

UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones Aplicando un  
Modelamiento Hidrológico con HEC-HMS en el Río Culebras

Tesis Para Obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Pablo Ramírez Karin Katty

Asesor:

Ing. Salazar Sánchez, Dante

Chimbote – Perú

2019

### **PALABRAS CLAVES**

<b>TEMA</b>	SAT DE INUNDACIONES
<b>ESPECIALIDAD</b>	HIDROLOGIA E HIDRAULICA

### **KEYWORDS**

<b>THEME</b>	SAT FLOOD
<b>SPECIALITY</b>	HYDROLOGY AND HYDRAULICS

### **LINEAS DE INVESTIGACION:**

<b>HIDRÁULICA</b>	
<b>ÁREA</b>	2. INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
<b>SUB-ÁREA</b>	2.1. INGENIERÍA CIVIL
<b>DISCIPLINA</b>	INGENIERÍA CIVIL
<b>SUB-LINEA O CAMPO DE INVESTIGACIÓN</b>	GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

## **TITULO**

**SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE INUNDACIONES  
APLICANDO UN MODELAMIENTO HIDROLOGICO CON  
HEC-HMS EN EL RIO CULEBRAS**

## **RESUMEN**

En esta investigación se tuvo como objetivo proponer un Sistema de Alerta Temprana contra Inundaciones utilizando un modelamiento hidrológico con HEC-HMS en el Río Culebras, para prevenir el peligro ante un fenómeno natural.

La metodología de la investigación es descriptiva, como primera acción se elaboró el modelamiento hidrológico de la cuenca de aporte de descarga al estudio, dentro de esta acción se discretizó la cuenca en 9 subcuencas, para estas se hallaron sus parámetros geomorfológicos, luego por medio del método Servicio de Conservación de Suelos (SCS) se determinó las abstracciones iniciales y la Curva Número (CN) de las subcuencas, finalizando esta acción el software HEC-HMS; mediante hidrograma sintético de la SCS, transformando la precipitación de escorrentía superficial, dicho resultado de esta acción se obtuvo que el caudal pico es de 95.5 m<sup>3</sup>/s según el reporte gráfico del programa HEC-HMS, así mismo nos da la diferencia de tiempo de 7.05 horas aproximadamente.

La finalidad de esta investigación es dar a conocer de los Sistemas de Alerta Temprana de Inundaciones, que va a servir como una herramienta preventiva y de gran apoyo para la población, así mismo debemos de conocer las zonas vulnerables, para poder minimizar los peligros que ocasionan los fenómenos naturales.

Por lo tanto, este proyecto de investigación sirve como ayuda y base para una futura implementación del Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones del río Culebras, vulnerables a este fenómeno natural. Además, es un gran logro para la ingeniería, ya que se va a proponer un Sistema de Alerta Temprana contra Inundaciones utilizando un modelamiento hidrológico con HEC-HMS.

## **ABSTRACT**

The objective of this research was to propose an Early Flood Warning System using a hydrological modeling with HEC-HMS in the Culebras River, to prevent danger from a natural phenomenon.

The research methodology is descriptive, as the first action the hydrological modeling of the discharge contribution basin was prepared for the study, within this action the basin was discretized in 9 sub-basins, for these its geomorphological parameters were found, then through The Soil Conservation Service (SCS) method determined the initial abstractions and the Number Curve (CN) of the sub-basins, completing this action the HEC-HMS software; by means of a synthetic hydrograph of the SCS, transforming the precipitation of surface runoff, this result of this action was obtained that the peak flow rate is 95.5 m<sup>3</sup> / s according to the graphic report of the HEC-HMS program, also gives us the difference in the time of 7.05 hours approximately.

The purpose of this research is to raise awareness of the Early Flood Warning Systems, which will serve as a preventive tool and great support for the population, we must also know the vulnerable areas, in order to minimize the dangers they cause Natural phenomena

Therefore, this research project serves as an aid and basis for a future implementation of the Culebras River Early Warning System of Floods, vulnerable to this natural phenomenon. In addition, it is a great achievement for engineering, since an Early Flood Warning System will be proposed using hydrological modeling with HEC-HMS.

## INDICE

PALABRAS CLAVES .....	i
TITULO.....	ii
RESUMEN .....	iii
ABSTRACT .....	iv
INDICE.....	v
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. METODOLOGIA .....</b>	<b>26</b>
<b>III. RESULTADOS .....</b>	<b>39</b>
<b>IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>63</b>
<b>V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>69</b>
<b>VI. AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>71</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>72</b>
<b>VIII. ANEXOS.....</b>	<b>74</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Componentes de un sistema de alerta temprana.....	16
Tabla 2: Variable Dependiente.....	24
Tabla 3: Estaciones Hidrometeorológicas .....	28
Tabla 4: Demarcación Política .....	30
Tabla 5: Cálculo del tiempo de concentración para las subcuencas .....	33
Tabla 6: Parámetros geomorfológicos de las subcuencas .....	42
Tabla 7: Resultados de parámetros de forma de la cuenca .....	43
Tabla 8: Resultados del cálculo de numero de curva para cada subcuenca para la Condición de Humedad Antecedente Normal AMC II.....	44
Tabla 9: Tabla de clasificación de clases antecedentes de humedad (AMC) para el método de abstracciones de lluvia del SCS. ....	45
Tabla 10: Resultados del cálculo de lluvia antecedentes total de 5 días. ....	45
Tabla 11: Resultados de los parámetros del método SCS Lag.....	45
Tabla 12: Resultados de precipitación del mes de Marzo 2017, en estaciones circundantes a la cuenca del Río Culebras .....	46
Tabla 13: Resultados de toma de datos de GPS. ....	49
Tabla 14: Resultados de cálculo de coeficiente de Manning compuesto según lo observado en visita de campo.....	49
Tabla 15: Valores para el Cálculo del Coeficiente de Rugosidad. ....	50
Tabla 16: Resultados parámetros del cauce para ingresar al Hec-Hms.....	50
Tabla 17: Comparación de resultados de la subcuenca Alto Culebras y Bajo Culebras. ....	66

## INDICE DE GRAFICO

Gráfico 1: Curva hipsométrica de la cuenca del Rio Culebras.....	43
Gráfico 2: Hidrograma generado en la intersección 1 (punto donde descarga las subcuencas húmedas). .....	47
Gráfico 3: Hidrograma de la subcuenca de Bajo Culebras, indicando sus tiempos de descarga pico, precipitación, volumen de perdida, volumen de escorrentía directa, volumen de descarga. ....	48
Gráfico 4: Hidrograma de la subcuenca húmeda Alto Culebras, indicando sus tiempos de descarga pico, precipitación, volumen de perdida, volumen de escorrentía directa, volumen de descarga.....	48
Gráfico 5: Hidrograma de comparación de flujo simulado, flujo observado y capacidad de carga del rio. ....	49
Gráfico 6: Tiempo máximo de pronóstico o reacción.....	67



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Regla Limnimétrica.....	8
Figura 2: Desbordamiento del rio en Acapulco en 2013 .....	13
Figura 3: Efecto del incremento del nivel del mar (Jiménez, 2003) .....	13
Figura 4: Rompimiento de una presa por mala operación. ....	14
Figura 5: Pluviómetro Manual .....	18
Figura 6: Pluviómetro Automático .....	18
Figura 7: Mapa de la Cuenca del Río Culebras .....	30
Figura 8: Cuenca delimitada en el Software ArcGIS. ....	31
Figura 9: Polígonos Thiessen de la Cuenca.....	33
Figura 10: Mapa de Tipos de Suelos.....	35
Figura 11: Esquema de funcionamiento del Modelo Hidrológico. ....	37
Figura 12: Vista del Río Culebras Totalmente Seco    Figura 13: Vista del Río Culebras con Pequeños Riachuelos .....	39
Figura 14: Vista del Río Culebras con caudal.....	39
Figura 15: Esquema de los Sigüientes Procedimientos del ArcGIS .....	41
Figura 16: Esquema Situacional del Río Culebras.....	42
Figura 17: Esquema de funcionamiento del Modelo Hidrológico    Fuente: Elaboración propia 2019 .....	47
Figura 18: Equipos de Medición para la Cuenca del Río Culebras. ....	53
Figura 19: Esquema de Operación y modelo de un Sistema de Alerta Temprana.....	57
Figura 20: Esquema Típico visto en la Cuenca del Río Culebras .....	58
Figura 21: vista del río culebras posiblemente zona vulnerable la estación Quita sombrero y así mismo también observamos la estación molino.....	60
Figura 22: El Río Culebras muestra la zona vulnerable de la estación Quillapampa.....	61

## INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: MAPAS TRABAJADAS EN EL SOFTWARE ARCGIS .....	75
ANEXO 2: PROPUESTA DETALLADA DEL SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE INUNDACIONES .....	76
ANEXO 3: PANEL FOTOGRAFICO .....	80
ANEXO 4: DOCUMENTOS REALIZADOS PARA OBTENER INFORMACIÓN HIDROMETEREOLÓGICA .....	86

# CAPITULO I

## I. INTRODUCCIÓN

Esta investigación tiene como propósito de proponer un Sistema de Alerta Temprana contra inundaciones. Este sistema es muy importante para la población donde puede prevenir un desastre.

Los antecedentes encontrados se han tomado en cuenta los más importantes que aportan en la investigación; tal es el caso de **Cervantes, C. (2012)**. En su investigación de **“Generación de Mapas de Riesgo de Inundación Mediante Modelación en 2D” – Ciudad de México**. Llega a las siguientes conclusiones: Se desarrolló generando mapas de peligrosidad y riesgo, en estos el nivel de peligro está en función al tirante, velocidad y factor de sumersión del flujo. Los mapas de peligrosidad (mapas de tirante, velocidad) muestran un parámetro a la vez, y pueden llevar a subestimar el efecto del flujo de inundación. La generación de mapas de riesgo por inundación correspondientes a un período de retorno de 1000 años se recomienda específicamente para la infraestructura que será indispensable en caso de un evento hidrometeorológico: albergues, hospitales y puentes que permitan la evacuación de la población y la llegada de ayuda a la zona de desastre.

**Robleto, J. (2010) - Guatemala**; desarrollo la investigación titulada: **“Metodología para el Diseño e Implementación de Sistema de Alerta Temprana ante Inundaciones con Aplicación Hidrológica e Hidráulica”**. Llegó a la conclusión que estos resultados sirven de aporte para la elaboración del diseño de un SAT, que tendrá como sitio objeto de la alerta el área urbana de Quilalí, y la elaboración de un mapa representativo de la amenaza ante inundación en dicho sitio.

**Choquehuanca, N. (2012). Evaluación de Riesgo de Inundaciones Basado Sobre GIS y Modelamiento Hidráulico (Hec-GeoRas), Imefen UNI, Recuperado de: [http://www.imefen.uni.edu.pe/PPTs/CONFERENCIA1/IMEFEN\\_Nestor.pdf](http://www.imefen.uni.edu.pe/PPTs/CONFERENCIA1/IMEFEN_Nestor.pdf)** se concluyó usar topografía con alta resolución que dará mayor precisión a los

resultados, Usar modelos de elevación digital de alta resolución y Medir las secciones transversales del río de una superficie topográfica.

**Mocetti, G. (2006). “Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones- Aplicación en el Río Chillón”, Universidad Nacional de Ingeniería.** Llega a la conclusión que primero en un análisis de los equipos de medición hidrometeorológica existentes en la cuenca y de los datos que estos proporcionan, para pasar luego a la creación de un modelo hidrológico, con la finalidad de simular el comportamiento real del río frente a las precipitaciones en la parte alta de la cuenca y en consecuencia poder realizar predicciones de caudales.

En nuestro medio local el bachiller, **Heredia, I. (2018). “Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones Aplicando un Modelamiento Hidrológico con HEC-HMS en la Cuenca del Rio Lacramarca”, Universidad Privada San Pedro.** Esta metodología consiste primero en un análisis de los equipos de medición hidrometeorológicas existentes en la cuenca y de los datos que estos proporcionan, para pasar luego a la creación de un modelo hidrológico, la cual tiene como conclusión de simular el comportamiento real del rio frente a las precipitaciones, y en consecuencia poder realizar predicciones de caudales a corto, mediano y largo plazo; luego finalmente se propone mejorar en cuanto a los sistemas de recopilación de información.

Para seguir con la investigación debemos de saber que el Sistema de Alerta Temprana (SAT), es un dispositivo complejo que avisa con anticipación de una eventualidad por un acontecimiento ya sea un fenómeno natural o humano que puede causar un desastre, con el objetivo de evitarlo. Desde los términos de gestión del riesgo, la duración del desastre está en la función de la fuerza del evento natural (o antrópico) y del grado de vulnerabilidad que presenta la población frente al fenómeno. El fenómeno en sí no es necesariamente un desastre, por ejemplo, si observamos un huracán en la escala más alta pasar por una isla desierta no compone un desastre ya que no existe población vulnerable. En esta lógica de la gestión de riesgos (el desastre es evitable o reducible) ubicamos los SAT, unos sistemas

diseñados y puestos en funcionamiento para avisar a la población de la proximidad de un evento y hacerla de forma inmediata mucho menos vulnerable.

Un Sistema de Alerta Temprana, SAT, consiste en la transmisión rápida de datos que active mecanismos de alarma en una población previamente organizada y capacitada para reaccionar de manera temprana y oportuna. El suministro de información oportuna se realiza por medio de las instituciones encargadas, lo que permite a las personas expuestas a la amenaza tomar acciones para reducir el riesgo y prepararse para una respuesta efectiva (OEA, 2010).

Según (Ocharan, 2007) TIPOS DE SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA son:

**SAT CENTRALIZADOS:** El Sistema de Alerta Temprana Centralizado se refiere aquel que utiliza de Tecnología que requiere de conocimiento técnico experto en lo que se refiere a la observación y monitoreo del fenómeno y en la elaboración del pronóstico de crecida.

La observación y monitoreo se basa en redes telemétricas de estaciones de lluvia y nivel de los ríos, que permiten pronósticos de crecida precisos y con anticipación. Se apoya en redes de observación global, como el radar, que permiten desarrollar modelos y pronósticos de tiempo, y utiliza una base científica que requiere.

**SAT COMUNITARIO:** Es un sistema de carácter sencillo el cual se caracteriza por el uso de equipos de bajo costo y de un fácil manejo, operados por miembros de las comunidades tanto en los componentes y el monitoreo del evento, así como en la comunicación de la alerta.

Este tipo de sistemas se basa en la participación activa de voluntarios de las comunidades que viven dentro de la cuenca donde se instaló el SAT, los voluntarios desempeñan funciones de trabajo en la respuesta, pero también participan en tareas de prevención con trabajos de mitigación de bajo costo y que no requieren de conocimiento técnico experto.

Algunas Organizaciones Internacionales identifican cuatro elementos fundamentales que deben ser tomados en cuenta para la creación de un Sistema de Alerta Temprana. (Cárdenas, 2011)

#### **COMPONENTES DEL SISTEMA.**

##### **➤ CONOCIMIENTO Y VIGILANCIA PERMANENTE DEL PELIGRO EN TIEMPO REAL**

Para cumplir con este componente se necesitan mapas que identifiquen los lugares inundados, permanentemente en la época de crecida del río por el incremento de las precipitaciones. El conocimiento del peligro permitirá tomar las medidas necesarias para actuar ante una emergencia.

Para realizar la vigilancia es necesario contar con instrumentos de monitoreo permanentes. Los procesos de este componente son:

#### **MÓDULO DE MONITOREO**

El SAT es controlado desde un centro de operaciones que debe:

- Revisar diariamente la información del SENAMHI, especialmente las alertas emitidas todos los días a nivel distrital y regional, para el seguimiento y monitoreo permanente.
- Comunicación permanente con los puntos de monitoreo en campo donde se encuentran los pluviómetros y escalas hidrométricas.
- El funcionamiento del centro debe ser permanente y elaborar alertas locales.

