada el año 2013.

Los datos de la estación convencional se tienen desde el 1964.

El predio es de propiedad de la Municipalidad.





### ESTACIÓN RÍO BLANCO

La estación Río Blanco, se encuentra ubicada en el distrito de San Chicla, provincia de Huarochirí. Tiene equipamiento hidrológico convencional del tipo limnigráfico y pluviométrico. Actualmente mide el nivel del río y la precipitación.

En su cercanía se ha venido instalando equipamiento meteorológico automático de marca Vaisala, Modelo MAWS 301. Cuando inicie su operación se espera que mida las variables temperatura, precipitación, humedad, viento, radiación solar y presión atmosférica.

Registraría y transmitiría información con telemetría satelital cada hora. Fue instalada el año 2013.

El predio es de propiedad del observador.



### ESTACIÓN CASAPALCA

La estación Casapalca se encuentra ubicada en el distrito de Chicla, provincia de Huarochirí. Tiene equipamiento meteorológico automático de marca Vaisala, Modelo MAWS 301. Mide las variables temperatura, precipitación, humedad, viento, radiación solar y presión atmosférica.

Registra y transmite información con telemetría satelital cada hora. Fue instalada el año 2013.

En las cercanías de ésta instalación se encuentra equipamiento convencional del tipo pluviométrico. El predio le pertenece a la Empresa Minera Yauliyacu







### ESTACIÓN SAN MATEO

La estación San Mateo, se encuentra ubicada en el distrito de San Mateo, provincia de Huarochirí. Tiene equipamiento hidrológico convencional del tipo limnigráfico y pluviométrico.

Mide el nivel del río y la precipitación, también se realizan aforos determinándose el caudal en este punto.

Fue instalada el año 2013.

Los datos de la estación convencional se tienen desde el 1968.

El predio le pertenece a la municipalidad distrital.



### ESTACIÓN SANTA EULALIA

La estación Santa Eulalia, se encuentra ubicada en el distrito de Santa Eulalia, provincia de Huarochirí. Tiene equipamiento hidrológico automático de marca Vaisala, Modelo MAWS 301. Mide las variables nivel de agua, precipitación y presión atmosférica.

Registra y transmite información con telemetría satelital cada hora. Fue instalada el año 2013.

En las cercanías de esta instalación se encuentra equipamiento convencional del tipo pluviométrico y limnimétrico.

Los datos de la estación convencional han sido registrados desde el año 1963.

Este es un predio de un particular.





### ESTACIÓN CHOSICA

La estación Chosica se encuentra ubicada en el distrito de Lurigancho-Chosica, provincia de Lima. Tiene equipamiento hidrológico automático de marca Sutron. Mide las variables nivel de río, temperatura, precipitación, humedad y viento.

Registra y transmite información con telemetría satelital cada hora. Fue instalada el año 2000.

En las cercanías de ésta instalación se encuentra equipamiento convencional del tipo pluviométrico y limnigráfico. También se realizan aforos determinándose el caudal en este punto.

La estación ocupa en parte la propiedad del observador y en parte la franja marginal



### ESTACIÓN AUTISHA

La estación Autisha, se encuentra ubicada en el distrito de San Antonio, provincia de Huarochirí. Mide las variables nivel de río y precipitación.

Fue instalada el año 1980.

El predio le pertenece a la Asociación de Regantes de la Zona.





El análisis de las estaciones en general presenta las siguientes conclusiones:

- 1) Se tiene pocas estaciones automáticas para la dimensión y topografía de la cuenca.
- 2) La mayoría de las estaciones se encuentra en predios que son propiedad de un tercero, o de un observador, lo que significa que no se tiene espacio físico propio del SENAMHI donde instalar las estaciones o no se han podido encontrar socios estratégicos que alberguen dichas estaciones.
- 3) El costo de una estación automática es bastante elevado por lo que no puede dejarse en campo abierto, debido a la exposición a robos o vandalismos que podría sufrir.
- 4) La representatividad de cada estación en la mayoría de los casos, solo corresponde a pocos kilómetros cuadrados debido al complejo relieve topográfico.
- 5) La mayoría de las estaciones se encuentran en buen estado, sin embargo dadas las distancias a las que se encuentran y a limitadas capacidades logísticas, es difícil mantener una continuidad operativa en el corto plazo.

### **2.5.2 Modelo Operacional de Monitoreo y Pronóstico de Crecidas del SENAMHI.**

La Dirección General de Hidrología del SENAMHI cuenta con un sistema de pronóstico de crecidas basado en modelo lluvia-escorrentía.

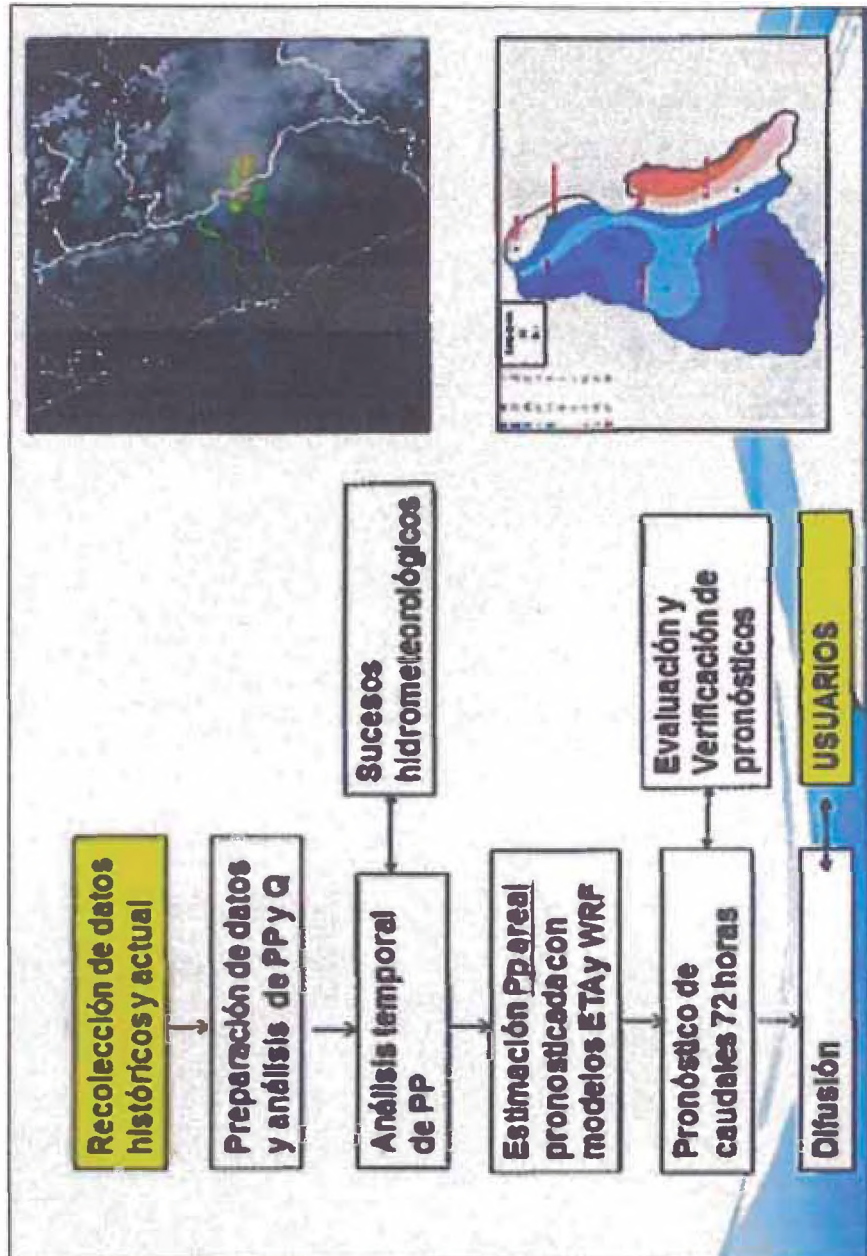
Las herramientas que cuentan para este pronóstico es el monitoreo y/o vigilancia hidrológica, conformada por los sistemas observacional (red de estaciones hidrometeorológicas), sistema de transmisión (medios de telemetría), sistema de procesamiento (TI modelos hidrológicos, numéricos), comunicación/ difusión de la información.

El esquema básico de pronóstico de estas crecidas, tiene el siguiente procedimiento: inicialmente la Dirección General de Hidrología, colecta la información, comparándolos con sus valores históricos, se prepara y analiza los datos de precipitación y caudal, se realiza el análisis temporal, verificando si existe algún evento específico, se estima la precipitación areal, con modelos de pronósticos numéricos, finalmente se realiza un pronóstico determinístico de caudales hasta 72 horas. Se realiza la verificación respectiva y se realiza la elaboración del reporte la difusión a la página web y su emisión por correo electrónico a los usuarios.

Así también se monitorea la escorrentía superficial y los caudales del río Rímac, como puede observarse en las figuras N° 2.15, 2.16 y 2.17.

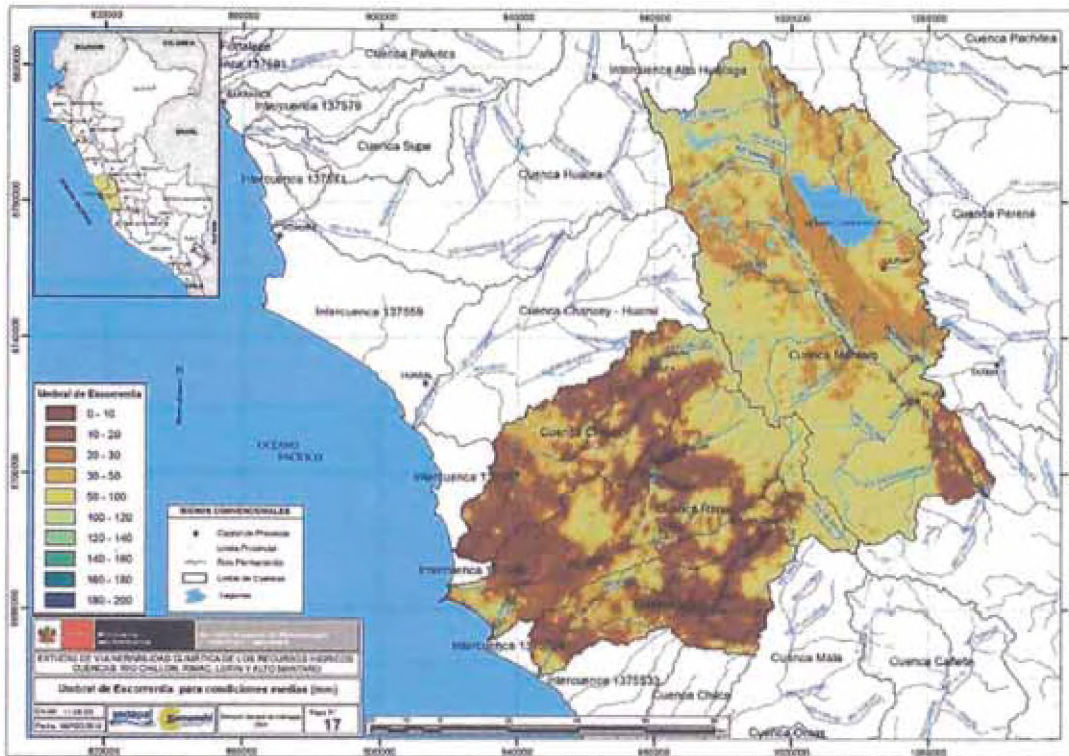


Figura N° 2.15  
Diagrama de Monitoreo y Pronóstico de Crecidas

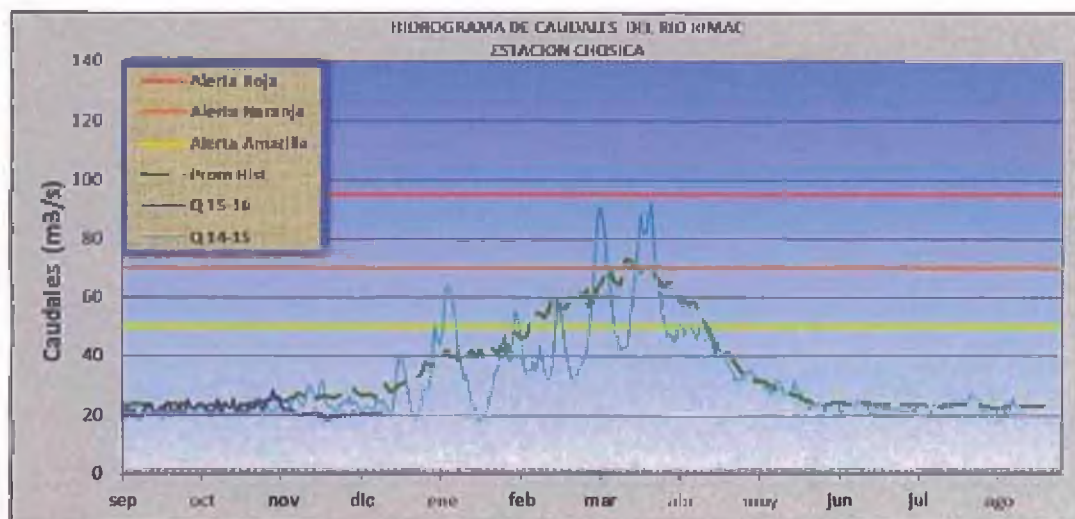


Fuente: SENAMHI (2012)

**Figura N° 2.16**  
**Umrales de Escorrentía en Condiciones Medias**



**Figura N° 2.17**  
**Hidrograma de Caudales del Río Rímac con Umrales**



Fuente: SENAMHI (2012)



Leyenda:

Q14-15: Hidrograma del período hidrológico 2014-2015

Q15-16: Hidrograma del período hidrológico 2015-2016

Es importante mencionar que la Dirección General de Hidrología del SENAMHI maneja umbrales de desborde del río Rímac con los siguientes valores:

Alerta amarilla	:	50 m <sup>3</sup> /s
Alerta naranja	:	70 m <sup>3</sup> /s
Alerta roja	:	95 m <sup>3</sup> /s

En el caso de escorrentía superficial se tiene por la coloración del mapa de la figura N° 2.16 umbrales cercanos a 10 mm en la zona de Chosica,

Básicamente el monitoreo y pronóstico para la cuenca del río Rímac, tiene un enfoque dirigido a la determinación de los caudales medios y máximos.

### **2.5.3 Diagnóstico de la Situación Actual del Sistema de Monitoreo del SENAMHI.**

Tras la descripción del sistema de monitoreo, se puede observar las necesidades detectadas para que el SENAMHI pueda cumplir con su misión, específicamente en la cuenca del río Rímac.

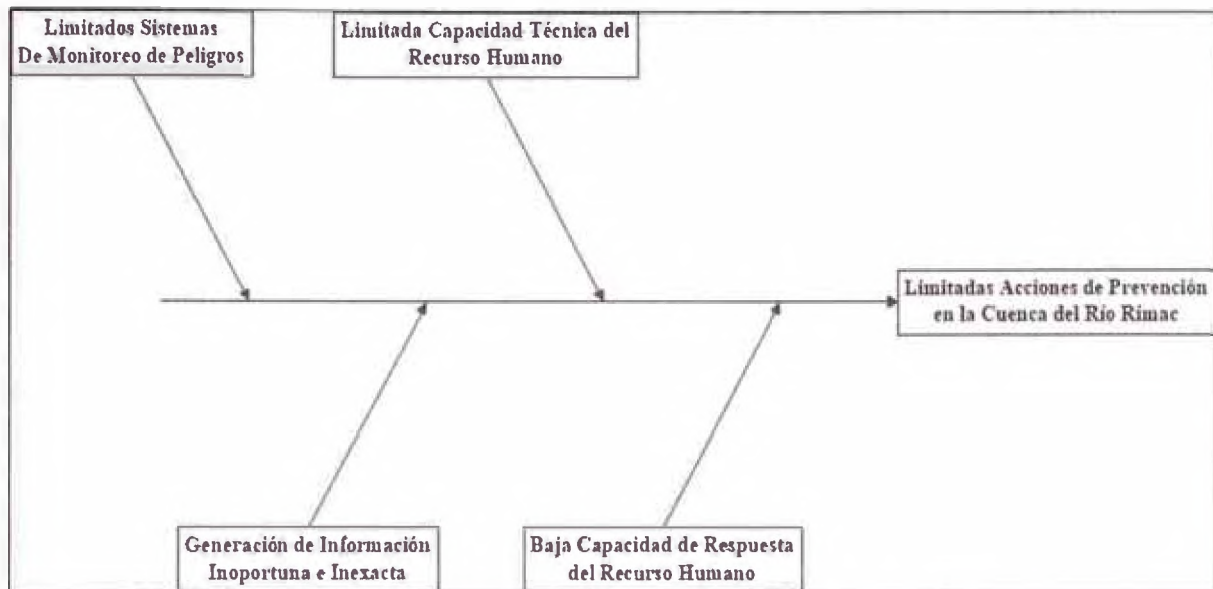
Existe una limitada capacidad para realizar monitoreo y pronósticos adecuados para la prevención de peligros hidrometeorológicos en la cuenca del río Rímac; específicamente Huaycos e Inundaciones en la cuenca media alta del río Rímac.

Esta situación produce que existan limitadas acciones de prevención por parte de las autoridades en la cuenca.

Las limitadas acciones de prevención son consecuencia de que existe un limitado sistema de monitoreo de peligros y esto provoca una limitada capacidad de respuesta de las autoridades regionales y locales que puedan disponer de esta información. (Ver figura N° 2.18).



**Figura N° 2.18**  
**Diagrama Causa Efecto de las Limitadas Acciones Preventivas en la Cuenca Río del Rímac**

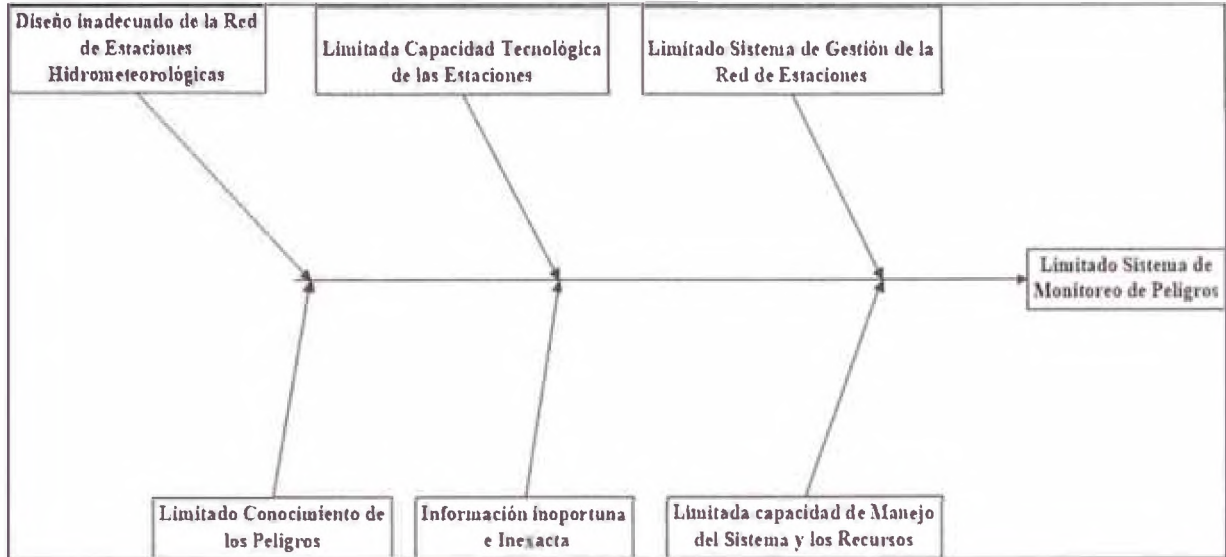


En el marco de desarrollo de esa Tesis, nos enfocaremos en solucionar la limitación en el monitoreo de peligros, ya que origina información inoportuna e inexacta, la cual es una competencia directa del SENAMHI.

