



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

“Estudio Hidrológico para Propuesta de Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones  
en la Cuenca del Río Nepeña”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO CIVIL

**AUTORES:**

Valderrama Antaurco, Mike Nelson (ORCID: 0000-0002-1783-7523)

**ASESOR:**

Mg. Sigüenza Abanto Robert Wilfredo (ORCID: 0000-0001-8850-8463)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

DISEÑO DE OBRAS HIDRÁULICAS Y SANEAMIENTO

LIMA – PERÚ

2021

## **DEDICATORIA**

Dedico la presente tesis a nuestras familias y a nuestra querida UCV.

## **AGRADECIMIENTOS**

Un agradecimiento especial a nuestros docentes desde la ciudad de la pesca y el acero, Chimbote, del Perú para el mundo.

## Índice de contenidos

<b>DEDICATORIA</b> .....	II
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	III
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	IV
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	VI
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	VIII
<b>RESUMEN</b> .....	X
<b>ABSTRACT</b> .....	XI
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II. MARCO TEÓRICO</b> .....	7
<b>III. METODOLOGÍA</b> .....	33
<b>3.1 Tipo y diseño de Investigación</b> .....	34
<b>3.2 Variables y operacionalización</b> .....	35
<b>3.3 Población, muestra, muestreo</b> .....	38
<b>3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos</b> .....	39
<b>3.5 Procedimientos</b> .....	39
<b>3.6 Método de análisis de datos</b> .....	40
<b>3.7 Aspectos éticos</b> .....	41
<b>IV. RESULTADOS</b> .....	42

<b>V. DISCUSIÓN .....</b>	<b>59</b>
<b>VI. CONCLUSIONES.....</b>	<b>73</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>76</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>79</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>82</b>

## Índice de tablas

TABLA 1.	UBICACIÓN POLÍTICA DE LA CUENCA NEPEÑA.....	11
TABLA 2.	DEMARCACIÓNXHIDROGRÁFICA .....	12
TABLA 3.	DEMARCACIÓN ADMINISTRATIVA.....	12
TABLA 4.	CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS EN LA CUENCA DEL RÍO NEPEÑA .....	14
TABLA 5.	COMPONENTES DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA .....	18
TABLA 6.	COMPONENTES DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA .....	23
TABLA 7.	COMPONENTES DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA .....	40
TABLA 8.	RESULTADOS DE PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS CUENCA NEPEÑA ....	43
TABLA 9.	RESULTADOS DE PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS CUENCA NEPEÑA ....	44
TABLA 10.	RESULTADOS DE PARÁMETROS DE FORMA DE CADA SUB- CUENCA .....	44
TABLA 11.	RESULTADOS DE CURVA HIPSOMÉTRICA Y FRECUENCIA DE ALTITUDES ..	45
TABLA 12.	RESULTADOS DE RELIEVE DE LA CUENCA PARA LA GENERACIÓN DE CURVA HIPSOMÉTRICA DETALLADA.....	48
TABLA 13.	RESULTADOS DE ÁREAS PARCIALES Y LONGITUDES EQUIVALENTES. ....	51
TABLA 14.	RESULTADOS DE ÁREAS PARCIALES Y LONGITUDES EQUIVALENTES. ....	52
TABLA 15.	RESULTADOS DE LONGITUD ACUMULADA.....	53

TABLA 16.	RESULTADOS DE PENDIENTES PROMEDIO DE LA SUPERFICIE DE LA CUENCA	56
TABLA 17.	DATOS OBTENIDOS DE (ARCGISS):.....	58
TABLA 18.	RESULTADOS OBTENIDOS DE (ARCGISS):.....	58
TABLA 19.	COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LA SUB-CUENCA LAREA Y BAJO NEPEÑA.	61
TABLA 20.	CUADRO PRESUPUESTO REFERENCIAL DE INSTALACIÓN.....	69
TABLA 21.	CUADRO PRESUPUESTO REFERENCIAL DE OPERACIÓN ANUAL .....	71

## Índice de figuras

FIGURA 1.	CONSISTENCIA DE LA INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA.....	14
FIGURA 2.	PLUVIÓMETRO MANUAL.....	20
FIGURA 3.	PLUVIÓMETRO AUTOMÁTICO .....	21
FIGURA 4.	MÍNIMO DE PLUVIÓMETRO DE UNA RED DE MEDICIÓN .....	22
FIGURA 5.	DISEÑO .....	35
FIGURA 6.	CURVA HIPSOMÉTRICA DE LA CUENCA DEL RIO NEPEÑA .....	45
FIGURA 7.	DIAGRAMA DE FRECUENCIA DE ALTITUDES DE LA CUENCA DEL RIO NEPEÑA	46
FIGURA 8.	CURVA HIPSOMETRICA Y ALTITUD MEDIA DE LA CUENCA DEL RIO NEPEÑA DETALLADA	47
FIGURA 9.	RESULTADOS DE RECTÁNGULO EQUIVALENTE.....	50
FIGURA 10.	RESULTADOS DE RECTÁNGULO EQUIVALENTE EN ARCGIS. ....	52
FIGURA 11.	PERFIL DE LA CUENCA DEL RIO NEPEÑA .....	54
FIGURA 12.	RESULTADOS DE LONGITUD DEL CURSO PRINCIPAL EN ARCGIS. ....	55
FIGURA 13.	RESULTADOS DE LONGITUD DEL CURSO PRINCIPAL EN ARCGIS. ....	55
FIGURA 14.	PENDIENTE PROMEDIO DE LA SUPERFICIE DE LA CUENCA .....	56
FIGURA 15.	RESULTADOS DE LA RED HÍDRICA EN ARCGIS.....	57
FIGURA 16.	PUNTO DE DESCARGA DE LAS SUBCUENCAS HÚMEDAS.....	60

FIGURA 17. TIEMPO MÁXIMO DE REACCIÓN O RESPUESTA..... 62

FIGURA 18. INVENTARIO DE PUNTOS CRÍTICOS..... 72

## Resumen

El propósito de la investigación fue elaborar un estudio hidrológico para propuesta de sistema de alerta temprana de inundaciones en el Rio Nepeña, es una investigación sustantiva y descriptiva de diseño no experimental transversal. La población de estudio fue la Cuenca del Rio Nepeña en la cual están situadas las poblaciones afectadas por las inundaciones. Debido a que se evaluó a nivel de cuenca, las zonas vulnerables de estos fenómenos naturales fueron objeto de estudio.

La metodología de la investigación consistió principalmente en el análisis de los datos que proporcionan los instrumentos de medición hidrometeorológicas y estaciones meteorológicas existentes alrededor de la Cuenca, luego se pasó a la creación de un modelamiento hidrológico en el HEC-HMS con la finalidad de simular el comportamiento real del rio frente a las precipitaciones, en consecuencia, se pudo realizar predicciones de caudales a corto y largo plazo. Los resultados que se obtuvieron, sirvieron para proponer mejoras en cuanto a los sistemas de recopilación de información, que traerán consigo la reducción de tiempos de reacción frente a estos desastres, se pudo demostrar que esta investigación servirá como apoyo y soporte para poner en funcionamiento el sistema de alerta temprana de inundaciones del rio Nepeña.

**Palabras clave:** estudio hidrológico, sistema de alerta temprana, modelamiento hidrológico, estaciones hidrométricas, cuenca.

## **Abstract**

The purpose of the research was to develop a hydrological study for the proposal of an early warning system for floods in the Nepeña River, it is a substantive and descriptive investigation of non-experimental cross-sectional design. The study population was the Nepeña River Basin in which the populations affected by the floods are located. Because it was evaluated at the basin level, the vulnerable areas of these natural phenomena were the object of study.

The research methodology consisted mainly in the analysis of the data provided by the hydrometeorological measurement instruments and existing meteorological stations around the Basin, then went on to the creation of a hydrological modeling in the HEC-HMS in order to simulate the real behavior of the river in front of the precipitations, consequently, it was possible to make predictions of flows in the short and long term. The results that were obtained served to propose improvements in terms of information collection systems, which will bring about a reduction in reaction times in the face of these disasters, it was shown that this research will serve as support and support to put into operation the Early Warning System for Nepeña River Floods.

**Keywords:** hydrological study, early warning system, hydrological modeling, hydrometric stations, basin.

# **I. INTRODUCCIÓN**

Entre los estudios primordiales para el análisis de riesgos en fuentes naturales, debemos considerar los fenómenos poblacionales que hacen que se incremente y que afecte a la población, la cual se encuentra expuesta a fenómenos meteorológicos e hídricos, comprometiendo las vidas humanas, es por ello que las investigaciones trabajan intensamente con la finalidad de disminuir los daños.

El agua representa un 70% de la superficie terrestre, bajo esta premisa, hemos de considerar que es un elemento importante del cual debemos preservar, almacenar y cuidar las cabeceras de cuenca.

La inundación provocada en las cuencas se debe a factores de forma, longitud, ancho y también a tipos de suelos y capacidad de drenaje (Bremer & Lara, 2011).

Nuestro país es vulnerable ante las inundaciones, de acuerdo con el (CENAPRED, 2001), un territorio es más vulnerable cuando no existe trabajos de forestación y vegetación en las cabeceras de cuenca, es por ello que deben realizarse estrategias con la finalidad de abordar esta situación y prevenir los riesgos por inundaciones.

Analizando la realidad problemática, tenemos que El primer huayco se registró el día 02 de febrero de 2017, en el horario de 7:00 p.m. a 11:00 p.m. se registraron lluvias en la quebrada de Solivín activándose con arrastre de lodo y piedras, estando en riesgo la población de centro poblado de San Jacinto y el puente carrozable de Cocharca del distrito de Nepeña; el caudal del escurrimiento alcanzo un tirante hasta 1 metro por debajo de la base de la estructura del puente.

El 03 de febrero de 2017, a las 3:00 pm aproximadamente, a consecuencia de las intensas precipitaciones pluviales de 30 minutos con arrastre de lodo y piedras registradas en la zona se produjo la activación de la quebrada San Juan afectando viviendas, puente artesanal en el sector de Santa Clemencia y áreas agrícolas en los sectores de Santa Ana, Santa Rosa de Paquirca, Cascajal y Monte Sarumo y la interrupción de la carretera a Jimbe.

En febrero en Jimbe también, se incrementó el caudal del río Solivín que pasa por el Centro Poblado de San Jacinto un huaico azotó al centro poblado San Jacinto, en el distrito de Nepeña, el cual dejó aislados seis pueblos de este sector

por varias horas. El agua alcanzó los 20 centímetros de altura. Este inusual fenómeno pluvial se inició al promediar las 4.30 de la tarde y persistió por varias horas bajando su intensidad desde las 11:30 de la noche, aunque la amenaza de reiniciarse era latente por la nubosidad existente.

Las lluvias, huaicos y desbordes han causado daños en por lo menos 400 canales de regadío en toda la cuenca del Valle de Nepeña. La destrucción de los canales de regadío ha traído como consecuencia peligro para por lo menos 14 mil hectáreas de cultivo de productos de pan llevar, caña de azúcar, paltos, espárragos, entre otros. Puntualizó que son por los menos 3,500 los usuarios afectados con esta situación.

Durante los huaycos el proyecto especial CHINECAS informó que se generaron daños a la altura del kilómetro 35 del Canal de Derivación la Huaca Nepeña, ocasionando una rotura de aproximadamente 20 metros de la infraestructura.

En marzo las lluvias torrenciales generaron la venida de un huaico de gran intensidad en el distrito de Nepeña, dejando cinco pueblos incomunicados y viviendas inundadas y derruidas. El huaico tuvo lugar en la noche alrededor de las 7:00 pm en el distrito de Nepeña como consecuencia de las lluvias en la parte alta del distrito, en las quebradas San Juan y San Jacinto.

Los pueblos que quedaron incomunicados fueron los poblados de Villa Hermosa, San Cristóbal, Solivín Alto y Bajo y Vista alegre que se encuentran aislados por el desborde del río Solivín, el cual ha sido activado por la quebrada del mismo nombre. También se activaron las quebradas de San Juan y Barranco, en el caso de esta última se activó después de 25 años.

El puente de ingreso al distrito de Nepeña estuvo a punto de colapsar y de ser arrasado por el agua afectando a los sectores San Juan, Motocachi y San José. Los puntos críticos en Nepeña fueron fundamentalmente el sector de Cocharcas – Puente Blanco en el distrito de Nepeña y Huambacho, el sector de Pasamayito (carretera que conecta el centro poblado de San Jacinto y el distrito de Moro) donde se registraron derrumbes, fango y piedras que obstaculizaban el camino, además de grandes rocas en el borde del cerro que amenazan con deslizarse.

El desborde de agua del Río Nepeña en el Sector Villafana de Coordinadas (805203E, 8986685N) y en el Puente Colorado de coordenadas (802097E,

8986005N); provocó inundación en los sectores de Cocharcas, Maquina Nueva, Maquina Vieja provocando el colapso e inhabilitación de viviendas. Además, afecto áreas agrícolas, canales de regadío, bocatoma y carretera de penetración.

El fenómeno del Niño, llamado así por los pescadores pues coincidía con el mes de diciembre y así la llegada del niño Jesús, según la creencia religiosa, es el producto del intercambio de temperatura en las aguas continentales, y además influye en los diferentes climas del mundo, estos caudales anormales de agua producen muchos daños en la población, es por ello que un adecuado análisis y conocimiento, brindará más seguridad a su población y a su estabilidad económica cuando este Fenómeno El Niño se presente.

El fenómeno del niño, del año 2017, puso en tela de juicio el trabajo realizado en la cuenca del río analizado, la activación de microcuencas durante las lluvias de marzo del 2017, afectaron a la población, produjeron pérdida de animales, cosechas, además de interrumpir el comercio, y generando zozobra en la población.

Justificación, el río Nepeña conformante de la Cuenca del Pacífico ha visto incrementado su volumen normal de 1.51m<sup>3</sup>/seg hasta un máximo de 17.89 m<sup>3</sup>/seg en cual presento en el mes de febrero de 1998 lo que produjo su desbordamiento e inundando zonas poblacionales, así como la destrucción de gran cantidad de Has de terrenos agrícolas en plena campaña de cultivo.

En esta época, el incremento en la vulnerabilidad de un territorio, ante la presencia de fenómenos naturales cada vez más intensos como frecuentes, conllevan a la necesidad de formular estrategias para introducir medidas apropiadas de prevención y mitigación que respondan a las prioridades de la comunidad, en base a un análisis de la vulnerabilidad como evaluación del riesgo. La elaboración del presente proyecto “ Estudio Hidrológico para Propuesta de Alerta Temprana de Inundaciones en la Cuenca del Río Nepeña ” se fundamenta en el sentido de servir como una herramienta preventiva de apoyo para las autoridades en la toma de decisiones ante la construcción social del riesgo en áreas potenciales de peligro, así mismo este documento pretende servir como un medio de información para la población sobre las características físicas de su territorio y áreas potencialmente inundables que ponen en peligro a la población. Por lo que se beneficiaría directamente en una futura

implementación del sistema de alerta temprana de inundaciones será el distrito de Nepeña, siendo este un aporte para su acción en la toma de decisiones en el momento que suceda algún evento extraordinario.

#### Problema

Debido a las altas precipitaciones pluviales que producen el aumento considerable del caudal y posterior desborde del río, causando inundaciones en la cuenca de Nepeña.

Se hace oportuno preguntar:

¿Cuál será el tiempo en que se genera una avenida tal que superado produzca un efecto negativo en los habitantes de la cuenca del río Nepeña?

#### Objetivo General

Elaborar el estudio hidrológico para propuesta de sistema de alerta temprana de inundaciones en la cuenca del Río Nepeña.

#### Objetivos específicos

Conocer y describir los parámetros geomorfológicos de la Cuenca Nepeña.

Procesar los datos hidrológicos y climatológicos de la cuenca.

Realizar el modelamiento hidrológico en HEC - HMS

Proponer un Sistema de Alerta Temprana contra Inundaciones para el Río Nepeña basado en un Modelo Hidrológico.

#### Hipótesis General:

El estudio hidrológico elaborado permitirá optimizar el uso de datos sobre el recurso hídrico, para poder mitigar cualquier crecida máxima del caudal con la propuesta del sistema de alerta temprana en la cuenca del Río Nepeña.

#### Hipótesis específicas:

Si contamos con la aplicación de un modelo Hidrológico en la cuenca en estudio, entonces permitirá una simulación hídrica actual y en proyección a futuro.

Si contamos con suficiente información hídrica, entonces se puede tener una herramienta importante para los estudios hidrológicos.

Si se determina la oferta y demanda hídrica existente en la cuenca, entonces se puede proponer una adecuación de los componentes del sistema de alerta en estaciones hidrométricas y pluviométricas.