#### **SELECCIÓN E INSTALACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MONITOREO**

Después de la fase de reconocimiento de campo en la cuenca y de identificar los lugares vulnerables según datos históricos, se deben reconocer también las áreas seguras y estratégicas para colocar los instrumentos de medición de inundación y determinar el número de instrumentos a instalar.

## LECTURA Y REGISTRO

Cuando se incrementa el nivel del río es necesario hacer un seguimiento hidrológico para detectar los lugares donde ocurrirá una posible inundación. Los instrumentos necesarios para realizar la lectura y registro son:

- Pluviómetros: instrumentos de medición de precipitaciones (cantidad de agua caída expresada en milímetros). La lectura del pluviómetro se realiza tres veces al día (6 a.m., mediodía y 6 p.m.) y los datos se guardan en una bitácora. Luego son procesados y transmitidos al centro de operaciones.
- Escalas hidrométricas: son reglas de madera o aluminio que permiten medir el nivel (altura) del agua del río. La regla debe ser lo suficientemente larga como para medir el nivel del río cuando alcanza su máxima altura. Las medidas de las escalas se recogen con la misma frecuencia diaria que los pluviómetros.

## TRANSMISIÓN DE DATOS

Los datos obtenidos de la lectura del pluviómetro y de las escalas hidrométricas son remitidos al centro de operaciones de emergencia y al SENAMHI, para su análisis y procesamiento.

## PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

En el Perú, el SENAMHI es la institución científica que controla la calidad de los datos obtenidos en campo para su análisis mensual y genera mapas de precipitación con modelos numéricos.

### ➤ SERVICIO DE SEGUIMIENTO Y ALERTA

El monitoreo es un proceso permanente y que tiene una relación muy estrecha de dependencia con la información emitida por el SENAMHI. Cuando empieza la temporada de lluvias estos datos son útiles para determinar si el caudal del río ha aumentado y si hay inundaciones probables.

En todo SAT existe un cuadro de estados de control que sirve para determinar cuándo y bajo qué condiciones se emite una alerta:



➤ **DIFUSIÓN Y COMUNICACIÓN**

Este componente consiste en el uso de todos los medios de comunicación disponibles antes de una emergencia para concientizar a la población y difundir las estrategias de evacuación y emergencia, y durante y luego de la emergencia para emitir alertas y evaluar sus impactos.

<b>ROJA</b>	El impacto generado y el desastre requieren de evaluación para la respuesta.
<b>NARANJA</b>	Condiciones de inundación críticas.
<b>AMARRILLA</b>	Incremento de la manifestación de inundación.
<b>VERDE</b>	La situación es normal.

Es recomendable que en todo SAT las localidades de más alto riesgo cuenten con comunicación radial (HF-VHF) además de telefonía celular y medios de alerta como sirenas y alarmas que permitan establecer comunicación con el centro de operaciones de emergencia y sirvan para notificar a los vecinos sobre una emergencia. Por ello se debe realizar un inventario de los medios necesarios y adquirir aquellos pertinentes:

- Inventario de medios de comunicación en la zona de implementación del SAT.
- Radios HF-VHF y ubicación.

Lugares donde llega la señal de teléfonos celulares (las alertas se pueden transmitir por mensajes de texto).

- Ubicación de altoparlantes.
- Número de campanas en templos e iglesias.
- Silbatos.

Sobre la emisión y difusión de alertas vale decir que se deben utilizar todos los medios disponibles en cada población, desde silbatos, transmisión por voz y mediante el repique de campanas hasta herramientas más tecnológicas como mensajes de texto, alarmas y altoparlantes.

Deben usarse tecnologías que permitan llegar a la mayor cantidad de vecinos en el menor tiempo posible.

## ➤ CAPACIDAD DE RESPUESTA

El sistema de respuesta es una de las tareas de los grupos de trabajo de gestión del riesgo de desastres de cada comunidad. Estos grupos son formados por funcionarios del gobierno regional y funcionarios municipales capacitados en manejo de emergencias. Usualmente las autoridades electas sirven como líderes de estos grupos (presidentes regionales, alcaldes).

Es su responsabilidad desarrollar y ordenar la capacidad de respuesta de una población. Por ello son los primeros en ser informados por el centro de operaciones de emergencia.

Junto a ellos participa la plataforma de Defensa Civil, conformada por las instituciones públicas (sectores educación y salud), privadas y la sociedad civil regional y local.

Para desarrollar la capacidad de respuesta, un SAT también considera el establecimiento de protocolos, recursos humanos, materiales y equipos, que son organizados y puestos a disposición de las autoridades que lideran el proceso de respuesta.

Así mismo (Ochara, 2007) nos da a conocer los instrumentos utilizados para un Sistema de Alerta Temprana dependerá de las características y particularidades de los eventos o amenazas, de su ubicación geográfica, y de los recursos disponibles.

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

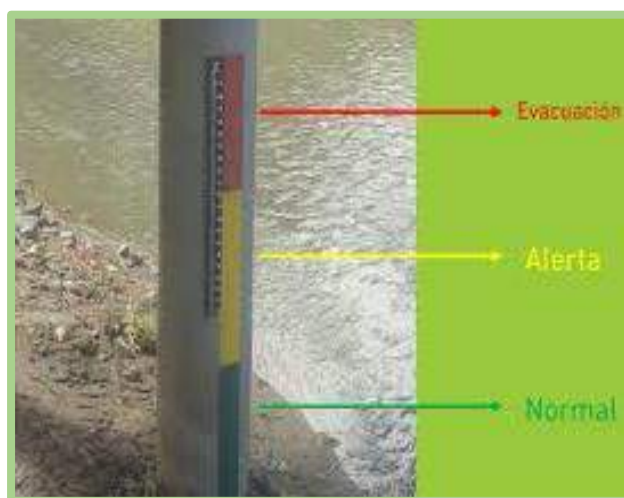
En los Sistemas de Alerta Temprana (SAT) para inundaciones, se mide la cantidad de lluvia precipitada y el nivel de caudal de los ríos, para ello se utilizan dos instrumentos fundamentales: (Ochara, 2007).

**LA MEDICIÓN DE LA CANTIDAD DE LLUVIA PRECIPITADA:** Se mide mediante un instrumento llamado “PLUVIMETRO”, estos son recipientes, en

algunos casos graduados, que permiten medir la cantidad de agua que cae durante un tiempo determinado, pueden ser automatizados o manuales. En los sistemas comunitarios, los voluntarios se encargan de la lectura, registro y transmisión de los datos obtenidos en estos instrumentos de medición.

**LA MEDICIÓN DE LOS NIVELES DE LOS RÍOS:** También se puede efectuar mediante la utilización de instrumentos automatizados con sensores ubicados en tubos que se colocan en zonas donde se pueda determinar los cambios de nivel de agua, la información se registra y es procesada automática y directamente.

También se utilizan las “**REGLAS LIMNIMÉTRICAS**”, su uso es generalizado por su bajo costo y fácil manejo, no requiere de personal especializado, solo de una comunidad organizada y comprometida con su propia seguridad, este instrumento consiste en colocar dentro o fuera de los ríos, postes o reglas graduadas en centímetros, y pintadas en tres colores relacionados a las alertas ( verde, amarillo y rojo); como alternativa se pueden pintar y graduar postes de las bases de puertos o embarcaderos, puentes, árboles, piedras, pisos u otros elementos del entorno que sirvan como regla y permita realizar una vigilancia adecuada de los cambios en los niveles de los ríos. Al igual que los pluviómetros, cuando la comunidad participa, los voluntarios se encargan de la lectura, registro y transmisión de los datos obtenidos en estas reglas.



*Figura 1: Regla Limnimétrica*

Lavell (2003) dice que el RIESGO natural es considerado como ciertos acontecimientos extremos del medio que exceden la capacidad de los procedimientos humanos para absorberlos o amortiguarlos; son aquellos acontecimientos naturales, que exceden la capacidad de absorción del sistema.

Al igual que Lavell (2003) en el mismo ámbito propone que el riesgo es la probabilidad de daños y pérdidas en el futuro, y antecede al desastre y lo anuncia, mientras que el desastre es la concreción de un riesgo, una realización de determinados niveles de riesgo en la sociedad.

El concepto de riesgo tiene diferentes definiciones de acuerdo a la ciencia con la cual se estudie, un término muy antiguo que es definida por diferentes autores en cada una de las ciencias que ellos comprenden, en la geografía: Maskrey (1993) sintetiza en tres visiones la conceptualización del riesgo:

- ✓ Centrar al riesgo como amenaza: definición sustentada por las ciencias naturales, con diversos estudios de los procesos geológicos, meteorológicos e hidrológicos que las generan, por tanto “el riesgo se convierte en la probabilidad de la ocurrencia de un evento físico, extremo, en un lugar con periodo determinado” y además se puede cartografiar (mapas de riesgos).
- ✓ Define al riesgo como probabilidad de pérdidas, está representada por las ciencias aplicadas como la ingeniería, se puede medir el impacto del fenómeno sobre la sociedad estableciendo la siguiente formula:

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} * \text{Vulnerabilidad}$$

- ✓ Ciencias Sociales: el riesgo tiene que ver con la capacidad de absorber y recuperarse de las pérdidas, donde la vulnerabilidad asume un carácter dinámico a diferencia del enfoque (Maskrey, 1993).

Por otro lado, la UNDRR, siendo Comisión Mundial (1979) que estudia los desastres mundiales lo define como el grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un fenómeno particular, mientras que el riesgo total es el número total de pérdidas humanas, heridos, daños a propiedades y efectos sobre la actividad económica debido a la ocurrencia de un desastre (riesgo específico y elementos en riesgo).

El riesgo no manejado (si no se hace nada por conocerlo e identificarlo y si no se actúa oportuna y adecuadamente sobre él) favorece la evolución de los desastres. La reducción del riesgo implica disminuir o eliminar las causas de fondo que los generan, para poder intervenir en los factores que generan los escenarios de los riesgos es necesario identificar y modificar sus componentes en el tiempo y el espacio correcto, por lo que se establece la siguiente fórmula. (SEGOB-CENAPRED-SINAPROC-FONDEN, 2001-2006)

**Riesgo de desastre= amenazas + vulnerabilidades + capacidades**

DESASTRE; lo define como un evento concentrado en tiempo y espacio, en donde una sociedad o alguna de sus subdivisiones experimentan un daño físico o quebranto social tal, que son deterioradas todas o algunas de las funciones esenciales de la sociedad. Por lo que Macías (2005) plantea que el desastre es un fenómeno social complejo.

Calderón (2001) define a los desastres naturales son comunes en la mayoría de las sociedades, y sus efectos son absorbidos rápidamente con avances tecnológicos.

En el marco institucional el CENAPRED postula que el desastre es un evento destructivo que afecta significativamente a la población, en su vida o en sus fuentes de sustento y funcionamiento (SEGOB-CENAPRED-SINAPROCFONDEN, 2001).

El PELIGRO Maskrey (1993) define a la amenaza o el peligro como fenómeno o evento que tiene peligro potencial para una población.

Por otra parte, Cardona (2001) puntualiza que peligro es sinónimo de amenaza, y dice que es un proceso o fenómeno de carácter natural o tecnológico que puede originar daños a la población, los bienes materiales o el medio ambiente natural.

De acuerdo con las Naciones Unidas (1984) la conceptualización de peligro o amenaza la refiere como la probabilidad de que se produzca, dentro de un periodo determinado y dentro de una zona determinada, un fenómeno natural potencialmente dañino.

En cuanto a la PELIGROSIDAD Cooper, siendo un término de mayor aceptación, postula a la peligrosidad como el grado relativo de probabilidad de que ocurra un evento amenazador o peligro. Depende del tipo, magnitud, ocurrencia y correlación entre los naturales sobre los elementos humanos (Cooper, 1985 citado por Maskrey, 1993).

La VULNERABILIDAD para las instituciones gubernamentales considera que son condiciones de inequidad que predisponen a una comunidad o grupo de individuos a sufrir un daño diferencial y acumulado por sus condiciones (de género, sociales, económicas, físicas, ambientales, políticas, ideológicas, técnicas, institucionales, culturales, entre otras) y por exponerse ante una amenaza que pueda generar un desastre (SEGOB-CENAPREDSINAPROC-FONDEN, 2001).

Por otro lado, la UNDRP (2009) lo puntualiza como el grado de pérdida de un elemento un grupo de elementos bajo riesgo, resultado de la probable ocurrencia de un evento desastroso, expresada en una escala de 0 sin daño, 1 pérdida total.

La vulnerabilidad se refiere a la exposición a un daño físico o moral ante un posible peligro para una sociedad consideran como el grado en que una comunidad está en riesgo ante la ocurrencia de un fenómeno natural extremo, donde los factores socioeconómicos y políticos pueden afectar la capacidad para absorber y recuperarse

El concepto de Inundaciones, se define como nivel elevado de agua en un arroyo, lago u océano que puede dañar instalaciones humanas. Como proceso natural, flujo de desbordamiento que puede construir una llanura de inundación adyacente al cauce de un arroyo o nivel de agua superior al normal a lo largo de una costa que se extiende tierra adentro más allá de la playa.

(CENAPRED, 2001) da otro concepto de inundaciones, debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta, o falla en 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 lo hay, generalmente, daños en la población, agricultura, ganadería e infraestructura.

- Desbordamiento del agua fuera de los confines normales de un río o cualquier masa de agua.
- Acumulación de agua procedente de drenajes en zonas que normalmente no se encuentran anegadas.
- Encharcamiento controlado para riego. (UNESCO; OMM; 2012)

Cuando el agua cubre una zona del terreno durante un cierto tiempo se forma una inundación. Cuanto más tiempo permanece el agua y más grande es el espesor del volumen de agua, causa mayores daños. Las inundaciones pueden ocurrir por lluvias en la región, por desbordamiento de ríos, ascenso del nivel medio del mar, por la rotura de bordos, diques y presas, o bien, por las descargas de agua de los embalses. (CENAPRED, 2001)

**CLASIFICACIÓN DE LAS INUNDACIONES:** Las clasificaciones más comunes obedecen a su origen, o bien, al tiempo que tardan en presentarse sus efectos.

**DE ACUERDO CON SU ORIGEN:** En este punto se trata de identificar la causa de la inundación. Los principales tipos son:

**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 (Ver Figura 2). 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.



Figura 2: Desbordamiento del río en Acapulco en 2013

Fuente: Tomada de el Universal <http://archivo.eluniversal.com.mx/estados/2013/epn-sobrevuela-zonas-afectadas-en-acapulco--951125.html>

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.

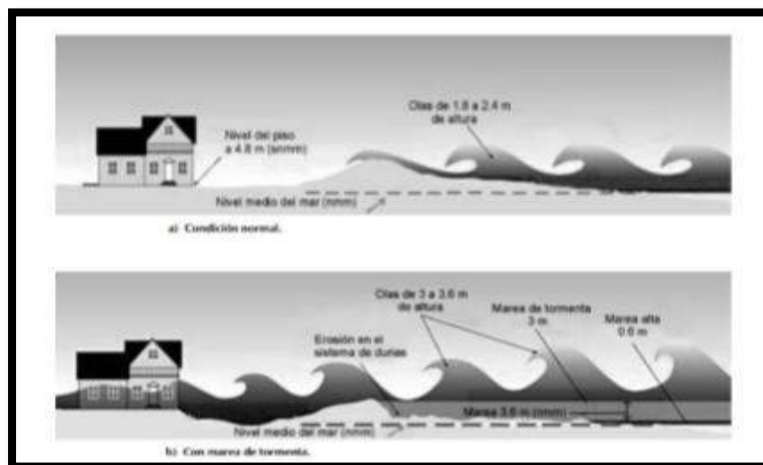


Figura 3: Efecto del incremento del nivel del mar



**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, mala operación, falla de mantenimiento o término de la vida útil de la obra.