En este sentido, el análisis del limitado sistema de monitoreo de peligros, está relacionado a un diseño inadecuado de la red observacional, así como a una limitada capacidad tecnológica y a la falta de un adecuado sistema de gestión, como pueda apreciarse en la figura N° 2.19.



**Figura N° 2.19**  
**Diagrama Causa Efecto del Limitado Sistema de Monitoreo de Peligros**







### 2.5.4 Cuadro del Análisis FODA

A fin de conocer la realidad de SENAMHI, en cuanto a fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas, para poder cumplir sus funciones de prevención en la cuenca del río Rímac, se ha elaborado un cuadro de Análisis FODA. (Ver tabla N° 11).

**Tabla N° 11**  
**Cuadro del Análisis FODA**

<b>FORTALEZAS</b> 1) Red observacional instalada de estaciones: Manual, automática. 2) Convenio con NOAA para el uso gratuito de telemetría satelital. 2) Capacidad técnica para instalación y mantenimiento de equipo observacional. 3) Personal con experiencia, preparado para trabajar en equipo. 4) Infraestructura de Laboratorio e Instrumental para mantenimiento y operación de la red. 5) Capacidad en administración de la red observacional por la Dirección Regional de Lima. 6) Capacidad para el monitoreo y pronóstico de peligros Hidrometeorológicos, a nivel regional.	<b>DEBILIDADES</b> 1) Limitada capacidad para elaborar pronósticos exactos y oportunos en la cuenca del río Rímac. 2) Red observacional con limitada automatización, telecomunicación y programas de mantenimiento. 2) Limitado diseño de la red para cumplir objetivos de prevención. 3) Laboratorio con limitada capacidad de calibración. 4) Limitada capacidad para establecer un modelo de gestión para la operación del sistema. 5) Limitado personal especializado. 6) Débil cultura organizacional. 7) Limitada capacidad para el monitoreo y pronóstico de peligros hidrometeorológicos a nivel de cuenca.
<b>OPORTUNIDADES</b> 1) Acceso a alianzas estratégicas, programas y proyectos de cooperación en el ámbito nacional e internacional. 2) Incremento de proyectos en sistemas de alerta temprana y cambio climático. 3) Posibilidad de asistencia técnica y asesoría de organizaciones nacionales e internacionales. 4) Creciente demanda de información meteorológica e hidrológica por autoridades y medios.	<b>AMENAZAS</b> 1) Medidas de austeridad por política gubernamental e institucional. 2) Malas prácticas de proveedores que origina equipamiento inadecuado. 3) Posible pérdida de local para estaciones por cambio de propietario. 4) Posible pérdida de local de OGOT. 5) Robos y vandalismo a red observacional. 6) Incremento de precios de equipos de red observacional.



Según el análisis FODA, se observa que aunque el SENAMHI tiene potencialidades para el monitoreo de peligros a escala sinóptica, tiene un limitado sistema de monitoreo de peligros a nivel de mesoescala, es decir para los distritos ubicados dentro de la cuenca y en el período de ocurrencia de los huaycos e inundaciones.



## CAPÍTULO 3. DESARROLLO METODOLÓGICO

Este capítulo presenta el desarrollo de cada objetivo específico, la metodología para resolverlo y la propuesta de solución respectiva.

La presente tesis tiene como objetivos específicos los siguientes:

- Desarrollo de criterios de diseño de la red de estaciones meteorológicas e hidrológicas, para monitorear y pronosticar eficientemente los peligros hidrometeorológicos que afectan a la cuenca media del río Rímac.
- Propuesta de equipamiento tecnológico para la red de monitoreo y pronóstico, que permita contar con información de manera oportuna y con mayor frecuencia.
- Propuesta de pautas para gestión de la red de monitoreo, para contar con datos de manera continua y de mejor calidad que permita un mejor manejo del sistema y los recursos.

Para encarar estos objetivos, la presente tesis desarrollara el siguiente esquema:

- Desarrollo de diagramas causa-efecto de cada objetivo.
- Establecimiento de una metodología para la solución o alcance de los objetivos.
- Propuesta de solución.
- Desarrollo de los posibles impactos o beneficios que se lograrán.

### 3.1 CRITERIOS DE DISEÑO DE LA RED

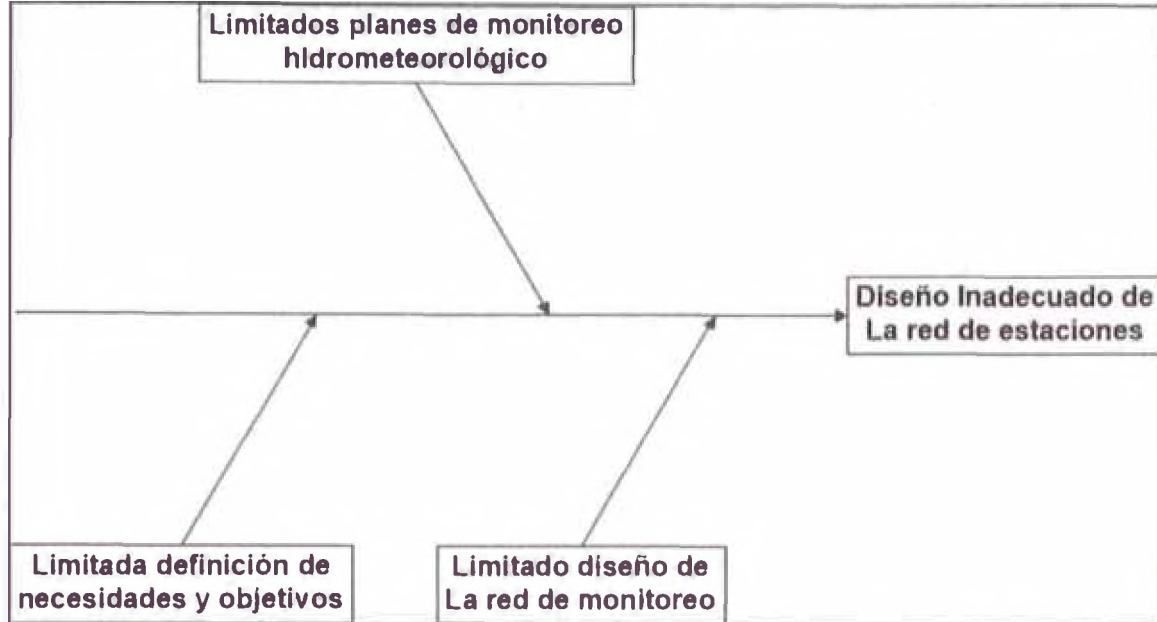
El diseño de la red tiene que ver con un determinado Plan de Monitoreo el cual a su vez depende de los objetivos y necesidades de información (Loucks y van Beek, 2005).

Si bien se tiene conocimiento de los objetivos y necesidades para el desarrollo de previsiones ante inundaciones y huaycos, el SENAMHI no cuenta con un plan de monitoreo establecido que permita un manejo adecuado de la información. Asimismo el sistema de monitoreo hidrometeorológico existente para la cuenca del río Rímac, está orientado más hacia la determinación de pronóstico de caudales máximos, y no a la predicción de la precipitación de muy corto plazo tipo Nowcasting, para las zonas que se encuentran en riesgo a ambas márgenes del río.

Para conocer a que se debe, que exista un diseño inadecuado de la red de estaciones, se realizó un análisis causa efecto de ésta limitación, como se puede apreciar en la figura N° 3.1.



**Figura N° 3.1**  
**Diagrama Causa Efecto e Impactos del Limitado Diseño**



De acuerdo al análisis realizado, se pudo establecer que el diseño inadecuado de la red de estaciones, está relacionado principalmente a la falta de un eficiente plan de monitoreo que permita definir las necesidades y objetivos del monitoreo de la red, fijar la precisión requerida, así como la frecuencia de medidas, para consecuentemente trazar un óptimo diseño de red de monitoreo.

### 3.1.1 Metodología

- 1) Mediante una encuesta se definió que el objetivo del Sistema del Monitoreo era monitorear los eventos hidrometeorológicos relacionados a inundaciones y huaycos, inducidos por eventos de lluvia; para proveer apoyo técnico a las autoridades de Defensa Civil, para emitir alerta temprana.
- 2) Se determinó actividades preliminares para el diseño de la red:
  - a. Identificación de zonas de riesgo.
  - b. Identificación de estaciones de referencia y parámetros a medir.
  - c. Definición de umbrales de lluvia e inundación.
  - d. Diseño de procedimientos operativos
- 3) Para identificar las zonas de riesgo se revisaron las evaluaciones realizadas por INGEMMET, PREDES e INDECI, en estudio previos.
- 4) Para los escenarios de riesgo se determinaron dos tipos de escenarios:



- **Escenario de Huaycos localizados.**- Relacionado a flujos de lodo que se desplazan en zonas específicas de la cuenca, produciendo desbordes laterales en zonas de riesgo.
  - **Escenarios de lluvias intensas.**- Relacionado a precipitaciones intensas que ocurren en la cuenca media y alta que generan desbordes e inundaciones en varias zonas de riesgo de la cuenca.
- 5) Para la identificación de las estaciones de referencia se revisará el diagnóstico actual de la red y se determinará las áreas de influencia de esta red para poder abarcar las zonas afectadas en los escenarios anteriormente identificados. Las zonas que no eran cubiertas por esta red, se cubrirían con nuevas estaciones. Los parámetros a medir de acuerdo a lo referido por los especialistas en las encuestas fueron: Temperatura, Humedad, Precipitación, Viento, Nivel y Caudal del río.
  - 6) Las definiciones de umbrales se basará en la determinación de valores de precipitación y caudal adecuados, llamados “indicadores de lluvia” e “indicadores de caudal”.
  - 7) Los procedimientos operativos determinarán la gestión del dato. Los datos son transmitidos teleméricamente vía satélite, cada hora a un centro de control en la sede central y posteriormente procesados y almacenados en una base de datos centralizada. Los datos recogidos son utilizados posteriormente para la emisión de los avisos respectivos.
  - 8) Con toda esta información se elaborará el Plan de Monitoreo de la Red, el cual incluirá el diseño de estaciones.

### 3.2 ACTIVIDADES PARA EL DISEÑO DE LA RED

Se analizó la información emitida por INDECI (EDAN) y los medios de comunicación (impactos de huaycos en la cuenca).

De acuerdo a la zona afectada se determinó las estaciones hidrometeorológicas a analizar, revisando principalmente las variables precipitación y nivel de río, en la cuenca media alta, en las fechas que ocurrieron los huaycos en Abril del 2012, Febrero y Marzo del 2015 en Chosica.



### 3.2.1 Análisis de Huaycos e Inundaciones en la Cuenca

○ **Huaycos del 23 de marzo de 2015**

Según INDECI (2015), el 23 de marzo de 2015, a las 15:30 horas aproximadamente, a consecuencia de las intensas precipitaciones pluviales se activaron las quebradas de San Antonio de Pedregal, Quirio, Libertad, Carossio, Corrales y Santo Domingo.

Estas precipitaciones dieron lugar a huaycos, así como el posterior desborde del río Rímac afectando viviendas, vías de comunicación y daños a la vida y la salud, en el distrito de Lurigancho Chosica, según su cuadro adjunto, el huayco provoco diferentes tipos de afectaciones a la población. (Ver tabla N° 12).

**Tabla N° 12**  
**Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades**  
**23-03-2015**

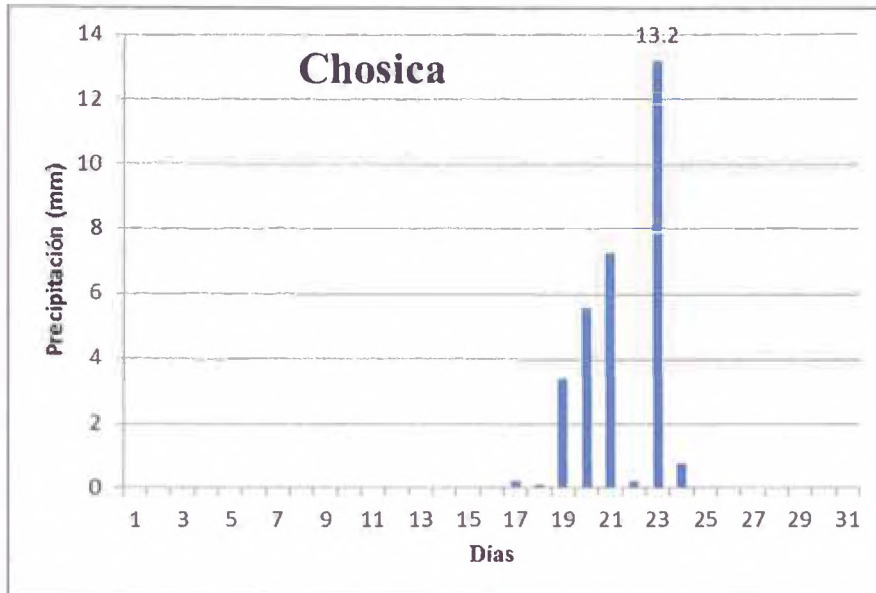
UBICACIÓN	PERSONAS			VIVIENDAS Y LOCALES PÚBLICOS		
	FAMILIAS DAMNIFICADAS	FAMILIAS AFECTADAS	FALLECIDAS	VIVIENDAS COLAPSADAS	VIVIENDAS AFECTADAS	INSTITUCION EDUCATIVA AFECTADA
DPTO. LIMA	161	341	9	107	341	48
PROV. LIMA	161	341	9	107	341	48
DIST. LURIGANCHO-CHOSICA	161	341	9	107	341	48

Fuente: INDECI (2015)

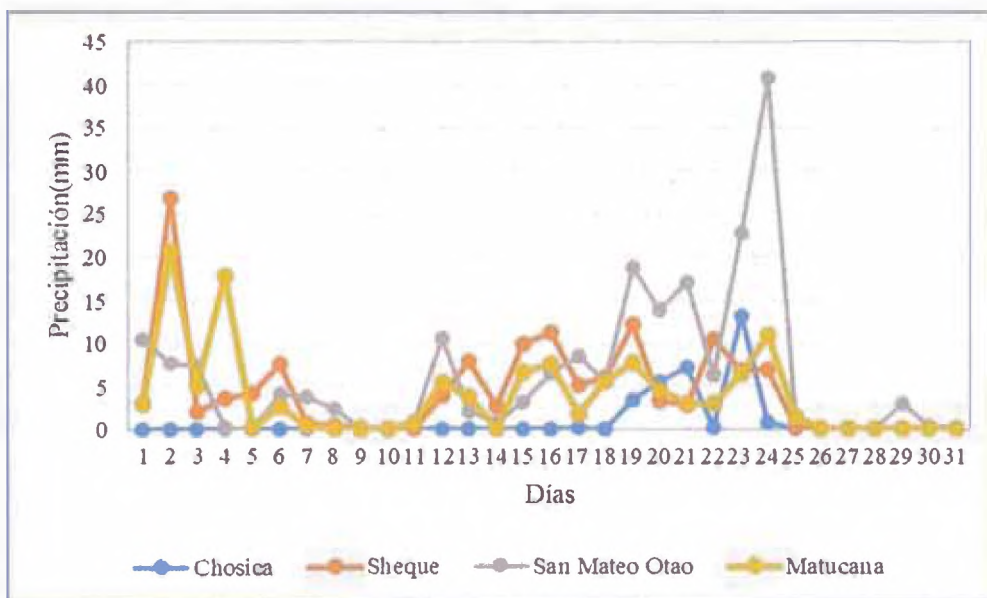
- **Análisis de la Precipitación Diaria.**- Analizando la variación diaria de la precipitación durante el mes de marzo del 2015 en las estaciones de la cuenca, se observa de acuerdo a la figura N° 3.2 (a), que el 23 de marzo la precipitación de la estación automática Chosica, llegó a registrar un valor de 13.2mm. Asimismo se observa que los días anteriores también se presentaron lluvias desde el día 17, las cuales podrían haber contribuido al humedecimiento y posterior remoción del suelo.
- De la figura N° 3.2 (b), también se observa que las otras estaciones de la cuenca presentaron precipitaciones en esas fechas, especialmente la estación San Mateo.



**Figura N° 3.2 (a)**  
**Variación Diaria de la Precipitación (mm)**  
**Marzo – 2015**



**Figura N° 3.2 (b)**  
**Variación Diaria de la Precipitación (mm)**  
**Marzo – 2015**



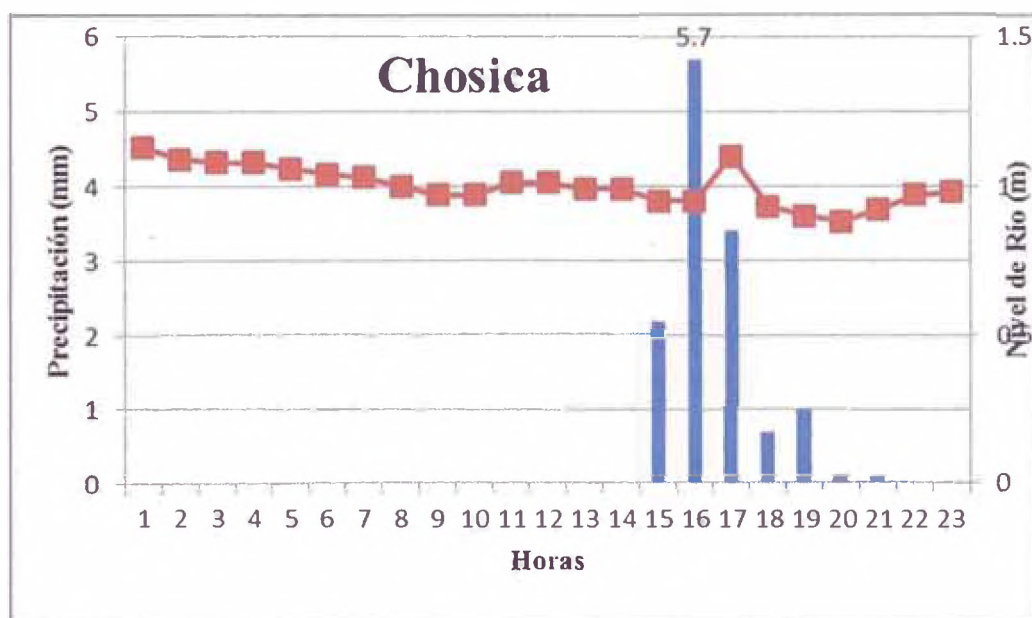
Fuente: Elaboración propia con datos de SENAMHI



- **Análisis de la Precipitación y Nivel de Río Horaria.**- Analizando la variación horaria de la precipitación (barras) y nivel de río (línea continua), de la estación Chosica, para el 23 de marzo 2015, se observa de acuerdo a la figura N° 3.3 que la precipitación para este día se extendió entre las 15:00 y las 19:00 horas y tuvo una intensidad máxima de 5.7 mm/h a las 16:00 horas. Es importante notar que media hora después que se originaron las lluvias, ocurrió el Huayco.

En el mismo gráfico se puede observar que el nivel de río Rímac, con valores superiores a un metro (1 m) antes de las precipitaciones en la estación de Chosica, no se eleva, sino más bien estuvo en proceso de descenso, pero después de la ocurrencia de las precipitaciones del día 23, éste se incrementó ligeramente. Esto se debe probablemente a que el aporte de escorrentía de la cuenca, aguas arriba de la estación R-2 Chosica, contribuye poco al incremento del nivel del río, por lo que las inundaciones en la zona de Chosica serían en su mayor parte de origen pluvial, por precipitaciones muy localizadas debido a características geográficas de esta zona.