## **II. MARCO TEÓRICO**

En el artículo se afirma que se ha introducido y utilizado un marco de modelización hidrológica adecuado para la predicción de inundaciones de escala múltiple para desarrollar capacidades en la República de Namibia y en todo el mundo. Desde 2009, la Universidad de Oklahoma (OU) y la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) han participado en una serie de ejercicios con el Ministerio de Agricultura, Agua y Silvicultura de Namibia para desarrollar la capacidad de mejorar la información del agua disponible para la decisión local –makers. Estas actividades han incluido la calibración y la implementación del modelo hidrológico de desarrollo combinado y enrutamiento combinado (CREST) de NASA y OU, desarrollado conjuntamente, así como el Ensemble Framework for Flash Flood Forecasting (EF5). La producción del modelo hidrológico se usa para producir pronósticos de altura, descarga y humedad del suelo de la etapa del río. Este sistema permite a los científicos, funcionarios del ministerio, organizaciones no gubernamentales y otras partes interesadas acceder libremente a toda la información hídrica disponible producida por el proyecto, incluidas comparaciones de imágenes satelitales de la NASA para modelar pronósticos de inundaciones o sequías (Clarck III, y otros, 2017).

En el artículo se afirma que los Sistemas de Alerta Temprana (SAT) se encuentran en muchos lugares. A pesar de las variaciones entre los dominios monitoreados, su principal objetivo es similar: reducir las pérdidas económicas y mitigar el número de muertes por desastres mediante la entrega de información que permite a las personas y organizaciones prepararse para los desastres emergentes. Este documento trata de sistemas que dependen de sensores inalámbricos y proporcionan advertencias tempranas contra amenazas ambientales (incendios, inundaciones, terremotos). Dichos (SAT) suelen contener partes responsables de recopilar datos de sensores, varias aplicaciones científicas para realizar diversos análisis de estos datos (como predicciones basadas en simulación) e interfaces de usuario donde se analizan resultados son presentados. Un desafío científico es encontrar los mejores métodos y herramientas para la integración flexible-eficiente y la instrumentación de estas aplicaciones intensivas en cómputo y datos de una manera que

satisfaga los requisitos específicos para los (SAT) como una clase de sistemas. (Balisa, y otros, 2011).

En el artículo se presenta un prototipo del sistema de alerta temprana de inundaciones (SAT) desarrollado dentro del proyecto UrbanFlood FP7. El sistema monitorea las redes de sensores instaladas en las defensas contra inundaciones (diques, presas, terraplenes, etc.), detecta anomalías en la señal del sensor, calcula la probabilidad de falla del dique y simula posibles escenarios de ruptura del dique y propagación de inundaciones. Toda la información relevante y los resultados de la simulación se incorporan a un sistema interactivo de soporte de decisiones que ayuda a los administradores de diques y autoridades de la ciudad a tomar decisiones informadas en caso de emergencia y en la evaluación rutinaria de la calidad del dique. Este documento describe el diseño y la funcionalidad genérica de EFT UrbanFlood, el flujo de trabajo computacional, los módulos individuales, su integración a través del middleware Common Information Space y los primeros resultados de los puntos de referencia de monitoreo y rendimiento de (SAT) (Krzyszhanovskaya, y otros, 2011).

(Cervantes, 2010), plantea en su investigación la necesidad de generar mapas de inundación, en los ríos de los principales estados de ciudad de México, analizando los periodos de retorno en más de cien años, analizando los caudales mínimos y máximos en la cuenca.

(Rodríguez, 2012), analiza las inundaciones en zonas altas y medias, con fines preventivos, es decir antes de los acontecimientos, manejando de forma integral las inundaciones en zonas urbanas. Con la intención de integrar las acciones dentro de la cuenca. Los fenómenos involucrados alteran el ciclo de agua, además debemos mencionar que este líquido elemento se forma en las cabeceras de cuenca.

Según Choquehuanca (2012), realiza un análisis del río Vilcanota desde la región inca del Cuzco, utilizando softwares del mercado como Hec-Ras, Arc-Gis y HecGeorac, demostrando vulnerabilidad en la zona de hasta un 50%.

Fernandez (2005) tuvo como objetivo general Determinar el caudal de avenida en el río Lacramarca para un periodo de retorno de 100 años además como objetivos específicos realizar el estudio detallado de la cuenca del río Lacramarca, para lograr un mayor aprovechamiento del recurso hídrico, y comparar los diferentes métodos modernos utilizados en la determinación del caudal en cuencas carentes de información hidrológica y recomendar el más óptimo. Concluyendo que la metodología utilizada para la determinación del caudal de máxima avenida en la cuenca del río Lacramarca es el método del hidrograma sintético del US – SCS. El cual arrojó como resultado un caudal máximo instantáneo de 126.60 m<sup>3</sup>/s. El hidrograma unitario posee un pico de 76.10 m<sup>3</sup>/s con un tiempo de concentración de 4.04 horas y un tiempo base de 8.43 horas. Considerando la crecida extraordinaria ocurrida el 10 de febrero de 1998 (Fenómeno “El Niño”) con registros de 250 m<sup>3</sup>/s, el cual es casi el doble del caudal pico calculado por el análisis regional (126.60m<sup>3</sup>/s) para un periodo de retorno de 100 años, se adoptó el valor de la crecida extraordinaria, como avenida de diseño para el cálculo de las secciones, donde se emplazarán obras de cruce.

#### La Cuenca Nepeña

Organizacional: La Autoridad Local Santa-Lacramarca-Nepeña comprende a la parte Media y Baja de la cuenca del río Santa, la Cuenca Lacramarca y la Cuenca Nepeña, su sede administrativa es la ciudad de Chimbote.

En la parte baja de la cuenca Nepeña se encuentra la Junta de usuarios de Riego Nepeña constituida por 08 Comisiones de Regantes.

En el valle Nepeña existen 15,137 Ha. bajo riego, esta información es producto de los planes de cultivo y riego y corroborado por el PROFODUA en el año 2004.

Recurso Hídrico: El río Nepeña tiene tributarios importantes como los ríos: Uchupacancha Chunya, Huarapampa, Lampanin, Jimbe y el río Loco, que constituyen las fuentes de agua más importantes. La capacidad máxima de captación del valle se estima en 7.00 m<sup>3</sup>/s, valor que incluye las aguas superficiales del río Nepeña, aguas de puquíos y filtraciones,

agua subterránea utilizada por la Empresa San Jacinto y aguas del río Santa (Proyecto CHINECAS).

Patrón de usuarios: La Junta de Usuarios cuenta con un padrón de usuarios de agua para riego, elaborado durante el año 2004-2005, el cual fue obtenido como producto del Programa de Formalización de Derechos de Uso de Agua, en el valle Nepeña el área bajo riego es 15,137 Ha, el número de predios es 4,733, y el número de usuarios es 2,655; estableciéndose 1,959 usuarios con la condición de licencias equivalente a 3,495 predios formalizados con un área total de 13,101.60 Ha.

Ubicación Geográfica: La cuenca del Río Nepeña, está localizada en el norte del Perú. Sus coordenadas geográficas están entre los Paralelos 8°49' y 9° 19' Latitud Sur y Meridianos 77° 50' y 78° 41' Longitud Oeste. Coordenadas UTM WGS84: 0792467mE 8983376 mN , 0792290mE 8983223 Mn.

Ubicación Política: Políticamente la Cuenca del Río Nepeña forma parte de las provincias de Santa, Huaylas y Yungay del departamento de Ancash; sus cauces principales discurren por los centros poblados de Moro, Jimbe, Pamparomas. Los distritos que alberga la cuenca del Río Nepeña se muestran en el siguiente cuadro:

Tabla 1. Ubicación Política de la cuenca Nepeña

CUENCA	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITOS
NEPEÑA	Ancash	Santa, Huaylas, Yungay	Samanco, Nepeña, Moro, Cáceres del Perú, Pamparomas

Demarcación hidrográfica La del Río Nepeña forma parte de la Cordillera Negra, pertenece a la vertiente del Océano Pacífico e Hidrográficamente limita con las siguientes cuencas:

Tabla 2. Demarcación hidrográfica

PUNTO CARDINAL	CUENCA
NORTE	Cuenca del Río Lacramarca
SUR	Cuenca del Río Casma
ESTE	Cuenca del Río Santa
OESTE	Océano Pacífico

Demarcación Administrativa, la Autoridad Local Santa - Lacramarca-Nepeña, es la encargada de administrar los recursos hídricos, en todo el ámbito de la cuenca Nepeña, la que depende administrativamente y normativamente de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) (MINISTERIO DE AGRICULTURA, 2009).

Tabla 3. Demarcación administrativa

PUNTO CARDINAL	ADMINISTRACIÓN LOCAL DEL AGUA
NORTE	Moche, Virú, Chao y Santiago de Chuco
SUR	Casma y Huarmey
ESTE	Huamachuco, Pomabamba y Huaraz

Recuperado de: Evaluación de los recursos hídricos en las cuencas de los Ríos Santa, Lacramarca y Nepeña. (MINISTERIO DE AGRICULTURA, 2009)

Hidrografía, el río Nepeña tiene sus nacientes en las alturas de los cerros Tres Cruces y Tocanca Punta, y las lagunas Tocanca y Capado; inicialmente este río toma el nombre de quebrada Capado, además mantiene esta denominación hasta la localidad de Ticlla a partir de la cual toma el

característico nombre de río Ticlla hasta la confluencia con el río Colcap, formando entonces el río Jímbe; luego, al recibir por la margen derecha los aportes del río Lampanin se origina propiamente el río Nepeña y a la altura del centro poblado de Nepeña toma el nombre de río Samanco, el cual desemboca en el océano Pacífico, desde sus nacientes hasta su desembocadura en el Océano Pacífico, presenta sinuosidades en donde inicialmente discurre formando grandes curvas con dirección predominante Nor Este a Sur Oeste. A lo largo de su recorrido, recibe aporte de diversos afluentes, siendo los más importantes a nivel de cuencas húmedas: por la margen izquierda el río Larea (384.36 km<sup>2</sup>), por la margen derecha los ríos Lampanin (116.74 km<sup>2</sup>) y Jimbe (326.24 km<sup>2</sup>).

Red de estaciones, la cuenca del río Nepeña cuenta con solo dos estaciones que miden la precipitación, San Jacinto y Huacatambo. Las dos climatológicas ordinarias, estando la primera suspendida y la segunda clausurada. El periodo de registro de la Estación Huacatambo es de 8 años (1956 – 1963), mientras que San Jacinto registra unos 15 años (1956 – 1970).

La dirección Ejecutiva del Proyecto Especial de Rehabilitación de Tierras Costeras (PLANREHATIC), en 1982 realizó estudios climatológicos e hidrológicos a la cuenca del río Nepeña indicando respecto a la cobertura especial de la red, se puede decir que es pobre, pues la cuenca húmeda asumida a partir de la cota 2 000 m.s.n.m., no posee ninguna estación. La densidad, tomando las dos estaciones y el área total de la cuenca es de alrededor de 1 200 km<sup>2</sup>/pluviómetro, aunque el valor cae a cero si se toma en cuenta solo el área húmeda. En la cuenca no se cuenta con estaciones de precipitación que sirvan de base para definir el comportamiento hidrológico en la cuenca, motivo por el cual se ha recurrido al apoyo de estaciones vecinas pertenecientes a las cuencas Santa, Casma, Huarmey, Lacramarca.

El estudio hidrológico de la cuenca del río Nepeña realizado por MINAGRI – ANA, en el 2009, hacen mención de un estudio en el 2007 realizada por el INRENA en la cuenca de los ríos Casma, Culebras y Huarmey, el cual analizó estaciones pluviométricas para 40 años de registro (1966 – 2006) considerado válido debido a la comparación realizada con estudios anteriores por la ONERN.

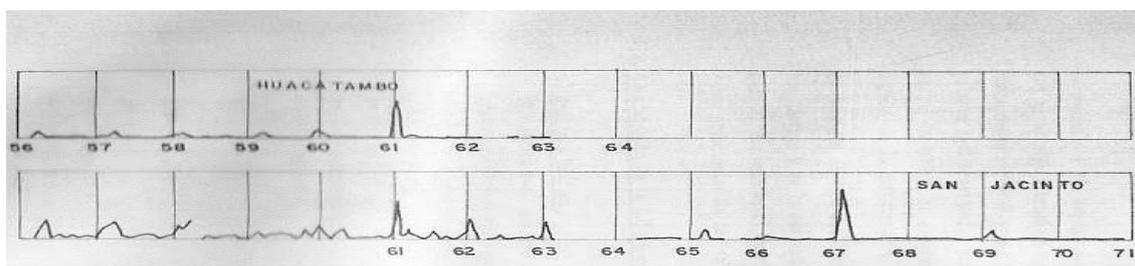
La determinación de la caracterización climatológica de la cuenca del río Nepeña se elaboró por tres métodos, con las estaciones reales y creaciones de estaciones.

Tabla 4. Características de las estaciones pluviométricas en la cuenca del Río Nepeña

NOMBRE	CÓDIGO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	AÑO DE INICIO	AÑO FINAL
HUACATAMBO	11 04 17	9° 15'	78° 24'	56.00	1955	1964
SAN JACINTO	11 04 26	9° 08'	78° 16'	255.00	1955	1971

Consistencia de la Información Pluviométrica, dado la precipitación, esperada y registrada en la cuenca seca es significativa y no tiene efectos en la producción de escorrentía, no se realizó mayores análisis sobre las estaciones de precipitación mencionadas anteriormente. De todas formas, para apreciar el comportamiento de la precipitación total mensual en estas estaciones, se muestra en el gráfico.

Figura 1. Consistencia de la información pluviométrica



Recuperado de: Evaluación de los recursos hídricos en las cuencas de los Ríos Santa, Lacramarca y Nepeña. (MINISTERIO DE AGRICULTURA, 2009)

Las Inundaciones son el aumento del agua por arriba del nivel normal del cauce”. En este caso, “nivel normal” se debe entender como aquella elevación de la superficie del agua que no causa daños, es decir, inundación es una

elevación mayor a la habitual en el cauce, por lo que puede generar pérdidas, por otra parte, avenida se define como: “Una elevación rápida y habitualmente breve del nivel de las aguas en un río o arroyo hasta un máximo desde el cual dicho nivel desciende a menor velocidad”. Estos incrementos y disminuciones, representan el comportamiento del escurrimiento en un río. Con lo anterior, se entiende por inundación: aquel evento que, debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta, o falla de alguna estructura hidráulica provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos o el mar mismo, generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no la hay y, generalmente, daños en la población, agricultura, ganadería e infraestructura (CENEPRED, 2014).

Factores para la ocurrencia de una inundación, algunos factores que intervienen en la ocurrencia de una inundación son los siguientes: Lluvias en el Perú los meses más lluviosos son de diciembre a marzo, en la selva se prolonga hasta abril. Alteración del cauce de los ríos (erosión, actividades humanas, etc.), disminuyendo su capacidad de conducción de las aguas. Avalanchas, huaycos, deslizamientos.(AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA, 2014).

Situaciones que incrementan los efectos de las inundaciones, colmatación del cauce, extracción del material de acarreo, sin adecuado control, arrojo de escombros (desmonte y basura), ejecución inadecuada de obras: puentes y obras hidráulicas, deforestación en la parte media y alta de la cuenca, expansión urbana que invade las riveras y cauces de ríos. (AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA, 2014).

Las clasificaciones más comunes obedecen a su origen, o bien, al tiempo que tardan en presentarse sus efectos.

Inundaciones Pluviales: Son consecuencia de la precipitación, se presentan cuando el terreno se ha saturado y el agua de lluvia excedente comienza a acumularse, pudiendo permanecer horas o días. Su principal característica es que el agua acumulada es agua precipitada sobre esa zona y no la que viene de alguna otra parte (por ejemplo, de la parte alta de la cuenca).

**Inundaciones Fluviales:** Se generan cuando el agua que se desborda de los ríos queda sobre la superficie de terreno cercano a ellos. A diferencia de las pluviales, en este tipo de inundaciones el agua que se desborda sobre los terrenos adyacentes corresponde a precipitaciones registradas en cualquier parte de la cuenca tributaria y no necesariamente a lluvia sobre la zona afectada.

**Inundaciones Costeras:** Se presentan cuando el nivel medio del mar asciende debido a la marea y permite que éste penetre tierra adentro, en las zonas costeras, generando el cubrimiento de grandes extensiones de terreno.

**Inundaciones por falla de infraestructura hidráulica:** Existe una causa que puede generar una inundación, aún más grave que las antes mencionadas: si la capacidad de las obras destinadas para protección es insuficiente, la inundación provocada por la falla de dicha infraestructura será mayor que si no existieran obras. Eventualmente, dichas obras pueden presentar fallas en su funcionamiento hidráulico debido a diferentes factores:

**Diseño escaso:** Algunas causas de un diseño escaso son la falta de información hidrológica en la cuenca o de la climatología misma que afecta la región. Otra causa es el empleo de criterios o metodologías inapropiadas u obsoletas para el diseño de las obras.