*Figura 4: Rompimiento de una presa por mala operación.*

Fuente: Tomado de <https://www.youtube.com/watch?v=3HMxiB1cnug>.

**CLASIFICACIÓN DE LAS INUNDACIONES POR EL TIEMPO DE RESPUESTA DE LA CUENCA:** 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.

**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.

**RIESGO POR INUNDACIONES:** Para estimar el riesgo por inundaciones en una determinada zona, es necesario contar con información referente a dos componentes básicos, el peligro y la vulnerabilidad.

Un mapa de riesgo es la representación gráfica de los potenciales daños en un sitio (ciudad, localidad, vía de comunicación, etc.), generados por algún fenómeno natural o antropogénico (inundación, sismo, explosión de material químico, etc.) que lo afecte. (CENAPRED, 2001)

**SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE INUNDACIONES:** Los sistemas de alerta temprana son estructuras operativas que permiten a la población tomar medidas para minimizar los impactos debido a desastres naturales. Los sistemas de alerta temprana tienen como objetivos alertar a la población en caso de un fenómeno natural de proporciones tales que puedan causar daños a la población.

COMPONENTES DE UN SISTEMA TÍPICO DE ALERTA TEMPRANA DE INUNDACIONES: El siguiente cuadro muestra los componentes del sistema y tipo de respuesta para las diferentes clases de cuencas:

*Tabla 1: 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 modelos 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 la inundación

*Fuente: Aspectos hidrológicos de alerta de inundaciones – U.S. Army Corps of Engineers*

Según Moccetti G. (2006). Un Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones cuenta con los siguientes elementos:

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:

El monitoreo consiste en:

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

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

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:

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. La dimensión normal de la superficie anteriormente citada en estos instrumentos es de  $0.1\text{m}^2$ , por lo que un litro de agua recogida en el recipiente (equivale a  $1\text{dm}^3$  representa 10mm de lluvia.

La altura del cilindro normalmente es la necesaria para poder recoger hasta 400 mm de lluvia).



Figura 5: 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 6: Pluviómetro Automático

## NÚMERO DE PLUVIÓMETROS EN UN SISTEMA DE ALERTA DE INUNDACIONES

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

## 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 limnimétricas, 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.

## 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 río o de su influencia.

Según (Ven Te Chow, 2000) lo define la **HIDROLOGÍA**, es la ciencia natural que estudia al agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente.

## MODELACIÓN HIDROLÓGICA

Para estimar el comportamiento de las variables que permiten reproducir el ciclo hidrológico de una cuenca, se han elaborado modelos hidrológicos, como una representación aproximada del balance hídrico, considerando por un lado las variables meteorológicas como la precipitación y la temperatura del aire como datos de entrada y por otro, las características físicas de la cuenca. Para una mejor gestión de los recursos hídricos y toma de decisiones, es de importancia la modelación hidrológica.

Además, nos permite realizar simulaciones y pronósticos del comportamiento hidrológico mediante simplificaciones de los procesos físicos en la cuenca. Estos modelos de lluvia escurrentía pueden ser de naturaleza conceptual, donde se representan los procesos que ocurren dentro de la cuenca a través de esquemas y algoritmos simplificados, o estar basados en ecuaciones físicas que rigen el comportamiento de las variables dentro de una cuenca hidrográfica (Chow et al, 1994).

## MODELO HIDROLOGICO HEC-HMS

El software HEC-HMS es uno de los modelos de simulación hidrológica más utilizado. Las siglas HEC significan Hidrologic Engineering Center (Centro de Ingeniería Hidrológica), el centro de investigación del U.S. Army Corps of Engineers, ubicado en Davis, California mientras que las siglas HMS significan Hidrologic Model System (Sistema de Modelación Hidrológica).

Es un sistema de modelación hidrológica diseñado para simular la precipitación – escorrentía, procesado de sistemas de cuencas hidrográficas. Este programa se puede aplicar en un amplio rango de áreas geográficas para resolver diferentes tipos de problemas hidrológicos como el suministro de agua en una cuenca e inundaciones.

Este programa produce hidrogramas que se puede utilizar directamente o en conjunto con otros softwares para el estudio de disponibilidad de agua, drenaje urbano, pronóstico de flujo, futuro impacto urbanizaciones, diseño de aliviaderos de reservorios, reducción de daños de inundaciones, etc. Moccetti G. (2006).

La entrada al sistema es básicamente la precipitación y la salida es el caudal. Los procesos hidrológicos considerados en el Modelo Hidrológico HEC-HMS, son: la precipitación sobre el área de la cuenca; abstracciones o pérdidas; la transformación del exceso de precipitación en escorrentía directa y el flujo base. Moccetti G. (2006).

En cuanto a la **justificación científica** de la investigación: Se busca hacer una propuesta de diseño de un Sistema de Alerta Temprana contra inundaciones; el que beneficiaría a los pobladores de Culebras.

Los moradores de Culebras han mostrado en las últimas apariciones del Fenómeno del Niño, fuertes precipitaciones en su cuenca asociada con proceso de erosión, resultando como consecuencia, el tránsito de avenidas con gran cantidad de material de arrastre el cual es depositado parte en su curso final. Debido a cambios provocados por la urbanización, o fenómenos naturales, los niveles alcanzados en las corrientes naturales o canales pueden llegar a presentar un riesgo mayor del proyectado originalmente, especialmente en zonas o centros de población. Aun



cuando se cuenta con obras de protección, asociadas a un periodo de retorno que represente un riesgo aceptable, debe tomarse en cuenta que su diseño está basado en la información histórica disponible, anterior a las alteraciones del ambiente y la infraestructura actual.

Como el resultado de los diferentes estragos que dejó el Fenómeno “El Niño”, causando desbordes de Río debido a las crecidas y huaycos ocurridos en las quebradas de la cuenca, se dio a conocer el poder de la Naturaleza y comprobar que aún no estamos preparados ante un desastre natural.

SAT, es un sistema que permite monitorear o vigilar el estado y evolución de una amenaza, son un conjunto de procedimientos e instrumentos, a través de los cuales se monitorea una amenaza o evento adverso (natural o antrópico) de carácter previsible, se recolectan y procesan datos e información, ofreciendo pronósticos o predicciones temporales sobre su acción y posibles efectos contra inundaciones usando un modelamiento hidrológico con HEC-HMS, este sistema servirá para el análisis hidrológico en régimen permanente, capaz de realizar cálculos de los perfiles de la superficie del agua en flujo gradualmente variado.

En el presente proyecto trataremos de llegar a dar a conocer sobre los sistemas de alerta temprana de inundaciones, que servirá como una herramienta preventiva y de apoyo para la población. Por lo tanto, los que se beneficiaría directamente será el distrito de Culebras, este aporte les ayudara a prevenir el peligro que puedan sufrir ante un fenómeno natural.

El **Problema** ya que generalmente el río Culebras trae agua solamente en tiempo de lluvias y hace características de torrente y por un periodo corto. Es decir, de las quebradas que activan al Río Culebras no trae agua en años secos y normales, pero si en los años de Niño Fuerte, Niño Débil y ahora ultimo Niño Costero. En años hiperhúmedos, las quebradas Huanchay y Cotapuquio arrastra en forma de huaycos las arenas que se acumularon durante los años secos y en grandes cantidades que cubre las tierras bajas rellenándolas, erosionando y destruyendo tierras de cultivo a su paso. En esta ocasión vamos a describir: vemos que los países hacen grandes esfuerzos para desarrollar nuevos sistemas en la cual puedan contener el efecto que ocasiona la

naturaleza en temporadas del Fenómeno El Niño. Por lo cual los países están tratando de implementar mucho más los Sistemas de Alerta Temprana combinando tecnología y encausando sus ríos para poder tener menos estragos que ocasiona dicho Fenómeno.

Problema Nacional existe en nuestro país se verifica que aún no estamos preparados para este tipo de Fenómenos ocasionados por la naturaleza. Por lo cual hay determinadas zonas como en el Bajo Piura en la cual se implementó el sistema de alerta temprana pero como se vio en este último Niño Costero, arrasó con todo ocasionando muchas pérdidas e inundaciones. Para eso es necesaria una buena gestión que permita desarrollar buenos Sistemas de Alerta Temprana para que el país no se vea perjudicado económicamente y humanitariamente.

Problema Local existe en Culebras se verifica que aún no está implementado ningún tipo de Sistema de Alerta Temprana y mucho menos con equipos de medición hidrológico. Por lo que hay poco interés en nuestras autoridades para desarrollar estos SAT y nos perjudicarnos cuando se presente este fenómeno. Por ello se implementará un SAT que pueda controlar los estragos ocasionados por el Fenómeno El Niño.

Por lo tanto, nos planteamos el siguiente problema de investigación:

**¿Será posible diseñar un sistema de alerta temprana de inundaciones aplicando un modelamiento hidrológico con HEC-HMS en el río Culebras?**

## OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

### VARIABLE DEPENDIENTE: CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA

Tabla 2: Variable Dependiente

VARIABLES	DEFINICION	DIMENSIONES	INDICADORES
<b>CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA</b>	<p>- El funcionamiento de un Sistema de Alerta Temprana consiste en los siguientes pasos: lectura y registro de la medición de los instrumentos sobre el evento monitoreado; transmisión de los datos registrados; procesamiento y análisis de los datos transmitidos; pronóstico de la situación; establecimiento del nivel y tipo de alerta; difusión del nivel de alerta; activación de un Plan de Emergencias o Evacuación</p>	<p>-Modelación hidrológico con HEC-HMS</p> <p>- Modelos hidrológicos de la cuenca del Rio Culebras.</p> <p>- Propiedades morfológicas de la cuenca</p>	<p>- Diseño del modelo hidrológico con el Software HEC-HMS</p> <p>- Cuadros estadísticos de cálculo de hidrogramas e hietogramas</p>

Fuente: elaboración propia 2019

En la presente tesis nuestra hipótesis: Esta dada de manera implícita

Por lo cual se planteó el siguiente objetivo general: **Proponer un Sistema de Alerta Temprana contra Inundaciones basadas en el modelamiento hidrológico con HEC-HMS en el Río Culebras.** Y como objetivos específicos:

- Conocer el diagnostico situacional actual del Rio Culebras.
- Obtener la información hidrológica y realizar el modelamiento hidrológico utilizando el ArcGIS y el HEC-HMS.
- Plantear una adecuación de los componentes del sistema de alerta como estaciones hidrométricas y pluviométricas.
- Proponer un Sistema de Alerta Temprana contra Inundaciones para el rio Culebras basado en un Modelo Hidrológico.
- Identificar las zonas vulnerables de la cuenca del río Culebras.

# CAPITULO II

## II. METODOLOGIA

### TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACION

#### TIPO DE INVESTIGACION

El tipo de Investigación Científica es Sustantiva porque se trató de recopilar información que se obtuvo de la cuenca del Rio Culebras, se describe el diagnostico situacional actual de la cuenca. Así mismo también podemos decir que es un tipo de Investigación Científica Aplicada porque se va a elaborar una propuesta de un Sistema de Alerta Temprana, usando un modelamiento hidrológico que va a servir de mucha ayuda para la población.

#### DISEÑO DE INVESTIGACION

Este trabajo es de diseño no experimental en el nivel de investigación descriptiva porque el estudio persigue generalmente una propuesta de Sistema de Alerta Temprana que se va a evaluar con los datos obtenidos del rio Culebras para poder desarrollar un modelamiento hidrológico que permita conocer las zonas vulnerables.

Por lo tanto, se formó 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 así nos permita diseñar un adecuado Sistema de Alerta Temprana.



#### DONDE:

**G1: Grupo Muestral.** Toma de datos de la cuenca del rio Culebras

**Xi:** Variable Independiente: 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.

## **POBLACION Y MUESTRA**

### **POBLACION:**

Conformado por la Cuenca del Rio Culebras en la cual están situadas las poblaciones afectadas por las inundaciones y las no afectadas. Debido a este problema, se está proponiendo diseñar un Sistema de Alerta Temprana que va a evaluar el nivel de la cuenca, así mismo también se va a proceder tomar todos los datos hidrológicos de precipitaciones del rio Culebras, las zonas vulnerables de estos fenómenos naturales son objeto de estudio.

### **MUESTRA:**

Es una muestra intencional (no probabilística) del distrito; así mismo está constituida por el año que más llovió en la cuenca del rio Culebras.

## **TECNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACION**

<b>TECNICA</b>	<b>INSTRUMENTO</b>	<b>AMBITO</b>
<b>La Observación</b>	Guía de observación	Diseño del modelo hidrológico
<b>Registro de Datos</b>	Base de Datos	en el software HEC-HMS

- ✓ Se aplicó la técnica de observación ya que consiste en visualizar atentamente el hecho en una visita de campo, tomando información y registrarla en el análisis de nuestra investigación. Para esto utilizamos como instrumento la ficha de observación porque nos permite elaborar sistemas de organización y clasificación de la información para así poder elaborar el software y poder llegar a diseñar un Sistema de Alerta Temprana contra inundaciones, beneficiando al pueblo ante cualquier desastre o fenómeno natural.

- ✓ También se aplicó como técnica registro de datos ya que consiste en solicitar la información a SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología). Para esto utilizamos como instrumento la base de datos que nos permite tener la información de la estación hidrológica para así poder elaborar el software y poder llegar a diseñar un Sistema de Alerta Temprana contra inundaciones.

## MATERIALES Y METODOLOGIA

### MATERIALES

Para este proyecto empezaremos primero a realizar un diagnóstico situacional del río Culebras para ver cómo se encuentra el río actualmente; luego tomando los datos necesarios como: ancho del río, talud, marcando con el GPS las coordenadas de georreferencia.

### INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA

La información hidrometeorológica ha sido obtenida a partir de las estaciones administradas por el SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología). Las estaciones hidrometeorológicas que influyeron en la investigación fueron: Pariacoto, Chacchan, Pira, Cajamarquilla, Aija, Malvas, Huarmey y Buenavista.

*Tabla 3: Estaciones Hidrometeorológicas*

ESTACIONES	UBICACIÓN GEOGRAFICA	COORDENADAS		
	DEPARTAM.	Latitud	Longitud	Altura
<b>PARIACOTO</b>	Ancash	9° 33' 8.61"	77° 53' 15.41"	1312
<b>CHACCHAN</b>	Ancash	9° 32' 6.68"	77° 46' 31.29"	2266
<b>PIRA</b>	Ancash	9° 35' 7"	77° 42' 25.9"	3625
<b>CAJAMARQUILLA</b>	Ancash	9° 37' 55.36"	77° 44' 28.88"	3286
<b>AIJA</b>	Ancash	9° 46' 53.92"	77° 36' 24.26"	3508
<b>MALVAS</b>	Ancash	9° 55' 38.02"	77° 39' 18.7"	2979
<b>HUARMEY</b>	Ancash	10° 4' 5.23"	78° 9' 44.35"	8
<b>BUENAVISTA</b>	Ancash	9° 26' 1.34"	78° 12' 29.7"	213

La información hidrometeorológica fue entregada, con mayor detalle en hojas Excel.



## SOFTWARES

- ArcGIS
- HEC-HMS

## UBICACIÓN DE LA CUENCA

### UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Latitud Sur: 9° 38' 8" – 9° 57' 6"

Longitud Oeste: 78° 13' 26" – 77° 43' 34"

### LIMITES HIDROGRÁFICOS

Norte: con la cuenca del Río Casma

Sur: con la cuenca del Río Huarmey

Oeste: con el Océano Pacífico

### UBICACIÓN POLITICA Y ADMINISTRATIVA

La cuenca del río Culebras abarca el 13.9% de la provincia de Aija, el 6.8% de la provincia de Huarmey y el 12.3% de la provincia de Huarmey del departamento de Ancash.