**Figura N° 3.3**  
**Variación Horaria de la Precipitación (mm)**  
**23 marzo 2015 – Estación: CHOSICA**



Fuente: Elaboración propia con datos de SENAMHI





○ **Huaycos del 09 de febrero**

Según el INDECI (2015), el 09 de febrero de 2015, a las 14:00 horas aproximadamente, a consecuencia de las precipitaciones pluviales se activaron las quebradas de la cuenca del río Rímac en los distritos Chaclacayo y Lurigancho Chosica, afectando viviendas y vías de comunicación en los sectores de Alto Huampaní, Yanacoto, Santa María, Chacrasana, San Fernando, Mariscal Castilla, Quirio, Nicolás de Piérola y Zona Monumental de Chosica.

**Tabla N° 13**  
**Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades**  
**09-02-2015**

UBICACIÓN	PERSONAS			VIVIENDAS Y LOCALES PÚBLICOS		
	DAMNIFICADAS	AFECTADAS	FALLECIDAS	VIVIENDAS COLAPSADAS	VIVIENDAS AFECTADAS	INSTITUCION EDUCATIVA AFECTADA
DPTO. LIMA	6	96	0	6	96	10
PROV. LIMA	6	96	0	6	96	10
DIST. LURIGANCHO-CHOSICA	6	96	0	6	96	10

Fuente: INDECI (2015)

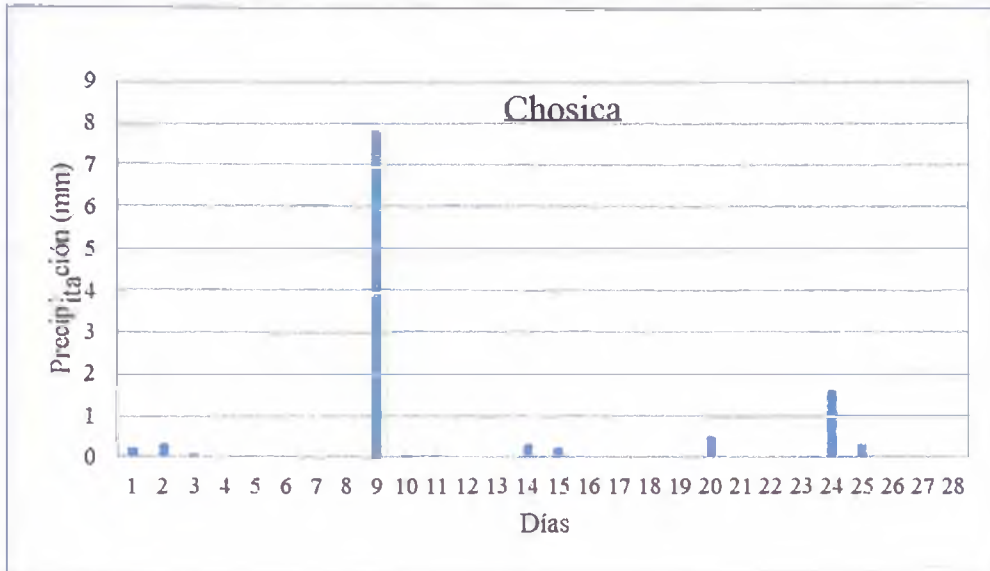
- **Análisis de la Precipitación Diaria.**- Analizando la variación diaria de la precipitación durante el mes de febrero del 2015 en las estaciones de la cuenca, se observa de acuerdo a la figura N° 3.4 (a), que el día 09 de febrero la estación automática Chosica, registró un valor de precipitación de 7.8mm. En este caso no se observa precipitación significativa en los días anteriores en los registros de esta estación.

Aquí es importante observar que la precipitación se concentró prácticamente en un solo día. Es decir la generación de los huaycos en la zona de Chosica, se debió principalmente a la lluvia de un sólo día.

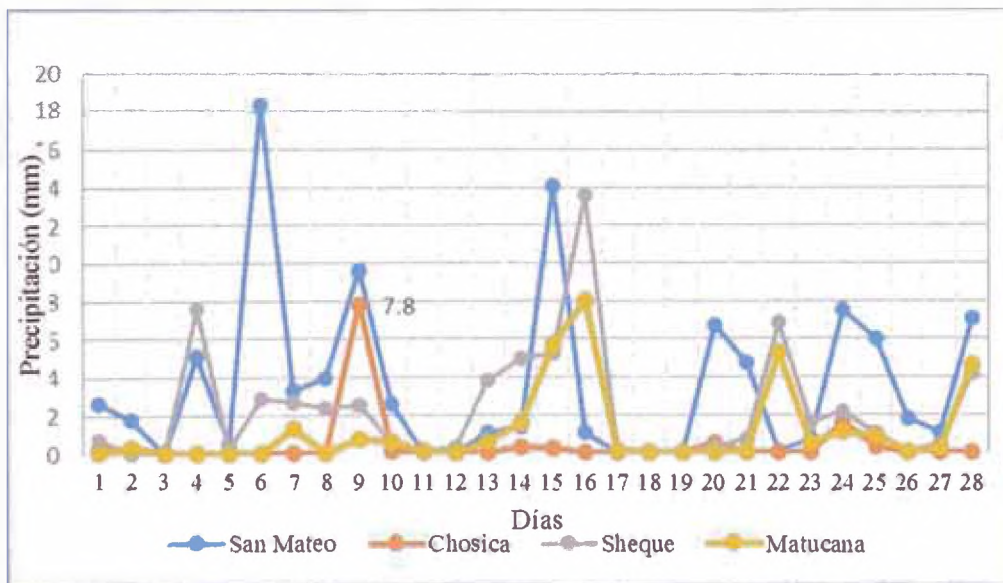
De la figura N° 3.4 (b), también se observa que las otras estaciones de la cuenca presentaron precipitaciones en esa fecha, especialmente la estación San Mateo que tuvo un comportamiento de la precipitación similar al de la estación Chosica.



**Figura N° 3.4 (a)**  
**Variación Diaria de la Precipitación (mm)**  
**Febrero – 2015**



**Figura N° 3.4 (b)**  
**Variación Diaria de la Precipitación (mm)**  
**Febrero – 2015**



Fuente: Elaboración propia con datos de SENAMHI

- **Análisis de la Precipitación y Nivel de Río Horaria.**-Analizando la variación horaria de la precipitación (barras) y nivel de río (línea continua), de la estación Chosica, para el 09 de febrero 2015, se observa en la figura N° 3.5 que la precipitación para este día se extendió entre las 14:00 y las 18:00 horas y tuvo una intensidad máxima de 3.2 mm/h a las 15:00 horas. Es importante notar que según los registros de INDECI, la hora de ocurrencia de los Huaycos en Chosica, coinciden con el inicio de la precipitación, sin embargo es probable que el Huayco haya empezado a las 14:30 ó que la lluvia inició más temprano en la zonas aledañas a la estación de Chosica que aportaron a la activación de las quebradas. En la misma figura N° 3.5 se puede observar que el nivel de río Rímac con valores cercanos a los 0.5 m. en la estación automática Chosica, después de las precipitaciones se eleva ligeramente. De este caso también se puede concluir que las inundaciones en la zona tienen un origen mayormente pluvial, originado por las características geográficas de la zona.

**Figura N° 3.5**  
**Variación Horaria de la Precipitación (mm)**  
**09 febrero 2015 – Estación: CHOSICA**



Fuente: Elaboración propia con datos de SENAMHI



○ **Huavco del 05 de Abril de 2012**

Según INDECI (2012), el 05 de abril de 2012, a las 17:30 horas, a consecuencia de las intensas precipitaciones pluviales, se produjo huaycos en las Quebradas La Ronda, Ramón Castilla, Juan Carrossio, Quirio y Virgen del Rosario, afectando viviendas y tramos de carretera en los sectores La Ronda, Ramón Castilla, Señor de los Milagros, Rosario, Nicolás de Piérola, California, San Domingo, Pablo Patrón, Clorinda Malaga, San Juan Bellavista, Buenos Aires de Moyopampa, Pedregal, Las Parritas y San Juan, pertenecientes al distrito de Chosica.

**Tabla N° 14**  
**Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades**  
**05-04-2012**

UBICACIÓN	PERSONAS			VIVIENDAS Y LOCALES PÚBLICOS		
	DAMNIFICADAS	AFECTADA	FALLECIDAS	VIVIENDAS COLAPSADAS	VIVIENDAS AFECTADAS	INSTITUCION EDUCATIVA AFECTADA
DPTO. LIMA	1738	4626	2	585	687	2
PROV. LIMA	1637	3871	2	571	536	1
DIST. LURIGANCHO-CHOSICA	1607	3841	2	569	525	1
DIST. CHACLACAYO	30	30		2	11	
PROV. HUAROCHIRÍ	101	755		14	151	1
DIST. RICARDO PALMA	101	755		14	151	1

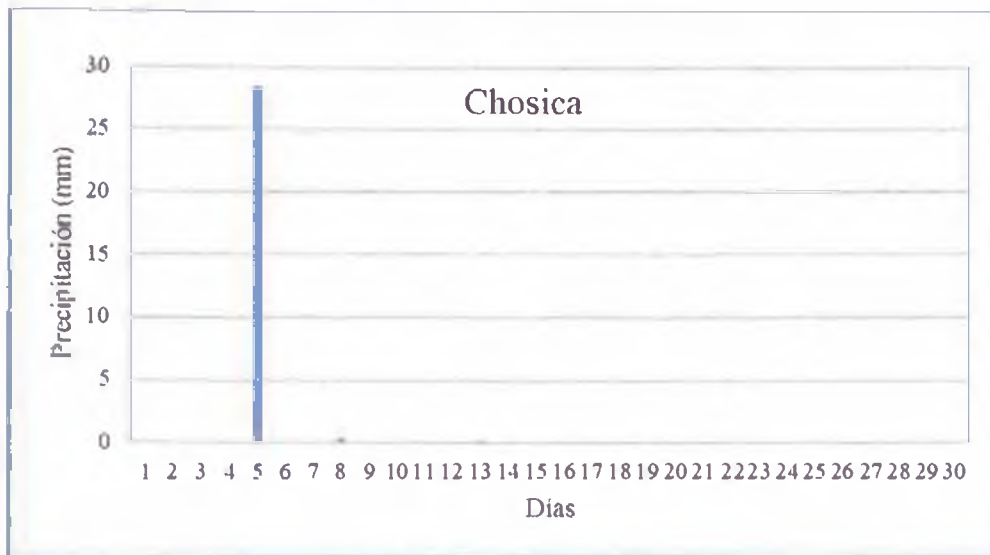
Fuente: INDECI (2012)

- **Análisis de la Precipitación Diaria.**- Analizando la variación diaria de la precipitación durante el mes de abril del 2012 en las estaciones de la cuenca, se observa de acuerdo a la figura N° 3.6 (a), que el día 05 de abril la estación automática Chosica, registró un valor de precipitación de 28mm. La Estación de Chosica, para esa fecha no registró precipitaciones en los días anteriores. Aquí es importante observar que la precipitación alcanzo valores bastante altos y se concentró prácticamente en un solo día. Es decir la generación de los huaycos en la zona de Chosica, se debió principalmente a la lluvia de un sólo día.

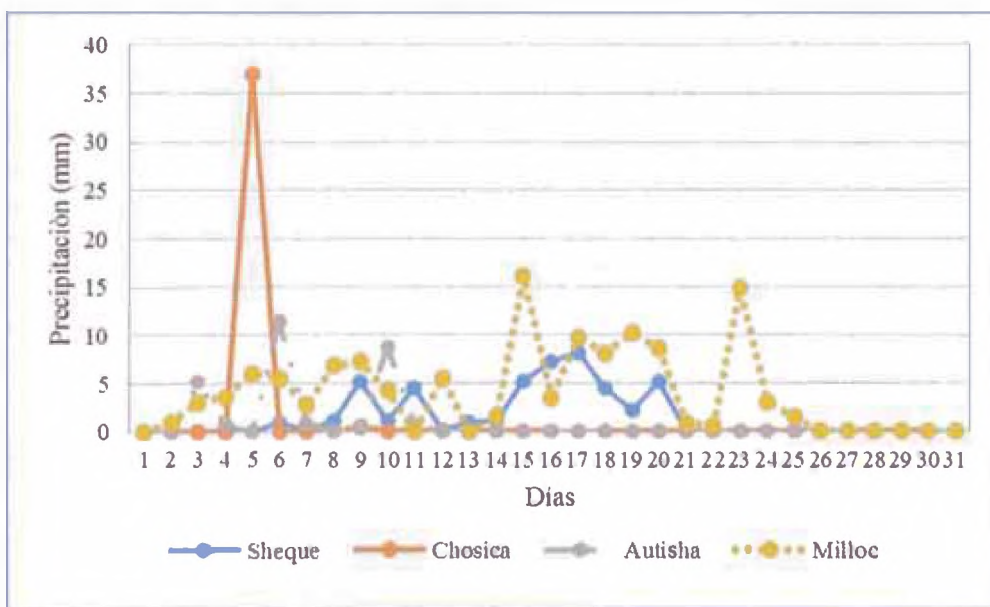
No existe información de otras estaciones automáticas para esa fecha. Se comparó datos de estaciones manuales de acuerdo a la figura 3.6 (b), pero no se evidencia precipitación significativa, salvo la de la estación Chosica, con un valor observado de 37 mm; probablemente por ser un fenómeno muy localizado.



**Figura N° 3.6 (a)**  
**Variación Diaria de la Precipitación (mm)**  
**Abril – 2012**



**Figura N° 3.6 (b)**  
**Variación Diaria de la Precipitación (mm)**  
**Abril – 2012**

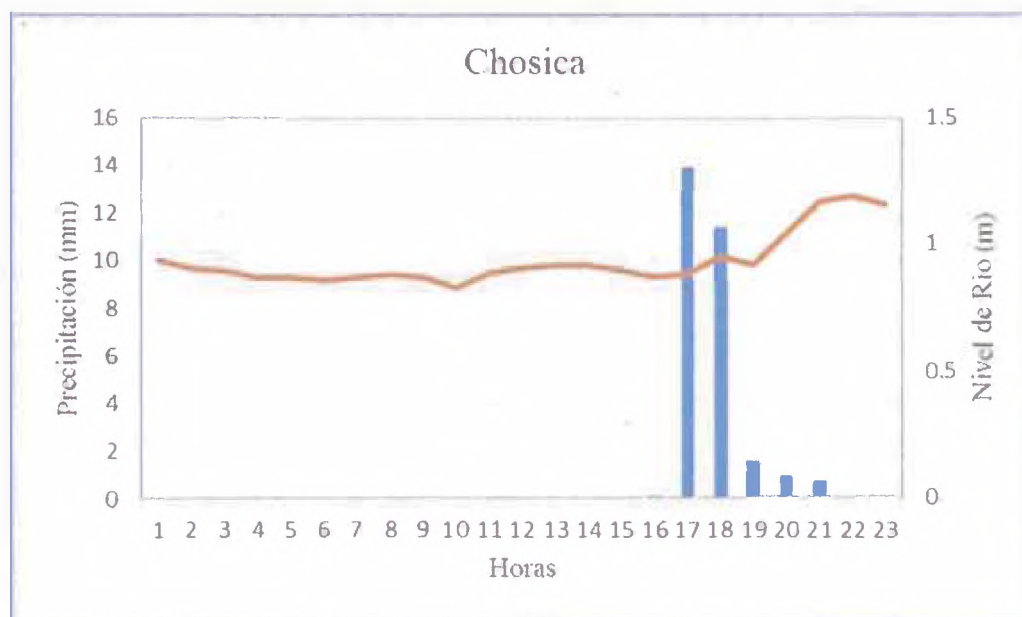


Fuente: Elaboración propia con datos de SENAMHI



- **Análisis de la Precipitación y Nivel de Río Horaria.**- Analizando la variación horaria de la precipitación (barras) y nivel de río (línea continua) de la estación Chosica, para el 05 de abril 2015, se observa en la figura N° 3.7 que la precipitación para este día se extendió entre las 17:00 y las 21:00 horas y tuvo una intensidad máxima de 14 mm/h a las 17:00 horas. Es importante notar que según los registros de INDECI, la hora de ocurrencia de los Huaycos en Chosica, inicio media hora después de la ocurrencia de las precipitaciones. En la misma figura N° 3.7 se puede observar que el nivel de río Rímac con valores cercanos a los 1.0 m. en la estación automática Chosica, después de las precipitaciones se eleva moderadamente. De este caso también se puede concluir que las inundaciones en la zona tienen un origen mayormente pluvial, originado por las características geográficas de la zona.

**Figura N° 3.7**  
**Variación Horaria de la Precipitación (mm)**  
**05 abril 2012- Estación: CHOSICA**



De los casos analizados, para la ocurrencia de los huaycos, éstos tuvieron su origen en precipitaciones de cierta intensidad, que se concentraron mayormente en un solo día, presentándose con frecuencia entre las 15:00 y 18:00 horas. Las intensidades varían en 3 mm/h hasta cerca de 14 mm/h. Esto podría deberse a sistemas meteorológicos de mesoescala, difícilmente detectables con las herramientas de gran escala con que cuenta el SENAMHI. También se puede decir que existe un umbral de precipitación de 10 mm/día e intensidad de 3 mm/h. Cuando se superan



éstos valores es altamente probable que ocurra un huayco en la cuenca media alta.

Asimismo, según lo referido en los informes del Centro de Operaciones de Emergencia, respecto a la hora de ocurrencia de los huaycos e inundaciones y lo registrado por SENAMHI del inicio de la precipitación, se pudo observar que por lo general, existe una diferencia de media hora entre el inicio de la lluvia y la ocurrencia de los huaycos que se presentan con una gran velocidad de propagación por las quebradas cercanas a la ciudad de Chosica.

Lo que se pudo observar también, es que no existe una relación directa entre la ocurrencia de las precipitaciones en la zona de Chosica y la elevación del nivel del río, es decir, básicamente lo que se produce es una activación de flujo de lodo o escombros de quebradas inactivas que son ocupadas actualmente por población que allí reside.

Esto puede indicar que lo que se debería buscar es contar con pronóstico de precipitaciones a muy corto plazo o Nowcasting en toda la cuenca, a fin de poder mitigar los efectos de los huaycos en la población vulnerable de la cuenca.

Asimismo, se requiere información de precipitación en toda el área de la cuenca media alta, que es impactada mayormente por los huaycos y las inundaciones.

Las estaciones hidrometeorológicas solo proveen información puntal del lugar donde se realiza la medición, por lo que difícilmente se podría pronosticar eventos de precipitación a muy corto plazo (Nowcasting) y en toda el área de la cuenca, con las actuales herramientas con que cuenta el SENAMHI.

Existen varios métodos para determinar las cantidades de precipitación en el área de una cuenca hidrológica específica. Uno de los más sencillos consiste en promediar todas las cantidades medidas por la red pluviométrica durante un período en particular. Una alternativa es el uso de polígonos de Thiessen para ponderar por área la cantidad medida por cada pluviómetro. Los polígonos de Thiessen se definen creando áreas con límites equidistantes de cada pluviómetro. Es también posible usar isoyetas, o líneas de igual precipitación, para estimar la lluvia con una red pluviométrica, en este caso se puede utilizar la geo estadística, con los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Estos tipos de métodos si bien logran encontrar cantidades de precipitación en toda el área de la cuenca, los cálculos no son muy exactos ya que se extrapolan datos en zonas cuya características geográficas no necesariamente son semejantes, como para generalizar información en base a un único punto de medición. Otra limitación es



que la información proporcionada está en función de la frecuencia con la cual se mide la variable.