**Mala operación:** Este caso se refiere, básicamente, a las presas con compuertas. Las posibles alternativas son:

Cuando la compuerta de una presa se abre más de lo necesario y las descargas a través del vertedor producen una cantidad de agua mayor a la que puede conducir el cauce aguas abajo, se provoca el desbordamiento del río y, en consecuencia, una inundación.

Cuando dicha compuerta no se abre lo suficiente para dejar pasar la crecida, tratando de almacenar el mayor volumen de agua y posteriormente su capacidad es insuficiente, el agua sube de nivel más allá de lo diseñado y pone en peligro la estabilidad de la cortina. Falta de mantenimiento o término de la vida útil de la obra. Este puede ser el caso de muchas estructuras pequeñas, principalmente bordos de protección y algunas presas de principios del siglo pasado.

(AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA, 2014) La respuesta hidrológica de una cuenca depende de sus características fisiográficas. Básicamente se han definido dos grupos: inundaciones lentas e inundaciones rápidas. Lo anterior significa que en cuencas cuya respuesta hidrológica es lenta se generan avenidas en un tiempo relativamente largo (del orden de varias horas o días); en ellas ocurren principalmente daños materiales. Mientras que cuando la inundación se forma en poco tiempo (desde unos cuantos minutos, hasta un par de horas) se llama inundación súbita, causando, principalmente, la pérdida de vidas humanas en zonas pobladas.

#### Inundaciones Lentas:

Al ocurrir una precipitación capaz de saturar el terreno, esto es, cuando el suelo no puede seguir absorbiendo más agua de lluvia, el volumen remanente escurre por los ríos y arroyos o sobre el terreno. Conforme el escurrimiento avanza hacia la salida de la cuenca, se incrementa proporcionalmente con el área drenada, si el volumen que fluye por el cauce excede la capacidad de éste, se presentan desbordamientos sobre sus márgenes y el agua desalojada puede permanecer horas o días sobre el terreno inundado. Este efecto se presenta comúnmente en zonas donde la pendiente del cauce es pequeña y, por ende, la capacidad de los ríos disminuye considerablemente provocando desbordamientos que generan inundaciones en las partes aledañas.

Si se identifica la presencia de sistemas meteorológicos que pueden generar este tipo de inundación, ésta podría pronosticarse, por lo que no deberían presentarse daños importantes; sin embargo, la realidad es otra, ya que la falta de instrumentación para monitorear lluvias, en muchos casos no permite anticipar la ocurrencia de este tipo de inundación; la falta de información tiene como consecuencia que al llegar la crecida la gente la perciba como una avenida súbita.

Inundaciones súbitas: Las inundaciones súbitas son el resultado de lluvias repentinas e intensas que ocurren en áreas específicas. Pueden ocasionar que pequeñas corrientes se transformen, en cuestión de minutos, en violentos torrentes capaces de causar grandes daños. Las zonas urbanas son usualmente sitios donde se presenta este tipo de avenidas, como consecuencia de la “cubierta impermeable” formada artificialmente por los

edificios y calles, así como por la deforestación. Debido a ello, el agua no puede infiltrarse y prácticamente todo el volumen precipitado se convierte en escurrimiento.

(UNIDAD NACIONAL PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES, 2016) Los sistemas de alerta temprana son estructuras operativas que permiten a la población tomar medidas para minimizar los impactos debido a desastres naturales. Los sistemas de alerta temprana tienen como objetivos alertar a la población en caso de un fenómeno natural de proporciones tales que puedan causar daños a la población. Cualquier sistema de este tipo debe satisfacer el criterio operativo de brindar una alerta con suficiente anticipación para que la población pueda tomar las precauciones mínimas necesarias en relación al fenómeno que se aproxima.

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

Tabla 5. Componentes de un sistema de alerta temprana

<b>Tipo de cuenca</b>	<b>Tiempo de alerta</b>	<b>Componentes del Sistema</b>	<b>Respuesta</b>
Riachuelos en montañas pequeñas	< 6 horas	Monitoreo regional, observadores.	Evacuación de emergencia de las planicies de inundación.
Riachuelos, tributarios o pequeños ríos (la mayoría de cuencas con pendiente suave y área de drenaje entre 51.8 – 777 Km <sup>2</sup> )	6 a 24 horas	Estaciones Hidrométricas y posiblemente pluviométricas Posiblemente modelo de predicción de caudales, dependiendo de las posibilidades de inversión	Evacuación asistida, conservación del servicio vital, reubicación de propiedades y otras acciones que pueden ser cumplidas en el tiempo de alerta.
Cuencas largas o grandes de ríos importantes	> 24 horas	Monitoreo con estaciones pluviométricas e hidrométricas. Modelos de predicción sofisticados.	Todo lo anterior incluyendo un esfuerzo significativo de lucha contra al inundación

Recuperado de: Manual para el diseño e implementación de un sistema de alerta temprana de inundaciones en cuencas menores (OEA, 2001)

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

La tabla debería contar con estaciones pluviométricas e hidrométricas, modelos de predicción sofisticados además de un plan de emergencia bien elaborado.

(Bedriñana, 2015) indica que un Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones cuenta con los siguientes elementos: Reconocimiento de la Amenaza de inundación, diseminación de Advertencias, respuesta a las Advertencias.

A continuación, se detalla cada uno de ellos, reconocimiento de la Amenaza de inundación, el reconocimiento consiste en todas las actividades realizadas para conseguir una identificación temprana, localización, y grado de las situaciones potenciales de inundación. Los elementos del reconocimiento son: monitoreo

El monitoreo consiste en:

Medición y detección de condiciones hidrometeorológicas en la cuenca, Transmisión de datos obtenidos a la estación central. El monitoreo puede variar desde una simple estación pluviométrica cuyas mediciones son observadas y comparadas con tablas hasta un sistema elaborado consistente en una red de estaciones pluviométricas e hidrométricas automáticas. Esto depende del área, de las características hidrometeorológicas y de la capacidad de la comunidad local para operar y mantener el sistema.

Medición de datos, Estaciones Pluviométricas, los pluviómetros se utilizan para estimar el volumen aproximado de lluvia que cae en cierta área.

Tipos de Pluviométricos

Existen dos tipos de pluviómetros de acuerdo al modo en el que se realizan las mediciones de lluvia: Pluviómetros manuales, Pluviómetros automáticos.

Pluviómetro manual, un pluviómetro manual es un tipo de pluviómetro en el cual la cantidad de precipitación es registrada y enviada por un operador a cargo. Se compone normalmente de un recipiente cilíndrico, abierto con el eje vertical, que termina por su parte superior en un borde de latón de filo cortante. El cilindro termina por debajo de una especie de embudo cónico, que en su extremidad inferior lleva una escita; al abrir esta, la lluvia recogida durante un determinado periodo, se transvasa a recipiente graduado. Conociendo la superficie de la base circular del cilindro se obtiene la cantidad de lluvia caída por unidad de superficie en el terreno de la zona. Dicha cantidad se expresa en milímetros, que representan la altura de la capa de agua caída. La dimensión normal de la superficie anteriormente citada en estos instrumentos es de 0.1m<sup>2</sup>, por lo que un litro de agua recogida en el recipiente (equivale a 1dm<sup>3</sup> representa 10mm de lluvia. La altura del cilindro normalmente es la necesaria para poder recoger hasta 400 mm de lluvia).

Figura 2. Pluviómetro manual



Pluviómetro automático, un pluviómetro automático es un tipo de pluviómetro en el cual la cantidad de precipitación es registrada, almacenada y enviada

automáticamente a una estación receptora sin la necesidad de ser operado por una persona estos pluviómetros cuentan con una cubeta basculante, la cual genera una entrada digital a un almacenador de datos o trasmisor cada vez que cierta cantidad de lluvia (1 mm, 2 mm, dependiendo del pluviómetro) pasa a través del embudo.

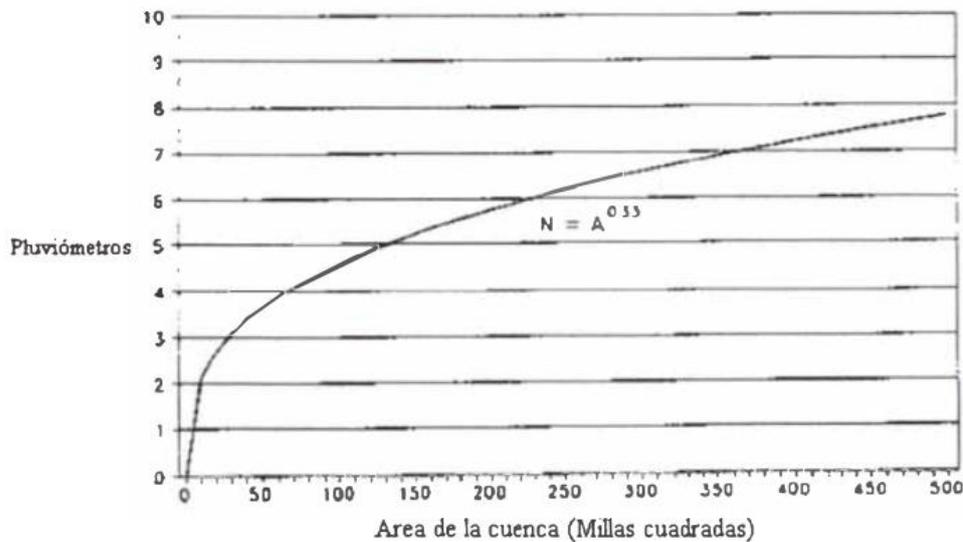
Figura 3. Pluviómetro Automático



Numero de pluviómetros en un Sistema de Alerta de Inundaciones, el número de pluviómetros instalados influye directamente en la calidad de los datos y en la performance del modelo de predicción hidrológica. El número mínimo de pluviómetros a considerarse usualmente es 3. El número máximo de

pluviómetros depende de los recursos económicos disponibles y del incremento en el tiempo de alerta que se desea lograr con el aumento de la densidad de estaciones en el área. El número de pluviómetros depende también de las condiciones locales. Áreas con fuerte variación de la precipitación en la cuenca apropiadamente. Áreas montañosas requieren más pluviómetros que áreas planas. Áreas expuestas a tormentas convectivas requieren más pluviómetros que áreas expuestas a tormentas frontales.

Figura 4. Mínimo de pluviómetro de una red de medición



Recuperado de: Manual para el diseño e implementación de un sistema de alerta temprana de inundaciones en cuencas menores (OEA, 2001)

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

Tabla 6. Componentes de un sistema de alerta temprana

<b>Numero de Pluviómetros</b>	<b>Área de la cuenca (Millas Cuadradas)</b>
3	<10
4	100
6	400
8	1000

Recuperado de: Manual sistemas de alerta temprana (MINISTERIO DE EDUCACIÓN DE PANAMA, 2011)

La Organización Mundial de Meteorología (OMM) recomienda tener como mínimo una densidad de 500 Km<sup>2</sup>/estación.

Localización de las estaciones pluviométricas, deben ser considerados los siguientes factores en la localización de las estaciones.

Decisión hidrológica ingenieril, conocimiento de las características de las tormentas y lluvias.

Requerimientos de la línea de transmisión telemétrica hacia la estación base.

Accesibilidad a la estación para mantenimiento y posible vandalismo.

Pendiente del terreno y efectos orográficos.

Ubicación de pluviómetros existentes.

Estaciones Hidrométricas: Proveen información acerca del estado actual del sistema de respuesta hidrológico. Las estaciones hidrométricas pueden variar desde simples reglas limnométricas, limnigrafos y tomos de aforo, hasta estaciones hidrométricas automáticas que pueden incluir un pozo de aquietamiento o un transductor de presiones medidor de nivel de agua. El transductor de presión mide los cambios de nivel de agua por encima del orificio sensor de presión. Para sistemas que no cuentan con predicción sofisticada, son solo necesarias estaciones hidrométricas. Esto es

especialmente cierto en cuencas donde el tiempo de alerta es suficiente para responder a una emergencia basado en una estación aguas arriba del posible lugar de inundación.

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

Localización de estaciones hidrométricas, la localización de las estaciones hidrométricas busca satisfacer dos necesidades: requerimientos de alerta pública y predicción hidrológica, así como los requerimientos de modelamiento de la cuenca. A continuación, se listan algunas consideraciones en la localización de estaciones hidrométricas para una apropiada operación:

Ubicación sujeta a un lugar con mínima erosión y sedimentación.

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

Lugar lo suficientemente alejado de la confluencia de otros ríos o de su influencia. Además, muchos de los aspectos a tener en cuenta en la localización de estaciones pluviométricas, deben ser considerados también en la localización de las estaciones hidrométricas.

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

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

Predicción meteorológica, las predicciones del desarrollo de las condiciones meteorológicas son especialmente útiles en dar un inicio adelantado en el análisis las emergencias potenciales.

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

Transmisión de datos obtenidos a la estación central

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

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

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

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

Los datos de los POES ayudan a realizar a una amplia gama de aplicaciones de monitoreo ambiental, incluyendo análisis de clima y predicción, investigación del clima y predicción, medidas de la temperatura de la superficie del océano, sondeos atmosféricos de la temperatura y humedad, investigación de la dinámica del monitoreo de erupciones volcánicas, detección de incendios forestales, análisis de la vegetación global, búsqueda y rescate y muchas otras aplicaciones.

Los satélites GOES realizan un tipo de monitoreo continuo necesario para el análisis intensivo de datos. Rodean la tierra en una órbita geosincronizada, esto

quiere decir, que orbita el plano ecuatorial de la tierra a su misma velocidad de rotación. Esto les permite permanecer continuamente sobre una posición en la superficie. El plano de geosincronización está cerca de los 35800 km. Sobre la tierra, lo suficientemente alto para permitir a los satélites obtener una vista completa del planeta.

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

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

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

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

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

Predicción, el sistema de predicción puede estar compuesto por:

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

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

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

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

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

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

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

La estación central tiene a su cargo el acopio de datos hidrometeorológicas para su subsecuente análisis. Como tal, juega un papel protagónico en el sistema de Alerta Temprana, al tener la responsabilidad de indicar a las autoridades

municipales, cuerpos de socorro y a la entidad nacional de protección civil la posibilidad de que se manifieste un fenómeno de trascendencia.

#### Diseminación de Advertencia

(Toro, 2012) indica que la diseminación de la advertencia es el nexo crítico entre el reconocimiento de una posible inundación y la ejecución de acciones de respuesta a la emergencia.

La diseminación de la advertencia consta de tres partes.

Un criterio para realizar o no la advertencia. La formulación de la advertencia. La identificación de la audiencia apropiada y los medios (radio, televisión, sirenas, aviso puerta a puerta, etc.).

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

Localización del desborde.

Hora del desborde, probable extensión de la inundación.

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

Verde: Cuando existen las condiciones generales para que se presenten fenómenos.

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

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

Roja: Cuando ya se manifestó el fenómeno y ha causado o está causando daños. La audiencia apropiada para esta advertencia debe ser la población susceptible a la inundación, los establecimientos de servicios vitales y las instituciones de control.

Un elemento clave en los sistemas de alerta temprana es la manera como los usuarios y oficiales locales son informados de las condiciones peligrosas que se están desarrollando. Las autoridades pueden ser alertadas mediante llamadas telefónicas, mensajes de textos, u otros medios de comunicación.

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

Respuesta a la Advertencia, la respuesta a la emergencia es el plan de acción de la comunidad para responder la potencial amenaza de inundación y minimizar pérdida de vida y propiedad.

Componentes de un plan de respuestas: Evacuación y rescate, reducción del daño, recuperación, información pública, implementación del plan.

Evacuación y rescate, son parte de la evacuación y rescate las siguientes acciones: Identificar áreas a evacuar, desarrollar procedimientos de evacuación, Pre-establecer ubicación y logística de centro de operaciones, pre-definir acciones de emergencia, reducción del daño

Forman parte de la reducción del daño: establecer acciones y procedimientos de emergencia para retrasar o atenuar desbordes. Establecer medidas y procedimientos para mantener servicios vitales. Establecer medidas de control de tráfico.

Recuperación, mantenimiento de la salud pública, reanudación de servicios vitales, rehabilitación y reparación

Información pública, educación de la comunidad, información de la emergencia

Implementación del plan, identificar de recursos necesarios, asignación de responsabilidades, establecer coordinaciones necesarias

Mantenimiento del plan, reactualización del plan, mejoramiento del plan, simulacro del plan.