- De los 5 distritos de la provincia de Aija, la cuenca abarca sólo el 37.3% del distrito de Coris.
- De los 5 distritos de la provincia de Huarmey, la cuenca abarca sólo el 42.4% del distrito Culebras.
- De los 12 distritos de la provincia de Huaraz, la cuenca abarca 2 distritos, 27.9% del distrito de Pampa y el 100% del distrito de Huanchay.

En el siguiente cuadro se observa el resumen de la distribución por límite político de los 670.9 km<sup>2</sup> que ocupa la cuenca del río Culebras.

Tabla 4: Demarcación Política

DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	AREA	
			Km2	(%)
ANCASH	Aija	Coris	96.8	14.4%
	Huaraz	Huanchay	208.5	31.1%
		Pampas	98.3	14.7%
	Huarmey	Culebras	267.3	39.8%
<b>TOTAL</b>			670.9	100%

### RÍO CULEBRAS

Departamento: Ancash

Provincia: Huarmey

Distrito: **Culebras**

Latitud: -9.93861

Longitud: -78.2242

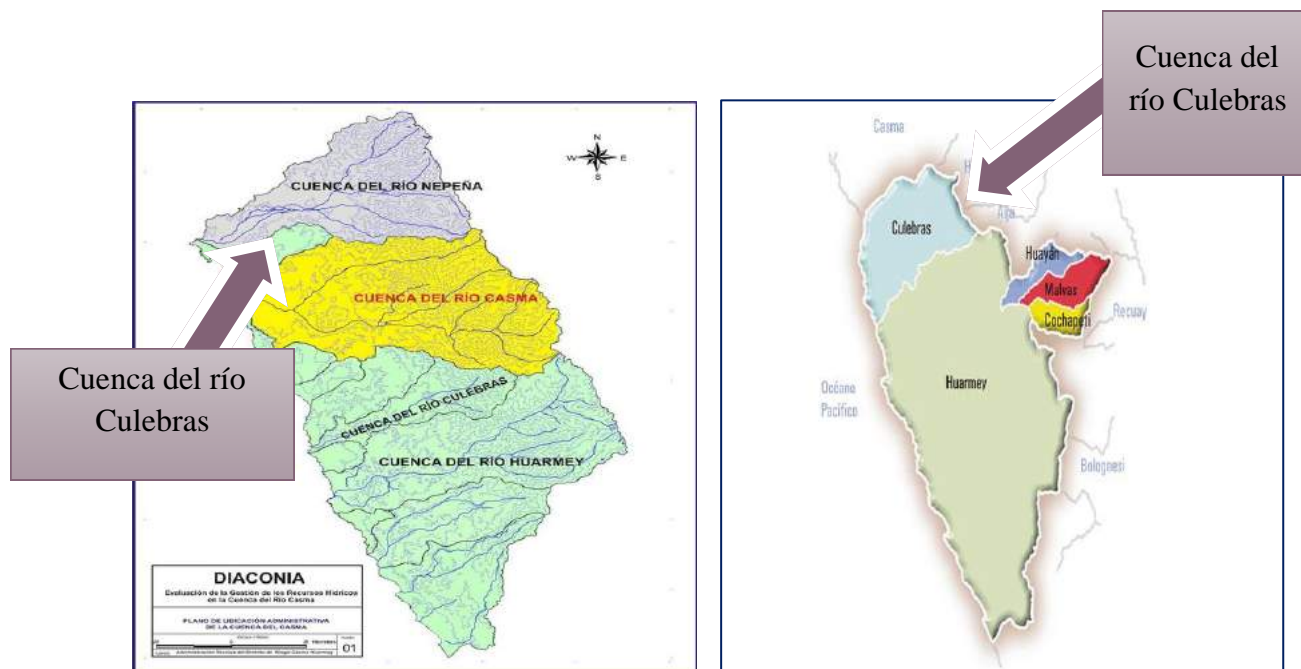


Figura 7: Mapa de la Cuenca del Río Culebras

## METODOLOGIA

La metodología utilizada para esta investigación constituyo en la aplicación del modelo hidrológico HEC-HMS para el análisis hidrológico de la cuenca alta, o de recepción del río Culebras, de modo que se obtengan hidrogramas de caudales máximos, los cuales fueron calibrados con los caudales de la estación, para diferentes periodos de retorno.

## DELIMITACIÓN HIDROGRÁFICA DE LA CUENCA

El proceso para delimitar una cuenca fue realizado mediante el ArcGIS, el cual proporcionó un modo más rápido y sencillo para delimitar la cuenca en estudio mediante sus aplicaciones. Para un mejor análisis y uso del HEC-HMS, la cuenca en

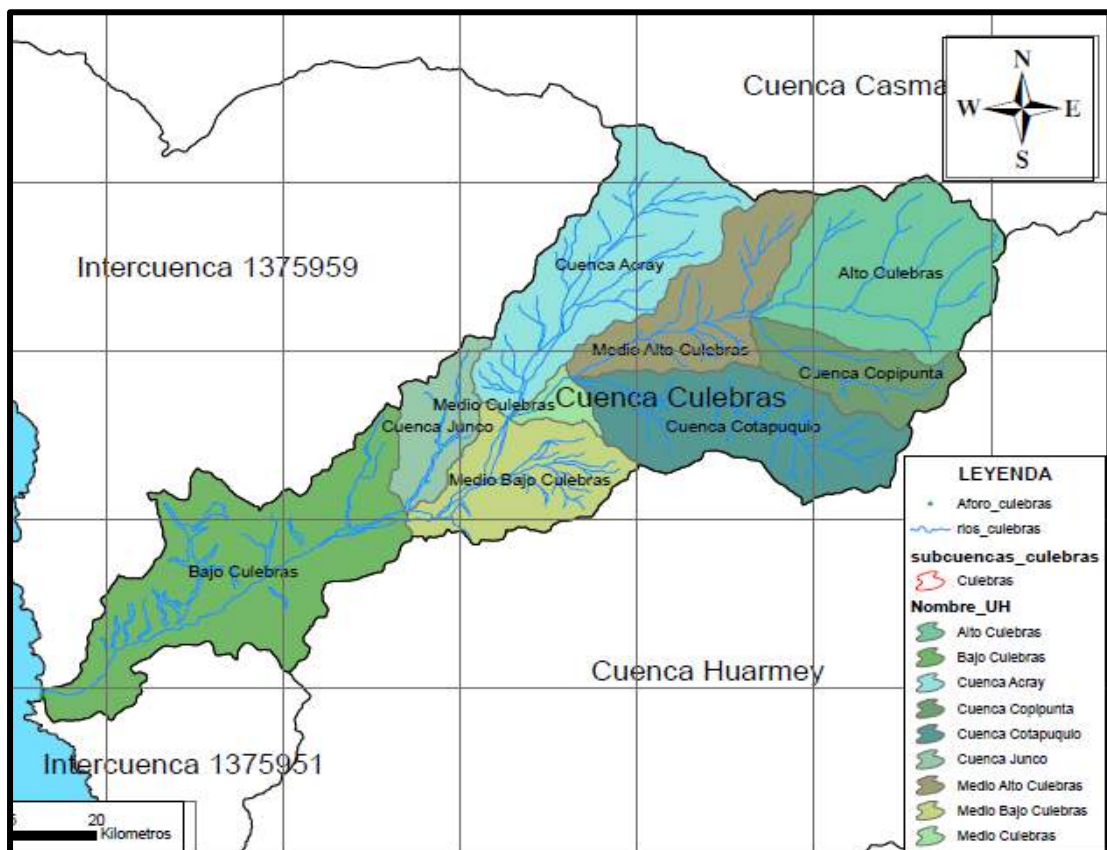


Figura 8: Cuenca delimitada en el Software ArcGIS.

## PARÁMETROS GEOMORFOLOGICOS DE LA CUENCA EN ESTUDIO

Para caracterizar la cuenca hidrográfica se cuantificó los parámetros que describen la estructura física y territorial en fin de establecer las posibilidades y limitaciones de sus recursos naturales. Algunos de los parámetros geomorfológicos sirven de base para identificar la vulnerabilidad y considerar peligros a los desastres naturales.

Para un mejor entendimiento de la delimitación de la cuenca utilizando el software ARGIS, se muestran los siguientes trabajos: Área de la cuenca, longitud de la cuenca, pendiente de la cuenca, curva hipsométrica, red hídrica, polígonos Thiessen y tiempo de concentración.

De ahí obtuvimos mapas temáticos en el software (dirección del flujo, acumulación del flujo) y definición de la red hidrográfica en la cuenca y así mismo vemos el cálculo de las principales características de las subcuencas y cauces, de todo esto obtenemos el modelo conceptual de la cuenca para su uso en el software HEC-HMS.

### TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

En este estudio para determinar el tiempo de concentración, en minutos, se utilizó la fórmula de Kirpich (1940).

$$t_c = 0.01947L^{0.77}S^{-0.385}$$

Donde:

L= longitud del cauce mayor de la cuenca (m)

S= pendiente promedio de la cuenca (m/m)

Tabla 5: Cálculo del tiempo de concentración para las subcuencas

DESCRIPCION	LONGITUD DEL CAUCE MAYOR (M)	PENDIENTE PROMEDIO (M/M)	TC(MIN)	TC(HR)
BAJO CULEBRAS	27230	0.013	269.45	4.49
MEDIO BAJO CULEBRAS	9660	0.026	92.90	1.55
MEDIO CULEBRAS	4590	0.039	44.81	0.75
CUENCA COTAPUQUIO	19840	0.149	82.57	1.38
CUENCA JUNCO	11850	0.048	85.87	1.43
CUENCA COIPUNTA	13800	0.184	57.56	0.96
MEDIO ALTO CULEBRAS	12240	0.069	76.56	1.28
ALTO CULEBRAS	18490	0.158	76.46	1.27
CUENCA ACRAY	20900	0.140	88.03	1.47
			Total (horas)=	14.57

## POLÍGONOS DE THIESSEN

Para el cálculo de la precipitación real se usó el método de Thiessen mediante el cual se crearon los polígonos en ArcGIS con el comando “Create Thiessen Polygons”. Para esto se partió de la distribución espacial de las estaciones meteorológicas seleccionadas.

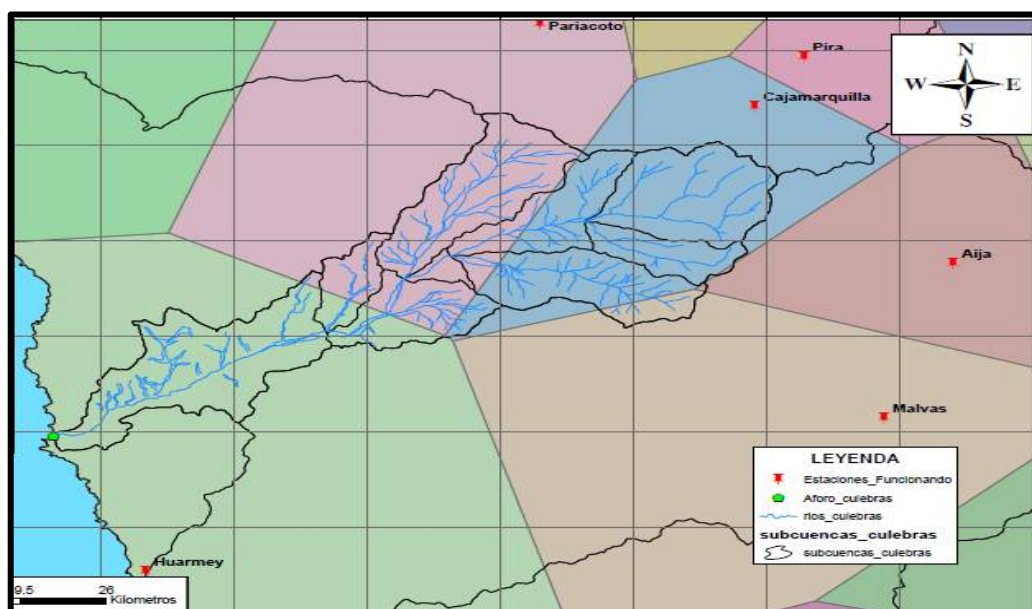


Figura 9: Polígonos Thiessen de la Cuenca.

## CÁLCULO DE LAS ABSTRACCIONES

Para el cálculo de las abstracciones o pérdidas, primeramente, se determinó el Curve Number (CN) correspondiente a la zona específica en estudio y luego se utilizó el método del Servicio de Conservación de Suelos (SCS).

### — DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA

El número de curva se determinó empleando el software ArcGIS, partiendo de la información obtenida del Mapa de Uso del Suelo Y el Mapa de Tipo del Suelo, propios de la zona de estudio.

## MAPA DE USO DEL SUELO

Mediante el Mapa de uso del suelo se determinó el impacto, producido por la presencia o ausencia de cubierta vegetal, en la velocidad con que escurre el agua en la cuenca, además de la cantidad de agua infiltrada en el suelo y la cantidad de agua interceptada.

Para la representación cartográfica del uso del suelo en la cuenca, se utilizó la herramienta ArcGIS.

## MAPA DE TIPO DEL SUELO

Para el uso del Mapa de Tipo de Suelo se realizó la clasificación definida por el Soil Conservation Service:

- Grupo A: Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.
- Grupo B: Suelos pocos profundos depositados por el viento, marga arenosa.
- Grupo C: Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con alto contenido de arcilla.
- Grupo D: Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

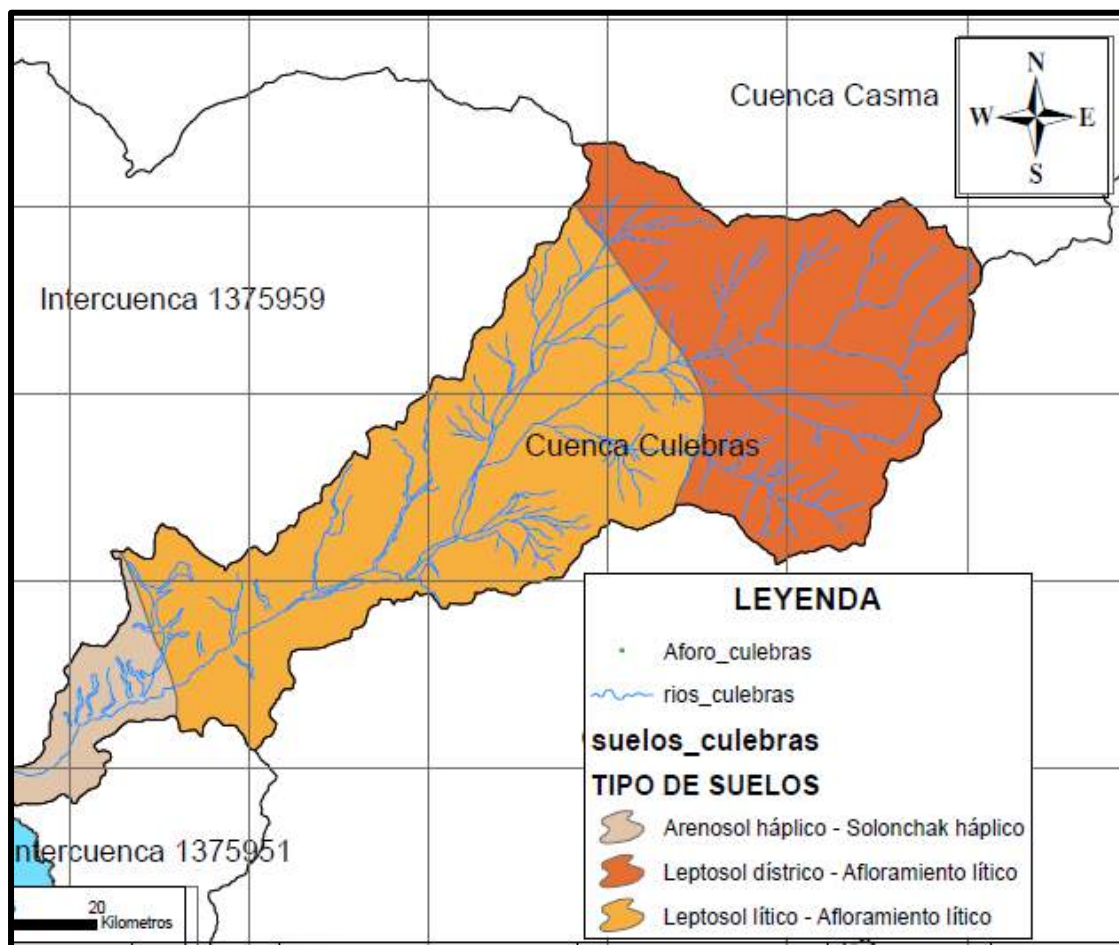


Figura 10: Mapa de Tipos de Suelos

## MAPA DEL NÚMERO DE CURVA

El procesamiento sistematizado de este comando del ArcGIS consistió en vincular los usos reales del suelo y los grupos hidrológicos del suelo, de tal manera que se generó un Número de Curva para cada combinación.