Hay otros métodos posibles para estimar la lluvia, tal como el uso de las observaciones de radar y satélite.

Los satélites permiten obtener cálculos estimados de medición indirecta de la precipitación, sin embargo las imágenes que proporcionan los satélites con alta resolución espacial tienen una baja resolución temporal y viceversa, los satélites que proporcionan imágenes con alta resolución temporal tienen una baja resolución espacial, por lo que usar imágenes de satélite para estimar la precipitación a muy corto plazo en una cuenca, no sería factible.

La ventaja del radar es su capacidad de generar cálculos estimados de alta resolución mediante la detección directa de la precipitación, el radar sin embargo debe ser calibrado con pluviómetros con una alta frecuencia de medición. El radar genera datos hasta de menos de cinco minutos, por lo que el envío de datos de precipitación debería acercarse a esta frecuencia.

Obtener tasas de envío de datos a una alta frecuencia temporal, requiere del servicio de transmisión de empresas portadoras con transmisión satelital de pago, que en este caso son onerosas. Otra opción es el uso de GSM/GPRS que es un medio de transmisión modem celular que no es costoso, además garantiza altas frecuencia de envío de datos.

### 3.2.2 Análisis de la Demanda de Información para la Respuesta en la Cuenca.

Se realizó entrevistas dirigidas a especialistas del Centro de Operaciones de Emergencia, del Distrito de Lurigancho-Chosica; responsable de las acciones de prevención y respuesta inmediata ante la ocurrencia de Huaycos e Inundaciones en Chosica; con la finalidad de validar los resultados obtenidos de la información bibliográfica y del análisis de los datos hidrometeorológicos, así como conocer los problemas más frecuentes relacionados a la Manejo de la Información para la Gestión de Riesgos de Huaycos e Inundaciones en la Cuenca Media-Alta del río Rímac. A continuación se exponen los resultados de la encuesta.

- El 80% considera que no existen avisos de peligros de huaycos e inundaciones por parte de SENAMHI.
- El 80% considera que no existen planes formales de respuesta ante la ocurrencia de huaycos e inundaciones.
- El 80% considera que no existe un inventario consolidado de daños y pérdidas debido al impacto de huaycos e inundaciones.
- El 60% considera que no existen planes formales de respuesta ante la ocurrencia de huaycos e inundaciones.





- El 80% considera que los Huaycos e Inundaciones en Chosica ocurren en un lapso inferior a una (1) hora.
- El 80% considera que históricamente, los Huaycos e Inundaciones en Chosica ocurren entre los 14:00 y 22:00 hora local.
- El 80% considera que la diferencia de tiempo entre el inicio de la precipitación y la ocurrencia de huaycos, se encuentra en un rango de 20 a 40 minutos.
- El 80% considera que la población ante un aviso de peligro podría evacuar hacia las partes seguras en un lapso de 15 minutos.
- El 80 % consideró que no tienen medio de comunicación alterno en caso de emergencia, pero que están por adquirir un sistema Tetra.

### 3.2.3 Plan de Monitoreo

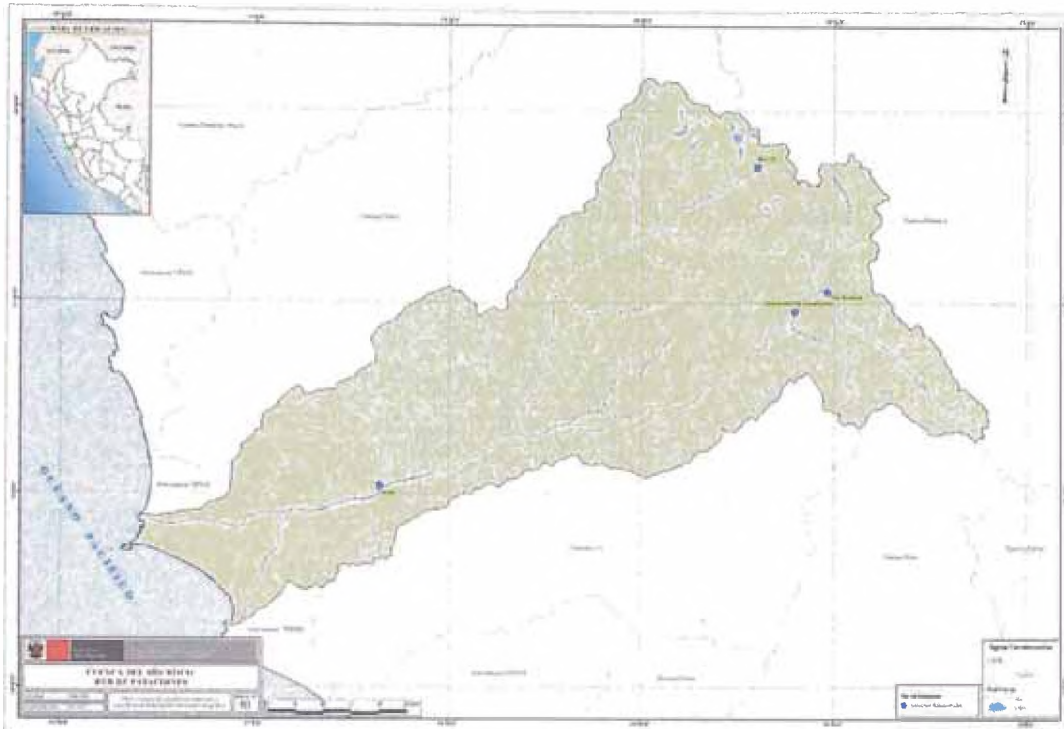
- **Objetivos.** -Los objetivos del plan de monitoreo debe concentrarse en el pronósticos de precipitaciones a muy corto plazo (cada 5 minutos) y en toda el área de la cuenca,
- **Limitaciones.** - El plan no esta destinado a pronosticar otras variables a muy corto plazo.
- **Tipo de Monitoreo.**-Alerta Temprana de Huaycos, a través del monitoreo de la precipitación cada 5 minutos y pronóstico de precipitación horaria.
- **Variable a pronosticar**—precipitación, adicionalmente se incluirá el pronóstico de caudales.
- **Método de Cálculo.**- Cálculo automático de la reflectividad de la lluvia por radar y su comparación con datos de precipitación cada 5 minutos de estaciones automáticas.
- **Supuesto.**- Los sistemas nubosos se originan por la interacción de flujo inestable del este con alto contenido de humedad por flujos del oeste. Estos sistemas son del tipo de mesoescala y provocan precipitación orográfica. Las estaciones hidrometeorológicas actuales no son suficientes para monitorear estos sistemas. Se requiere de un radar calibrado con algunas de estas estaciones.
- **Responsabilidades.**- El SENAMHI es responsable del monitoreo y difusión de precipitación por radar, así como la generación de avisos cuando se sobrepasa el umbral de 10 mm/día o 3 mm/hora.



El Centro de Operaciones Distrital, es el responsable de la ejecución de la respuesta que significa la evacuación de la población de las zonas de riesgo y movilización de ayuda.

- **Área de Pronóstico.**-La Cuenca media Alta del río Rímac.
- **Elementos de ayuda para el monitoreo y pronóstico.**- Red de estaciones automáticas con transmisión cada 5 minutos, infraestructura de tecnología de información (servidores de datos, comunicaciones, equipos receptores de imágenes de satélite, software) y equipo de profesionales de SENAMHI, monitoreando la cuenca.
- **Diseño de la Red.**- Se trabajará con las 7 estaciones automáticas existentes más otras 4 nuevas estaciones que deberán instalarse en los límites aguas arriba y aguas abajo de la ciudad Chosica, según se muestra en la figura N° 3.8.

**Figura N° 3.8**  
**Propuesta de Nuevas Estaciones a la Red Hidrometeorológica**



### 3.2.4 Criterios Generales para el Diseño de la Red

El plan de monitoreo deberá basarse en un balance entre la oferta de información y la demanda de información existente, basada en las experiencias pasadas de afectación.

A continuación se detallan los criterios que deberían tomarse en cuenta para el diseño de la red:

**Oportunidad.-** Oportunidad, celeridad para transmisión de la alerta.

Dado que la necesidad de información supera lo actualmente establecido, se requiere trabajar solo con estaciones automáticas que registren y transmitan con una frecuencia de 5 minutos.

**Homogeneidad.-** Todo nuevo equipo debería ser similar al ya existente para optimizar la gestión de los mismos, especialmente en el mantenimiento y calibración.

**Seguridad.-** Al ser equipos de alto precio, se debe asegurar convenios con entidades colaboradoras cuando se instalen nuevas estaciones, a fin de asegurar la seguridad del equipamiento.



**Integridad.-** Si se establecen nuevas estaciones hay que pensar en sitios cuyas características no pueden cambiar o estar afectadas por la urbanización y la construcción de obras.

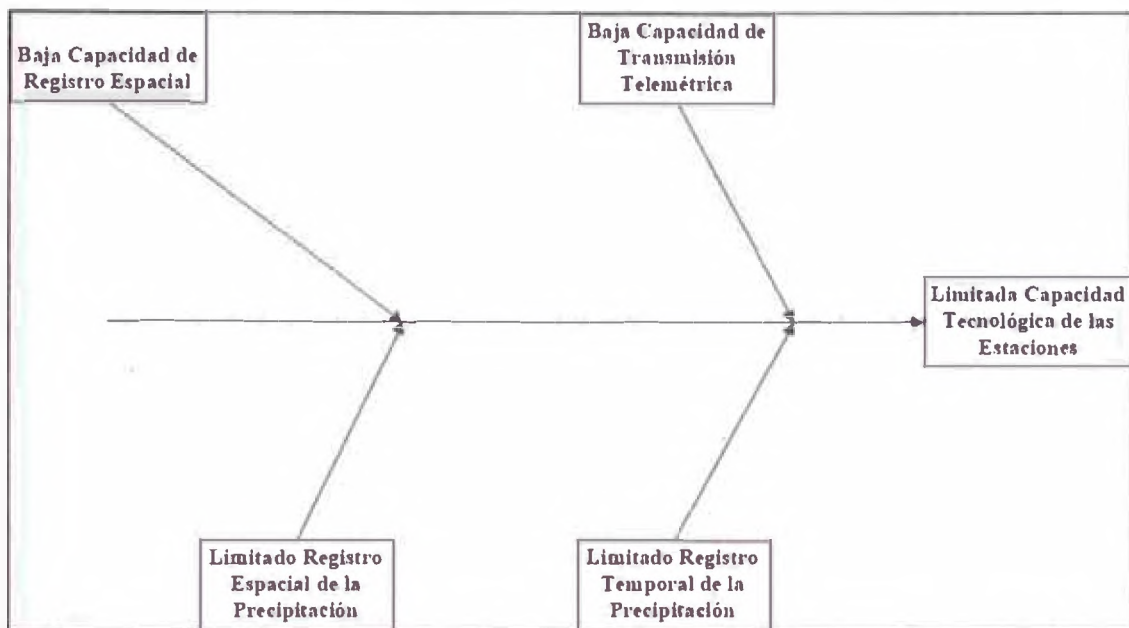
**Distribución espacial de estaciones.-** Del análisis de los datos de las estaciones ya existentes, se puede desprender que se requiere mejorar con 4 nuevas estaciones automáticas. Sin embargo se debe tomar en cuenta que dada las características geográficas de la zona no basta incrementar con más estaciones automáticas sino se requiere una nueva tecnología que permita contar con información de precipitación de manera integral en toda la cuenca.



## CAPÍTULO 4. PROPUESTA DE MEJORA TECNOLÓGICA

A fin de conocer a que se debe las limitadas capacidades tecnológicas de la red que tiene el SENAMHI, se realizó un análisis causa efecto de esta limitación, como se puede apreciar en la figura N° 4.1.

**Figura N° 4.1**  
**Diagrama Causa Efecto de la Limitada Capacidad Tecnológica**



De acuerdo al análisis realizado, se pudo establecer que la limitada capacidad tecnológica estaba vinculada a dos factores: La baja capacidad de transmisión telemétrica y la baja capacidad de registro espacial.

### 4.1 MEJORA DE LA CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN TELEMÉTRICA

La propuesta consiste en mejorar el nivel de telemetría para ello se requiere mejorar la frecuencia de llegada del dato automático.

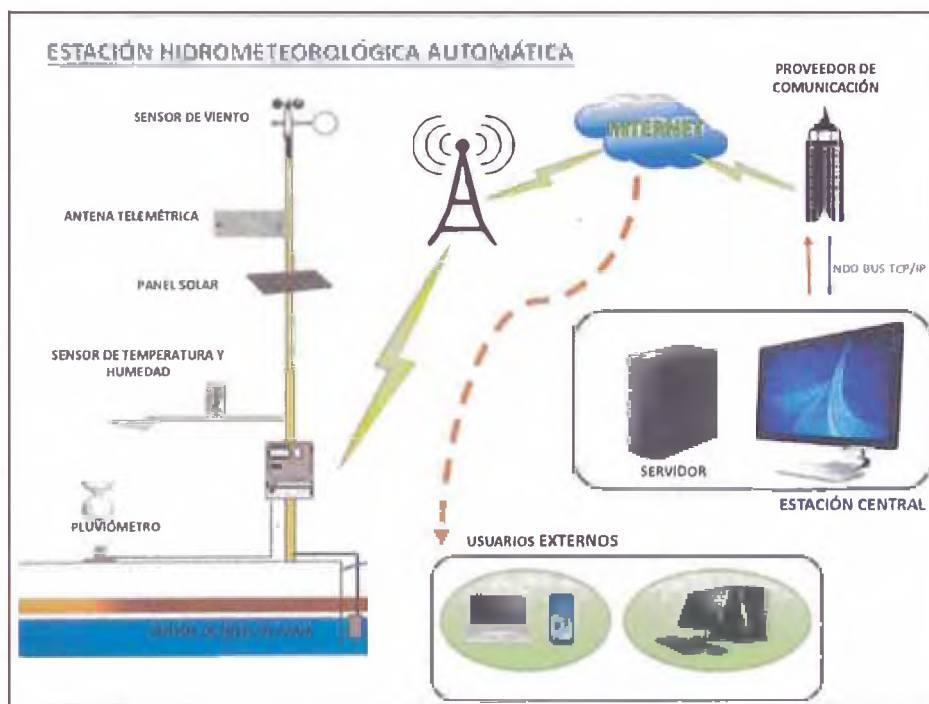
Se propone instalar 4 nuevas estaciones automática: dos meteorológicas y dos hidrológicas. También se propone dotar de componentes de comunicación rápida (GPRS) a todas las estaciones automáticas representativas de la cuenca media-alta, a fin de generar datos con una frecuencia de 5 minutos, con los cuales se podría evidenciar la llegada de un sistema nuboso, su capacidad de producir lluvias intensas y el lugar que será afectado.



**GPRS.**- El Sistema General de Radiotransmisión de Paquetes (GPRS, *General Packet Radio System*), es una tecnología de comunicación, que comparte el rango de frecuencias de la red GSM utilizando una transmisión de datos por medio de “paquetes”. Este medio de conmutación de paquetes es un procedimiento más adecuado para transmitir datos,

Esta forma de comunicación de las estaciones automáticas (Ver figura N° 4.2), requiere el acceso a Internet a través de un Proveedor de Servicios de Internet (ISP), de contarse con cobertura de servicio en la zona. Esto podría mejorar enormemente la frecuencia de transmisión de datos, la misma que sería redundante a la que actualmente viene siendo utilizada con telemetría satelital GOES, transmitiendo cada hora.

**Figura N° 4.2**  
**Telemetría GPRS en Estación Hidrometeorológica Automática**



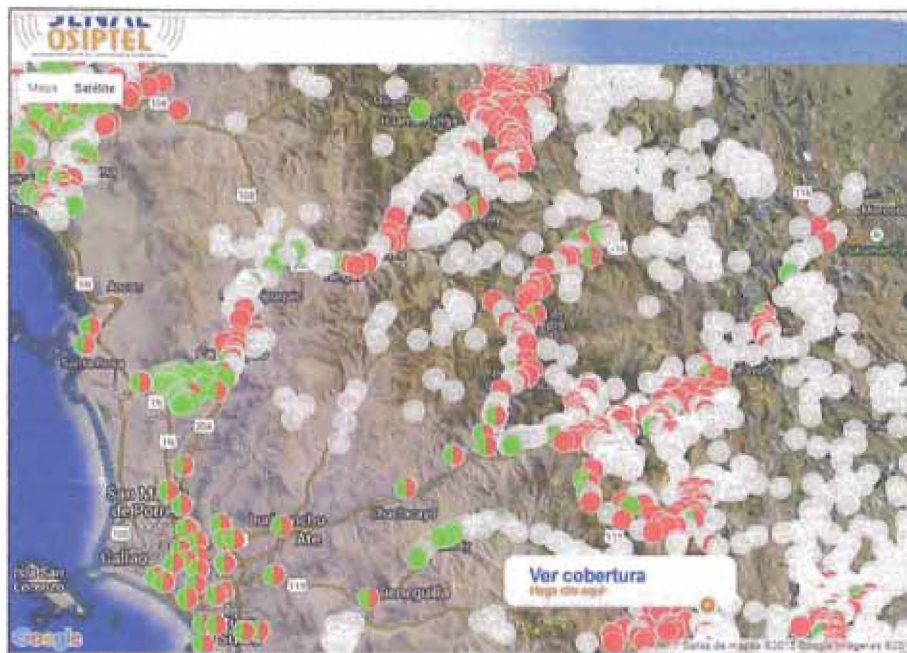
Fuente: Elaboración propia

- **Cobertura de Servicio**

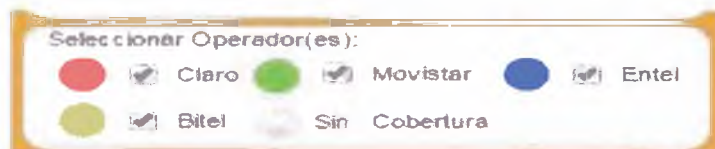
Se analizó la cobertura de transmisión GPRS por los proveedores de servicio, Telefónica y Claro a través del portal del ente regulador OSIPTEL, observándose que existe cobertura de ambos proveedores. En la figura N° 4.3 se puede apreciar la colocación de diferentes

proveedores de comunicación, por ejemplo la empresa Telefónica aparece en círculos claros y la empresa Claro en círculos oscuros.

**Figura N° 4.3**  
**Cobertura GPRS en la Cuenca del Río Rímac**



Leyenda:



La mejora de la capacidad telemétrica de las estaciones, pasa por adquirir el radio módem respectivo que será instalado en cada una de las estaciones automáticas, así como un Slím Card para la conexión celular.