(Mocseti, 2006) indica que los sistemas de alerta temprana de inundaciones vienen siendo utilizados en muchas partes del mundo, a continuación, se mencionara algunos de ellos:

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

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

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

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

Nicaragua, Rio Escondido: Durante el 2000 y el 2001, el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) instalo cinco estaciones hidrológicas, cada una a un costo de 40,000 dólares, en cinco de los principales afluentes del Rio Escondido, en una ciudad de El Rama, las que transmiten datos de manera automática y en tiempo real vía satélite a la sede de INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales) en Managua. La administración Nacional Oceanográfica y Atmosférica (NOAA) instalo cinco estaciones meteorológicas en la misma cuenca, las que también transmiten datos en tiempo real.

Rio Malacatoya: El sistema de alerta temprana de la cuenca del rio Malacatoya fue desarrollado con la asistencia de la agencia NOAA y el INETER. Este sistema

beneficia a la comunidad de Malacatoya la cual se ve afectada por las inundaciones del río en la temporada lluviosa. El sistema está apoyado en los datos transmitidos por las estaciones instaladas en la cuenca que transmiten vía satélite, en intervalos de 15 minutos.

México: Sistema de Alerta Hidrometeorológicas de Acapulco – Guerrero.

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

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

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

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

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

(Markstrom, Niswonger, Regan, Prudic, & Barlow, 2008) Los modelos hidrológicos más importantes y completos son los modelos hidrológicos distribuidos basados en procesos físicos. Estos modelos consideran la distribución espacial de parámetros y ecuaciones y pueden ser aplicados a cuencas con redes complejas de canales, con variada distribución de uso de suelo, tipo de suelo y cobertura de vegetación, con complejo sistema acuífero debajo del suelo, etc.

Los avances en el modelamiento hidrológico actual permiten el acoplamiento con datos espaciales de radares, satélites y modelos geológicos. La aplicabilidad de los enfoques distribuidos y basados en procesos pueden ser aplicados en temas ambientales como el transporte geoquímico reactivo, la contaminación de la agricultura y la erosión del suelo.

El trabajo de modelamiento hidrológico comprende la conceptualización del modelo, la calibración con valores observados, la simulación de efectos antropogénicos en el uso de suelo y tipo de cobertura y factores climáticos de inundación, sequía y cambio climático.

Necesidad: Los modelos hidrológicos globales tradicionales son adecuados para evaluar el estado de los recursos hídricos y la predicción de inundaciones y sequías, sin embargo, se necesita herramientas más avanzadas para los problemas restantes como la predicción de los impactos producidos por el hombre y el cambio climático sobre la respuesta hidrológica de una cuenca.

Características: Los modelos hidrológicos distribuidos son capaces de: Modelar la respuesta hidrológica distribuida con precipitación medida remotamente o con datos interpolados espacialmente. Calibración multiobjetiva utilizando múltiples estaciones de aforo. Incorporar datos de tipo de suelo y tipo de cobertura en el modelamiento y correlacionados con la curva de recesión de flujo. También se puede usar los parámetros de superficie para cuantificar la variabilidad espacial de la respuesta hidrológica.

## **III. METODOLOGÍA**

### **3.1 Tipo y diseño de Investigación**

El tipo de Investigación Científica es Sustantiva porque en base a la recolección de información que se obtendrá de la cuenca del Rio Nepeña se describirá y se diagnosticará la situación actual de la cuenca.

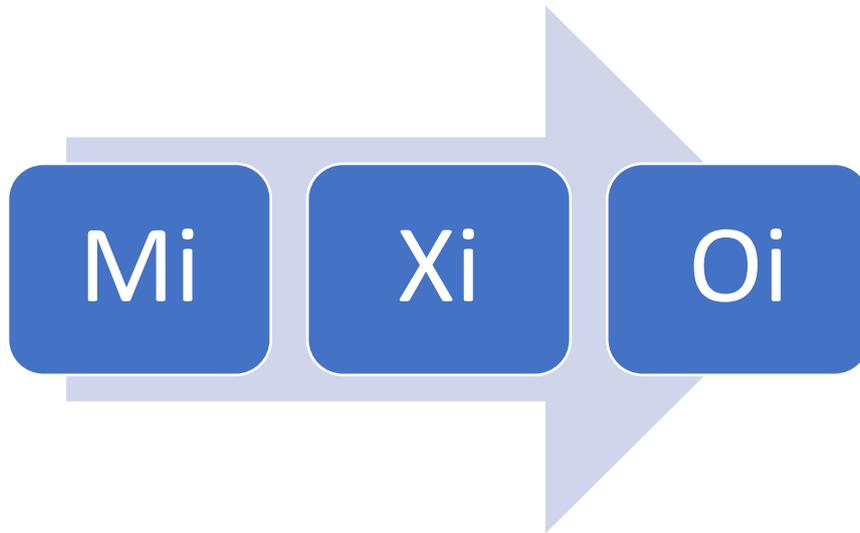
Así mismo se inclina al tipo de Investigación Científica Aplicada porque al elaborar una propuesta de un Sistema de Alerta Temprana se ejecutará un modelamiento hidrológico que servirá a la población para dar aviso sobre los niveles hídricos y advertir a la comunidad de zonas con alto riesgo de avenida torrencial ante la eventual manifestación de un fenómeno natural.

A esta investigación le corresponde un diseño no experimental de nivel descriptivo porque se define que la investigación que se realiza es sin manipular deliberadamente variables.

En este diseño se observarán los fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después durante el proceso estudiaremos la propuesta de Sistema de Alerta Temprana que se evaluara con los datos obtenidos de la cuenca del Rio Nepeña para poder desarrollar un modelamiento hidrológico que permita conocer las zonas vulnerables y poder mitigar los estragos de la naturaleza.

Por lo tanto, se formará un grupo de estudio, uno en la cual será el Grupo Muestral que será la población afectada o población vulnerable lo cual será evaluada mediante el software de HEC-HMS y nos permitirá diseñar un adecuado Sistema de Alerta Temprana.

Figura 5. Diseño



Donde:

G1: GRUPO MUESTRAL. Corresponde a la cuenca del Rio Nepeña.

Xi: Variables:

Variable X1: Sistema de alerta temprana e inundaciones.

Variable X2: Características físicas de la cuenca, las condiciones de uso del suelo y la distribución espacial y temporal de la precipitación en el área de drenaje.

Oi: Observaciones o posibles resultados: Una correcta adecuación de los componentes del sistema de alerta como estaciones hidrométricas y pluviométricas.

### 3.2 Variables y operacionalización

Variable: Sistema de alerta temprana de inundaciones.

Definición conceptual:(UNIDAD NACIONAL PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES - COLOMBIA, 2016), los sistemas de alerta temprana son estructuras operativas que permiten a la población tomar medidas para minimizar los impactos debido a desastres naturales.

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

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

**Definición Operacional:** Los valores se obtienen de las estaciones hidrométricas y pluviométricas. La medida que se obtiene, ya sea de forma manual (sobre una regla) o automática (mediante un transductor) en una estación hidrométrica, es la variación de nivel. Esta medida refleja el aumento o disminución del caudal en el tiempo. La función de una estación hidrométrica es registrar flujos de un curso de agua superficial, por lo general trabaja en forma automatizada y continua mediante el uso de transductores de presión (sonda levellogger para medición de nivel de río cada 15 minutos). También puede ser que las mediciones sean solo manuales, en este caso se tendrán registros de niveles obtenidos por lectura directa del operador, acompañadas de la medición del caudal del río por el método velocidad-area, y en la frecuencia de tiempo que se considere adecuada (3 veces al día). En cualquier de los casos, las lecturas manuales son necesarias en la etapa de construcción de la curva de descarga y, si se trata de una estación automatizada, las lecturas manuales son recomendables para poder compararlas con las lecturas registradas por el transductor.

**Curva de descarga:** Una curva de descarga es un gráfico que muestra la relación entre el nivel de agua y el caudal medido en una sección del río. Los puntos de la curva de descarga se generan haciendo mediciones reiteradas del caudal del río y del nivel del espejo de agua (preferentemente dos a tres veces al día durante mínimo un año hidrológico). Luego de generada la curva de descarga, esta permitirá obtener directamente el valor de caudal para cada medición que se efectúe en la regla y/o la data de niveles registrada en el transductor de presión.

**Aforo:** Es la medición de caudales, ya sea por métodos directos con algún instrumento (correntómetro, molinete, etc) o procedimiento (aforo químico), o bien por método indirectos (reglas limnimétricas o limnigrafos).

**Correntómetro:** Es un instrumento apto a medir la velocidad de corrientes en el mar, en los ríos, arroyos, estuarios, puertos, modelos físicos en laboratorio, etc.

Limnómetro: Es una regla graduada que permite medir las fluctuaciones del nivel del agua.

Limnógrafo: Es un aparato inscriptor provisto de un mecanismo de relojería y de dispositivos que permiten registrar las alturas de agua de forma continua. Está conformado por: Un flotador y contrapeso los cuales con un cable son conectados al dispositivo de reducción, el que acciona el husillo con ranuras helicoidales, sobre el cual juega el dispositivo portaplumilla con plumilla y un tambor, que puede estar colocado horizontalmente o verticalmente.

Dimensiones e indicadores:

(Pascual, 2016) Modelo hidrológico con el software Hec-Hms. Se puede definir modelo hidrológico como una representación simplificada del mundo real, que permite tener una idea de lo que ocurre bajo ciertas circunstancias.

Los modelos hidrológicos intentan representar los diferentes procesos que se dan dentro de un espacio (generalmente una cuenca) y que transforman, en principio, una precipitación en escorrentía.

Componentes del sistema de alerta temprana como estaciones hidrométricas y pluviométricas.

Pluviómetros respecto al área de la cuenca: Instrumento para medir la cantidad de lluvia que cae en un lugar y en un espacio de tiempo determinados; el agua recogida por él se mide en litros o milímetros por metro cuadrado.

Estaciones Hidrométricas y posiblemente pluviométricas: Estación en la cual se obtienen datos del agua, en los ríos, lagos y embalses, de uno o varios de los elementos siguientes: niveles, flujo de las corrientes, transporte y depósito de sedimentos y propiedades físicas, químicas y bacteriológicas del agua.

Monitoreo con estaciones pluviométricas e hidrométricas: Lugar destinado a la obtención de datos de precipitación. Se cuenta para ello con un pluviómetro. Además de la cantidad precipitada es importante anotar qué tipo de fenómeno (lluvia, llovizna, chubasco, con o sin tormenta) ha dado lugar a la precipitación. Los datos se anotan siguiendo el horario del día pluviométrico.

La finalidad principal de una estación pluviométrica es la elaboración de la climatología de la zona en la que se encuentra. Calidad de información

buscando una propuesta que se proporcionaría a la población para alertar frente a las crecidas del Rio Nepeña.

VARIABLE: Características físicas de la cuenca del rio Nepeña, las condiciones de uso del suelo y la distribución espacial y temporal de la precipitación en el área de drenaje.

#### Definición conceptual

(Quiroz & Oreamuno, 2013), para poder establecer la respuesta hidrológica de la cuenca del rio Nepeña, es necesario determinar las características físicas de la cuenca, las condiciones de uso del suelo y la distribución espacial y temporal de la precipitación en el área de drenaje.

(Guevara, 2015), considera que la determinación de los parámetros geomorfológicos son los siguientes:

Superficie de la cuenca, perímetro, forma de la cuenca. Coeficiente de Compacidad o Índice de Gravelius, factor Forma de la cuenca.

Sistema de Drenaje, orden de la corriente de agua, densidad de drenaje, extensión media de la escorrentía superficial, frecuencia de ríos.

Características del relieve de una cuenca, rectángulo equivalente, polígono de frecuencia de la altitud, curva hipsométrica, altitud máxima de la cuenca.

Pendiente de la corriente principal: Pendiente media del río, declive equivalente constante. Pendiente de la cuenca. Índice de pendiente media de la cuenca.

### **3.3 Población, muestra, muestreo**

Población: Conformado por la Cuenca del Rio Nepeña en la cual están situadas las poblaciones afectadas por las inundaciones y las no afectadas. Debido a que se evaluara a nivel de cuenca, las zonas vulnerables de estos fenómenos naturales son objeto de estudio.

Muestra: Será una muestra intencional (no probabilística) de distritos. Los criterios de exclusión fueron: mayor incidencia de inundaciones; tenemos a Pamparomás, Cáceres del Perú, Moro, Nepeña y Samanco.

Muestreo: Aleatorio.

### **3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Se efectuará diversas entrevistas a ingenieros expertos en el tema (hidrología e hidráulica).

Se hará un cuestionario en la cual participará la población afectada por estos fenómenos, tanta población urbana, y población agrónoma.

Se recolectará información de instituciones que se encargan del manejo de los recursos naturales del Rio Nepeña. Como Municipalidades (Pamparomás, Cáceres del Perú, Moro, Nepeña y Samanco), ANA, CHINECAS e IRCHIM.

### **3.5 Procedimientos**

Sobre la base de los objetivos y alcances del plan de tesis, la metodología utilizada para el estudio de la cuenca comprende cuatro etapas: Etapa pre campo, etapa campo, gabinete y métodos de recolección de datos.

PRE CAMPO: Se pretende realizar la recopilación y clasificación sistemática de toda la información existente de la cuenca.

A partir del Mapa topográfico y cartas a escala 1: 50, 000 realizadas por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) se determinará la red hidrográfica y la delimitación de la sub cuenca del ámbito de estudio.

Se elaborará fichas de encuestas acordes a los temas de estudio.

TRABAJO DE CAMPO: En esta etapa se coordinará con los actores locales: Municipio distrital, Comunidades Campesinas y usuarios de Comité de Regantes.

Se realizará la identificación de las fuentes de agua, ubicación, georeferenciación, aforo llenado de ficha de campo y constatación de usos ya sea para uso poblacional, pecuario e infraestructuras de riego.

Una vez realizada la identificación se procederá a realizar las evaluaciones del recurso hídrico, en los aspectos de calidad de agua.

En los cauces de los ríos principales de la cuenca se procederá a realizar un aforo con correntómetro tipo molinete seba-universal para la calibración del caudal actual.

Contrastación del mapeo de uso actual de suelo con la ayuda de la imagen satelital, y también se realizará la contratación de la cobertura vegetal de la cuenca.

TRABAJO DE GABINETE: La siguiente fase es un trabajo de gabinete, se efectuará el procesamiento y análisis de toda la información obtenida en la etapa de campo, luego se procederá a la sistematización de la base de datos con la información de campo mediante el uso de software y/o programas de (Hec – Hms V4.2), la que almacenará toda la información a mucho detalle de fuentes hídricas, infraestructura de aprovechamiento hidráulico.

Además, se generará mapas de uso actual de suelo, mapa de cobertura vegetal, mapa de recursos hídricos y otros mapas necesarios para el presente estudio, esto con la ayuda de programas de cómputo como: Map Source, Arc Gis, Hidraces, SIH, WEAP.

### 3.6 Método de análisis de datos

Se aplicará como técnica la observación no científica ya que es adecuada como inicio de una investigación, se aplicará la guía de observación resumen para la recopilación de datos en una forma sistemática y consiste en apreciar, ver, analizar un objeto, un sujeto o una situación determinada el cual es un elemento fundamental de todo proceso investigativo en donde se apoya el investigador para tener mayor número de datos.

Tabla 7. Componentes de un sistema de alerta temprana

TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION	INSTRUMENTO	AMBITO DE LA INVESTIGACION
La Observación No científica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Guía de observación Resumen</li> <li>- Fichas técnicas del laboratorio de las pruebas a realizar.</li> </ul>	Diseño del modelo hidrológico en el software Hec-Hms

### **3.7 Aspectos éticos**

Los resultados presentados en la presente tesis, son originales, inéditas y veraz.

## **IV. RESULTADOS**

Se mostrará toda la información generada a lo largo de esta investigación, de manera que se enfocará en lo expuesto en los objetivos específicos expuestos anteriormente.