Luego se relacionó el Número de Curva con la retención potencial máxima  $S$  mediante la siguiente expresión:

$$S = \frac{25400 - 254CN}{CN} \quad (SI)$$

## METODO DEL SCS PARA ABSTRACCIONES

Se utilizó el método del Soil Conservation Service (SCS), desarrollado en 1972, para el cálculo de las abstracciones de la precipitación de una tormenta.

## APLICACIÓN DEL MODELAMIENTO HIDROLÓGICO HEC-HMS

Por medio del HEC-HMS se simuló la escorrentía superficial que resultó del producto de la precipitación, mediante la representación de la cuenca como un sistema interconectado de componentes hidrológicos.

Los elementos hidrológicos se ubicaron en una red de cauces y los cálculos se procesaron en secuencia de aguas arriba hacia aguas abajo.

El modelo HEC-HMS se aplicó para la obtención de los caudales máximos para distintos periodos de retorno.

Para la aplicación del HEC-HMS se utilizaron cuatro de sus principales componentes:

- El Modelo de la Cuenca (*Basin Model*).
- Series de Datos Instantáneos (*Time Series Data*).
- El Modelo Meteorológico (*Meteorologic Model*).
- Especificaciones de control (*Control Specifications*).

**EL MODELO DE LA CUENCA:** En este modelo representó una cuenca como un sistema de componentes interconectados; es decir, como un sistema hidrológico. Cada componente modeló un aspecto del proceso precipitación-escorrentía dentro de cada subcuenca; entre estos componentes se tuvo la escorrentía superficial en la subcuenca (subbasin), el tránsito en ríos o canales (reach), y los puntos de salida, análisis y combinación de hidrogramas (junction).



El Modelo Hidrológico desarrollado para la cuenca del río Culebras, se conformó por nueve componentes de escorrentía superficial, ocho componentes de tránsito de caudales y cinco puntos de unión de hidrogramas. Su esquema de funcionamiento se muestra en la figura.

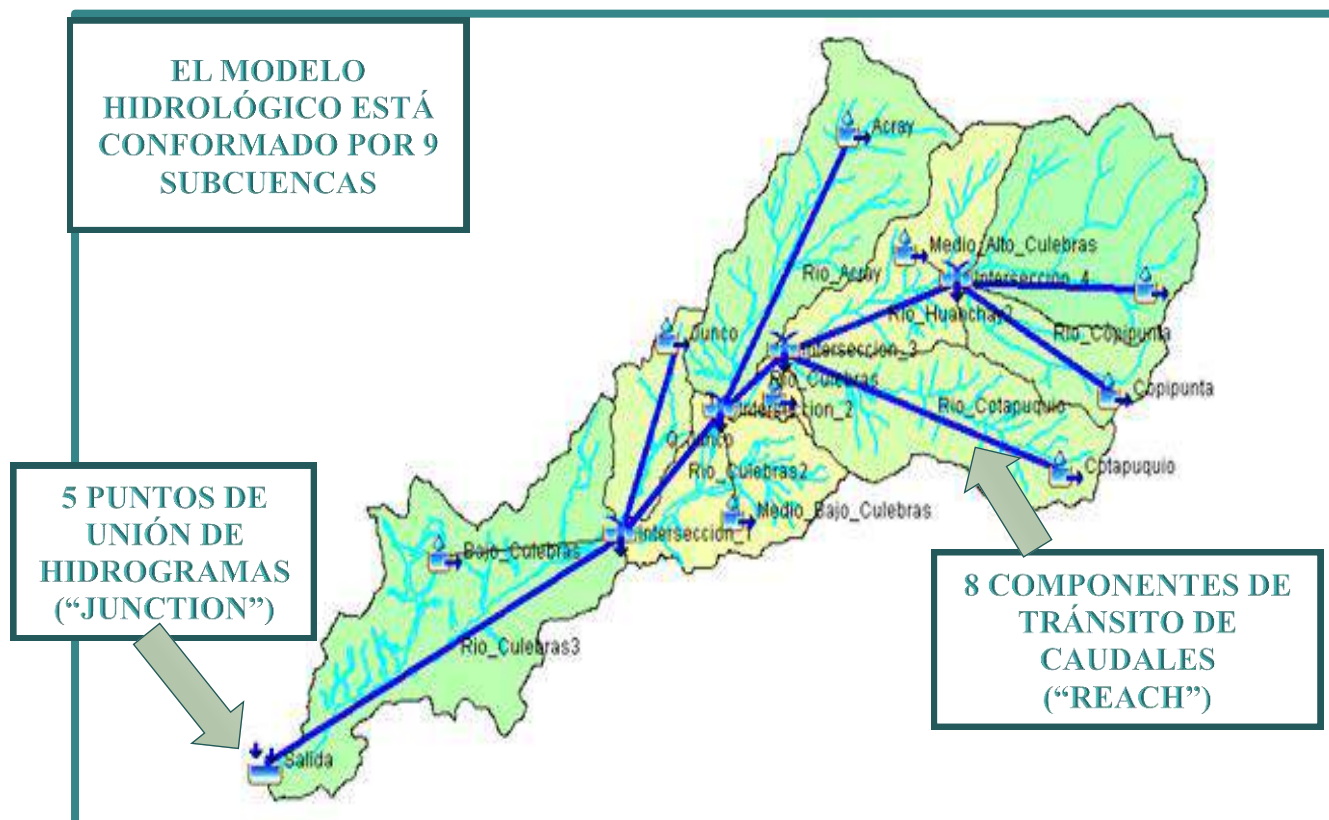


Figura 11: Esquema de funcionamiento del Modelo Hidrológico.

Mediante estos componentes el HEC-HMS realizó el cálculo de la escorrentía directa al cuál se le fue adicionando el flujo base para obtener el hidrograma de caudales de la cuenca mediante la sistematización de los siguientes métodos.

**MÉTODO DE CLARK UNIT HYDROGRAPH:** Mediante este método se determinó el hidrograma unitario de la cuenca, transformando el exceso de precipitación (tc) de cada subcuenta.

**MÉTODO SOIL CONSERVATION SERVICE (SCS):** Con este método se calculó el exceso de precipitación, el cual es el producto de estar las abstracciones de la precipitación. En este procedimiento se ingresaron las abstracciones iniciales (Ia) y número de curva (CN) de cada subcuenca.

#### **MÉTODO DE RECESIÓN CONSTANTE DEL FLUJO BASE**

El hidrograma de caudal de la cuenca, está compuesto por la suma del hidrograma de escorrentía directa y el flujo base. Este método se utilizó para obtener el drenaje de almacenamiento naturales de las subcuencas.

#### **SERIES DE DATOS INSTANTÁNEOS**

Por medio del comando Time Series Data se ingresaron las series de datos de precipitación instantáneas y los caudales para la calibración del modelo.

#### **MODELO METEOROLÓGICO**

Con el modelo meteorológico se calculó la precipitación real sobre cada subcuenca. Este modelo estuvo vinculado con la realización de los polígonos de Thiessen, ya que permitió el ingreso del porcentaje de influencia de las estaciones pluviométricas en cada subcuenca.

#### **ESPECIFICACIONES DE CONTROL**

En las especificaciones de control se estableció la fecha y hora del inicio y término del modelo, y el intervalo de tiempo del mismo para los tiempos de retorno.

# CAPITULO III

### III. RESULTADOS

En este capítulo se va a mostrar toda la información generada a lo largo de la investigación, de manera que se va a enfocar en lo expuesto de todos los objetivos específicos expuestos anteriormente, se ordenó en forma de tablas y gráficos de manera resumida para una mejor comprensión.

#### DIAGNOSTICO SITUACIONAL.

PRIMER VISITA: La visita se realizó el día 14 de diciembre del 2018 donde se observó el río totalmente seco; en algunas partes había pequeños riachuelos.



*Figura 12: Vista del Río Culebras Totalmente Seco*    *Figura 13: Vista del Río Culebras con Pequeños Riachuelos*

SEGUNDA VISITA: La visita se realizó el día 8 de febrero del 2019 donde se observó el río con abundante caudal, tras las intensas lluvias por la sierra.



*Figura 14: Vista del Río Culebras con caudal*

La cuenca del río Culebras está ubicada en la zona norte de la vertiente del Pacífico en dirección noreste a suroeste, posee un área total de 670,90 Km<sup>2</sup>; 601,2 Km<sup>2</sup> corresponde a la zona seca y representa al 89,61% del total de la cuenca y sólo 69,70 Km<sup>2</sup> o sea el 10,39% del total de la cuenca es húmeda y corresponde a las zonas altas de la cuenca. Se origina como consecuencia de las precipitaciones estacionales que ocurren en su cuenca alta. La precipitación durante el año es de 15,0 a 500,0 mm y la evaporación total anual varía de 1 000 ,67 a 1 266,41mm/año.

El río Culebras es un río de la vertiente del Pacífico, localizado en la costa norte del Perú, en la Región Ancash. Este ancho río, nace en las alturas de Huanchay. En su amplio recorrido riega el valle de Culebras. Se origina por las precipitaciones que caen en el flanco occidental de la Cordillera Negra, de las cuales nacen las quebradas Huanchay y Cotapuquio que al unirse a la altura del poblado de Quian, forman el río Culebras.

En época de estiaje su caudal disminuye considerablemente ya que en su cuenca no se levantan nevados que produzcan deshielos, por lo que no tendría un aporte adicional que permita un caudal significativo.

El río tiene un régimen muy irregular y torrencioso, con un potencial hídrico muy limitado y de escurrimiento intermitente que llega al mar en escasas oportunidades. El curso principal tiene una pendiente promedio de 6,8% y una longitud aproximada de 68,8 km. A lo largo de este río se pueden ubicar los poblados de Quita Sombrero, Ampanú, La Laguna, Quian, Huayash, Cuzmo, Raypa y Colcap; todos ellos productores de frijol, maíz y yuca, que abastecen a la ciudad de Huarmey y al Informe socio ambiental de la zona costera del distrito de Culebras y a otras ciudades de la costa, en especial a la ciudad de Lima.

El régimen de descargas del río Culebras es irregular, haciéndose temporalmente deficitarios para el desarrollo de la agricultura y por lo tanto creando serios problemas a los agricultores del valle que utilizan sus aguas.