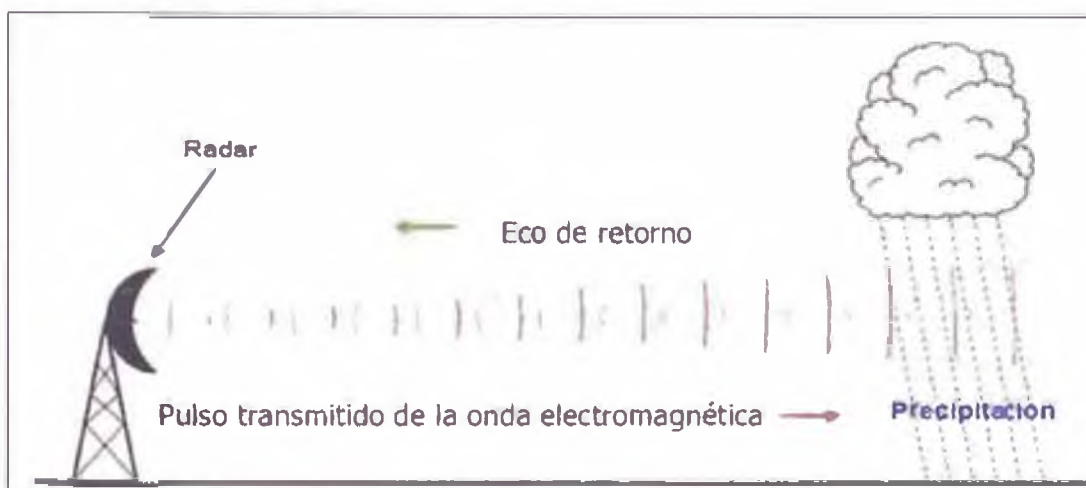
#### 4.2 MEJORA DEL REGISTRO ESPACIAL DE LA PRECIPITACION

La mejora del registro espacial de la precipitación, pasa por el uso de una herramienta tecnológica que permita conocer el comportamiento de la precipitación en toda el área de la cuenca. La herramienta que permite esto es el radar.

Radar es el acrónimo de “Radio Detection And Ranging”. Según **Lemus, A y Pacheco, M (2014)**, el radar meteorológico funciona emitiendo a la atmósfera pulsos de energía electromagnética en el rango de frecuencias de las microondas. Cuando dichos pulsos inciden en un objeto, parte de esa energía electromagnética se devuelve hacia el radar (Ver figura N° 4.4). Esta “retrodifusión” explica porque hablamos de “reflectividad radar”. La

reflectividad es una medida de la capacidad de los objetos de interceptar y devolver la energía del radar, y depende de los parámetros físicos del objeto, como su tamaño, forma, orientación, composición, etc.

**Figura N° 4.4**  
**Funcionamiento de Radar**



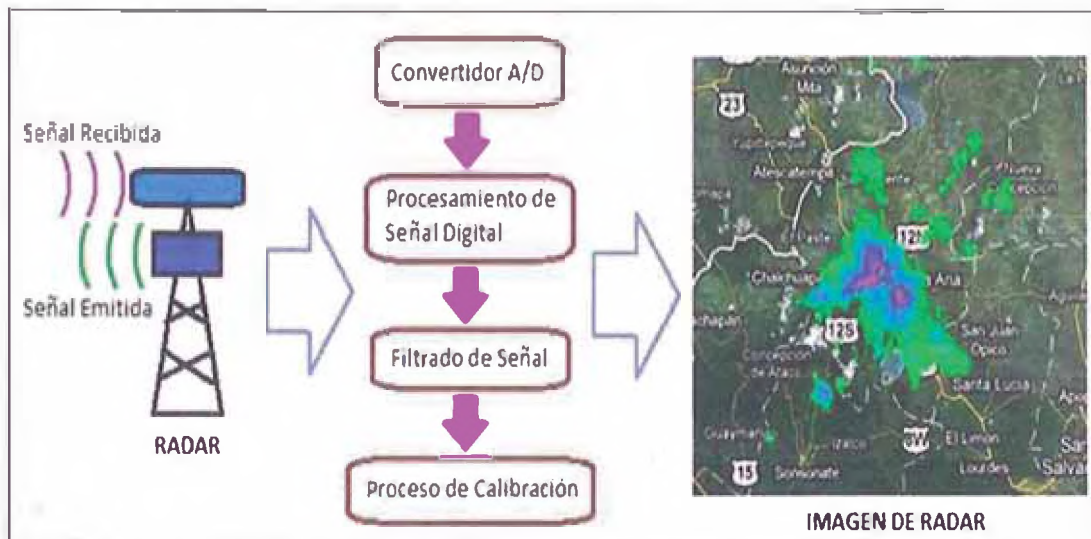
Fuente: Lemus, A y Pacheco, M (2014)

Una función principal de un radar meteorológico es proveer una estimación de alta resolución y en tiempo real de lluvia en una cuadrícula sobre una región de interés. Los radares meteorológicos son herramientas poderosas para monitoreo y pronóstico debido a su capacidad de caracterizar las nubes de precipitación sobre un área grande, en vez de la medición puntual de un pluviómetro in situ. El radar puede detectar la formación de nubes, seguir su movimiento y evolución, explorar su estructura interna y realizar estimaciones cuantitativas de la cantidad de precipitación que producen en la superficie.

La medición primaria de un radar meteorológico (en adelante, se referirá al “radar meteorológico” simplemente como “radar”) es la reflectividad, la cual es directamente proporcional a la cantidad de energía electromagnética dispersada de regreso al radar por partículas de precipitación y nubes (por ejemplo, gotas de lluvia, copos de nieve, granizo). La reflectividad del radar puede abarcar varios órdenes de magnitud y por lo tanto generalmente se mide en una escala de decibeles. Los mayores valores de la reflectividad del radar están asociados a la precipitación más intensa. Las estimaciones cuantitativas de la precipitación (ECP) provenientes de radares usualmente son facilitadas utilizando relaciones de la ley de potencias (relaciones entre dos variables tales que una sea proporcional a la potencia de la otra) entre la tasa de precipitación y la reflectividad del radar. La figura N° 4.5 muestra como el radar produce imágenes para detectar la precipitación.



**Figura N° 4.5**  
**Esquema del Proceso de Producción de Imágenes de Radar**



Fuente: Lemus, A y Pacheco, M (2014)

Diferentes tipos de radares se utilizan para la detección de fenómenos meteorológicos, hay tres grupos de radares: polarimétricos, no polarimétricos y Doppler y dentro de estos grupos hay diferentes tipos de radares identificados por su frecuencia o longitud de onda.

Los Radares polarimétricos miden la potencia reflejada de regreso de los pulsos horizontales y verticales; esta capacidad les permite es posible obtener información sobre la densidad, tamaño y forma de las partículas en precipitación.

El radar Doppler mide el cambio en la frecuencia de microondas causada por objetos en movimiento, y por lo tanto es capaz también de determinar la velocidad del blanco, es decir de las partículas que impacta por lo que también podría medir la velocidad del viento.

De acuerdo a Lemus, A y Pacheco, M (2014) y Acosta, L y Pérez, J (2011), existen ventajas y desventajas en los diferentes tipos de radares meteorológicos como se lista en la Tabla N° 15.



**Tabla N° 15**  
**Clasificación de Radares – Ventajas y Desventajas**

BANDA	Frecuencia (MHz)	Longitud de Onda $\lambda$ (cm)	Ventajas	Desventajas
S	3,000	10	No afecto a la atenuación	Disco grande Mayor costo Baja resolución espacial
C	6,000	5	Disco pequeño Portable Menor precio	Afectado por atenuación
X	10,000	3	Sensible a partículas pequeñas Disco pequeño Portable Bajo costo	Muy afectado por la atenuación No polarimétrico

Según Bruté, G (2015), el radar de banda X, es el más apropiado para la detección y medición de la precipitación.

Asimismo se coordinó con especialistas en radares y se determinó que el radar LAWR (Local Area Weather Radar- Radar Meteorológico de Área Local) era el más indicado para monitorear las precipitaciones de la cuenca del río Rímac. Este tipo de radar viene funcionando actualmente de forma similar en países como El Salvador, Ecuador y Bolivia.

El radar meteorológico de área local LAWR se basa en la tecnología de banda X. El LAWR provee imágenes de radar de alta calidad, tanto de precipitaciones localizadas hasta en un área de 500x500 m (con un alcance de 60 km) detectadas cada 5 minutos o cada minuto, según se requiera.

La longitud de onda relativamente corta en esta banda de frecuencias, permite obtener una resolución bastante alta en la proyección de imagen del radar, para la identificación y discriminación del blanco, que en nuestro caso son gotas de lluvia. Las imágenes de radar de éste sistema propician que la vigilancia meteorológica sea más precisa y en tiempo real para el meteorólogo; además de estas ventajas existe la posibilidad de producir avisos oportunos de muy corto



plazo y conocer mejor la distribución e intensidad de las lluvias en un área donde no se cuente con pluviómetros. Este tipo de radar es un valioso insumo para los sistemas de alerta temprana. La imagen y características técnicas de este equipo se observan en las figuras N° 4.6 y N° 4.7.

**Figura N° 4.6  
 Radar LAWR**



**Figura N° 4.7  
 Características Técnicas del Radar LAWR**

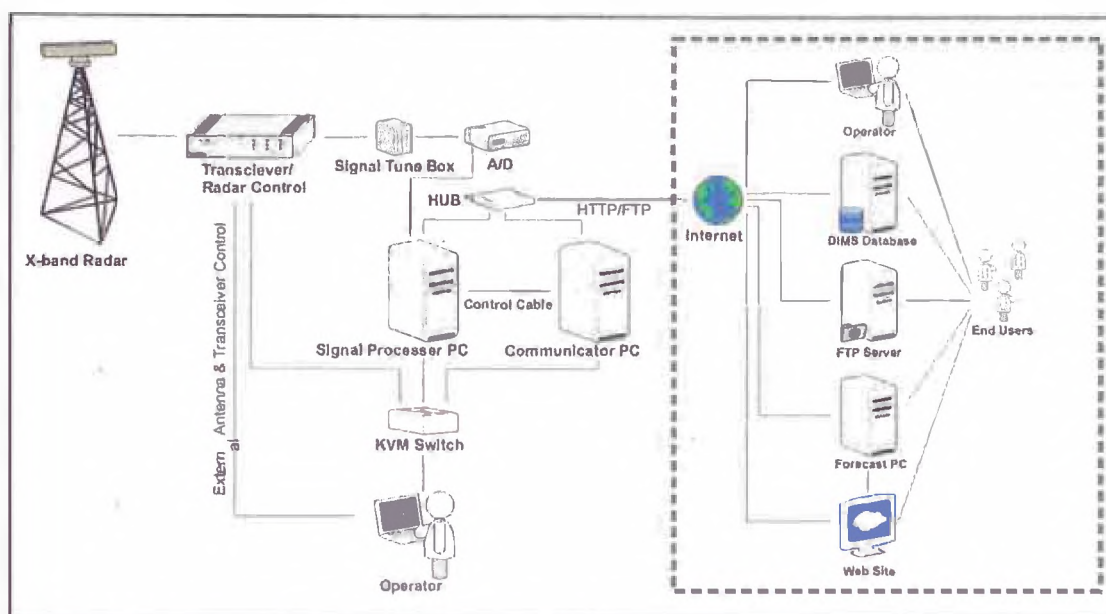
<b>Datos Técnicos</b>	
Potencia Pico	25kW*
Frecuencia	9.41 GHz ±30MHz
Longitud de Pulso	1.2 µs
Longitud de onda	3 cm (Banda X)
Antena	2.5 m
Ganancia de la Antena	15-20 db
Tipo	Magnetrón
Velocidad de escaneo	24 rpm
Ángulo de apertura (horizontal y vertical)	0.95° & ± 10
Resolución Temporal (frecuencia Imagen)	1 o 5 min
Resolución Espacial (medida de pixel)	100x100 m (rango 15km) ** 250x250 m (rango 30km) 500x500 m (rango 60km)

El sistema LAWR está basado en un radar estándar marino FURUNO banda X FAR-2127 modificado para el control remoto y dos computadoras que manejan el procesamiento avanzado de señales y la comunicación con el mundo exterior. El diseño del sistema y de los componentes incluidos se describe en la figura N° 4.8 Los elementos contenidos en el área punteada son opcionales y todos



requieren una conexión a internet. El radar es modificado al instalarse una tarjeta de control que permite a al PC comunicador operar los controles del radar. La señal del radar es generada por un magnetrón, el cual necesita ser remplazado cada 8 meses, el cual se encuentra localizado en la unidad de la antena.

**FIGURA N° 4.8**  
**Diseño del Sistema Radar LAWR**

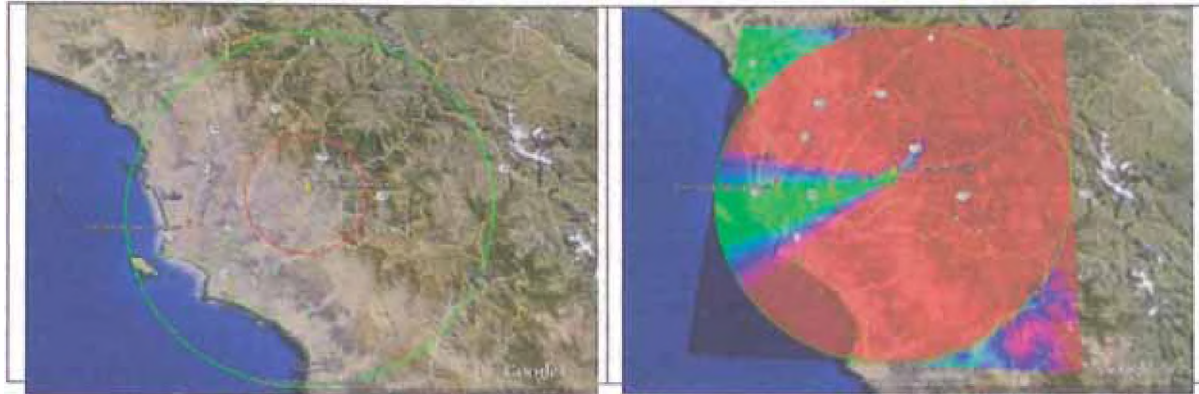


Se propone la instalación de un radar de banda X, en la localidad de Chosica, para conocer con mayor exactitud la presencia de sistemas convectivos en la cuenca. El radar LAWR es una de las que mejores se adaptaría a la cuenca.

Como se puede apreciar en la figura N° 4.9 el radar podría captar la precipitación de 60 Km a la redonda y determinar la cantidad de precipitación que podría caer en un radio de 20 km de la ciudad de Chosica.



**Figura N° 4.9**  
**Ubicación de Radar de Banda X en Cuenca del Río Rímac**



En una situación normal el radar LAWR operará en un radio de 60 km de los cuales en el radio interior de 20 km es útil para estimación cuantitativa de la precipitación bajo condiciones normales.

Los costos asociados a la adquisición del radar se muestran en la tabla N° 16, Según se puede apreciar en el cuadro, la solución planteada de mejorar la estimación de la precipitación, considerando solo del radar podría a costar alrededor de S/. 903,350.00 soles.

**Tabla N°16**  
**Costo del Radar**

COMPONENTES	COSTO
Sensores	392,000
LAWR-25X	25,200
Pedestal	5,250
Envío	5,250
Consumibles por 2 años de operación	12,600
Visita de Campo	43,400
Instalación	119,000
Entrenamiento	77,350
Servicio de Hosting (opcional)	0
Servidor de Procesamiento	223,300
<b>TOTAL</b>	<b>S/. 903,350</b>



Como consideraciones finales para una propuesta de mejora tecnológica se propone:

- a) Los sistemas atmosféricos tienen una escala espacial y temporal que no pueden ser monitoreados por el sistema actual.
- b) Si bien se recibe información cada hora de las estaciones automáticas, ésta frecuencia temporal es insuficiente para analizar los fenómenos de mesoescala que afecta la cuenca media alta del río Rímac.
- c) Asimismo, las estaciones automáticas registran datos cuya influencia es útil para solo algunos kilómetros a la redonda, y no se conoce el patrón de lluvias en toda la cuenca, ni como los sistemas nubosos se moverán y donde afectarán en el corto plazo.

Adicionalmente a la mejora de la capacidad de transmisión telemétrica de las estaciones automáticas ya existentes en la cuenca, se requiere el incremento de cuatro (4) estaciones automáticas adicionales, que complementarían a la red actual para poder complementar el monitoreo de las precipitaciones en nuevos puntos, así como para poder calibrar al futuro radar, como se mencionan en la tabla N° 17.

**Tabla N° 17**  
**Propuesta de Nuevas Estaciones Automáticas**

	<b>Estación</b>	<b>Observaciones</b>
1	Milloc	Se requiere equipamiento meteorológico automático.
2	San Mateo de Huanchor	Se requiere equipamiento hidrológico automático (sensores de nivel de río electrónico).
3	Ñaña	Se requiere equipamiento meteorológico automático.
4	Río Blanco	Se requiere culminar la instalación con equipamiento hidrológico automático (sensores de nivel de río electrónico).



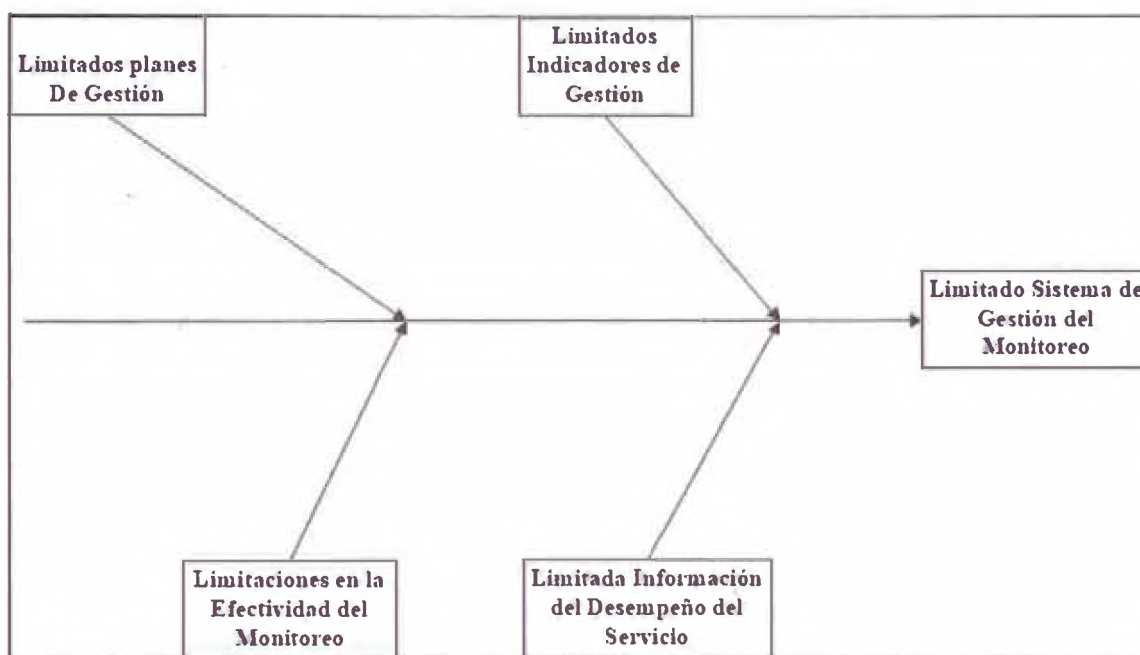
## CAPITULO 5. MODELO DE GESTIÓN DEL SISTEMA

A fin de conocer a que se debe las limitaciones que tiene el SENAMHI, para Gestionar la Red de Monitoreo, se realizó un análisis causa efecto de esta limitación, como se puede apreciar en la figura N° 5.1.

Limitados indicadores de gestión y limitados planes de gestión podrían dar lugar a que se tenga un limitado Sistema de Gestión.

Estas limitaciones, hacen que en algunos casos la información sobre monitoreo y pronósticos de huaycos e inundaciones no llegue de la mejor forma, a los usuarios, especialmente aquellos tomadores de decisión para activar una alerta.