Tabla 8. Resultados de Parámetros Geomorfológicos Cuenca Nepeña

DESCRIPCION	UNIDAD	VALOR
<b>De la Superficie</b>		
Área	Km2	1888.42
Perímetro	Km	246.58
<b>Cotas</b>		
Cota Máxima	msnm	5150.00
Cota Mínima	msnm	50.00
<b>Centroide</b>		
X centroide	Km	154416.67
Y centroide	Km	8994196.32
Z centroide	msnm	2733.62
<b>Altitud</b>		
Altitud Media	msnm	2733.62
Altitud más Frecuente	msnm	262.50
Altitud de Frecuencia Media	msnm	2277.75
<b>Pendiente</b>		
Pendiente Promedio de la Cuenca	%	13.76
<b>De la Red Hídrica</b>		
Longitud de Curso Principal	Km	92.94
Orden de la Red Hídrica	Und	6.00
Longitud de la Red Hídrica	Km	2834.53
Pendiente Promedio de la Red Hídrica	%	0.06
<b>Parámetros Generados</b>		
Tiempo de concentración	horas	6.646298971
Pendiente del cauce principal	m/km	54.87352191

Tabla 9. Resultados de Parámetros Geomorfológicos Cuenca Nepeña

<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>	<b>Área (km2)</b>
Bajo Nepeña	SubCuenca_1	313.67
Lappra	SubCuenca_2	149.33
Medio Bajo Nepeña	SubCuenca_3	17.61
Rio Loco	SubCuenca_4	444.94
Medio Nepeña	SubCuenca_5	50.83
Rio Larea	SubCuenca_6	384.36
Medio Alto Nepeña	SubCuenca_7	84.7
Lamparin	SubCuenca_8	116.74
Alto Nepeña	SubCuenca_9	326.24
	TOTAL =	1888.42

Tabla 10. Resultados de parámetros de forma de cada sub- cuenca

<b>Cuenca</b>	<b>Area (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Perimetro (km)</b>	<b>Longitud de Cauce Principal (km)</b>	<b>Coefficiente De Compacidad</b>	<b>Factor De Forma</b>
Bajo Nepeña	313.67	95.98	30.12	1.52	0.35
Lappra	149.33	59.60	23.64	1.37	0.27
Medio Bajo Nepeña	17.61	20.00	2.96	1.33	2.01
Rio Loco	444.94	121.15	51.39	1.61	0.17
Medio Nepeña	50.83	39.80	13.17	1.56	0.29
Rio Larea	384.36	109.32	43.07	1.56	0.21
Medio Alto Nepeña	84.7	47.82	8.18	1.45	1.27
Lamparin	116.74	49.13	17.95	1.27	0.36
Alto Nepeña	326.24	89.73	31.27	1.39	0.33

Tabla 11. Resultados de curva hipsométrica y frecuencia de altitudes

Nro.	Cota (msnm)			Área (km2)			
	Mínimo	Máximo	Promedio	Intervalo	Acumulado	%Acumulado	%Inter
1	50.000	474.995	262.50	349.47	1888.85	100.00	18.50
2	475.007	900.000	687.50	246.93	1539.38	81.50	13.07
3	900.016	1324.998	1112.51	187.91	1292.45	68.43	9.95
4	1325.006	1750.000	1537.50	151.18	1104.54	58.48	8.00
5	1750.009	2174.994	1962.50	135.79	953.36	50.47	7.19
6	2175.018	2600.000	2387.51	127.11	817.57	43.28	6.73
7	2600.012	3024.997	2812.50	123.12	690.46	36.55	6.52
8	3025.027	3450.000	3237.51	99.52	567.34	30.04	5.27
9	3450.000	3874.994	3662.50	104.57	467.82	24.77	5.54
10	3875.001	4300.000	4087.50	165.71	363.26	19.23	8.77
11	4300.013	4724.992	4512.50	174.12	197.55	10.46	9.22
12	4725.007	5150.000	4937.50	23.43	23.43	1.24	1.24

Figura 6. Curva Hipsométrica de la cuenca del Rio Nepeña

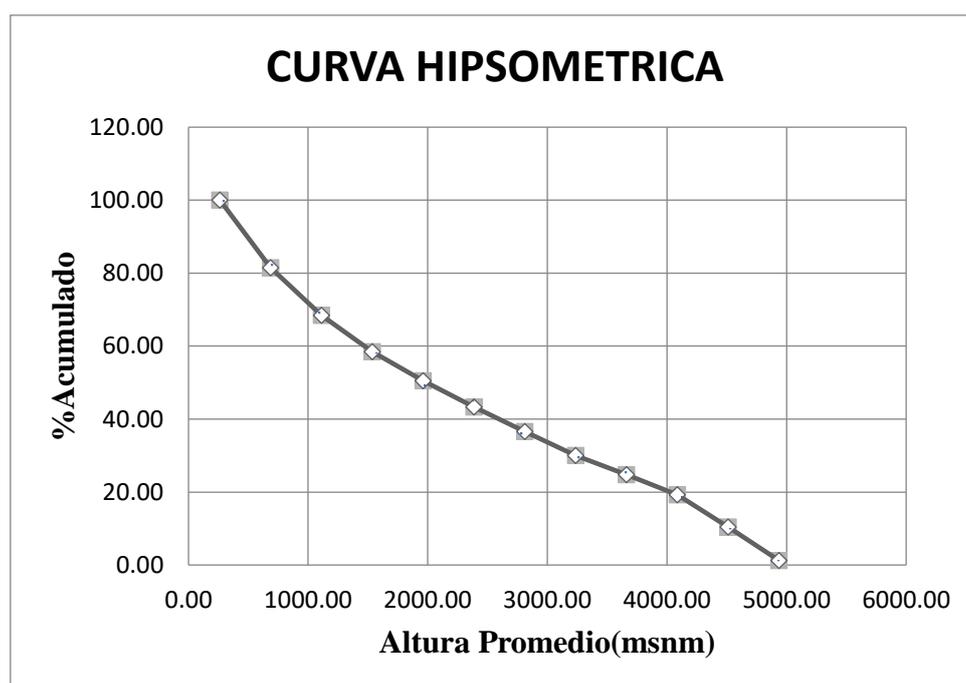
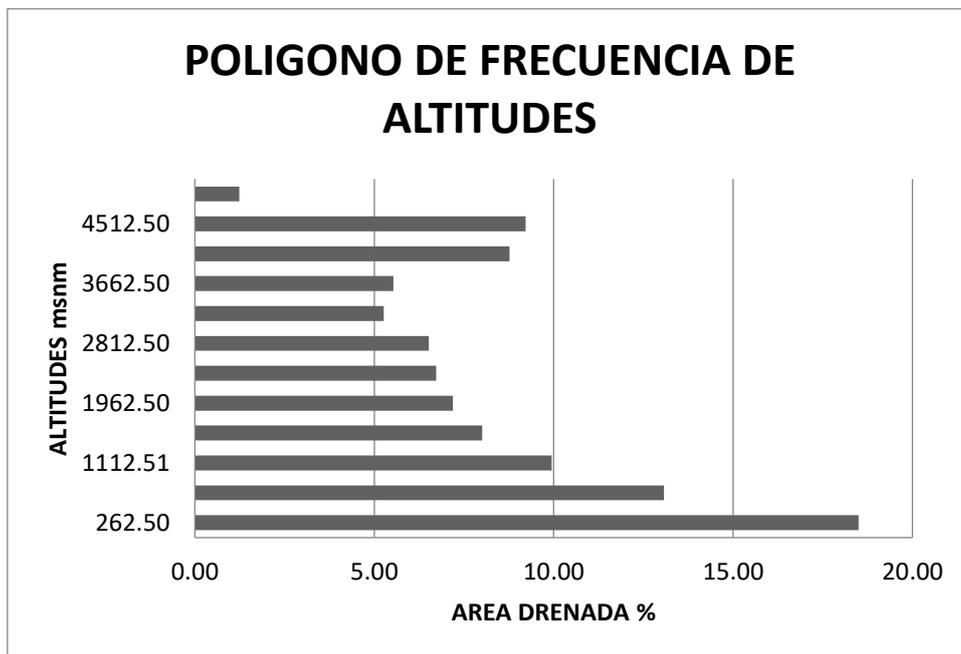


Figura 7. Diagrama de frecuencia de altitudes de la cuenca del Rio Nepeña



Altitud Media:  $H_m = 2066.40$  msnm

Altitud más Frecuente: Es la cota donde se encuentra el mayor valor del polígono de Frecuencia de altitudes.

$H_f = 262.50$  msnm

Altitud de frecuencia media: Se obtendrá interpolando para el 50% de la superficie, se utilizará el programa Excel usando la fórmula =PRONOSTICO siendo los datos a utilizar la altitud promedio y el % acumulado de las áreas.

$E_m = 2277.75$  msnm

Figura 8. Curva Hipsometrica y altitud media de la cuenca del Rio Nepeña detallada

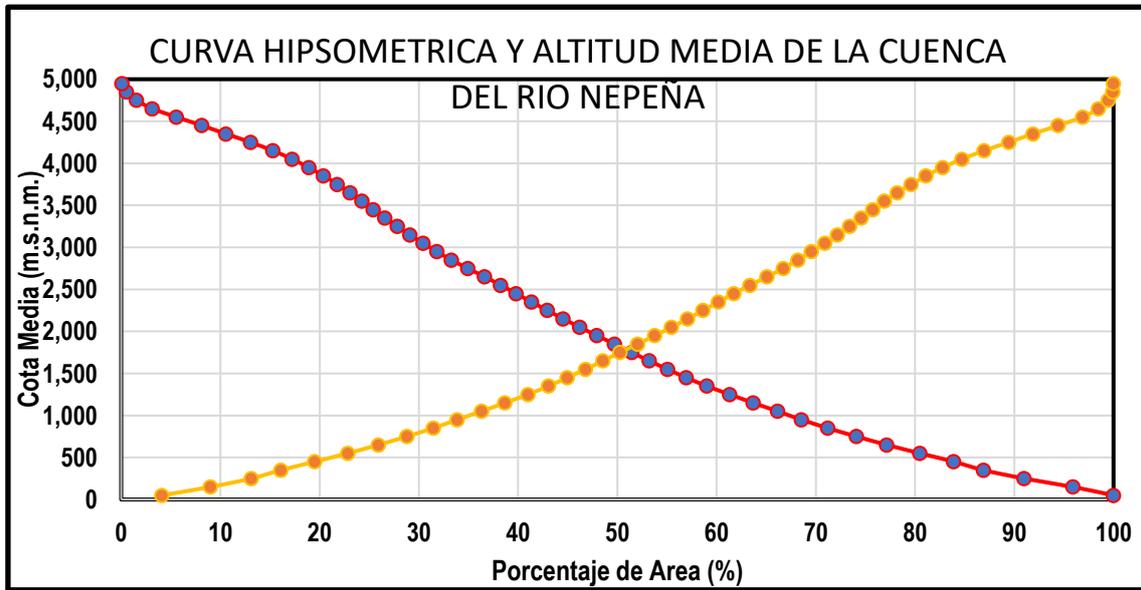


Tabla 12. Resultados de relieve de la cuenca para la generación de curva hipsométrica detallada.

RANGO		COTA MEDIA DEL INTERVALO	AREA		COTA MEDIA X AREA	AREA ACUMULADA POR DEBAJO		AREA ACUMULADA POR ENCIMA	
			km2	%		km2	%	km2	%
0	100	50	77.33	4.10	3,866.65	77.33	4.10	1,888.41	100.00
100	200	150	92.65	4.91	13,897.20	169.98	9.00	1,811.08	95.90
200	300	250	77.41	4.10	19,352.75	247.39	13.10	1,718.43	91.00
300	400	350	56.70	3.00	19,844.30	304.09	16.10	1,641.02	86.90
400	500	450	64.26	3.40	28,915.65	368.35	19.51	1,584.32	83.90
500	600	550	63.05	3.34	34,674.75	431.39	22.84	1,520.06	80.49
600	700	650	57.78	3.06	37,558.95	489.18	25.90	1,457.02	77.16
700	800	750	54.74	2.90	41,058.00	543.92	28.80	1,399.24	74.10
800	900	850	49.94	2.64	42,446.45	593.86	31.45	1,344.49	71.20
900	1000	950	45.52	2.41	43,247.80	639.38	33.86	1,294.55	68.55
1000	1100	1050	46.28	2.45	48,594.00	685.66	36.31	1,249.03	66.14
1100	1200	1150	44.60	2.36	51,290.00	730.26	38.67	1,202.75	63.69
1200	1300	1250	43.72	2.32	54,651.25	773.98	40.99	1,158.15	61.33
1300	1400	1350	39.08	2.07	52,752.60	813.06	43.06	1,114.43	59.01
1400	1500	1450	35.68	1.89	51,728.75	848.73	44.94	1,075.35	56.94
1500	1600	1550	34.88	1.85	54,059.35	883.61	46.79	1,039.68	55.06
1600	1700	1650	33.27	1.76	54,892.20	916.88	48.55	1,004.80	53.21
1700	1800	1750	32.55	1.72	56,964.25	949.43	50.28	971.53	51.45
1800	1900	1850	33.65	1.78	62,256.20	983.08	52.06	938.98	49.72
1900	2000	1950	32.49	1.72	63,363.30	1,015.57	53.78	905.33	47.94
2000	2100	2050	31.74	1.68	65,056.75	1,047.31	55.46	872.84	46.22
2100	2200	2150	30.29	1.60	65,114.90	1,077.60	57.06	841.10	44.54
2200	2300	2250	29.81	1.58	67,065.75	1,107.40	58.64	810.82	42.94

2300	2400	2350	29.39	1.56	69,059.45	1,136.79	60.20	781.01	41.36
2400	2500	2450	29.32	1.55	71,838.90	1,166.11	61.75	751.62	39.80
2500	2600	2550	30.60	1.62	78,035.10	1,196.71	63.37	722.30	38.25
2600	2700	2650	32.37	1.71	85,785.80	1,229.09	65.09	691.70	36.63
2700	2800	2750	30.83	1.63	84,793.50	1,259.92	66.72	659.33	34.91
2800	2900	2850	27.66	1.46	78,816.75	1,287.57	68.18	628.49	33.28
2900	3000	2950	26.17	1.39	77,204.45	1,313.75	69.57	600.84	31.82
3000	3100	3050	25.37	1.34	77,387.65	1,339.12	70.91	574.67	30.43
3100	3200	3150	24.02	1.27	75,666.15	1,363.14	72.18	549.29	29.09
3200	3300	3250	23.43	1.24	76,157.25	1,386.57	73.43	525.27	27.82
3300	3400	3350	22.01	1.17	73,720.10	1,408.58	74.59	501.84	26.57
3400	3500	3450	21.90	1.16	75,544.65	1,430.48	75.75	479.83	25.41
3500	3600	3550	22.26	1.18	79,023.00	1,452.74	76.93	457.94	24.25
3600	3700	3650	24.41	1.29	89,089.20	1,477.14	78.22	435.68	23.07
3700	3800	3750	26.30	1.39	98,613.75	1,503.44	79.61	411.27	21.78
3800	3900	3850	28.07	1.49	108,061.80	1,531.51	81.10	384.97	20.39
3900	4000	3950	31.83	1.69	125,720.60	1,563.34	82.79	356.90	18.90
4000	4100	4050	36.59	1.94	148,181.40	1,599.92	84.72	325.07	17.21
4100	4200	4150	42.21	2.24	175,171.50	1,642.13	86.96	288.49	15.28
4200	4300	4250	46.98	2.49	199,682.00	1,689.12	89.45	246.28	13.04
4300	4400	4350	46.02	2.44	200,169.60	1,735.13	91.88	199.29	10.55
4400	4500	4450	48.17	2.55	214,343.15	1,783.30	94.43	153.28	8.12
4500	4600	4550	46.03	2.44	209,454.70	1,829.34	96.87	105.11	5.57
4600	4700	4650	30.16	1.60	140,248.65	1,859.50	98.47	59.08	3.13
4700	4800	4750	19.03	1.01	90,378.25	1,878.52	99.48	28.91	1.53
4800	4900	4850	8.34	0.44	40,453.85	1,886.86	99.92	9.89	0.52
4900	5000	4950	1.55	0.08	7,652.70	1,888.41	100.00	1.55	0.08
<b>TOTAL</b>			<b>1,888.41</b>	<b>100.00</b>	<b>2,056</b>				

Índice factor de forma de la cuenca Nepeña

Mediante el software Arcgis, iremos a la opción measure para medir el largo y ancho de la cuenca.

El ancho de la cuenca es 49.52 km. El largo de la cuenca es 73.27 km

INDICE DE COMPACIDAD O GRAVELIUS:  $K = 1.6$

Expresa la relación entre el perímetro de una cuenca y el perímetro equivalente de una circunferencia que tiene la misma área de la cuenca.

RECTANGULO EQUIVALENTE: Calculado esta vez con los datos obtenidos del Arcgis.