### 3.1. TRABAJO REALIZADO EN EL ARGIS.

#### 3.1.1. PARAMETROS GEOMORFOLOGICOS DE LA CUENCA – PROCEDIMIENTOS ARCGIS.

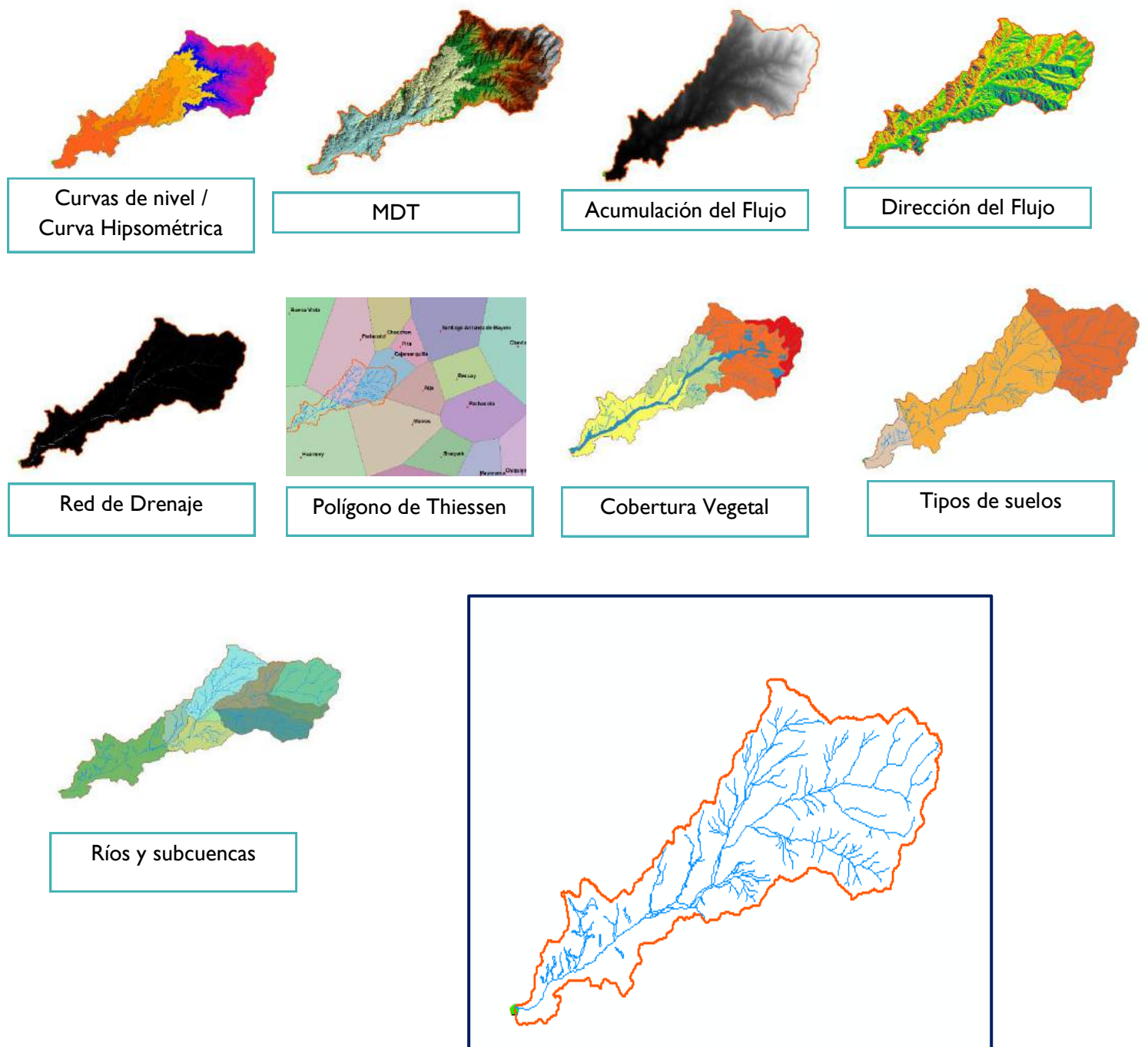


Figura 15: Esquema de los Sigüientes Procedimientos del ArcGIS



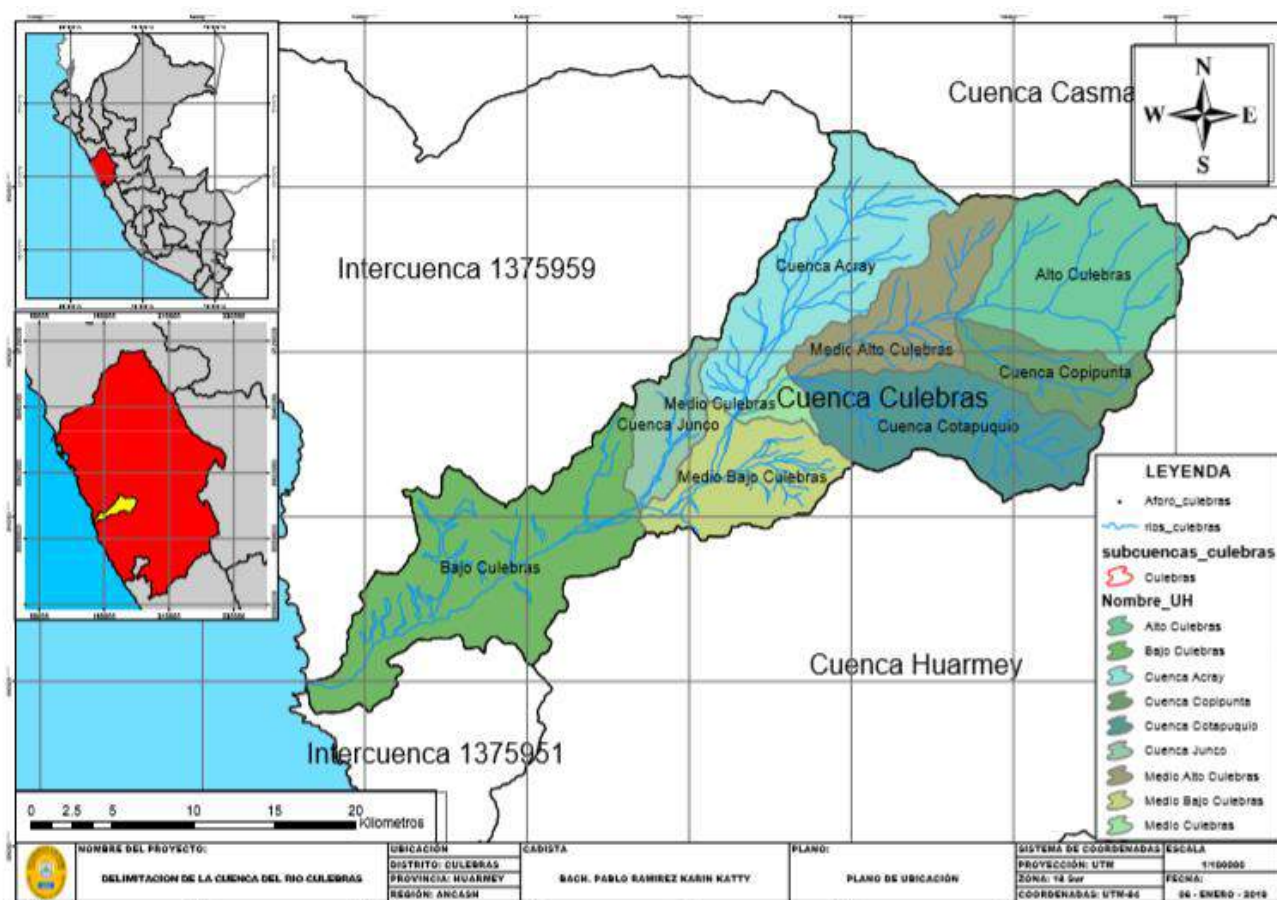


Figura 16: Esquema Situacional del Río Culebras

Tabla 6: Parámetros geomorfológicos de las subcuencas

CUENCA	AREA (KM <sup>2</sup> )	PERIMETRO (KM)	LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (KM)	PENDIENTE MEDIA (%)	ALTITUD MEDIA
<b>Bajo Culebras</b>	154.54	81.72	27.23	1.30	161.5
<b>Medio Bajo Culebras</b>	61.97	38.37	9.66	2.60	126.5
<b>Medio Culebras</b>	9.09	16.43	4.59	3.90	88.5
<b>Cuenca Cotapuquio</b>	92.39	49.62	19.84	14.90	1472
<b>Cuenca Junco</b>	32.07	29.53	11.85	4.80	273.5
<b>Cuenca Copipunta</b>	39.52	32.92	13.8	18.40	1295.5
<b>Medio Alto Culebras</b>	66.36	45.58	12.24	6.90	390.5
<b>Alto Culebras</b>	104.44	43.43	18.49	15.80	1474.5
<b>Cuenca Acray</b>	110.67	55.3	20.9	14.00	1475.5

Fuente: Elaboración propia 2019

## CURVA HIPSOMÉTRICA

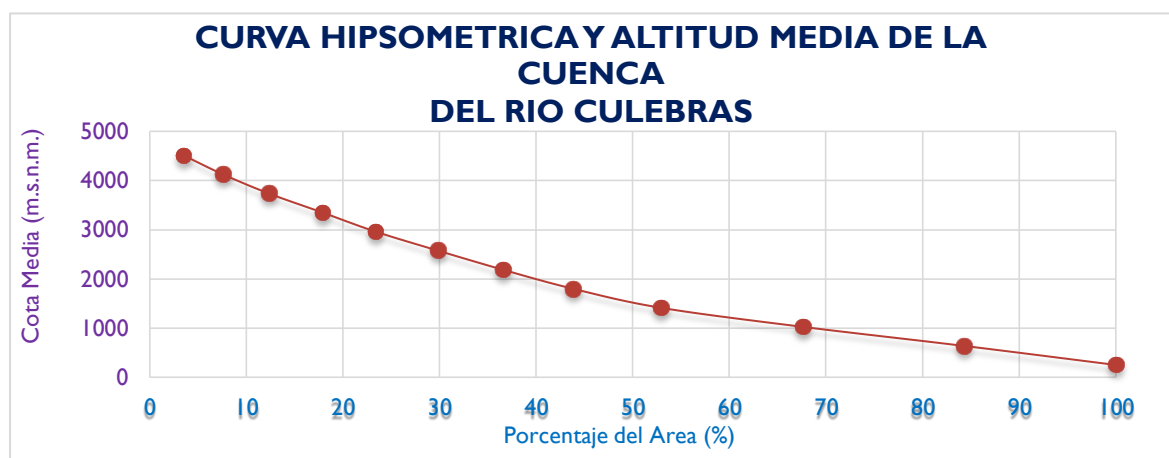
Se define como curva hipsométrica a la representación gráfica del relieve medio de la cuenca, construida llevando en el eje de las abscisas, longitudes proporcionales a las superficies proyectadas en la cuenca, en km<sup>2</sup> o en porcentaje, comprendidas entre curvas de nivel consecutivas hasta alcanzar la superficie total.

Tabla 7: Resultados de parámetros de forma de la cuenca.

<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>COTA MEDIA</b>	<b>AREA</b>		<b>COTA MEDIA</b>	<b>AREA ACUMULADA POR ENCIMA</b>	
		<b>DEL INTERVALO</b>	<b>km<sup>2</sup></b>	<b>%</b>	<b>X AREA</b>	<b>km<sup>2</sup></b>	<b>%</b>
50.00	437.48	243.74	105.55	15.73	25,727	671.04	100.00
437.52	824.99	631.25	111.99	16.69	70,694	565.49	84.27
825.01	1212.47	1018.74	98.42	14.67	100,264	453.50	67.58
1212.51	1600.00	1406.25	61.02	9.09	85,809	355.08	52.91
1600.04	1987.48	1793.76	48.78	7.27	87,507	294.06	43.82
1987.51	2374.98	2181.24	45.03	6.71	98,221	245.27	36.55
2375.01	2762.48	2568.74	43.40	6.47	111,481	200.24	29.84
2762.51	3150.00	2956.26	36.79	5.48	108,774	156.84	23.37
3150.02	3537.41	3343.72	37.18	5.54	124,336	120.05	17.89
3537.51	3924.92	3731.22	31.83	4.74	118,781	82.86	12.35
3925.03	4312.49	4118.76	27.46	4.09	113,120	51.03	7.60
4312.50	4700.00	4506.25	23.56	3.51	106,188	23.56	3.51
<b>TOTAL</b>			<b>671.04</b>	<b>100.00</b>	<b>1,715</b>		

Fuente: Elaboración propia 2019

Gráfico 1: Curva hipsométrica de la cuenca del Rio Culebras



Fuente: Elaboración propia 2019



### 3.2. PROCESAMIENTO DE DATOS PARA MODELO HIDROLOGICO EN HEC-HMS

Tabla 8: Resultados del cálculo de número de curva para cada subcuenca para la Condición de Humedad Antecedente Normal AMC II

SUBCUENCA	TIPO DE SUELO	VEGETACION	AREA	%	CN	CN POND
BAJO CULEBRAS	C	Agricultura Costera y andina	18.52	0.11984	82	9.82684095
	B	Desierto Costero	124.30	0.80432	86	69.1717355
	C	Cardonal	11.72	0.07584	82	6.2187136
		<b>TOTAL</b>	<b>154.54</b>	<b>1.000</b>		<b>85.217</b>
MEDIO BAJO CULEBRAS	C	Agricultura Costera y andina	4.29	0.06919	88	6.08881088
	C	Cardonal	31.96	0.51584	81	41.7828147
	B	Desierto Costero	22.42	0.36173	86	31.1084818
	B	Matorral Arbustivo	3.30	0.05325	79	4.206372
		<b>TOTAL</b>	<b>61.97</b>	<b>0.947</b>		<b>83.186</b>
MEDIO CULEBRAS	C	Agricultura Costera y andina	2.91	0.32028	70	22.4196724
	B	Desierto Costero	0.19	0.02078	67	1.39216607
	C	Cardonal	5.99	0.65894	83	54.6920505
		<b>TOTAL</b>	<b>9.08</b>	<b>1.000</b>		<b>78.504</b>
CUENCA COTAPUQUIO	C	Agricultura Costera y andina	0.34	0.00367	<b>84</b>	0.30833048
	C	Cardonal	16.72	0.18101	<b>81</b>	14.6621467
	D	Matorral Arbustivo	72.98	0.79003	<b>89</b>	70.3130544
	D	Pajonal Andino	2.34	0.02528	88	2.22472122
		<b>TOTAL</b>	<b>92.38</b>	<b>1.000</b>		<b>87.508</b>
CUENCA JUNCO	C	Agricultura Costera y andina	0.08	0.003	<b>88</b>	0.23046835
	B	Cardonal	17.21	0.537	76	40.7819844
	B	Desierto Costero	14.78	0.461	86	39.6267345
		<b>TOTAL</b>	<b>32.07</b>	<b>1.000</b>		<b>80.639</b>
CUENCA COPIPUNTA	D	Agricultura Costera y andina	5.59	0.141	89	12.5891155
	D	Matorral Arbustivo	26.45	0.669	88	58.8841555
	D	Pajonal Andino	7.49	0.189	84	15.9105352
		<b>TOTAL</b>	<b>39.52</b>	<b>1.000</b>		<b>87.384</b>
MEDIO ALTO CULEBRAS	C	Agricultura Costera y andina	13.17	0.199	85	16.8765139
	C	Cardonal	11.27	0.170	83	14.0961746
	C	Matorral Arbustivo	39.54	0.596	79	47.0765063
	D	Pajonal Andino	2.37	0.036	83	2.9642791
		<b>TOTAL</b>	<b>66.35</b>	<b>1.000</b>		<b>81.013</b>
ALTO CULEBRAS	D	Agricultura Costera y andina	8.24	0.079	86	6.78242104
	D	Lagunas, Lagos y cochas	0.13	0.001	78	0.09500626
	D	Matorral Arbustivo	48.98	0.469	85	39.8622703
	D	Pajonal Andino	47.10	0.451	88	39.6834878
		<b>TOTAL</b>	<b>104.44</b>	<b>1.000</b>		<b>86.423</b>
CUENCA ACRAY	C	Agricultura Costera y andina	0.55	0.005	82	0.41099633
	C	Bosque Seco Ribereño	21.03	0.190	73	13.8716685
	D	Cardonal	37.91	0.343	87	29.8073866
	C	Desierto Costero	0.52	0.005	91	0.43169709
	D	Matorral Arbustivo	50.64	0.458	88	40.2694538
		<b>TOTAL</b>	<b>110.66</b>	<b>1.000</b>		<b>84.791</b>

Fuente: Elaboración propia 2019

Tabla 9: Tabla de clasificación de clases antecedentes de humedad (AMC) para el método de abstracciones de lluvia del SCS.

GRUPO AMC	Lluvia antecedente total de 5 días (pulg)	
	Estación Inactiva	Estación de Crecimiento
I	Menor que 0.5	Menor que 1.4
II	0.5 a 1.1	1.4 a 2.1
III	Sobre 1.1	Sobre 2.1

Fuente: SCS, (1986).

Tabla 10: Resultados del cálculo de lluvia antecedentes total de 5 días.

CÁLCULO DE LLUVIA ANTECEDENTE TOTAL DE 5 DIAS					
FECHA	HUARMEY (mm)	MALVAS (mm)	AIJA (mm)	CAJAMARQUILLA (mm)	PARIACOTO (mm)
16/03/2017	0	6.5	6.5	12.2	44.8
17/03/2017	0	0	0	15.4	3.2
18/03/2017	0	2.7	2.7	10.6	14.2
19/03/2017	0.3	1.8	1.8	21.4	10.8
20/03/2017	0.8	6.4	6.4	30.6	5.1
<b>TOTAL (MM)</b>	1.1	17.4	17.4	90.2	78.1
<b>TOTAL (PULG)</b>	0.04	0.69	0.69	3.55	3.07
<b>GRUPO AMC</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>III</b>

Fuente: SENAMHI - 2019

Tabla 11: Resultados de los parámetros del método SCS Lag.