**Figura N° 5.1**  
**Diagrama Causa Efecto del Limitado Gestión de Monitoreo**



### 5.1 LIMITADOS PLANES DE GESTIÓN

A fin de que el Sistema de Monitoreo, de aquí en adelante denominado Sistema de Alerta Temprana contra Huaycos e Inundaciones en la cuenca del río Rímac, pueda servir de la mejor manera a la comunidad, se propone el siguiente plan:

#### 5.1.1. Monitoreo y Vigilancia Permanente:

Se mantendrá de manera continua el monitoreo y pronóstico de la precipitación a muy corto plazo, mediante vigilancia de los sistemas atmosféricos sobre la cuenca del río Rímac, en especial de la cuenca



media alta. Este monitoreo se realizará empleando no sólo las imágenes provistas por la red de radares LAWR sino también por los demás recursos que funcionan acoplados a este SAT como son: pronósticos meteorológicos, modelos meteorológicos globales y regionales, imágenes satelitales, estaciones telemétricas, estaciones sinópticas, reportes meteorológicos, observadores locales, redes sociales, entre otros.

#### **5.1.2. Análisis del Pronóstico Meteorológico:**

Se debe realizar una revisión y análisis del pronóstico meteorológico vigente para el turno de monitoreo y vigilancia a desarrollar. Esta revisión y análisis se discute con el meteorólogo pronosticador de turno para evaluar los sistemas atmosféricos que se prevén para el turno diurno o nocturno que se esté llevando a cabo.

Se consultará los modelos meteorológicos globales o regionales con tiempo más actualizado para corroborar pronóstico previo.

#### **5.1.3. Observación y Verificación de Imágenes de Radar:**

Se deberá observar si las imágenes de radar presentan ecos asociados a lluvias sobre la cuenca, si el tiempo aún es estable se continuará con el monitoreo. Si los radares presentan ecos de lluvias sobre alguna región de la cuenca se analizarán estas imágenes para obtener la intensidad de las lluvias, área de influencia, su trayectoria y tiempo estimado de arribo a zonas de interés. Se deberá:

- Verificar estas imágenes por medio de la red telemétrica en cuanto la intensidad de lluvia y lluvia acumulada.
- Revisar reportes meteorológicos y reportes de observadores locales respecto a las lluvias observadas.
- Observar y analizar imágenes de satélite para verificar el sistema nuboso que está produciendo las lluvias observadas.

#### **5.1.4. Redacción del Aviso (Pronóstico de Muy Corto Plazo):**

Se redacta un aviso meteorológico inicialmente, a continuación un aviso hidrológico de aumentar la probabilidad de presentarse lluvias, en formato de Pronóstico de muy corto plazo. Este pronóstico debe contener la siguiente información:

- ✓ Primero se detallan las lluvias que se están observando por medio de las imágenes de radar: intensidad de las lluvias, distribución de las lluvias (aisladas, dispersas, generalizadas), área de influencia.
- ✓ Luego se describe su trayectoria estimada, es decir, se mencionan las zonas donde se espera que se desplacen las lluvias y un tiempo estimado de arribo. Se hace énfasis si se trata de una zona o área vulnerable.





- ✓ Es posible mencionar los valores de lluvia acumulada esperada con las lluvias que se están monitoreando, esto es necesario consultarlo con el meteorólogo pronosticador y revisar modelos meteorológicos.

## 5.2 DIFUSIÓN DE LOS AVISOS:

Se difunde el aviso utilizando los diferentes medios provistos por la Oficina de Comunicaciones:

- ✓ Envío de la alerta por medio de mensajes de texto hacia teléfonos móviles de autoridades del Centro de Operaciones de Emergencia.
- ✓ Envío de este mensaje vía Facebook para su difusión a través de redes sociales.
- ✓ Comunicación vía RPM o RPC con autoridades de Defensa Civil describiendo la alerta. Además es posible por este medio contestar interrogantes de las autoridades y al mismo tiempo pedir reportes de sus observadores locales.

## 5.3 REEVALUACIÓN PERIÓDICA DE LA EVOLUCIÓN DE LAS LLUVIAS:

Se evalúa la evolución de las lluvias y del sistema que las produce, para esto se deben considerar los siguientes parámetros:

- ✓ **Persistencia de las lluvias:** Se evalúa el tiempo de permanencia de las lluvias en un área determinada.
- ✓ **Cambio de la intensidad de las lluvias:** Se evalúan los cambios de intensidad en las lluvias monitoreadas.
- ✓ Cambio de la zona de influencia y/o su trayectoria.
- ✓ **Registros de lluvia acumulada:** Se revisan los registros de la red de estaciones telemétricas para verificar los valores de lluvia acumulada.

Si se cumple una de estas condiciones se emite una nueva alerta con la actualización de la evolución de las lluvias que están siendo monitoreadas.

## 5.4 LIMITADOS INDICADORES DE GESTIÓN

A fin de que empiece a operar el nuevo sistema de monitoreo, se requiere las siguientes acciones:

- 1) Adquisición e instalación de radar, equipos, instrumentos y servicios Hidrometeorológicos.
- 2) Elaboración y ejecución de Expedientes Técnicos de Radar y Estaciones Hidrometeorológicas Automáticas.
- 3) Operación y Mantenimiento de Estaciones y Radar.



- 4) Capacitación e Inducción de Personal.
- 5) Mantenimiento y Calibración de Instrumentos Hidrometeorológicos y Radar.
- 6) Mantenimiento Correctivo de Estaciones.
- 7) Mantenimiento del sistema de comunicaciones y radar.
- 8) Monitoreo de la Operatividad de las Estaciones y radar

Para el desarrollo de estas actividades se ha elaborado un cuadro orientativo, con la escala temporal de un año. (Ver tabla N° 18 y 19).

Asimismo, se ha elaborado el análisis respectivo de objetivos estratégicos y sus indicadores a fin de poder hacer un control a la gestión.

**Tabla N° 18**  
**Indicadores de Gestión del Sistema de Monitoreo**

<b>OBJETIVO ESTRATÉGICO</b>	<b>INDICADOR</b>
Implementar una Red de Monitoreo/Alerta Temprana contra Huaycos e Inundaciones en Chosica.	Grado de satisfacción de las autoridades por el uso de datos De la red observacional.
Incrementar el número de pronósticos confiables y oportunos a las autoridades.	Porcentaje de pronósticos confiables y oportunos.



**Tabla N° 19**  
**Tareas a Realizarse por Implementación de Red de Monitoreo**

TAREA	U. MEDIDA	META FISIC A	PROGRAMACION TRIMESTRAL			
			I	II	III	IV
Adquisición e instalación de radar, equipos, instrumentos y servicios Hidrometeorológicos.	Informe de Adquisición e Instalación	4	1	1	1	1
Elaboración y ejecución de Expedientes Técnicos de Radar y Estaciones hidrometeorológicas automáticas.	Informe	2		1		1
Operación y Mantenimiento de Estaciones y radar.	Informe de Operatividad	4	1	1	1	1
Capacitación e Inducción de personal.	Informe de Capacitación	1		1		
Mantenimiento y Calibración de instrumentos Hidrometeorológicos y radar.	Informe de Mantenimiento	4	1	1	1	1
Mantenimiento correctivo de estaciones.	Informe	4	1	1	1	1
Mantenimiento del sistema de comunicaciones y radar.	Informe	4	1	1	1	1
Monitoreo de la Operatividad de las Estaciones y radar.	Reportes	4	1	1	1	1



## CAPÍTULO 6 ANÁLISIS COMPARATIVO DE AMBAS REDES DE MONITOREO

A fin de determinar la validez de la nueva red de monitoreo ha realizado un análisis comparativo de las ventajas de ambas redes. (Ver figura N° 6.1)

### 6.1 Comparación de ambas redes de monitoreo

El sistema actual utiliza un red de estaciones hidrometeorológicas automáticas con telemetría satelital con una hora de retraso, avisos eventuales de observadores vía voz por una red privada, o por transmisión celular de datos, tres veces al día; imágenes de satélite y modelos de precipitación escorrentía. La Dirección de Hidrología Operativa (DGH) del SENAMHI, con profesionales hidrólogos con un rol relevante en el análisis y difusión de avisos de la cuenca del Río Rímac.

El nuevo sistema se utilizaría las misma red de estaciones automáticas, con cuatro (04) nuevas estaciones adicionales, transmitiendo todas ellas, datos cada 5 minutos con un nuevo sistema de trasmisión modem celular instalado en cada una de las estaciones automáticas; un radar calibrado con estas estaciones, estimando la precipitación cada 5 minutos en un radio de 20 km a la redonda de la ciudad de Chosica y con información de movimiento de la nubosidad generadora de lluvia en un radio de 60 km de Chosica.

En el futuro inmediato los datos de las estaciones automáticas y de radar deberían correlacionarse con modelos hidrológicos que permitan, determinar áreas específicas a ser impactadas, complementados con imágenes de satélite.

Se espera potenciar los equipos de mantenimiento de estaciones automáticos e implementar un equipo de mantenimiento de radar, a fin de contar información de manera continua. También se espera potenciar la tecnología de información en cuanto a la mejora de las bases de datos para recibir este nuevo tipo de información.

Asimismo, se tiene pensado en un equipo de profesionales trabajando en una infraestructura instalada para el radar, en la misma ciudad de Chosica, conformados por electrónico, hidrólogo y meteorólogo, trabajando de manera coordinada con el equipo de la DGH.

Se espera que el nuevo sistema esté completamente integrado con el COEN de Chosica y que éste último, tenga un plan organizado de difusión dela información y mecanismo de respuesta coordinado con la población y con todas las organizaciones que tienen una implicancia con la interrupción de las actividades en la cuenca.



Se ha realizado la comparación de las características del sistema de monitoreo actual con el nuevo sistema para determinación que mejoras se tendría.

Como se puede apreciar en la Figura N° 6.1, el nuevo sistema tendría mejores capacidades que el actual para poder emitir advertencias de inundaciones repentinas por efecto de súbitas precipitaciones que activan las quebradas, aledañas a la ciudad de Chosica.

**Figura N° 6.1**  
**Comparación de Ambos Sistemas**

	<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>SISTEMA ACTUAL</b>	<b>NUEVO SISTEMA</b>
1	Registro y transmisión de datos.	Cada hora	Cada 5 minutos
2	Monitoreo de la precipitación en toda la cuenca.	No	Sí
3	Pronóstico de cantidad de lluvia en Chosica.	No	Sí
4	Personal capacitado en pronóstico de lluvia por radar.	No	Sí
5	Pronóstico de lluvia a muy corto plazo.	No	Sí
6	Medio de difusión de monitoreo y pronóstico de lluvia.	Página Web y correo Electrónico	Página Web, correo Electrónico y celular
7	Pronóstico de caudales a corto plazo.	No	Sí
8	Capacidad para advertir peligro de huayco e inundación a corto plazo.	No	Sí

El nuevo sistema requiere de un presupuesto que no dispone el SENAMHI, por lo que a fin de que la solución planteada pueda ser factible se propone un perfil de proyecto el cual considera los siguientes supuestos:

- a) Existe una ocupación inadecuada de la población de la cuenca media alta del río Rímac en zonas peligrosas, tales como quebradas que se activan periódicamente dando lugar a Huaycos e Inundaciones, produciéndose eventualmente daños a la vida y propiedad de las comunidades allí asentadas, que se resisten a abandonar estos lugares peligrosos. En el largo plazo la solución podría ser la reubicación de los pobladores y el cambio de trazo de la Carretera Central. De manera inmediata se requiere un sistema que permita advertir el peligro inminente, que permita salvar vidas y



disminuir el número de personas afectadas por estos peligros. Asimismo, el sistema también debería servir para disminuir el tiempo de espera por interrupción a la carretera cerca a Chosica; dando aviso oportuno para el desplazamiento de maquinaria para atención de las emergencias que puedan surgir.

- b) La fuerte pendiente, la acumulación de materiales con el paso del tiempo en una zona árida y la corta trayectoria de las quebradas cuando se activan hacen que el tiempo entre el inicio de la lluvia y el inicio de la escorrentía sea muy corto, en el orden de media hora.
- c) Si solo se emplea el umbral de lluvia y/o de intensidad de lluvia de una estación hidrometeorológica con una hora de retraso para emitir la alerta el tiempo de respuesta de la población para evacuar no sería suficiente. Por esta razón es necesario un sistema telemétrico GPRS transmitiendo cada 5 minutos y el uso del radar meteorológico estimando lluvia cada 5 minutos, para tener un pronóstico con mayor anticipación.

## 6.2 Propuesta de Idea de proyecto de Inversión

### a) Definición del Problema

**“Escaso Desarrollo de Acciones Preventivas y de Mitigación ante Huaycos e Inundaciones en la Cuenca Media-Alta del Río Rímac”**

- b) **Objetivo del Proyecto:** Incremento de Acciones Preventivas y de Mitigación ante Huaycos e Inundaciones en la cuenca media-alta del río Rímac.
- c) **Identificación de las Causas del Problema Central:** La deficiencia mencionada en el problema principal proviene de distintos aspectos, entre los que podemos mencionar:

#### ✓ Causas directas:

- Insuficiente equipamiento, tecnología e infraestructura para el desarrollo de un sistema de alerta temprana ante huaycos e inundaciones.
- Limitado desarrollo organizacional para gestionar un sistema de alerta temprana.
- Población con limitada resiliencia para enfrentar los peligros por Huaycos e Inundaciones.

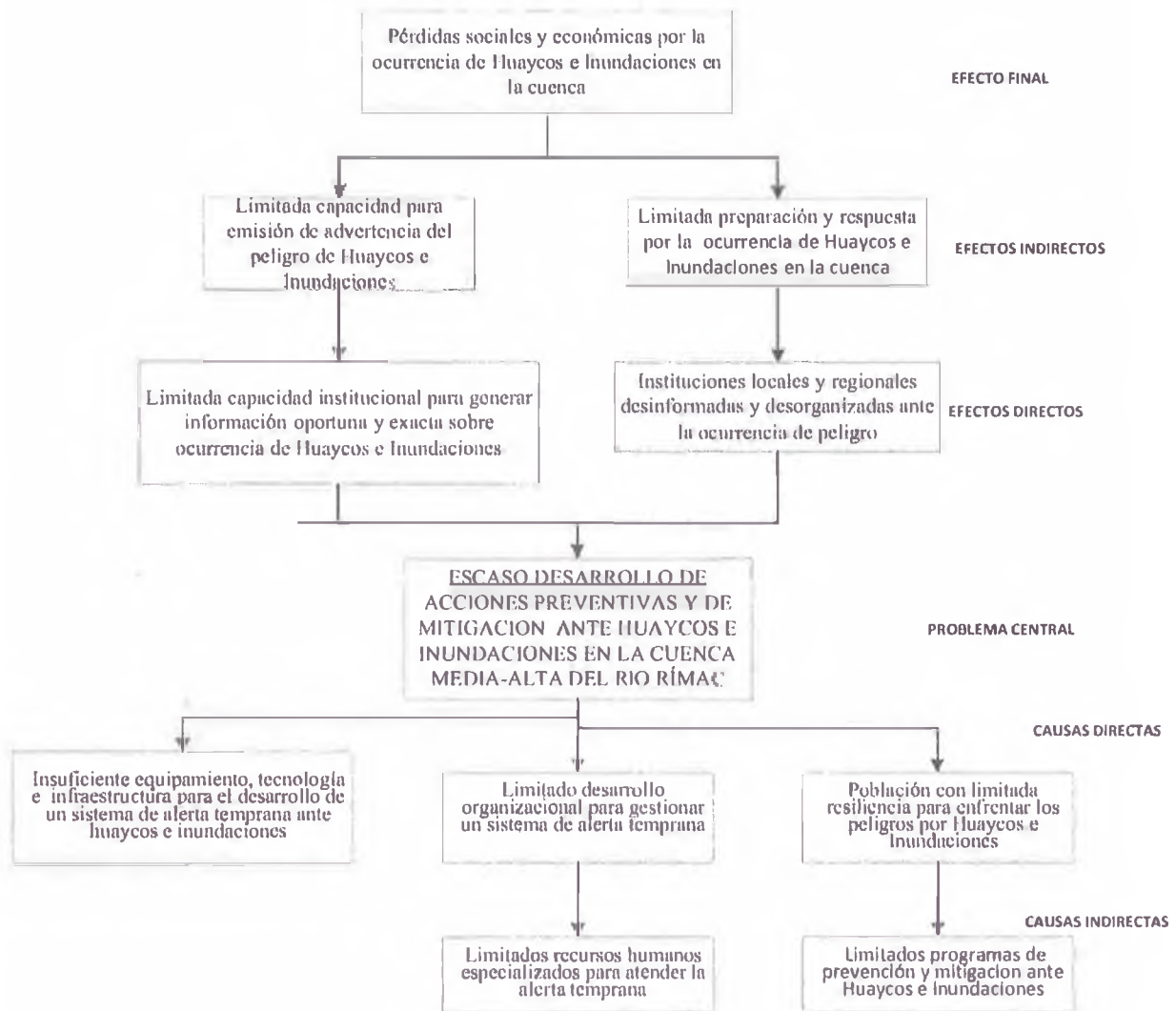
#### ✓ Causas indirectas:



- Limitados recursos humanos especializados para atender la alerta temprana.
- d) **Identificación de los Efectos del Problema Central:** Los efectos del problema se definen en torno a los impactos que tendría la ocurrencia de los peligros, sobre el desarrollo sostenible de la Cuenca; en base a ello se definen los siguientes efectos:
- ✓ **Efectos Directos:**
    - Limitada capacidad institucional para generar información oportuna y exacta sobre ocurrencia de Huaycos e Inundaciones.
    - Instituciones locales y regionales desinformadas y desorganizadas ante la ocurrencia de peligro.
  - ✓ **Efectos Indirectos:**
    - Limitada capacidad para emisión de advertencia del peligro de Huaycos e Inundaciones.
    - Limitada preparación y respuesta por la ocurrencia de Huaycos e Inundaciones en la cuenca.
- e) **Efecto final:** Pérdidas sociales y económicas por la ocurrencia de Huaycos e Inundaciones en la cuenca
- f) **Presentación del Árbol de Causas y Efectos:** El árbol de causas y efectos es la unión causas y efectos definidos previamente como se observa en la siguiente Figura N° 6.2



**Figura N° 6.2**  
**Árbol de Causas y Efectos**







- g) **Identificación de los Medios del Objetivo Central:** Para la definición del árbol de Medios-Fines tomamos como referencia el árbol de Causas-Efectos, para en términos de redacción estructurarlos de manera positiva, expresados en las tablas N° 20 y 19

**Tabla N° 20**  
**Identificación de Medios Directos**

<b>Causas Directas</b>	<b>Medios Directos</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Insuficiente equipamiento, tecnología e infraestructura para el desarrollo de un sistema de alerta temprana ante huaycos e inundaciones.</li><li>▪ Limitado desarrollo organizacional para gestionar un sistema de alerta temprana.</li><li>▪ Población con limitada resiliencia para enfrentar los peligros por Huaycos e Inundaciones.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Óptimo Equipamiento, tecnología e infraestructura para el desarrollo de un sistema de alerta temprana ante huaycos e inundaciones</li><li>▪ Eficiente desarrollo organizacional para gestionar un sistema de alerta temprana</li><li>▪ Población con mayor resiliencia para enfrentar los peligros de Huaycos e Inundaciones.</li></ul>



**Tabla N° 21**  
**Identificación de Medios Indirectos**

<b>Causas Indirectas</b>	<b>Medios Indirectos</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Limitados recursos humanos especializados para atender la alerta temprana.</li><li>▪ Limitados programas de prevención y mitigación ante Huaycos e Inundaciones.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Recursos humanos especializados para atender la alerta temprana.</li><li>▪ Eficientes programas de prevención y mitigación ante Huaycos e Inundaciones.</li></ul>

- h) **Identificación de Fines del Objetivo Central:** Para la definición del árbol de fines tomamos como referencia los efectos directos generados del Problema central, a fin de ser convertidos en positivos, obteniendo la siguiente resultante: (Ver tabla N° 22)