$L = 106.427 \text{ km}$       $l = 17.748 \text{ km}$

Figura 9. Resultados de rectángulo equivalente

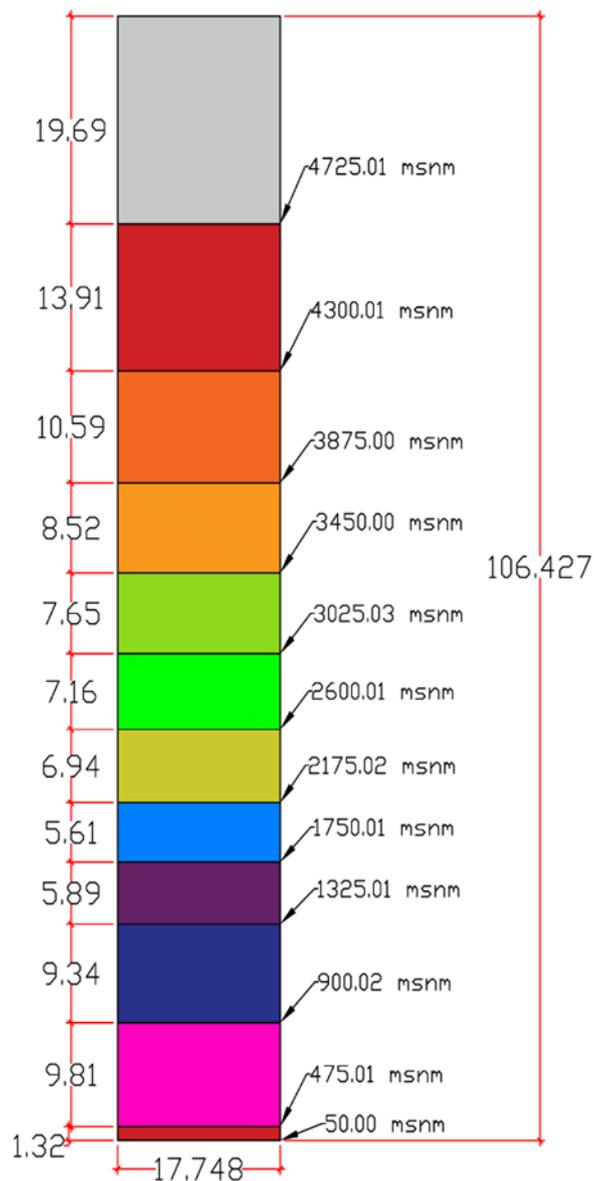
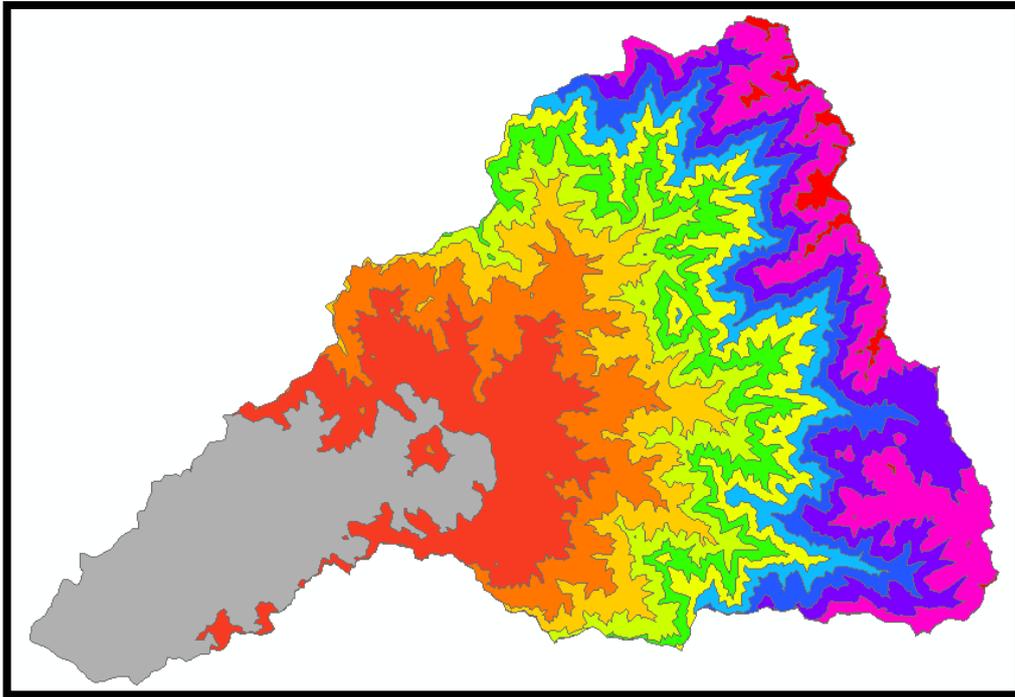


Tabla 13. Resultados de áreas parciales y longitudes equivalentes.

Altitud	Áreas Parciales Km <sup>2</sup>	Longitud equivalente (km) Li
50.00	349.47	19.69
475.01	246.93	13.91
900.02	187.91	10.59
1325.01	151.18	8.52
1750.01	135.79	7.65
2175.02	127.11	7.16
2600.01	123.12	6.94
3025.03	99.52	5.61
3450.00	104.57	5.89
3875.00	165.71	9.34
4300.01	174.12	9.81
4725.01	23.43	1.32
Total	1888.86	106.43
Perímetro	246.6 km	

Figura 10. Resultados de rectángulo equivalente en Arcgis.



INDICE DE PENDIENTES DE LA CUENCA: El índice de pendiente, es una ponderación que se establece entre las pendientes y el tramo recogido por el río.  
 $IP = 21.04\%$

Tabla 14. Resultados de áreas parciales y longitudes equivalentes.

ALTITUD	ÁREAS (Km2)	$a_i - a_{i-1}$	$\beta$	$l_i$
50.00	349.47	0.42	0.1850	0.278761052
475.01	246.93	0.42	0.1307	0.234322965
900.02	187.91	0.42	0.0995	0.204407815
1,325.01	151.18	0.42	0.0800	0.183345844
1,750.01	135.79	0.42	0.0719	0.173766204
2,175.02	127.11	0.42	0.0673	0.168118812
2,600.01	123.12	0.42	0.0652	0.165457115

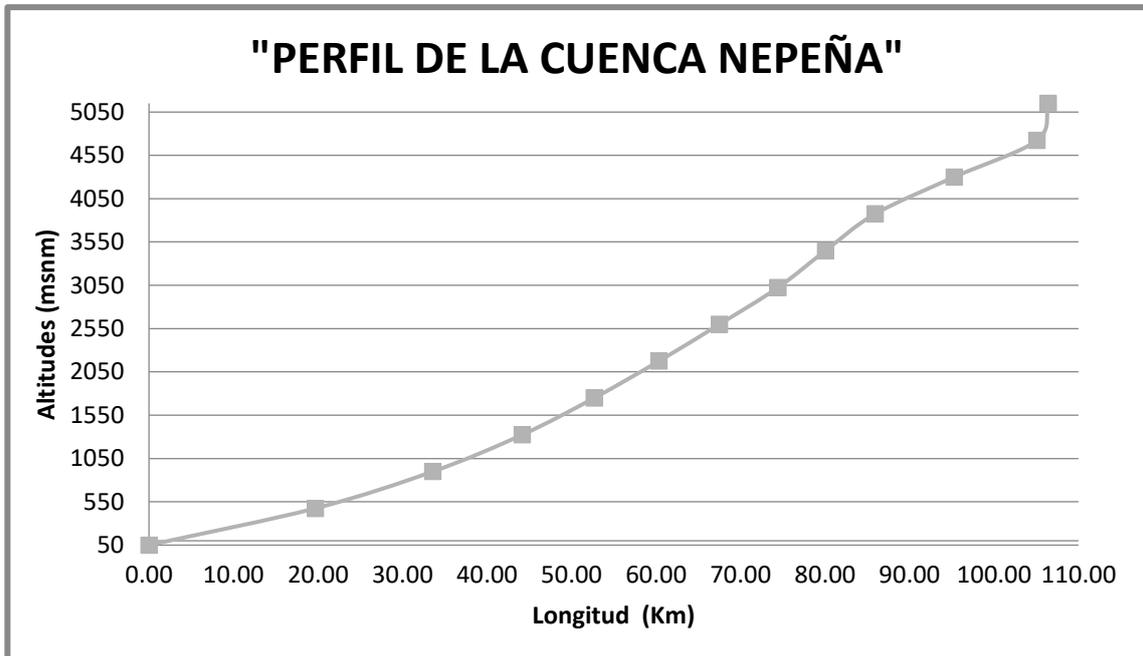
3,025.03	99.52	0.42	0.0527	0.148754628
3,450.00	104.57	0.42	0.0554	0.152483299
3,875.00	165.71	0.42	0.0877	0.191954979
4,300.01	174.12	0.42	0.0922	0.196763484
4,725.01	23.43	0.42	0.0124	0.072183144
Área Total : At	1888.85		1.0000	<b>2.170319342</b>

PENDIENTE DE LA CUENCA: Con este criterio, hallamos la pendiente de la cuenca, tomando la pendiente media del rectángulo equivalente, es decir:

Tabla 15. Resultados de longitud acumulada.

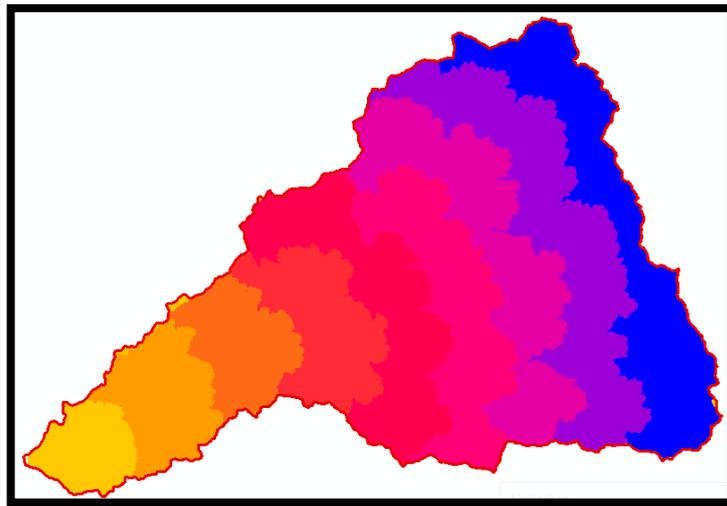
Altitud (msnm)	Longitud del tramo (Km)	S	Longitud Acumulada (Km)
50	0.00	0.000	0.00
475.00687	19.69	0.022	19.69
900.01593	13.91	0.031	33.60
1325.0057	10.59	0.040	44.19
1750.0094	8.52	0.050	52.71
2175.0183	7.65	0.056	60.36
2600.0115	7.16	0.059	67.52
3025.0271	6.94	0.061	74.46
3450	5.61	0.076	80.07
3875.0012	5.89	0.072	85.96
4300.0127	9.34	0.046	95.30
4725.0068	9.81	0.043	105.11
5150	1.32	0.322	106.43
	106.43	0.092	

Figura 11. Perfil de la cuenca del Rio Nepeña



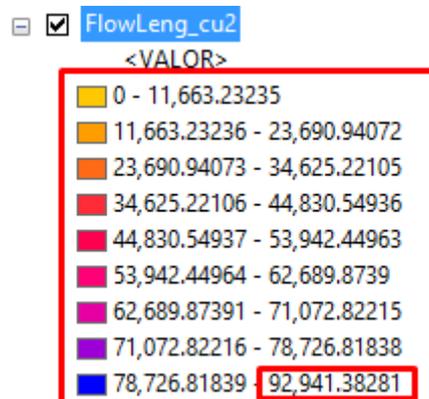
LONGITUD DEL CURSO PRINCIPAL: El programa Arcgis nos determinará las longitudes de entre las curvas de nivel de la cuenca, primero iremos a la opción ArcToolBox – Spatial Analyst Tools – Hydrology – Flow Length para hallar la longitud del curso principal.

Figura 12. Resultados de longitud del curso principal en Arcgis.



Nos dan los valores de sus distancias en Km, del punto más alejado (azul), hacia nuestro Punto de Salida.

Figura 13. Resultados de longitud del curso principal en Arcgis.



El software ArcGis nos indica que la longitud del curso principal es de 92.941 Km

Figura 14. Pendiente promedio de la superficie de la cuenca

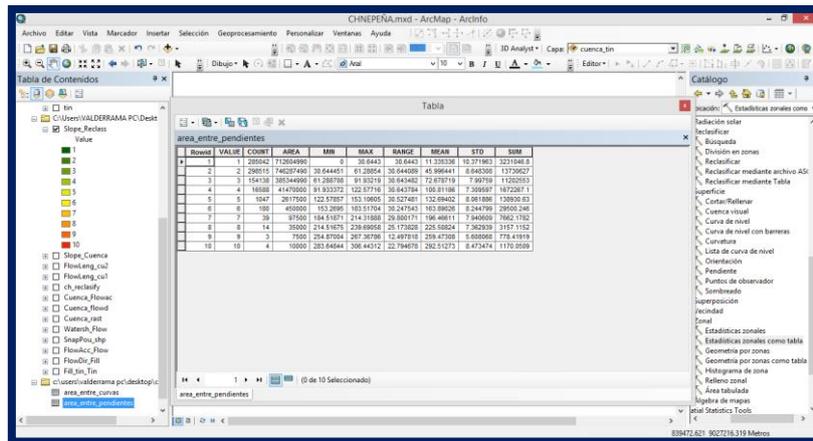
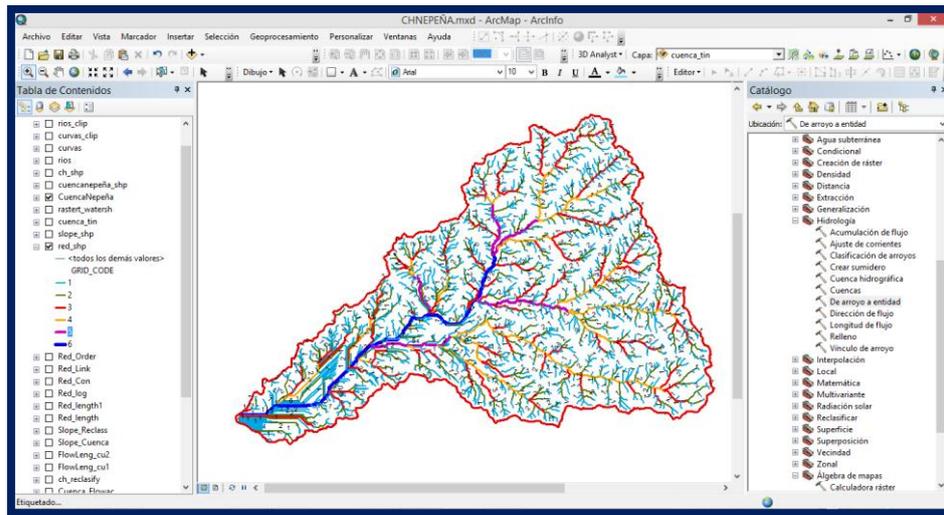


Tabla 16. Resultados de pendientes promedio de la superficie de la cuenca

Nro	Rango Pendiente (%)			Numero de Ocurrencias(2)	(1)x(2)
	Inferior	Superior	Promedio(1)		
1	0	10	5	285042	1425210
2	10	20	15	298515	4477725
3	20	30	25	154138	3853450
4	30	40	35	16588	580580
5	40	50	45	1047	47115
6	50	60	55	180	9900
7	60	70	65	39	2535
8	70	80	75	14	1050
9	80	90	85	3	255
10	90	100	95	4	380
			TOTAL=	755570	10398200

Figura 15. Resultados de la Red Hídrica en Arcgis.



Para cálculos como la densidad de corriente y densidad de drenaje se procede a corregir el archivo SHP exportándolo a un Shapefile para poder unir los diferentes ríos del mismo orden que el programa reconoce separados de esta manera podemos unir tanto los ríos del mismo orden para determinar la cantidad de cauces y la suma de las longitudes de las mismas.

Finalmente tenemos estos resultados con los que calcularemos la densidad de corriente y densidad de drenaje:

**DENSIDAD DE CORRIENTE:** Es la relación entre el número de corrientes y el área drenada, es decir:  $DC= 1.98$

Tabla 17. Datos obtenidos de (arçgiss):

NUMERO DE ORDEN	NUMERO DE CORRIENTES
1	1912
2	835
3	499
4	304
5	72
6	111
TOTAL	3733

DENSIDAD DE DRENAJE: Es la relación entre el número de corrientes y el área drenada, es decir:  $DC= 1.50$

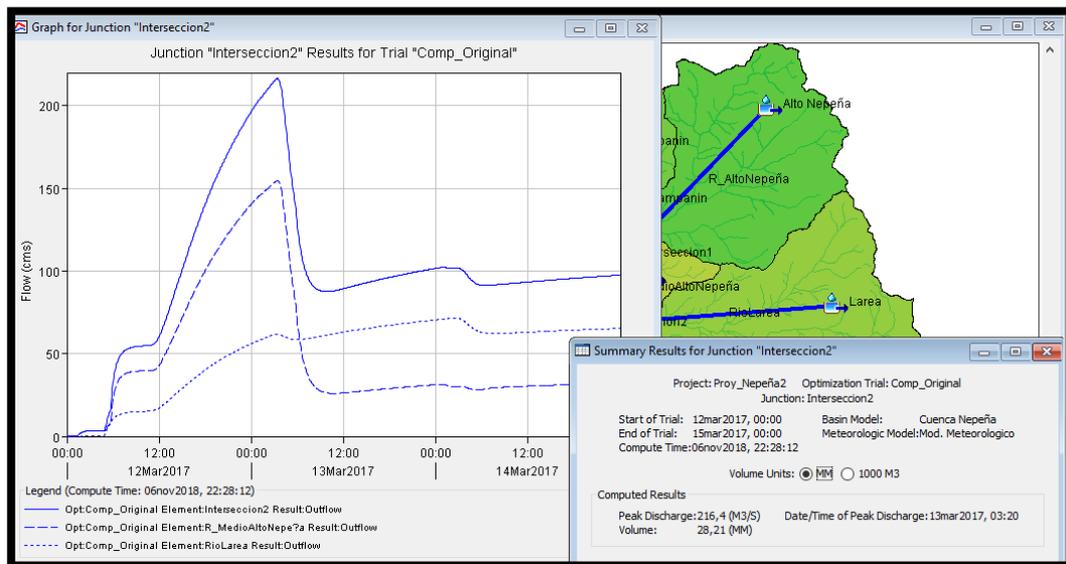
Tabla 18. Resultados obtenidos de (arçgiss):

NUMERO DE ORDEN	LONGITUDES(KM)
1	1571.02949
2	651.111296
3	320.538258
4	181.424645
5	55.935206
6	54.488046
TOTAL	2834.52694

## **V. DISCUSIÓN**

En este capítulo se analizará cada uno de los resultados obtenidos para la obtención del pronóstico de avenida, así también como las características y el comportamiento de la cuenca del Rio Nepeña en conjunto con su serie de estaciones utilizadas y comparadas con la descarga del año 2017, dato obtenido de la proyección estadística en base a lo expuesto en los objetivos específicos.