Descripción	Longitud del cauce mayor (m)	Pendiente promedio (m/m)	tc(min)	tc(hr)	Lag Time (MIN)
Bajo Culebras	27230	0.013	269.45	<b>4.49</b>	161.67
Medio Bajo Culebras	9660	0.026	92.90	<b>1.55</b>	55.74
Medio Culebras	4590	0.039	44.81	<b>0.75</b>	26.89
Cuenca Cotapuquio	19840	0.149	82.57	<b>1.38</b>	49.54
Cuenca Junco	11850	0.048	85.87	<b>1.43</b>	51.52
Cuenca Copipunta	13800	0.184	57.56	<b>0.96</b>	34.54
Medio Alto Culebras	12240	0.069	76.56	<b>1.28</b>	45.94
Alto Culebras	18490	0.158	76.46	<b>1.27</b>	45.87
Cuenca Acray	20900	0.140	88.03	<b>1.47</b>	52.82
<b>Total (horas)=</b>				<b>14.57</b>	

Fuente: Elaboración propia 2019

Tabla 12: Resultados de precipitación del mes de Marzo 2017, en estaciones circundantes a la cuenca del Río Culebras

Día/mes/año	HUARMEY (mm)	MALVAS (mm)	AIJA (mm)	CAJAMARQUILLA (mm)	PARIACOTO (mm)
01-Mar-17	0	0	0	20,8	0
02-Mar-17	0	0	0	14,8	0
03-Mar-17	0	0	0	31,2	0
04-Mar-17	0	11,4	11,4	30,6	2
05-Mar-17	0	12,2	12,2	9,6	1,6
06-Mar-17	0	12,4	12,4	39,5	3,8
07-Mar-17	0,2	17,3	17,3	24,8	1
08-Mar-17	0	10,7	10,7	21,6	0
09-Mar-17	0,5	16,3	16,3	14,4	8,6
10-Mar-17	0	20,8	20,8	12,6	11,5
11-Mar-17	0	8,9	8,9	21,6	2
12-Mar-17	0	2,7	2,7	34	4
13-Mar-17	0	9,5	9,5	28,8	37,5
14-Mar-17	0,4	12,5	12,5	18,4	81
15-Mar-17	0	31,6	31,6	14,6	5
16-Mar-17	0	6,5	6,5	12,2	44,8
17-Mar-17	0	0	0	15,4	3,2
18-Mar-17	0	2,7	2,7	10,6	14,2
19-Mar-17	0,3	1,8	1,8	21,4	10,8
20-Mar-17	0,8	6,4	6,4	30,6	5,1
21-Mar-17	0	2,5	2,5	16,2	3,5
22-Mar-17	0	7,8	7,8	32,8	5,7
23-Mar-17	0	5,3	5,3	18,2	4,5
24-Mar-17	0	2,9	2,9	33	4
25-Mar-17	0	3,1	3,1	12,4	0
26-Mar-17	0	6,6	6,6	18,2	13,4
27-Mar-17	0	3,7	3,7	28,4	3,8
28-Mar-17	0	1,7	1,7	26,4	0
29-Mar-17	0	7,8	7,8	10,6	0
30-Mar-17	0	13,4	13,4	12,6	9
31-Mar-17	0	12,8	12,8	12,6	4

Fuente: SENAMHI – 2019

MODELO HIDROLOGICO

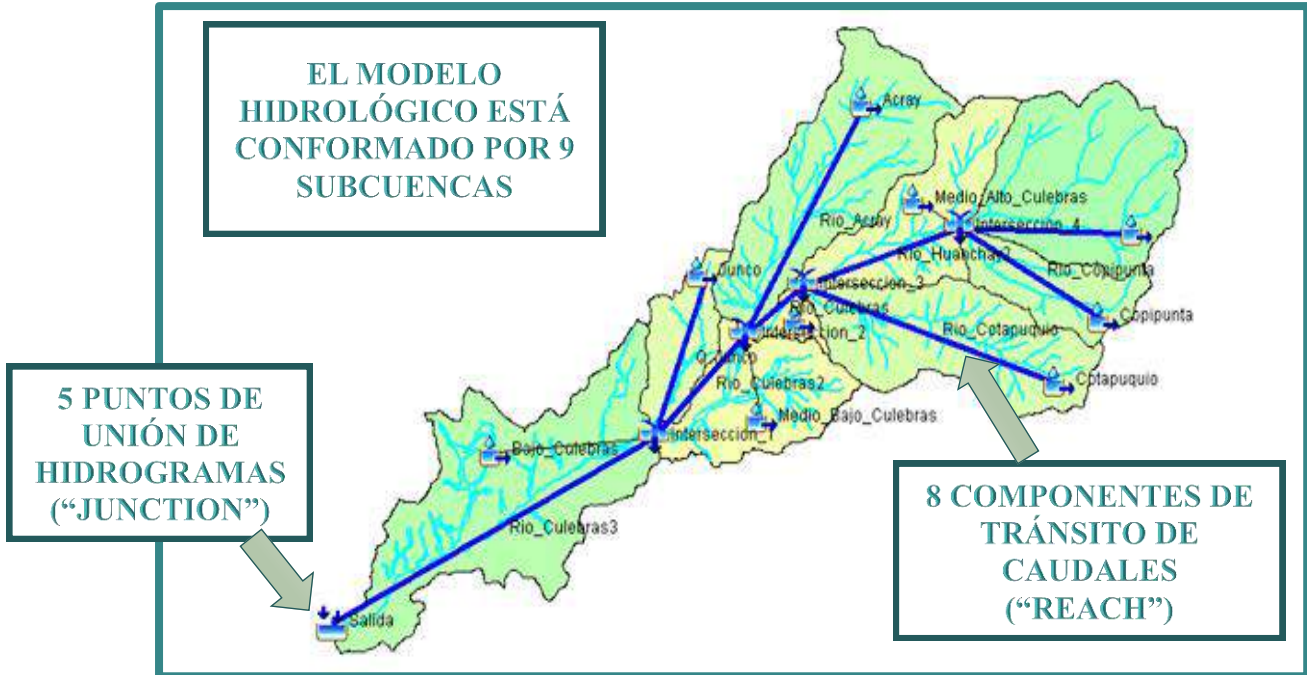
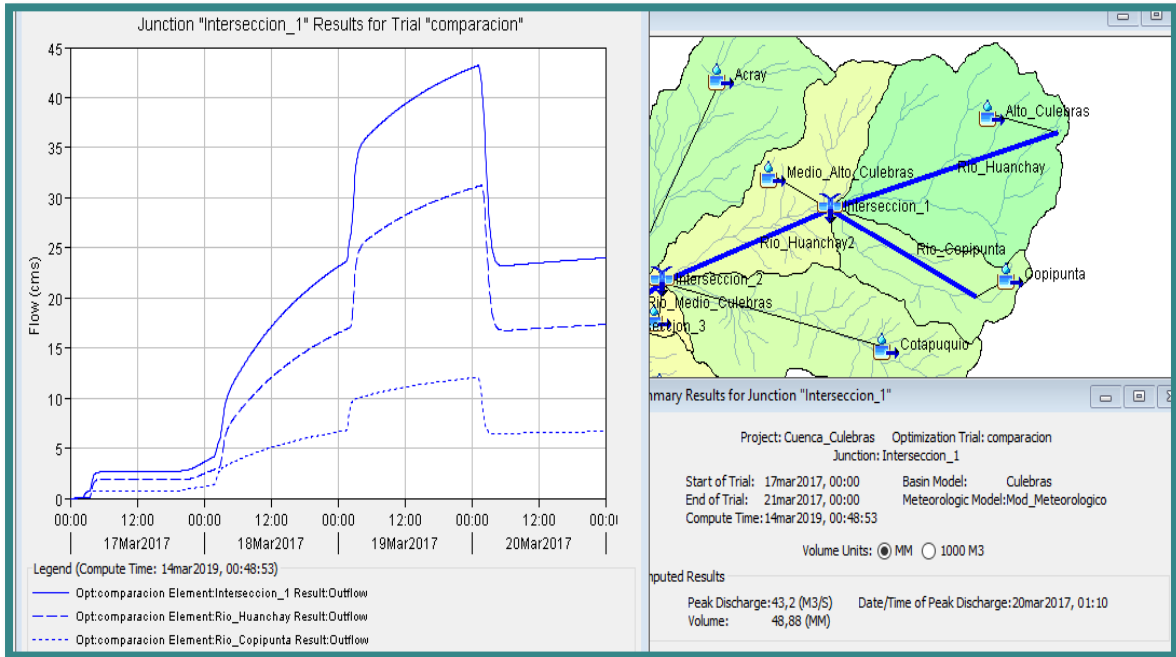


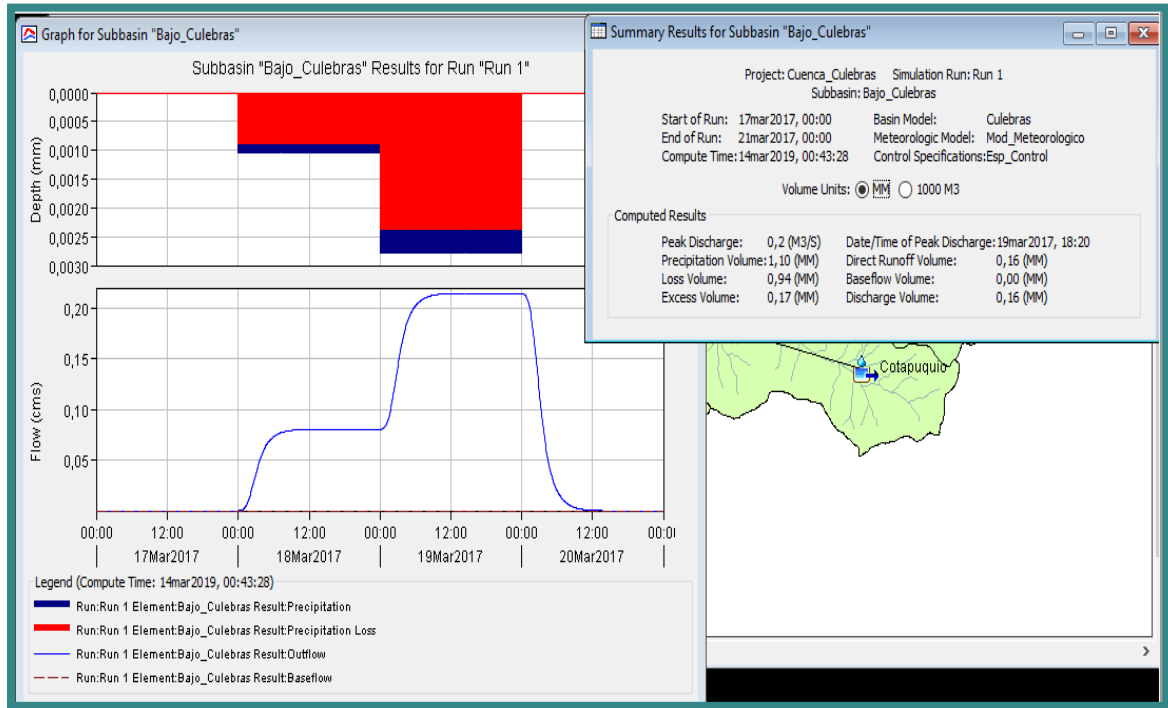
Figura 17: Esquema de funcionamiento del Modelo Hidrológico Fuente: Elaboración propia 2019

Gráfico 2: Hidrograma generado en la intersección 1 (punto donde descarga las subcuencas húmedas).



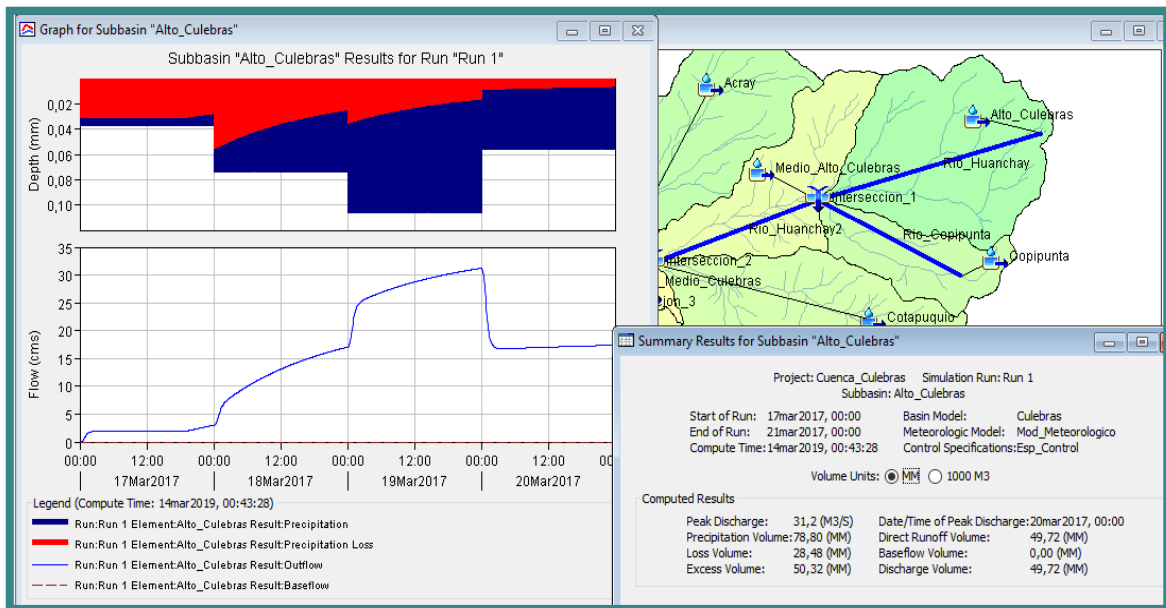
Fuente: Elaboración propia 2019

Gráfico 3: Hidrograma de la subcuenca de Bajo Culebras, indicando sus tiempos de descarga pico, precipitación, volumen de pérdida, volumen de escorrentía directa, volumen de descarga.



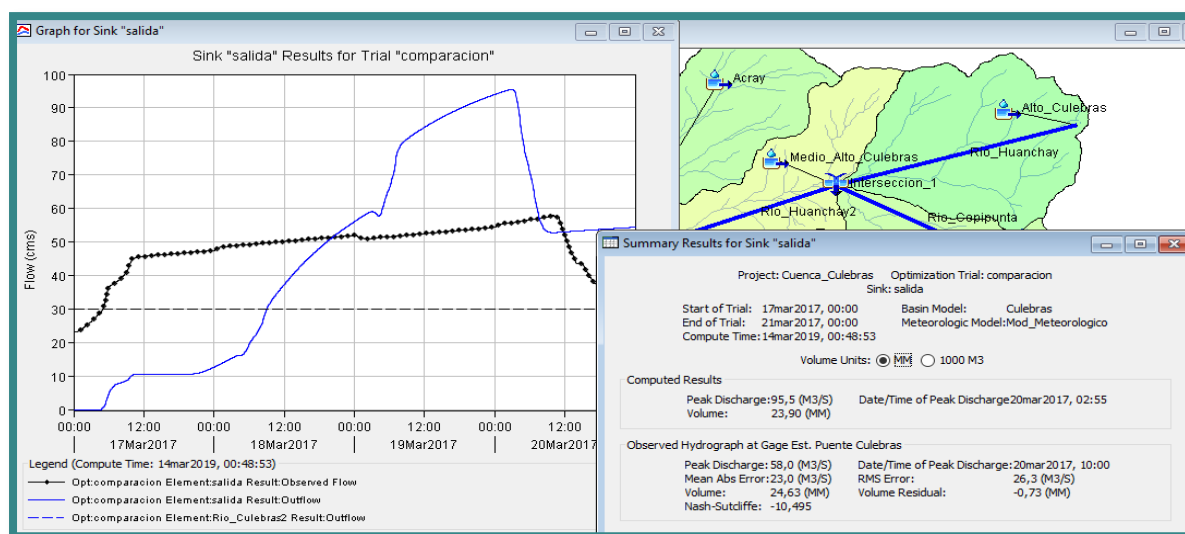
Fuente: Elaboración propia 2019

Gráfico 4: Hidrograma de la subcuenca húmeda Alto Culebras, indicando sus tiempos de descarga pico, precipitación, volumen de pérdida, volumen de escorrentía directa, volumen de descarga.



Fuente: Elaboración propia 2019

Gráfico 5: Hidrograma de comparación de flujo simulado, flujo observado y capacidad de carga del río.



Fuente: Elaboración propia 2019

Tabla 13: Resultados de toma de datos de GPS.