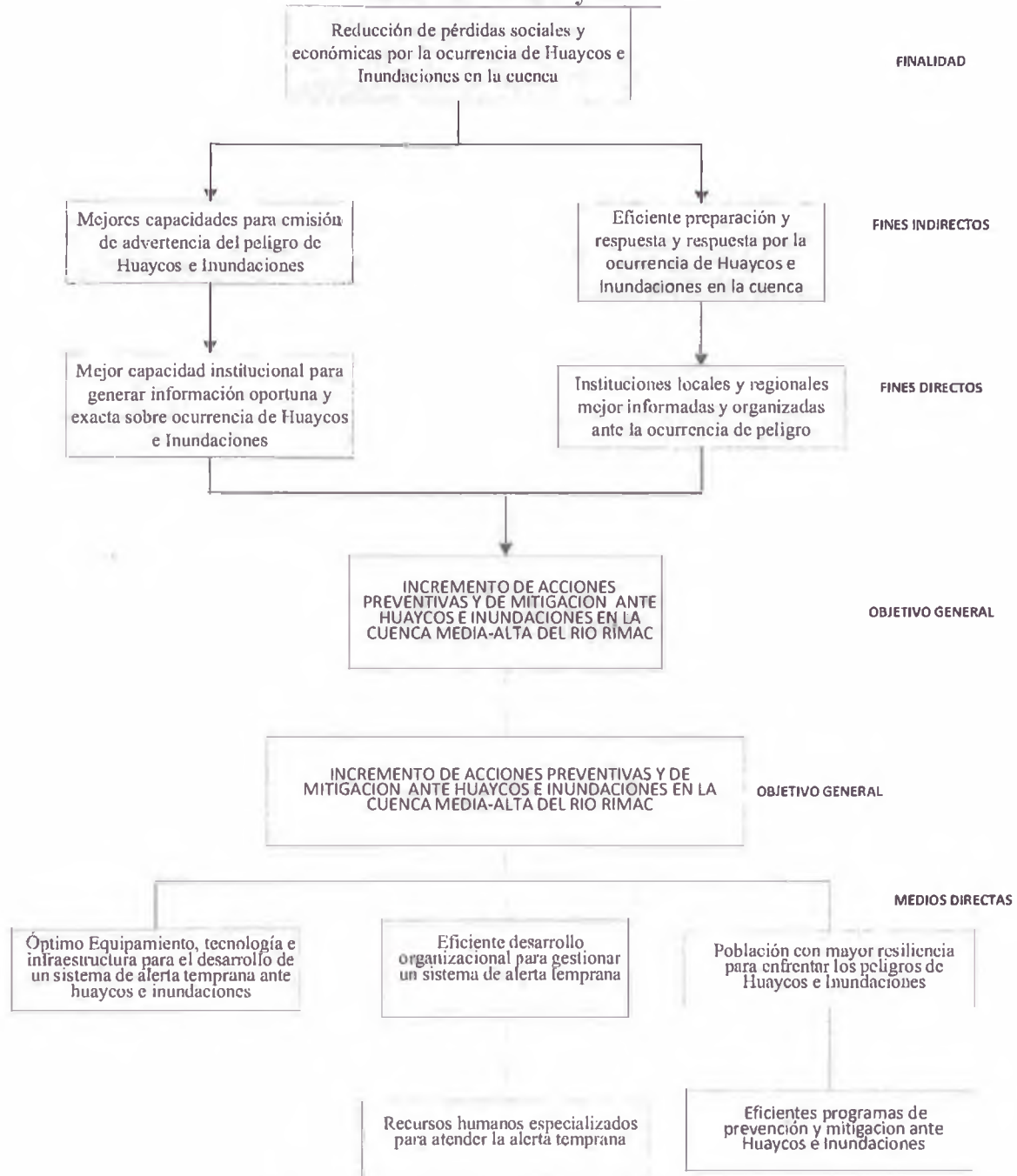
**Tabla N° 22**  
**Identificación de Fines Directos**

<b>Efectos Directos</b>	<b>Fines Directos</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Limitada capacidad institucional para generar información oportuna y exacta sobre ocurrencia de Huaycos e Inundaciones.</li><li>▪ Instituciones locales y regionales desinformadas y desorganizadas ante la ocurrencia de peligro.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Mejor capacidad institucional para generar información oportuna y exacta sobre ocurrencia de Huaycos e Inundaciones.</li><li>▪ Instituciones locales y regionales mejor informadas y organizadas ante la ocurrencia de peligro.</li></ul>
<b>Efectos Indirectos</b>	<b>Fines Indirectos</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Limitada capacidad para emisión de advertencia del peligro de Huaycos e Inundaciones.</li><li>▪ Limitada preparación y respuesta por la ocurrencia de Huaycos e Inundaciones en la cuenca.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Mejores capacidades para emisión de advertencia del peligro de Huaycos e Inundaciones.</li><li>▪ Eficiente preparación y respuesta por la ocurrencia de Huaycos.</li></ul>

- i) **Presentación del Árbol de Medios y Fines:** Juntamos en este caso los árboles de medios y fines previamente establecidos, ubicando el objetivo central en el núcleo del árbol, de manera similar a lo realizado en el caso del árbol de causas – efectos. A continuación presentamos el árbol de objetivos para el caso desarrollado:(Ver figura N° 6.3)



**Figura N° 6.3**  
**Árbol de Medios y Fines**





**j) Objetivos General y Específico del Proyecto**

**Objetivo General:** Disminuir las pérdidas sociales y económicas generadas por los Huaycos e Inundaciones en la Cuenca del río Rímac

**Objetivos Específicos:**

- ✓ Implementar un Sistema de Alerta Temprana que permitan alertar a la población asentada en la cuenca del río Rímac, por Huaycos e Inundaciones.
- ✓ Implementar un proceso de coordinación con los actores de la cuenca.
- ✓ Implementación de talleres de sensibilización a autoridades y población para una preparación y respuesta ante la ocurrencia de Huaycos e Inundaciones.

Se describe la Matriz de Marco Lógico de la propuesta del proyecto. (Ver tabla N° 24).

**Tabla N° 23**  
**Matriz Marco Lógico**

<b>MATRIZ MARCO LÓGICO</b>			
<b>RESUMEN NARRATIVO</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>MEDIOS DE VERIFICACIÓN</b>	<b>SUPUESTOS</b>
<b>FIN</b>			
Disminuir las pérdidas sociales y económicas generadas por los Huaycos e Inundaciones en la Cuenca del río Rímac.	<p>A partir del 2019 las pérdidas de vidas humanas se reducirán a cero y el número de heridos disminuirán 50% respecto a las ocurridas en el año 2016.</p> <p>A partir del año 2019 el tiempo de espera en la rehabilitación de la carretera central disminuirá en el 80%.</p>	<p>Informes del COER y del Ministerio de Salud.</p> <p>Informes del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.</p>	<p>Funcionamiento Óptimo del Sistema de Alerta Temprana de acuerdo a lo programado.</p> <p>Exista voluntad política para la utilización de la información del SAT en la gestión de riesgo.</p> <p>Que los actores de la cuenca se comprometan a trabajar en la preparación y respuesta con la información del SENAMHI.</p> <p>La comunidad ha emponderado el SAT.</p>



CAPÍTULO 6. ANÁLISIS COMPARATIVO DE AMBAS REDES DE MONITOREO

<b>PROPOSITO</b>			
Implementar un sistema de alerta temprana Hidrometeorológica en la cuenca del Río Rímac.	Hasta fines del 2018 la zona cuenta con un Sistema de Alerta Temprana (SAT) Hidrometeorológica implementado.	INFORME DE SENAMHI	Información entregada por el SAT es utilizada adecuadamente por las autoridades.  La población responde a las alertas y disposiciones emitidas por las en relación al SAT.
<b>COMPONENTES</b>			
<b>1.- Proceso de Reclutamiento de Personal para el SAT en SENAMHI.</b>	A mediados de 2018 se encuentran contratados el personal especializado para el SAT en la cuenca	Informes del SENAMHI.	Existencia de profesionales en el mercado Vinculados a la temática de alerta temprana.
<b>2.-Ampliación de Cobertura de Red Hidrometeorológicas</b>	A fines del año 2018, la zona cuenta con una ampliación de cobertura de estaciones Hidrometeorológicas	Contrato de compra de equipos.  Actas de entrega.  Recepción.  Informes de instalación.	Proceso de adquisición óptimo.  Entrega oportuna de las estaciones por parte del proveedor.  Condiciones ambientales y logísticas favorables para instalación de estaciones.
<b>3.-Red de Comunicación Modernizada.</b>	A fines del 2018, se dispone de una red de comunicación moderna.	Contrato de compra de equipos.  Actas de entrega.  Recepción.  Informe de instalación.	Entrega oportuna de equipos de telecomunicaciones por el proveedor.  Cobertura apropiada servicio GPRS.
<b>4.-Radar Meteorológico Instalado.</b>	A fines del 2018 se ha instalado un radar meteorológico en la zona.	Contratos de compra de equipos.  Actas de entrega.  Recepción.	Proceso de adquisición óptimo.  Entrega oportuna de las estaciones por parte del proveedor.



CAPÍTULO 6. ANÁLISIS COMPARATIVO DE AMBAS REDES DE MONITOREO

		Informes de instalación.	Condiciones ambientales y logísticas favorables para instalación del radar.
<b>5.-Base de Datos Modernizada.</b>	A fines del 2018, se dispone de una base de datos moderna.	Informe Técnico.	Existencia de hardware, software y equipo técnico para la modernización de la base de datos.
<b>6. Programas de Sensibilización Establecidos.</b>	A fines del 2018, se dispone de programas de capacitación y sensibilización implementados a Autoridades y población	Actas de Reuniones Talleres de coordinación	Cumplimiento de planes de sensibilización
<b>8.- Socialización sobre Escenarios y Funcionamiento del SAT.</b>	A fines del 2018 se ha desarrollado cuatro eventos para socializar sobre escenarios y funcionamiento del SAT.  A fines del 2018 se ha ejecutado un plan de difusión para la ciudadanía.	Lista de participantes.  Contrato de medio de publicidad.	Cumplimiento de planes de socialización.

A continuación se describen los medios para lograr los objetivos propuestos y las acciones a tomar. (Ver tabla N° 24).



**Tabla N° 24**  
**Mapa de Medios y Acciones**

<b>Medio</b>	<b>Acciones</b>
1. Óptimos Equipos, Tecnología e infraestructura para el desarrollo de un sistema de alerta temprana ante huaycos e inundaciones.	1.1. Adquisición de estaciones hidrológicas y meteorológicas.
	1.2. Adquisición de equipos de telemetría GPRS.
	1.4. Adquisición de Servicio de Transmisión de Datos GPRS.
	1.5 Construcción de Centro de Alerta Temprana en Chosica.
	1.6. Adquisición de radar LAWR.
	1.7. Capacitación de personal en tecnología de radar.
	1.8. Desarrollo de un programa de difusión de información: Emisión de Alertas, Disseminación, Información e Investigaciones.
	2. Eficientes programas de prevención y mitigación ante huaycos e inundaciones.
2.2. Desarrollo de Simulacros ante Huaycos e Inundaciones.	
3. Eficientes desarrollo organizacional para gestionar un Sistema de Alerta Temprana.	
	3.2 Incorporación de profesional especializado.
	3.3 Desarrollo de Estrategia Organizacional para Gestionar el Sistema de Alerta Temprana.





Los costos asociados a la implementación de un sistema de alerta temprana ante Huaycos e Inundaciones se describen en la tabla N° 25.

**Tabla N° 25**  
**Costo de Sistema de Alerta Temprana**

COMPONENTES	Costo (S/.)
<b>1.-Ampliacion de Cobertura de Red Hidrometeorológicas</b>	
Adquisición de estaciones automáticas (04)	400,000
Instalación de estaciones automáticas (04)	40,000
<b>2.-Red de Comunicación Modernizada.</b>	
Adquisición de equipos de telemetría GPRS (11)	173,932
Adquisición de Servicio de Transmisión de Datos GPRS. (11)	1,100
<b>3.-Radar Meteorológico Instalado</b>	
Sensores	429,692
Consumibles	12,816
Equipos complementarios	227,128
Instalación del Radar	165,184
Vehículo	100,000
UPS	30 000
Grupo Electrónico	35 000
Infraestructura	80,000
Interfaces de archivos del Radar a base de datos del SENAMHI	6,000
Entrenamiento	78,676
<b>4.-Base de Datos Modernizada</b>	
Adquisición de Hardware	100,000
Adquisición de Software	50,000
Capacitación	
<b>5.-Programa de Sensibilización Establecido</b>	
Talleres de Sensibilización a autoridades	25,000
<b>6.- Socialización sobre Escenarios y Funcionamiento del SAT.</b>	
Talleres de Socialización del funcionamiento de SAT a la población	10,000
Difusión en medios de comunicación del SAT	20,000
<b>TOTAL</b>	<b>1,984,528</b>

El costo total representa un aproximado de S/. **1,984,528.00** soles, con un horizonte de vida del proyecto de 10 años.



Los costos de operación y mantenimiento del sistema se describen en la tabla N° 26

**Tabla N° 26**  
**Costos Anuales de Operación y Mantenimiento**

			Costo Mensual (S/.)	Costo Anual (S/.)
<b>COSTO DE RECURSOS HUMANOS</b>				
Jefe de proyecto	1	6,700	6,700	80,400
Contrato de Ing. Electrónico	2	6,700	13,400	160,800
Contrato de Ing. Meteorólogo	2	6,700	13,400	160,800
Contrato de Ing. Hidrólogos	2	6,700	13,400	160,800
Contrato de Asistente Administrativo	2	4,260	8,520	102,240
Chofer	1	3,500	3,500	42,000
Servicio de Vigilancia				200,000
<b>COSTO DE INSUMOS BÁSICOS</b>				
Servicio de Comunicación GPRS			1,100	13,200
Energía Eléctrica			200	2,400
Agua			100	1,200
Teléfono			150	1,800
Internet			900	10,800
<b>TOTAL</b>				<b>936,440</b>

<b>COSTO ANUAL DE MANTENIMIENTO (s/.)</b>	
Radars	11,900
Estaciones	10,000
<b>TOTAL</b>	<b>21,900</b>

### 6.3 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA DE LA PROPUESTA

Se ha elaborado una evaluación económica de la propuesta, para determinar su factibilidad. A tal efecto se ha considerado que el año 2017 se contaría con el presupuesto para el proyecto y sería el año cero. A partir de allí se ha establecido un horizonte de 10 años para el proyecto.

Con esta consideración se ha realizado el análisis económico del proyecto.



Inicialmente se evaluaron los costos de inversión y los costos de operación y mantenimiento, por la implementación del Sistema de Alerta Temprana, correspondiendo a S/. 1'984,528.00 soles, S/. 936,440 soles y S/. 21,900 soles respectivamente.

También se ha evaluado los beneficios que podría traer el proyecto en función de pérdidas evitadas.

Se ha estimado que si ocurrieran daños a la salud de las personas o cuando sea inminente la atención de salud en forma adecuada a las personas que presenten daños a la salud, por efecto de lluvias del tipo torrenciales, deslizamientos, huaycos, Inundaciones, en la zona de Pucruchacra, San Mateo, Lima; se requeriría S/207,700 soles. MINSa (2012)

Asimismo, según una estimación de costos generados por la interrupción del tránsito en la carretera central en un tramo de un kilómetro durante 10 horas, como consecuencia de un huayco. Se afectarían a 1,452 vehículos ligeros, 654 buses y 1,677 camiones, incluidos pasajeros, tripulantes y carga. Esto produciría un tiempo perdido de pasajeros, tripulación y flota, daños a productos perecibles, costos en transbordo de carga. Zapata, N (2012).

Ambas pérdidas ocasionadas por daños a la salud e interrupción a la carretera central, se transformarían en costos evitados de existir un sistema de alerta que permita avisar con la debida antelación. Ver Tabla 27.

**Tabla N° 27**  
**Pérdidas Evitadas por Uso del Sistema de Alerta Temprana (S/.)**

	<b>Beneficios</b>
<b>Pérdidas de Tiempo Evitadas</b>	<b>1'404,790</b>
<b>Costo de Traslado Carga evitados</b>	<b>201,240</b>
<b>Perdidas productos Perecibles evitados</b>	<b>150,930</b>
<b>Perdidas en Atención Hospitalaria evitadas</b>	<b>207,700</b>
<b>Beneficio Total</b>	<b>1'964,660</b>

De acuerdo a este análisis se podría llegar a evitar pérdidas por un monto de S/. 1'964,660 (un millón novecientos sesentecuatro mil seiscientos sesenta soles)



De acuerdo a los indicadores económicos encontrados en el flujo de caja, encontramos un VAN de 3'302,672.77, un TIR de 0.36 y el Beneficio/Costo esperado es del orden de 1.47, por lo que se justificaría ampliamente esta inversión en prevención.



**Tabla N° 28**  
**Evaluación Económica (Flujo De Caja) (S/.)**

HORIZONTE DEL PROYECTO											
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>BENEFICIOS</b>											
<b>BENEFICIOS VALORADOS</b>	0	0	1'964,660	1'964,660	1'964,660	1'964,660	1'964,660	1'964,660	1'964,660	1'964,660	1'964,660
<b>INVERSION</b>	1'779,528	205,000									
<b>COSTOS DE OPERACIÓN</b>			936,440	936,440	936,440	936,440	936,440	936,440	936,440	936,440	936,440
<b>COSTOS DE MANTENIMIENTO</b>			21,900	21,900	21,900	21,900	21,900	21,900	21,900	21,900	21,900
<b>COSTO TOTAL</b>	1'779,528	205,000	958,340	958,340	958,340	958,340	958,340	958,340	958,340	958,340	958,340
<b>FLUJO NETO DE CAJA</b>	-1'779,528	-205,000	1'006,320	1'006,320	1'006,320	1'006,320	1'006,320	1'006,320	1'006,320	1'006,320	1'006,320

<b>VAN</b>	3'302,672.77
<b>TIR</b>	0.36
<b>VAN BENEFICIOS</b>	10'285,930.66
<b>VAN COSTOS</b>	6'983,257.89
<b>B/C</b>	1.47



## CONCLUSIONES

La ocurrencia de Huaycos e Inundaciones en la cuenca media alta del río Rímac, está asociada a la ocurrencia de tormentas rápidas que dan lugar a intensas precipitaciones muy localizadas, que requieren ser detectadas con la debida anticipación a fin de evitar pérdidas materiales y daños a la vida y la salud de la población.

Los umbrales críticos de precipitación para ocurrencia de huaycos es 10 mm/día y 3 mm/hora en la cuenca. No se ha establecido umbrales de caudales ya que se observó que la ocurrencia de huaycos en las quebradas tributarias no necesariamente estaba asociado a un aumento del caudal del río Rímac.

La diferencia entre la ocurrencia de huaycos y el inicio de la precipitación en la cuenca es aproximadamente media hora. Por ese motivo se ha propuesto un nuevo sistema de alerta temprana, que permite emitir una alerta oportuna a los habitantes de Chosica.

La Red de Estaciones analizadas del SENAMHI tiene limitaciones para apoyar el desarrollo de avisos oportunos de Huaycos e Inundaciones por deficiencias en el sistema de transmisión de datos y cobertura areal de la precipitación.

Se ha propuesto criterios de diseño a la red actual del SENAMHI, recomendándose el incremento de 4 nuevas estaciones en lugares específicos para contribuir al monitoreo de Huaycos e Inundaciones.

Se ha elaborado una propuesta de mejora del sistema de monitoreo que actualmente cuenta el SENAMHI, con mejor sistema de comunicaciones, mediante tecnología GPRS y de medición efectiva de la precipitación mediante un Radar de banda X, que permite estimar la precipitación con suficiente anticipación para emitir una alerta oportuna.