Figura 16. Punto de descarga de las subcuencas húmedas



Tal y como se muestra en la imagen tenemos un hidrograma en la cual nos muestra el caudal de descarga de la sub-cuencas de Lampanin y Alto Nepeña con su caudal de 12.30 m<sup>3</sup>/s y 130.20 m<sup>3</sup>/s respectivamente, sumando a la escorrentía directa generada por la sub-cuenca Medio Alto Nepeña con un caudal de 12.3 m<sup>3</sup>/s, así mismo Rio Larea con un caudal de descarga de 61.60 m<sup>3</sup>/s; para que esto nos genere un caudal resultante en la intersección 2 de 216.4 m<sup>3</sup>/s y tenga como recorrido en el Rio Nepeña (sub-cuenca Medio Nepeña). En este punto donde se está analizando cuenta con una precipitación de 28.21 mm.

Como bien se sabe el Río Nepeña tiene una descarga que varía entre 0.19 y 13.16 m<sup>3</sup>/s y en tiempo de avenidas las autoridades municipales descolmatan el rio para que pueda soportar caudales entre el rango de 10 a 20 m<sup>3</sup>/s; entonces con lo simulado en nuestra investigación que nos genera un caudal

de 216.4 m<sup>3</sup>/s se tiene que prever de dichas descargas y que las autoridades garanticen una descolmatación de río que pueda soportar este caudal.

EVALUACION Y COMPARACION EN LAS SUB-CUENCAS LAREA Y BAJO NEPEÑA. Analizando las subcuencas de Larea y Bajo Nepeña podemos hacer un cuadro comparativo:

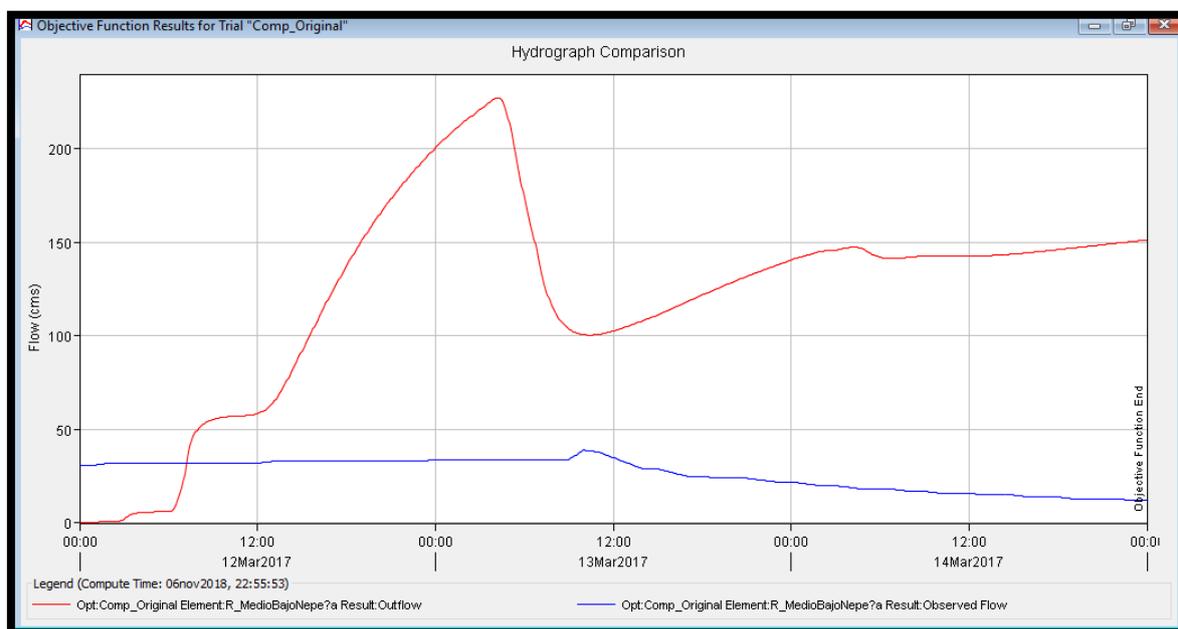
Tabla 19. Comparación de resultados de la sub-cuenca Larea y Bajo Nepeña.

DESCRIPCION	LAREA	BAJO NEPEÑA
CAUDAL PICO DE DESCARGA (m <sup>3</sup> /S)	85.2	110.6
VOLUMEN DE PRECIPITACION (mm)	70.10	60.45
VOLUMEN DE PERDIDA (mm)	23.22	35.01
VOLUMEN DE EXCESO (mm)	46.88	25.44
VOLUMEN DE ESCORRENTIA DIRECTA (mm)	45.00	25.34
ESTACION DE CONTROL	E. Yungay	E. Buena Vista
NUMERO DE CURVA (CN)	82	82.48
LAG TIME (Min)	39.98	213.76

En Hec-Hms hemos trabajado mediante el método de pérdidas del SCS de número de curva, todos los resultados están en función al número de curvas que se determinó en cada sub cuenca.

Mediante más alto sea el número de curva, mas es la escorrentía que se genera en la sub-cuenca.

Figura 17. Tiempo máximo de reacción o respuesta



Se muestra el hidrograma de comparación entre el caudal observado ingresado, y el caudal simulado que se generó debido a la transformación de la precipitación de toda la cuenca en escorrentía directa.

Este tiempo de pronóstico es el que transcurre entre una precipitación y el paso del caudal generado por dicha precipitación, por un punto de control. Se ha calculado de 2 maneras; la primera mediante sumatoria de tiempo de concentración de las sub-cuencas y la segunda gráficamente ayudados por reportes gráficos del programa HEC-HMS.

Considerando la ruta de flujo más larga desde la parte más alta de la sub-cuenca Alto Nepeña hasta la parte más baja en el puente San Jacinto, a través de las sub-cuencas ALTO NEPEÑA, MEDIO ALTO NEPEÑA, MEDIO NEPEÑA, MEDIO BAJO NEPEÑA, y sumando sus respectivos tiempos de concentración se obtiene un tiempo máximo de pronóstico de 6.12 horas.

De acuerdo con el reporte gráfico del programa se sabe que el caudal máximo se produjo el día 13 de marzo a la 04:15 am. con 227.4 m<sup>3</sup>/s y comparando con la descarga observada el día 13 de marzo a las 10.00 am., ya había superado su capacidad de carga el Río Nepeña el cual su rango es entre 10 y 20 m<sup>3</sup>/s, el caudal pico fue de 39 m<sup>3</sup>/s. Por lo tanto, la diferencia de tiempo entre ambos sucesos es de 5.27 horas aproximadamente, que es el tiempo que podemos pronosticar el caudal en la zona baja de la cuenca del Río Nepeña.

Por lo tanto, las 5.27 horas de tiempo que tenemos de pronóstico que tenemos se originó comparando el caudal pico de un evento real, versus el caudal generado en la simulación del Hec-Hms.

## ESQUEMA FISICO DEL SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA

### COMPONENTES DEL SISTEMA

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

En la cuenca del Río Nepeña, se recomienda la instalación de estaciones automáticas con transmisión de datos en tiempo real, actualmente no existe ninguna estación automática o convencional en la cual sirva para algún tipo de estudio hidrológico en la cuenca, solo se realiza el estudio mediante estaciones vecinas en la cual mayoría son estaciones convencionales.

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

Dada la importancia de operar confiablemente y en forma continua las estaciones especialmente bajo condiciones ambientales muy adversas, por ejemplo, durante una tormenta, es necesario diseñar la estación en forma robusta y con protecciones especiales. Evidentemente la alimentación eléctrica en los equipos es esencial. Para garantizar un suministro permanente e

independiente de energía, se necesita equipar las estaciones de registro de precipitación con una batería y un panel solar, además con un circuito para controlar la carga y la regulación del voltaje.

De esta manera en el día la celda convierte la energía solar en electricidad y carga la batería que de noche toma toda la carga y alimentación de la estación. Los equipos se deben diseñar y dimensionar de manera que, aun bajo condiciones prolongadas de intensos nublados en los cuales el panel es poco eficiente en su proceso de conversión de luz solar en energía eléctrica, la estación pudiese operar sin problemas por lapsos de varias semanas.

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

El pluviómetro recomendado es del tipo Balancín, consiste de un recipiente cilíndrico en cuya parte superior se encuentra expuesto un embudo a través del cual se capta el agua de la lluvia. Esta se conduce hacia una balanza o balancín con dos recipientes.

Cuando la cantidad de agua acumulada en uno de los recipientes llega a una cierta cantidad, el peso de la misma hace que el balancín salga de equilibrio, con lo cual se vierte el agua y queda en posición para captar agua el otro recipiente. Este movimiento del balancín activa momentáneamente un interruptor y produce una señal que es registrada como un pulso o cuenta por la tarjeta de control y registro. Cada movimiento de balancín equivale por tanto a una determinada cantidad de agua de lluvia que se mide en milímetros o pulgadas.

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

Otro tipo de pluviómetros no cuenta con contador electromecánico, simplemente el agua de lluvia que entra en el pluviómetro es almacenada en un bidón; que es comparada con las lecturas electrónicas.

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

Para la medición de niveles de caudal existen diversos tipos de equipos, por ejemplo, sensor de flotación, sensor neumático de presión y sensor tipo radar.

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

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

Debido al alto costo de estos equipos, es recomendable ubicar las estaciones en sitios seguros, por ejemplo, postas médicas, Municipalidades, comisarias, etc. Muchas veces esto no es posible, ya que los lugares destinados a la ubicación de las estaciones se encuentran muy alejados de los poblados; por eso es necesaria la instalación de cercos de seguridad equipados a veces con electricidad, para evitar maltrato de los equipos y/o robos. La electricidad para los cercos de seguridad se consigue mediante un panel solar y batería adicionales. Existen diferentes marcas de equipos podrían ser recomendadas las estaciones automáticas marca SEBA, ya que se viene utilizando con éxito en el sistema de alerta temprana de la cuenca del Rio Piura y se cuenta con la experiencia de manejo.

REGLAS DE OPERACIÓN: Como ya es sabido, el sistema de alerta temprana está basado en un conjunto de estaciones pluviométricas e hidrométricas, ubicadas en las diferentes sub-cuencas hidrográficas en que divide la cuenca de estudio.

Estas estaciones miden la precipitación acumulada, la intensidad de lluvia y los niveles de los caudales y al final envían información por telemetría a una estación central de registro preferentemente ubicado entre Nepeña o San Jacinto; de no ser así, esta estación central podría ubicarse en las instalaciones del SENAMHI, donde se cuenta además con facilidades para la comunicación.

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

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

Al rebasarse ciertos umbrales establecidos, se activan alarmas indicando a los usuarios, generalmente a las autoridades del Municipio de los Distritos afectados, defensa civil, Policía Nacional y Bomberos, sobre el peligro de la posible ocurrencia de flujos e inundaciones que pudiesen provocar en una cierta área de la cuenca y poder poner a si en marca un plan de emergencia previamente establecido.

Es importante capacitar a los pobladores de la Cuenca acerca de la importancia del Sistema de Alerta Temprana y de los equipos instalados en sus centros poblados o cerca de ellos, muchas veces al tener este conocimiento brindan

apoyo a técnicos o ingenieros de mantenimiento; en caso contrario los pobladores pueden pensar que se trata de equipos de exploración monera y temen la expropiación de sus tierras, por lo general reaccionan agresivamente.

**IMPLEMENTACION DEL PROYECTO:** En la implementación del proyecto se está considerando la instalación de 3 estaciones pluviométricas; Estación Lampanin ubicada en la Sub-cuenca Lampanin, Estación Pamparomas ubicada en la sub-cuenca Rio Larea y Estación Breña ubicada en la sub-cuenca Rio Loco. También se está considerando 3 estaciones hidrométricas; Estación San Jacinto ubicado en la Sub- cuenca Medio Bajo Nepeña, Estación Puente Moro ubicado en la Sub-cuenca Medio Nepeña y Estación Jimbe ubicada en la Sub-cuenca Lampanin.

Lo cual permitirá obtener registros más confiables a la realidad de la realidad para cada sub-cuenca y que sirva de base para ajustar en el corto y mediano plazo los modelos hidrológicos basados en la precipitación y características de la cuenca.

Y también consideramos la Estación de Control; Ubicado en la Sub-Cuenca Bajo Nepeña, que permitirá registrar los caudales de manera sistemática y también para un mejor control de la distribución del recurso hídrico.

**PROGRAMACION:** Para realizar la programación de la implementación del sistema de alerta temprana se ha tomado en cuenta la programación propuesta para el sistema de alerta temprana de la cuenca del Rio Piura, en el estudio definitivo para la reconstrucción y rehabilitación del sistema de defensa contra inundaciones en el Bajo Piura.

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

**Movilización:** consiste en el traslado del personal, maquinaria y materiales al lugar donde se realizarán los trabajos de instalación de las estaciones remotas y estación central.

Preparación de infraestructura de estaciones remotas: consiste en la construcción de losas de concreto para colocación de pluviómetros e instalación de rejas de seguridad para la protección de los diferentes equipos.

Preparación de infraestructura estación Central: consiste en la construcción de las instalaciones de la Estación Central.

Transporte, aduana, almacenaje: Como consecuencia de que los equipos son comprados a empresas extranjeras, estos deben de ser transportados al Perú y realizar dichos procesos.

Instalación del sistema de hardware: Consiste en la instalación de los equipos de medición pluviométrica e hidrométrica; colocación de antenas, estación de baterías y paneles solares, etc,

Instalación de paquete de software: Consiste en la instalación de los programas que trabajan con las estaciones remotas para la administración y recepción de la información.

Pruebas, ajustes y puesta en operación: La empresa que realiza la instalación y que es la misma que suministra los equipos, debe entregar estos puestos en marcha y funcionando adecuadamente.

Capacitación al personal: La empresa que suministra las estaciones remotas, también debe realizar charlas de capacitación acerca del funcionamiento y mantenimiento de los equipos.

Desmovilización: Consiste en el traslado del personal, maquinaria y sobrando de materiales a Nepeña.

**PRESUPUESTO:** Para preparar el presupuesto se adquirió la información de las páginas web de cada modelo, que fabrican e instalan equipos para sistemas de alerta, en diferentes países estas fueron SEBA HIDROMETRIE (ALEMANIA) con su contacto en Perú la empresa "ENVIROEQUIP", SUTRON (ESTADOS UNIDOS) con su contacto en Perú la empresa "ecociencia" y geonica (ESPAÑA).

Se cuenta con un presupuesto aproximado de los equipos de medición pluviométrica e hidrométrica de acuerdo a los requerimientos. De acuerdo a estos presupuestos, se ha realizado un cuadro comparativo, considerando

solamente el costo de los equipos, tratando de esta manera de uniformizar funciones y moneda presupuestada.

La hoja de programación, presupuesto de estación y operación, además de los modelos de equipos se muestran a continuación.