Se plantea una propuesta de proyecto para implementar la mejora tecnológica requerida para el monitoreo y pronóstico de Huaycos e Inundaciones. La evaluación económica preliminar indica que el proyecto es viable desde el punto de vista económico.

Se ha propuesto un modelo de gestión a fin de poder los objetivos que se ha trazado el nuevo sistema de monitoreo.



## RECOMENDACIONES

Se recomienda desarrollar líneas de investigación en modelado de flujo de lodo o detritos en los puntos críticos y en base a este resultado, establecer una gestión correctiva del riesgo, especialmente en aquellos puntos que afecten las líneas vitales de la cuenca.

Se recomienda que el Municipio de Lurigancho Chosica, en coordinación con el SENAMHI, elabore un proyecto de inversión pública a fin de poder contar con este nuevo sistema que permitirá gestionar mejor el riesgo ante la probable ocurrencia de Huaycos e Inundaciones en la cuenca media alta del río Rímac.

Se sugiere que el SENAMHI establezca un convenio con la Municipalidad de Chosica para obtener un predio donde instalar el radar y establecer una oficina de enlace, para el manejo del radar en época de lluvias.



---

## BIBLIOGRAFÍA

---

**AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA (ANA) (2010)** Estudio Hidrológico y Ubicación de la Red de Estaciones Hidrométricas en la Cuenca del Río Rímac, Lima-Perú. Disponible en:

[http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/1\\_estudio\\_hidrologico\\_cuenca\\_a\\_rimac\\_-\\_volumen\\_i\\_-\\_texto\\_-\\_final\\_2010\\_0.pdf](http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/1_estudio_hidrologico_cuenca_a_rimac_-_volumen_i_-_texto_-_final_2010_0.pdf)

**ACOSTA, L Y PÉREZ, J (2011)**, El Radar Meteorológico como Herramienta para la Medición de la Precipitación Espacialmente Distribuida Tesis Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. Disponible en:

<http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/2207/2/141115.pdf>

**AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON. (1988)**, Borrador del informe final Para el Estudio de Plan Maestro sobre el Proyecto de Prevención de desastres en la cuenca del rio Rímac. Disponible en:

[http://open\\_jicareport.jica.go.jp/617/617/617\\_709\\_10652089.html](http://open_jicareport.jica.go.jp/617/617/617_709_10652089.html)

**ALLENDE, T., Et. Al. (2012)** Aproximación al estudio de vulnerabilidad ante desastres en Lima Metropolitana. Lima, Perú. Disponible en:

<https://ciudadesfocalesmirrlima.files.wordpress.com/2012/08/una-aproximacion-al-estudio-de-vulnerabiliad1.pdf>

**ARIZTIZABAL, E. (2011)**, Análisis de Umbrales Empíricos de Lluvia para el Pronóstico de Movimientos en Masa en el Valle de Aburrá, Colombia, Revista EIA, ISSN 1794-1237 Número 15, p. 95-111. Medellín Colombia.

**BOSHELL, J.; LEÓN, G.; PEÑA A. (2011)** “Metodologías para generar y utilizar información meteorológica a nivel subnacional y local frente al cambio climático”, Biblioteca Asocam. Disponible en: <http://www.asocam.org/biblioteca/items/show/265>

**BRUTÉ, G (2015)** X-Band radar design for quantitative precipitation estimation. Meteorological Technology International, September 2015, Surrey, UK.

**CARDONA, O. D. (2001)**. La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de Vulnerabilidad y riesgo; una crítica y una revisión necesaria para la gestión. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. Disponible en:

[http://www.buyteknet.info/fileshare/data/ana\\_pla\\_sis\\_amb/Cardona.pdf](http://www.buyteknet.info/fileshare/data/ana_pla_sis_amb/Cardona.pdf)

**CARE. (2013)**. Análisis, lecciones aprendidas y propuestas para la implementación de los SATMC en el Perú. Lima, Perú.

**CARRILLO, A. (s.f)**, Flujo de escombros en la Cuenca del Río Rímac – Perú. Disponible en: [http://www.acingenieros.com/descargas/pdfs/Articulo\\_04\\_Parte\\_03.pdf](http://www.acingenieros.com/descargas/pdfs/Articulo_04_Parte_03.pdf)





**CENEPRED (2013)**, Escenario de Riesgos ante la temporada de lluvias 2013 - 2014 (Pronóstico Diciembre 2013 – Febrero 2014) / Perú. Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. Lima. Disponible en:  
<http://cenepred.gob.pe/escenarios-de-riesgos/>

**EWC III (2006)** Tercera Conferencia Internacional sobre Alerta Temprana. Desarrollo de Sistemas de Alerta temprana. Lista de comprobación. Bonn Alemania. Disponible en:  
[http://www.unisdr.org/files/608\\_spanish.pdf](http://www.unisdr.org/files/608_spanish.pdf)

**FATORELLI, S y FERNANDEZ, P. (2011)**, Diseño Hidrológico versión digital. Disponible en:  
[http://www.ina.gov.ar/pdf/Libro\\_diseno\\_hidrologico\\_edicion\\_digital.pdf](http://www.ina.gov.ar/pdf/Libro_diseno_hidrologico_edicion_digital.pdf)

**FIDEL, S., ZEGARRA, L., VILCHEZ, M., FRANCO-CASTILLO, N. Y JACKSON, L.E. (2006)**, Evolution of landslide activity, and the origin of debris flows in the El Niño affected Payhua Creek basin, Matucana area, Huarochiri, Peru. Engineering geology for tomorrow's cities, 10th IAEG International Congress, Proceedings 32, 12 p., Nottingham.

**GUADALUPE, E y CARRILLO, N. (2011)**, Caracterización y Análisis de Huaycos del 5 de Abril de 2012 Chosica-Lima, Vol. 15 No 29 pp 69-82 Rev., del Instituto de Investigación, FIGMMG-UNMSM.

**INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DEL ECUADOR (INAMHI) (2010)** Proyecto “Implementación Del Sistema De Alerta Temprana En La Cuenca Del Río Zarumilla. Ecuador. Disponible en:  
<http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wp-content/uploads/2013/04/PROYECTO-SAT-ZARUMILLA-INAMHI.pdf>

**ILSE ELIZABETH GAYL. (1983)**, A New Real-time Weather Monitoring and Flood Warning Approach. Thesis, University of Colorado, Colorado, Estados Unidos de América.

**INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL INDECI (2005)**, Mapa de Peligros y Plan de Usos del Suelo y Medidas de Mitigación ante Desastres de la ciudad de Chosica”. Lima. Disponible en:  
<http://www.bvcooperacion.pe/biblioteca/handle/123456789/1323>

**INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL (INDECI) (2012)** Informe de emergencia N° 321 - 13/04/2012/COEN-INDECI/17:00 horas (INFORME N° 09) Disponible en:  
[http://sinpad.indeci.gob.pe/UploadPortalSINPAD/COEN\\_Noticia/INFORME%20DE%20EMERGENCIA%20N%C2%BA%20321-%2013ABR2012%20-](http://sinpad.indeci.gob.pe/UploadPortalSINPAD/COEN_Noticia/INFORME%20DE%20EMERGENCIA%20N%C2%BA%20321-%2013ABR2012%20-)



---

%20HUAYCOS%20AFECTA%20LAS%20PROVINCIAS%20DE%20LIMA%20%20Y%20HUAROCHIRI%20\_9\_%20CONSOLIDADO.pdf

**INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL (INDECI) (2015)** Reporte de Situación N° 291-23/02/15 / COEN – INDECI/ 16:00 HORAS (Reporte N° 12)  
Disponible en:  
<http://www.indeci.gob.pe/objetos/alerta/MTIyNw==/20150223170828.pdf>.

**INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL (INDECI) (2015)** Informe de emergencia N° 581 - 08/05/2015/COEN-INDECI/12:30 horas (INFORME N° 09)  
Disponible en:  
<http://www.indeci.gob.pe/objetos/alerta/MTM1Nw==/20150508202416.pdf>.

**INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA E INFORMATICA (INED) (2015)** . Sitio web oficial del INEI; contiene el Sistema de Información Regional para la Toma de Decisiones. Disponible en:  
<http://webinei.inei.gob.pe:8080/SIRTOD/#>

**INGEMMET (2010)**, Mapa de Susceptibilidad a Movimientos en Masa.  
Disponible en:  
<http://www.ingemmet.gob.pe/mapa-de-susceptibilidad-a-los-movimientos-en-masa>

**JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA) (1988)**. Final report for the master plan study on the disaster prevention project in the Rímac River basin. Japan International Cooperation agency, Tokyo, 6 volumes.

**KUROIWA HORIUCHI, J. (2010)**, Reducción de desastres, Editorial NSG. Lima, Perú.

**LEMUS, A y PACHECO, M (2014)** Diseño de un Sistema de Alerta Temprana y estimación de intensidad de lluvia utilizando Radares de Banda X del Sistema LAWR de EL Salvador, Tesis Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.  
Disponible en: <http://ri.ues.edu.sv/8415/1/19200990.pdf>

**LOUCKS, P. Y VAN BEEK, E., (2005)**, Water Resources Systems Planning and Management. An Introduction to Methods, Models and Applications. UNESCO, Paris.  
Disponible en:  
[https://ecommons.cornell.edu/bitstream/handle/1813/2804/16\\_appendix\\_b.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://ecommons.cornell.edu/bitstream/handle/1813/2804/16_appendix_b.pdf?sequence=5&isAllowed=y)

**MASKREY, A. (1989)**, Manejo popular de los desastres naturales. Ed. ITDG. Lima, Perú. Disponible en:  
<http://www.bvcooperacion.pe/biblioteca/handle/123456789/6903>



**MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS (MEF) (2010)**, Evaluación de la Rentabilidad Social de las Medidas de Reducción del Riesgo de Desastre en los Proyectos de Inversión Pública. Lima, Perú.

**MINISTERIO DE SALUD (MINSA) (2012)**, Plan de Contingencia de Salud Cerro Pucruhacra – San Mateo. Disponible en:  
[http://www.minsa.gob.pe/portada/Especiales/2011/temporadadelluvias/Contingencia/Plan\\_Contingencia-San-Mateo.pdf](http://www.minsa.gob.pe/portada/Especiales/2011/temporadadelluvias/Contingencia/Plan_Contingencia-San-Mateo.pdf)

**NATIONAL OCEANIC ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). (2010)**, Flash Flood Early Warning System Reference Guide, University Corporation for Atmospheric Research. MD. E.E.U.U

**NATIONAL OCEANIC ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). (2010)**, Guía de Referencia para Sistemas de Alerta Temprana de Crecidas Repentinas. MD. E.E.U.U. Disponible en:  
[http://www.meted.uear.edu/communities/hazwamsys/ffewsrsg\\_es/FFG\\_completa\\_es.pdf](http://www.meted.uear.edu/communities/hazwamsys/ffewsrsg_es/FFG_completa_es.pdf)

**OLLERO, (1997)**. Crecidas e inundaciones con riesgo hidrológico: un planeamiento Didáctico. Lurralde: Investigación y espacio. Disponible en:  
<http://www.ingeba.org/lurralde/lurranet/lur20/200ollero20.htm>

**ORDOÑEZ, J. (2012)** ¿Qué Es Cuenca Hidrológica?. Cartilla Técnica de la Sociedad Geográfica de Lima. Lima, Peru. Disponible en:  
[http://www.gwp.org/Global/GWP-SAm\\_Files/Publicaciones/Varios/Cuenca\\_hidrologica.pdf](http://www.gwp.org/Global/GWP-SAm_Files/Publicaciones/Varios/Cuenca_hidrologica.pdf)

**ORGANIZACIÓN DE ESTADOS AMERICANOS (OEA). (2010)**, Manual para el diseño, instalación, operación y mantenimiento de sistemas comunitarios de alerta temprana ante inundaciones. Washington. Estados Unidos de Norteamérica.

**ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM) (2013)**, Manual del Sistema Mundial de Observación, OMM N° 544. Vol I. Ginebra Suiza. Disponible en:  
<https://drive.google.com/file/d/0BwdvoC9AeWjUYmpEMF9GQWJ1WHM/edit?pli=1>

**ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL OMM (2011)**, Manual on Flood Forecasting and Warning, No 1072. Ginebra. Suiza. Disponible en:  
<https://drive.google.com/file/d/0BwdvoC9AeWjUVTlfnVIZa19XckU/view?pli=1>

**ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM) (2010)**, Manual del Sistema de Proceso de Datos y Predicción, N0 485. Ginebra Suiza.



**ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM) (2010)**, Directrices sobre Sistemas de Alerta temprana y aplicación De predicción inmediata y Operaciones de Avisos, TD No. 1559. Ginebra. Suiza. Disponible en:

[http://www.wmo.int/pages/prog/amp/pwsp/documents/PWS21-TD1559\\_111543\\_es.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/amp/pwsp/documents/PWS21-TD1559_111543_es.pdf)

**ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM) (2008)**, Guía de Prácticas Hidrológicas, Vol. I. OMM N° 168. Vol I. Ginebra Suiza. Disponible en:

[http://www.whycos.org/hwrp/guide/index\\_es.php](http://www.whycos.org/hwrp/guide/index_es.php)

**ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM) (2006)**, Reglamento Técnico, OMM N° 49. Vol III. Ginebra Suiza. Disponible en:

[http://library.wmo.int/pmb\\_ged/wmo\\_49-v3-2006\\_es.pdf](http://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_49-v3-2006_es.pdf)

**ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM) (2006)**, Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos, OMM N° 8. Ginebra Suiza. Disponible en:

[https://2a9e94bc607930c3d739becc3293b562f744406b.googleusercontent.com/host/0BwdvoC9AeWjUazhkNTdXR XUzOEU/wmo\\_8-2014\\_es.pdf](https://2a9e94bc607930c3d739becc3293b562f744406b.googleusercontent.com/host/0BwdvoC9AeWjUazhkNTdXR XUzOEU/wmo_8-2014_es.pdf)

**ROGERS, D y TSIRKUNOV, V. (2011)** Implementing Hazard Early Warning Systems. Disponible en:

[http://www.preventionweb.net/files/24259\\_implemtingearlywarningsystems1108.pdf](http://www.preventionweb.net/files/24259_implemtingearlywarningsystems1108.pdf)

**SATO, J (2012)**. La Gestión del riesgo de desastres en el Perú: Documento País Perú 2012.

Disponible en: [http://www.preventionweb.net/files/30760\\_perdocpaisperu2012.pdf](http://www.preventionweb.net/files/30760_perdocpaisperu2012.pdf)

**SECRETARIA DEL AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE (2015)**, Inundaciones urbanas y Cambio Climático: Recomendaciones para la Gestión, 1ra. Edición. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

**SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA SENAMHI (2009)**, Plan de Fortalecimiento del Sistema Nacional de observación del Clima.

**SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA SENAMHI (2013)**, Protocolo de Instalación y Operación de Estaciones Meteorológicas, Agrometeorológicas e Hidrológicas. Disponible en:

[http://www.senamhi.gob.pe/pdf/trans/1\\_rpe\\_0174-2013.pdf](http://www.senamhi.gob.pe/pdf/trans/1_rpe_0174-2013.pdf)

**SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA SENAMHI (2012)**. Análisis de la Información Hidrológica de Caudales Máximos del Río Rimac, para su aplicación en la Determinación de Caudales Máximos Avenidas. Informe Interno de la Dirección General de Hidrología y Recursos Hídricos. Lima. Perú.



**SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA SENAMHIOLLERO (2012).** Perfil de Proyecto: Mejoramiento y Ampliación de los Servicios de Generación de Información para la Prevención de los Desastres Naturales en las Cuencas de Moquegua y Tambo en la Región Moquegua. Documento Interno.

**SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA SENAMHI (2014).** Guía Técnica para la Formulación e Implementación de Planes de vigilancia de Crecidas en ríos del Territorio Nacional. Documento Interno de la Dirección General de Hidrología y Recursos Hídricos.

**STOLL, M; DE BIEVRE, B y COELLO, X (2008).** Términos de referencia para el diseño de la red de monitoreo hidrometeorológico y de calidad de agua, Proyecto Manejo Integrado de los Recursos Hídricos en la Hoya de Quito. UICN-Sur, Ecuador.

**UN/EIRD. (2009).** Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres. (Disponible en: [http://www.unisdr.org/files/7817\\_UNISDRTerminologySpanish.pdf](http://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf))

**UNESCO (2006),** Balance Hídrico Superficial del Perú a nivel Multianual. Documentos Técnicos del PHI-LAC, N° 1. Montevideo.

**VILLACORTA, S; FIDEL, L Y ZAVALA, V, (2012),** Mapa de Susceptibilidad a Movimientos en Masa del Perú. Disponible en <http://www.scielo.org.ar/pdf/raga/v69n3/v69n3a07.pdf>

**VILLACORTA, Et. Al. (2015),** Evaluación Geológica y Consecuencias de los Huaycos de Chosica del 23-03-15: Crónica de un Desastre [en línea] [fecha de consulta: 17 de Noviembre 2015] Disponible en: <http://www.sgp.org.pe/wp-content/uploads/HUAICOS-DE-CHOSICA-CR%C3%93NICA-DE-UN-DESASTRE-ANUNCIADO.pdf>

**ZAHUMENSKY, I. (2006).** Integrated National In-Situ Observational Network. METEOROLOGICK Y CASOPIS. Disponible en:

[https://www.wmo.int/pagesprog/www/IMOP/publications/IOM-94-TECO2006/5\(3\)\\_Zahumensky\\_Slovakia.pdf](https://www.wmo.int/pagesprog/www/IMOP/publications/IOM-94-TECO2006/5(3)_Zahumensky_Slovakia.pdf)

**ZAPATA, N. (2012),** El cambio climático en la institucionalidad del MEF y revisión del caso de la Inversión Pública. Presentación. Disponible en: [http://www.ipacc.pe/eacc/wp-content/uploads/4-RGarc%C3%ADa-NZapata\\_Per%C3%BA.pdf](http://www.ipacc.pe/eacc/wp-content/uploads/4-RGarc%C3%ADa-NZapata_Per%C3%BA.pdf)



ANEXOS

**Tabla N° 28**  
**Relación Altura – Precipitación en la Cuenca**

N°	Estación	Altitud (msnm)	Media Anual (mm)	Máxima en 24 horas (mm)
1	Aeropuerto Internacional	13	10.3	
2	Arahuay	2800	317.4	
3	Autisha	2171	200.2	30.8
4	Campo de Marte	159	7.8	
5	Canchacalla	2554	297.1	65.2
6	Carampoma	3489	410.4	33.3
7	Casapalca	4214	647.6	44
9	Chosica (PLU)	850	23.3	30.7
12	La Cantuta	850	20.5	
13	Lachaqui	3668	629.8	
14	Laguna Pirhua	4750	702.7	
15	Matucana	2479	285.2	35.2
16	Milloc	4398	863.2	79.4
17	Mina Colqui	4600	726.4	
18	Ñana	460	1.8	
19	Pariacancha	3800	704.6	
21	Río Blanco	3550	525.3	53
22	San José de Parac	3860	612.1	42
24	Santa Eulalia	959	33.4	36
25	Santiago de Tuna	2921	330.4	89.9



**Tabla N° 2 9**  
**Caudales Máximos Instantáneos Para Diferentes Períodos de Retorno**  
**Río Rímac - (Ajuste distribución Log Normal de 2 parámetros)**

<b>TR (años)</b>	<b>Caudales Máximos Instantáneos (m<sup>3</sup>/s)</b>
2	154.0
5	227.0
10	278.0
20	329.0
50	398.0
100	452.0
200	507.0
500	584.0
1000	646.0