Tabla 20. Cuadro Presupuesto referencial de instalación

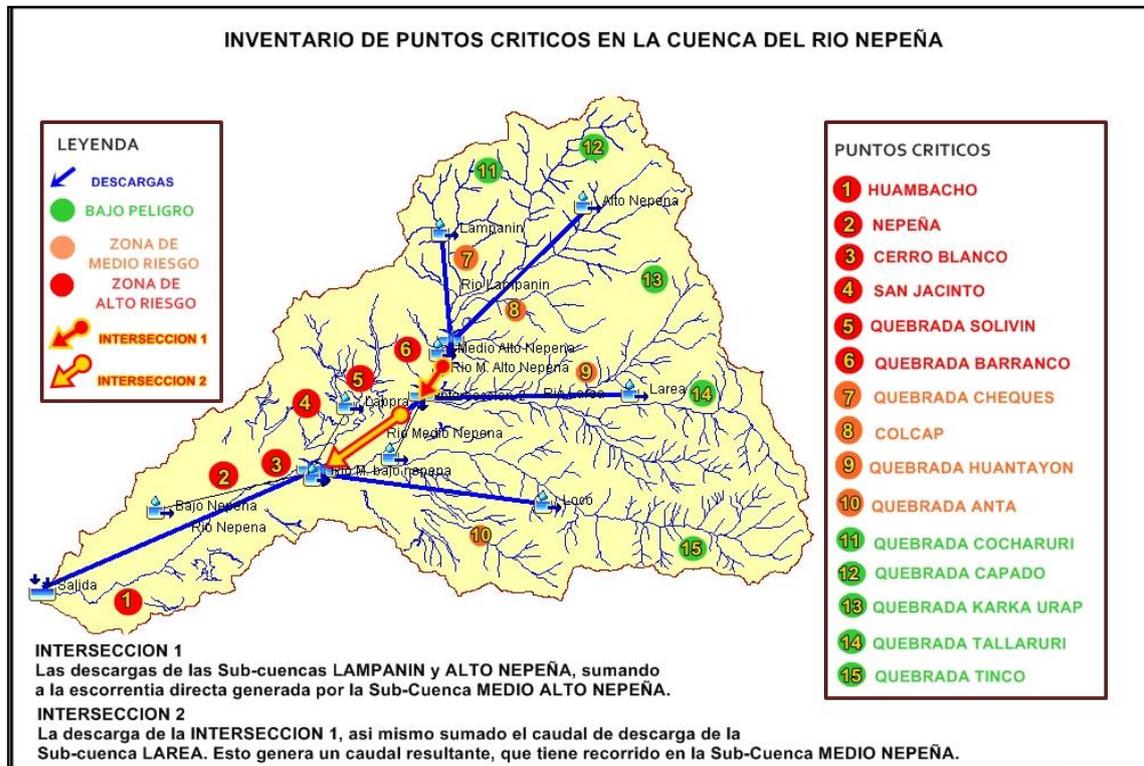
ITEM	PARTIDA	UNIDAD	METRADO	COSTO UNITARIO	SUB TOTAL
<b>1.00</b>	<b><u>OBRAS PROVISIONALES</u></b>				
1.01	Movilización y desmovilización	UND	3.00	300.00	900.00
1.02	Trazo y Replanteo	UND	3.00	100.00	300.00
1.03	Cartel de Obra	UND	3.00	80.00	240.00
<b>2.00</b>	<b><u>INFRAESTRUCTURA</u></b>				
2.01	Losa de concreto para estación remota	UND	3.00	1500.00	4500.00
2.02	Cerco de protección con malla y puerta	UND	3.00	800.00	2400.00
2.03	Preparación de estación central	UND	1.00	2000.00	2000.00
2.04	Losa para caseta de grupo electrógeno	UND	1.00	800.00	800.00
<b>3.00</b>	<b><u>EQUIPAMIENTO</u></b>				
3.01	Losa de concreto para estación remota	UND	3.00	1997.00	5991.00
3.02	Cerco de protección con malla y puerta	UND	3.00	212.00	636.00
3.03	Preparación de estación central	UND	3.00	1195.00	3585.00
3.04	Losa para caseta de grupo electrógeno	UND	3.00	5247.00	15741.00

3.05	Losa de concreto para estación remota	UND	3.00	100.00	300.00
3.06	Cerco de protección con malla y puerta	UND	1.00	1400.00	1400.00
3.07	Preparación de estación central	UND	1.00	600.00	600.00
3.08	Losa para caseta de grupo electrógeno	GLB	1.00	1490.00	1490.00
3.09	Cerco de protección con malla y puerta	GLB	1.00	1800.00	1800.00
3.10	Preparación de estación central	GLB	1.00	2492.00	2492.00
3.11	Losa para caseta de grupo electrógeno	GLB	1.00	926.00	926.00
<b>4.00</b>	<b><u>VARIOS</u></b>				
4.01	Stock básico de repuestos	GLB	1.00	980.00	980.00
4.02	Herramientas reaparición	GLB	1.00	1600.00	1600.00
4.03	Herramientas mantenimiento	GLB	1.00	1280.00	1280.00
	<b>TOTAL COSTO DIRECTO (Dólares)</b>				<b>49,961.00</b>

Tabla 21. Cuadro Presupuesto referencial de operación anual

ITEM	PARTIDA	UNIDAD	METRADO	COSTO UNITARIO	SUB TOTAL
<b>1.00</b>	<b><u>LOCAL</u></b>				
1.01	Alquiler de local para estación central	UND	12.00	280.00	3360.00
<b>2.00</b>	<b><u>PERSONAL</u></b>				
2.01	Jefe del Sistema de Alerta T.	UND	12.00	900.00	10800.00
2.02	Técnico Mantenimiento	UND	12.00	460.00	5520.00
<b>3.00</b>	<b><u>MANTENIMIENTO DE ESTACIONES</u></b>				
3.01	Movilidad	UND	12.00	242.00	2904.00
3.02	Viáticos	UND	12.00	91.00	1092.00
3.03	Stock adicionales de repuestos	UND	1.00	1000.00	1000.00
<b>TOTAL (Dólares)</b>					<b>2,4676.00</b>

Figura 18. Inventario de puntos críticos



## **VI. CONCLUSIONES**

La cuenca del Rio Nepeña no cuenta con Estaciones pluviométrica o hidrométricas operativas para estudios hidrológicos. Las estaciones que se encuentran operativas y las inoperativas son estaciones convencionales, no realizan transmisión de datos teleméricamente. Lo cual la información recopilada por los operarios es entregada al SENAMHI cada fin de mes para ser analizados, por lo que se hace imposible la predicción de eventos.

Debido a que la cuenca del rio nepeña no cuenta con datos de precipitaciones horarias, no se pueden generar un modelamiento óptimo para un tiempo de pronóstico adecuado, por eso que se generó la proyección estadística de datos para el año 2017 en la estación san jacinto.

Las estaciones que aún están en funcionamiento, se encuentran alrededor de la cuenca del rio nepeña, los cuales tampoco proporcionan información horaria de precipitaciones (mm). Tan solo cuentan por días, máximas y acumuladas.

Debido a que estas estaciones remotas, son operadas mayormente por pobladores vecinos a la estación, estos pobladores son capacitados por el SENAMHI, teniendo la indicación de realizar las mediciones 2 veces al día, pero no se sabe si hay una hora determinada o si no lo hacen.

El pronóstico de tiempo para una posible alerta según el método, mediante la sumatoria de tiempo de concentración de las sub-cuencas es 6.12 horas. El caudal generado en la simulación de la precipitación es desde el día 12 de marzo 2017 hasta el día 16 marzo de 2017 nos dio un caudal simulado de 227.4 m<sup>3</sup>/s en el tramo del dren que termina en el mar el día 13 de marzo a las 10.00 am.

El caudal observado que se ingresó al programa se generó mediante la hidrología estadística con el método de gumbel, tomando como referencia los datos de la estación san Jacinto, debido a que actualmente el rio Nepeña no cuenta con ninguna estación hidrométrica para medición de caudales.

El pronóstico de tiempo para una posible alerta según los gráficos arrojados por el programa HEC-HMS nos indica que tenemos un tiempo de 5.27 horas aproximadamente. Lo cual es un tiempo muy adecuado para poder alertar a la población ante un posible evento. La propuesta de las estaciones hidrométricas,

pluviométricas y control son las adecuadas debido a que la cuenca del Rio Nepeña no cuenta con ninguna estación dentro de su delimitación de la misma.

Se tienen 15 puntos críticos dentro de la Cuenca del Rio Nepeña, determinados por 3 colores rojo (6 PUNTOS ROJOS de Alto riesgo de inundación), Anaranjado (4 PUNTOS ANARANJADOS de Medio riesgo de inundación) y Verde (5 PUNTOS VERDES de bajo riesgo de descarga). Con el funcionamiento del Sistema de Alerta temprana se podrán tomar medidas anticipadas y oportunas de preparación y respuesta, para mitigar los daños por inundaciones.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Se recomienda realizar una investigación detallada sobre los tipos de suelos, capacidad de drenaje y vegetación en la zona, con el fin de tener mayor alcance sobre la capacidad de drenaje en la cuenca.

La hidrología en la cuenca debe contener estudios próximos en la zona de estudio, además de registros estadísticos de máximas avenidas, evaluar incluir información de estaciones hidrométricas, con el fin de interpolar la información.

Evaluar la recuperación de las estaciones meteorológicas abandonadas, y actualizar y monitorear las estaciones antiguas, así como la capacitación a los pobladores con el fin de llevar un registro con datos de mejor calidad, incluyendo un mapa de inundaciones, además un plan de ordenamiento territorial.

Instalar una estación telemétrica en el área urbana de San Jacinto para tener monitoreo continuo y permanente en la parte media de la cuenca. Mediante la estación telemétrica se registran los datos de precipitación y se realizan correlaciones del nivel del río Nepeña en la comunidad del Distrito de Nepeña.

Fomentar la participación multidisciplinaria con el enfoque de cuenca, involucrando los gobiernos locales, población, instituciones educativas, ONG's, con el fin de sensibilizar y crear más interés a la población sobre estos eventos.

Poner en práctica un ordenamiento territorial con el fin de evitar construcciones de viviendas en aquellas zonas que históricamente han sido afectadas por inundaciones.

Por razones de no disponer de adecuada información hidrológica se recomienda efectuar el dimensionamiento de las estructuras de protección correspondientes generando un caudal con periodo de retorno de 100 años.

Se recomienda continuar con el análisis de regionalización en cuencas que no poseen Sistemas de Alerta Temprana.

Se recomienda a las autoridades atender de manera urgente los 6 PUNTOS CRITICOS DE COLOR ROJO, con la construcción de Estructuras hidráulicas o Defensas ribereñas.

Se recomienda realizar una mejor investigación respecto al Número de Curva a nivel de toda la Cuenca del Río Nepeña, debido a que este es un factor muy importante para la simulación del Río Nepeña.

Incluir medidas de conservación de cauces con la finalidad de que permanezcan o se mejoren las condiciones hidráulicas del río Nepeña. Además, sería recomendable la inclusión de estudios meteorológicos como el efecto del cambio climático en la cuenca de estudio, así como la presencia del Fenómeno del Niño Costero, los cuales son eventos que podrían ocasionar anomalías que varían los registros meteorológicos e hidrológicos.

# REFERENCIAS

- AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA. (2014). Acciones de Prevención ante Inundaciones. *Ministerio de Agricultura y Riego.*
- Balisa, B., Kasztelnik, M., Bubak, M., Bartynski, T., Gubała, T., Nowakowski, P., & Broekhuijsen, J. (2011). The UrbanFlood Common Information Space for Early Warning Systems. *Elsevier Ltd.*
- Bedriñana, O. (2015). Sistema de alerta temprana de inundaciones e implementación de un sistema Scada: Aplicación en la cuenca del río Chillón. *Universidad Nacional San Cristobal de Huamanga.*
- Bremer, H., & Lara, C. (2011). Proyecto de Atlas de Riesgo de Inundación de la Ciudad de Monterey. *ITESM.*
- CENAPRED. (2001). Programa especial de prevención y mitigación del riesgo de desastres 2001-2006. *Plan Nacional de Desarrollo.*
- CENEPRED. (2014). Manual para la elaboración de riesgos originados por inundaciones fluviales.
- Cervantes, J. (2010). Generación de Mapas de Riesgo de Inundación Mediante Modelación en 2D. *Universidad Nacional Autónoma de México.*
- Choquehuanca, N. (2012). Evaluación de Riesgo de Inundaciones Basado Sobre GIS y Modelamiento Hidráulico (Hec-GeoRas). *Tendencias Actuales en la Investigación de Eventos Extremos.*
- Clarck III, R., Flaming, Z., Vergara, H., Hong, Y., Gourley, J., Mandl, D., . . . Patterson, M. (2017). Hydrological Modeling and Capacity Building in the Republic of Namibia. *American Meteorological Society.*
- Fernandez , J. (2005). Determinación del Caudal de Avenida para un Periodo de Retorno de 100 Años en el Rio Lacramarca. *Universidad Nacional del Santa.*
- Guevara, E. (2015). Métodos para el análisis de variables hidrológicas y ambientales. *MINAGRI.*
- Krzhizhanovskaya, V., Shirshov, G., Melnikova, N., Belleman, R., Rusadi, F., Broekhuijsen, B., . . . Meijer, R. (2011). Flood early warning system: design, implementation and computational modules. *Elsevier Ltd.*
- Markstrom, S., Niswonger, R., Regan, R., Prudic, D., & Barlow, P. (2008). Coupled groundwater and surface-water flow model based on the integration of the Precipitation-Runoff Modeling System. *Geological Survey Techniques and Methods .*
- MINISTERIO DE AGRICULTURA. (2009). Evaluación de los recursos hídricos en las cuencas de los Ríos Santa, Lacramarca Y Nepeña. *ADMINISTRACION LOCAL DE AGUA SANTA-LACRAMARCA-NEPEÑA.*

- MINISTERIO DE EDUCACIÓN DE PANAMA. (2011). Manual sistemas de alerta temprana. *MEDUCA*.
- Mocseti, G. (2006). Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones – Aplicación en el Rio Chillón. *Universidad Nacional de Ingeniería*.
- OEA. (2001). Manual para el diseño e implementación de un sistema de alerta temprana de inundaciones en cuencas menores. *Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos* .
- Pascual, J. (2016). Guía Practica Sobre La Modelización Hidrológica y el Modelo HEC-HMS.
- Quiroz, G., & Oreamuno, R. (2013). Proyecto piloto sobre sistemas de alerta temprana (SAT) para amenazas Hidrometeorológicas en Costa Rica.
- Rodríguez, H. (2012). Inundaciones En Zonas Urbanas. Medidas Preventivas Y Correctivas, Acciones Estructurales Y No Estructurales. *Universidad Nacional Autónoma de México*.
- Toro, R. (2012). Apuntes de clase Introducción a la Hidráulica Fluvial.
- UNIDAD NACIONAL PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES - COLOMBIA. (2016). Guía Para La Implementación De Sistemas De Alerta Temprana. *UNGRD*.
- UNIDAD NACIONAL PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES. (2016). Guía para la Implementación de Sistemas de alerta temprana. *Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres*.

# **ANEXOS**

## ANEXO 01: PANEL FOTOGRÁFICO



Figura a : Visita en la zona

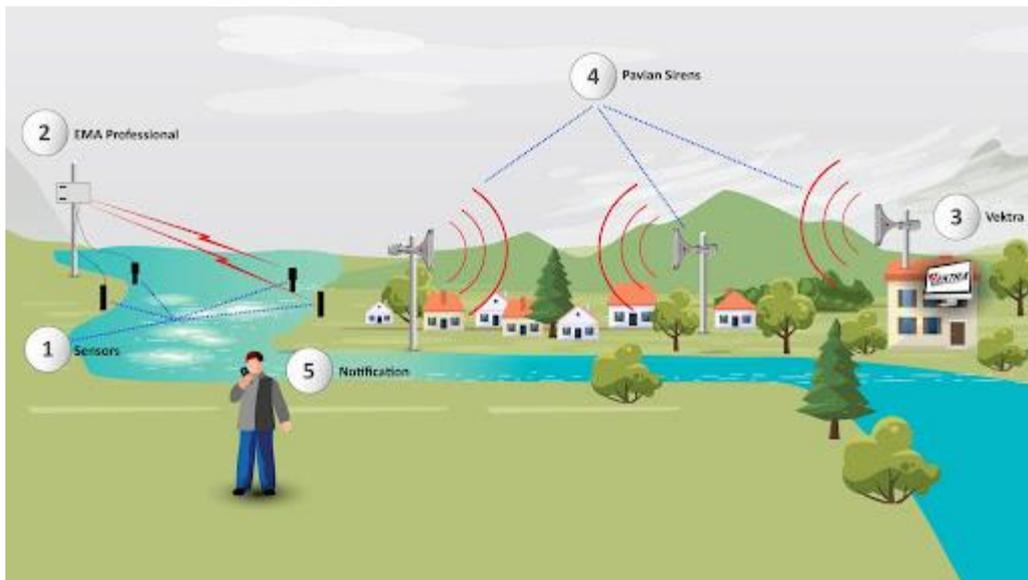


Figura b : Esquema de alerta temprana



Figura c: Guía de alerta temprana