Nº PUNTO	ZONA	ALTURA	p	E	n	FECHA - HORA
10	17 L 826509 8910029	368	10	826509	8910029	14/12/2018 10:39
11	17 L 824512 8910239	325	11	824512	8910239	14/12/2018 10:42
12	17 L 823675 8910171	307	12	823675	8910171	14/12/2018 10:46
13	17 L 820486 8908775	247	13	820486	8908775	14/12/2018 11:16
14	17 L 805060 8900310	9	14	805060	8900310	14/12/2018 11:17
15	18 L 183730 8921693	1231	15	183730	8921693	08/02/2019 10:21
16	18 L 182156 8921175	1116	16	182156	8921175	08/02/2019 11:12

Fuente: Elaboración propia 2019

Tabla 14: Resultados de cálculo de coeficiente de Manning compuesto según lo observado en visita de campo.

		n0	n1	n2	n3	n4	m5	n
<b>Rio Culebras 2</b>	Rio 1	0.020	0.005	0.005	0.010	0.012	1.000	0.052
<b>Rio Culebras</b>	Rio 2	0.020	0.010	0.005	0.012	0.028	1.150	0.086
<b>Rio Medio Culebras</b>	Rio 3	0.020	0.005	0.005	0.010	0.020	1.000	0.060
<b>Rio Huanchay 2</b>	Rio 4	0.020	0.010	0.005	0.015	0.005	1.000	0.055
<b>Rio Huanchay</b>	Rio 5	0.025	0.010	0.012	0.020	0.024	1.150	0.105

Fuente: Elaboración propia 2019.

Tabla 15: Valores para el Cálculo del Coeficiente de Rugosidad.

Condiciones del cauce		Valores	
<b>Material Involucrado</b>	tierra	<b>n<sub>0</sub></b>	0.020
	corte en roca		0.025
	grava fina		0.024
	grava gruesa		0.028
<b>Grado de Irregularidad</b>	Suave	<b>n<sub>1</sub></b>	0.000
	menor		0.005
	moderado		0.010
	severo		0.020
<b>Variaciones de la seccion transversal</b>	Gradual	<b>n<sub>2</sub></b>	0.000
	Ocasionalmente Alternante		0.005
	Frecuentemente Alternante		0.010 - 0.015
<b>Efecto relativo de las obstrucciones</b>	Insignificante	<b>n<sub>3</sub></b>	0.000
	menor		0.010 - 0.015
	Apreciable		0.020 - 0.030
	severo		0.040 - 0.060
<b>Vegetación</b>	Baja	<b>n<sub>4</sub></b>	0.005 - 0.010
	Media		0.010 - 0.025
	Alta		0.025 - 0.050
	Muy Alta		0.050 - 0.100
<b>Grado de los efectos por meandros</b>	Menor	<b>m<sub>5</sub></b>	1.000
	Apreciable		1.150
	severo		1.300

Fuente: Chow et al., (2000).

Tabla 16: Resultados parámetros del cauce para ingresar al Hec-Hms.

PARAMETROS DE CAUCE						
	TRAMO	SHAPE	LONGITUD (m)	PENDIENTE (m/m)	ANCHO DE TRAMO (m)	MANNING (n)
<b>RIO CULEBRAS 2</b>	Rio 1	Trapezoidal	27230	0.013	26.35	0.055
<b>RIO CULEBRAS</b>	Rio 2	Trapezoidal	9660	0.026	22.80	0.106
<b>RIO MEDIO CULEBRAS</b>	Rio 3	Trapezoidal	4590	0.039	31.50	0.064
<b>RIO HUANCHAY 2</b>	Rio 4	Trapezoidal	11194	0.069	21.30	0.058
<b>RIO HUANCHAY</b>	Rio 5	Trapezoidal	12024	0.158	31.50	0.130

Fuente: Elaboración propia 2019

## **ESQUEMA FISICO DEL SISTEMA DE ALERTA**

### **COMPONENTES DEL SISTEMA**

El principal componente físico del Sistema de Alerta Temprana, son las estaciones de medición automáticas, ya sean pluviométricas o hidrométrica; estas a su vez, se componen de otros elementos que son indispensables para su correcto funcionamiento.

En la cuenca del río Culebras, 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 contar 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.

Tiene la importancia de operar confiablemente y en forma continua las estaciones, especialmente bajo condiciones ambientales muy adversas.

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 precisa, bajo condiciones 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.



Las inundaciones son fenómenos naturales recurrentes, es decir, que suceden de manera repetida y que son parte del ciclo natural del clima. Estos eventos son causados por altas precipitaciones durante periodos prolongados (periodos de lluvias) que aumentan el caudal y cauce de ríos. La lluvia genera subsecuentes desbordes, deslizamientos, movimientos de masa, huaicos.

Quienes son más afectados por las inundaciones son las personas que viven cerca de ríos o en áreas de inundación de poca altura.

Por lo expuesto, es claro que se deben buscar alternativas para reducir los posibles impactos de estos fenómenos naturales. Una alternativa tecnológica de relevancia creciente son los sistemas de alerta temprana (SAT), conjunto de sensores climatológicos y de medición de variables como precipitaciones, flujos de ríos; que están asociados a un sistema de alerta (alarmas) que permiten notificar a una población, cuando las condiciones son tales, que un desastre es inminente.

Para entender el funcionamiento y utilidad de un SAT tomemos el caso modelo de una cuenca y desarrollemos un SAT comunitario que corresponda a sus particularidades. Esta propuesta nos da la oportunidad de familiarizarnos con los elementos que todo SAT debe tener.

En primer lugar, es necesario definir las condiciones de emergencia o desastre. En una cuenca estas condiciones causan el aumento excesivo del caudal del río, lo que lleva a desbordes que afectan a poblaciones y cultivos. Las causas más probables de esta situación son lluvias fuertes y constantes (ya sea en las inmediaciones o cuenca arriba), obstrucción de cauces, ruptura de presas y diques.

Para esta propuesta vemos algunos pasos a seguir para así poder lograr un Sistema de Alerta Temprana.

**Primer paso:** Identificar el área de trabajo. El río Culebras debe ser mapeado teniendo en cuenta también sus tributarios (quebradas o ríos menores que son colectores de agua y desembocan en la cuenca).

Deben también identificarse centros poblados y terrenos agrícolas asentados en las márgenes del río.

**Segundo paso:** Usamos los datos estadísticos disponibles de las estaciones del SENAMHI, la precipitación media mensual. En la cuenca del río Culebras.

**Tercer paso:** Con los datos históricos se puede confirmar que durante la estación de lluvias el río puede sufrir inundaciones.

Hecha esta determinación es momento de identificar puntos en la cuenca donde se pueden colocar instrumentos adicionales de medición de precipitación (Pluviómetros). Estos se deben colocar en la cabecera de la cuenca, ya que en las partes altas hay precipitación de mayor intensidad. Además, se colocan reglas limnimétricas, que permiten medir el nivel del caudal del río, en zonas de confluencia en las quebradas más importantes, pues ahí es donde el caudal del río aumenta inicialmente.



*Figura 18: Equipos de Medición para la Cuenca del Río Culebras.*

Para tomar medida en cada punto identificado, debe haber un encargado de tomar lectura y transmitir la información a un centro de monitoreo y vigilancia que procesa la información dada. Si esta información establece una alerta porque se encuentran en zonas de inundaciones. Seguidamente, se informa a la población que está en zona que han sufrido inundaciones, posiblemente con los datos recogidos presenta una zona de inundación nueva es así que les comunicamos para que tomen medidas de evacuación. El componente de información a la población es clave para el SAT, pues como se deben establecer protocolos de evacuación, zonas seguras, de riesgos, zonas

altamente vulnerables, etc. también es necesario que la población conozca los riesgos y las medidas para evitarlos.

En caso de que las medidas superen los valores máximos establecidos, el centro de monitoreo y vigilancia del SAT emite una alerta de posible inundación y las personas afectadas inician la evacuación.

## FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA

Consiste en los siguientes pasos:

### LECTURA Y REGISTRO

Cuando el fenómeno monitoreado produce alguna alteración, activación o manifestación de peligro, es registrado por los instrumentos y se procede a tomar las lecturas correspondientes, manteniendo una vigilancia permanente y continúa.

### TRANSMISIÓN DE DATOS

Luego de las lecturas han sido tomadas y registradas, son transmitidas inmediatamente, para que los encargados o especialistas efectúen los cálculos necesarios y se realicen los pronósticos respectivos.

Para la transmisión de datos se utilizan los sistemas de radiocomunicación, radioemisoras, teléfonos o cualquier otro medio que permitan la transmisión de forma segura y rápida.

### PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Los datos llegan a manos de expertos o encargados de procesarlos, quienes realizan sus cálculos y establecen si estos indican un evento adverso o destructivo.

### EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN Y DEFINICIÓN DE LA ALERTA

Los encargados evalúan la información o el resultado del análisis de los datos procesados y lo contrastan con un mapa de riesgo, determinando el daño potencial, nivel y tipo de alerta que se debe declarar y emitir.

Comúnmente se utilizan estos colores de alerta que son los siguientes:

**Verde:** indica que se debe estar atento al comportamiento y evolución del fenómeno o evento monitoreado y de las alertas que se continúen emitiendo.

**Amarrillo:** aumenta la alerta y los diferentes equipos e instituciones inician sus preparativos para ejecutar las acciones correspondientes.

**Rojo:** es inminente la llegada de un peligro, por eso que en la mayoría de los casos se ordenará la evacuación de los pobladores a zonas seguras.

**Anaranjado:** son condiciones necesarias para que se presente el fenómeno y sólo sea cuestión de minutos y horas para que se manifieste el fenómeno.

#### DIFUSIÓN DE LA ALERTA

La alerta debe ser clara y oportuna, emitida y comprobada se procede a notificarla a la población, garantizando la confianza de las comunidades.

La alerta se podrá difundir utilizando radios de comunicación, radio emisoras, teléfonos, radios parlantes, bocinas, sirenas, banderas y cualquier otro instrumento que tenga el alcance, así permita informar rápidamente a la comunidad.

#### ACTIVANDO EL PLAN DE EMERGENCIAS O RESPUETSA

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

#### REGLAS DE OPERACIÓN.

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

Estas estaciones miden la precipitación acumulada, la intensidad de lluvia y los niveles de los caudales y envían la información por telemetría a una estación central de registro preferentemente ubicado entre Culebras y Huarmey; 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 va recoger, procesar y analizar; para esto se va a necesitar 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. Las informaciones de niveles de caudales serán recogidas por las estaciones hidrométricas servirá para la calibración y ajuste del modelo hidrológico.

Al rebasar 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 marcha un plan de emergencia previamente establecido.

Es importante instruir a los pobladores de la cuenca acerca de la importancia del Sistema de Alerta Temprana y de los equipos instalados en su centro poblado o cerca de su centro poblado; muchas veces al tener este conocimiento puedan brindar apoyo y así poder ayudarnos todos mutuamente. Así como se muestra en la figura 19 y así mismo en la figura 20.

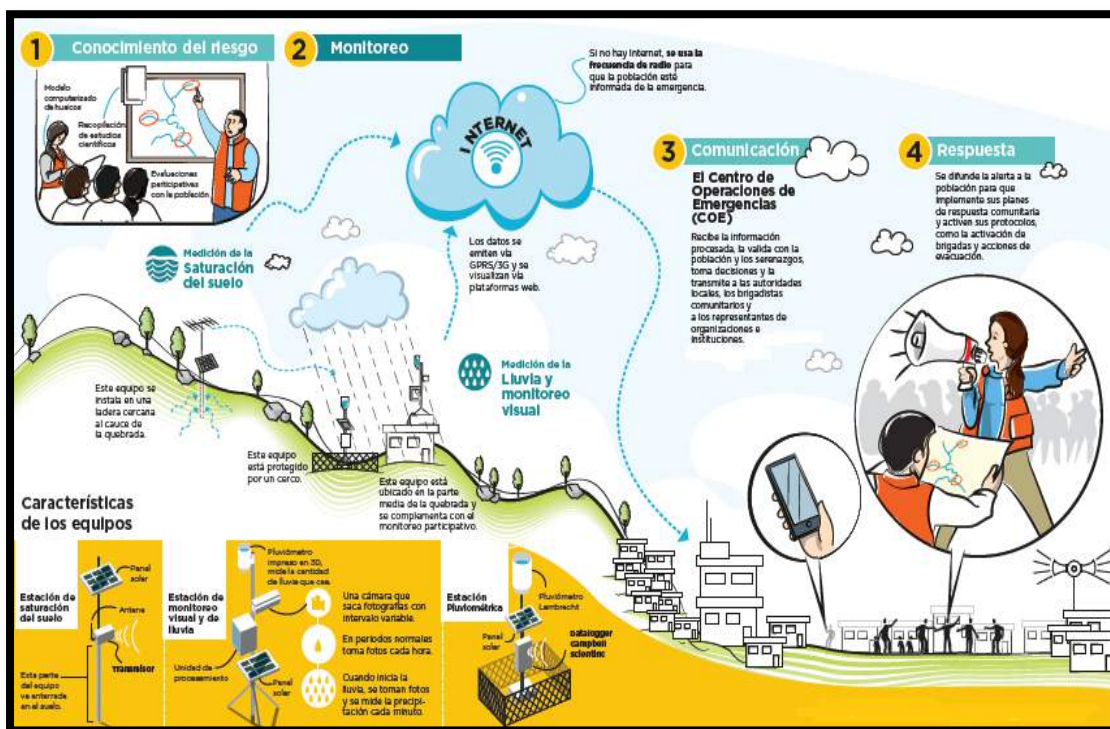
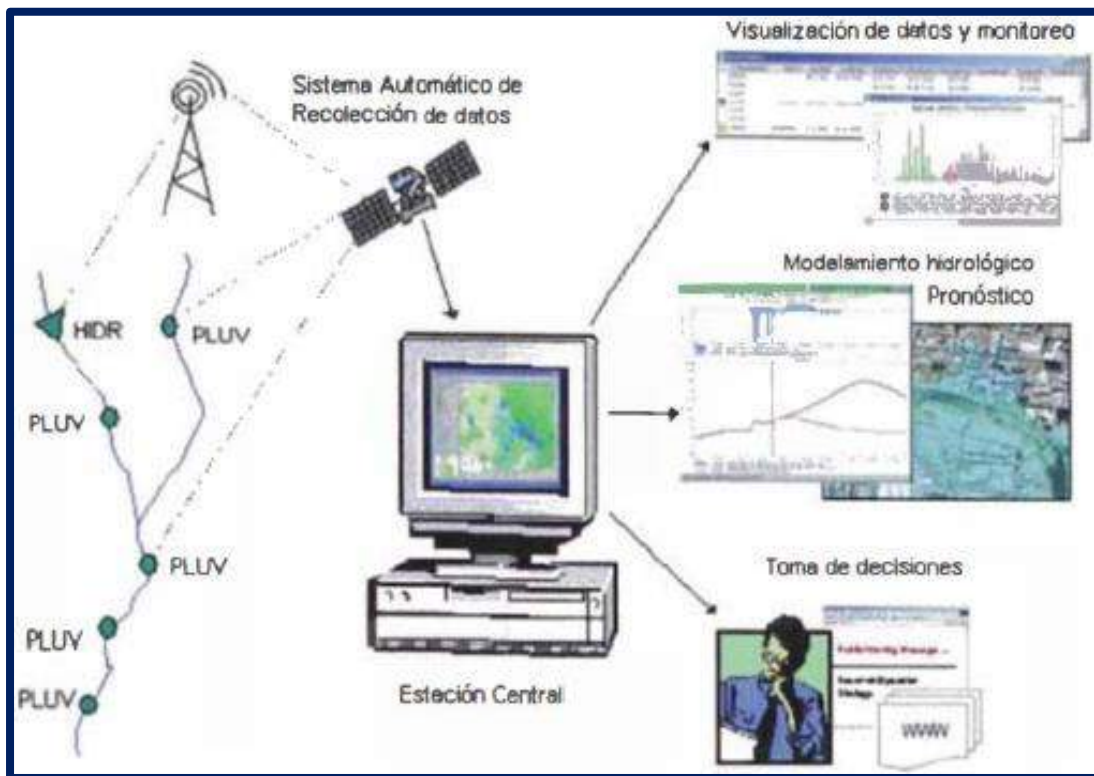


Figura 19: Esquema de Operación y modelo de un Sistema de Alerta Temprana

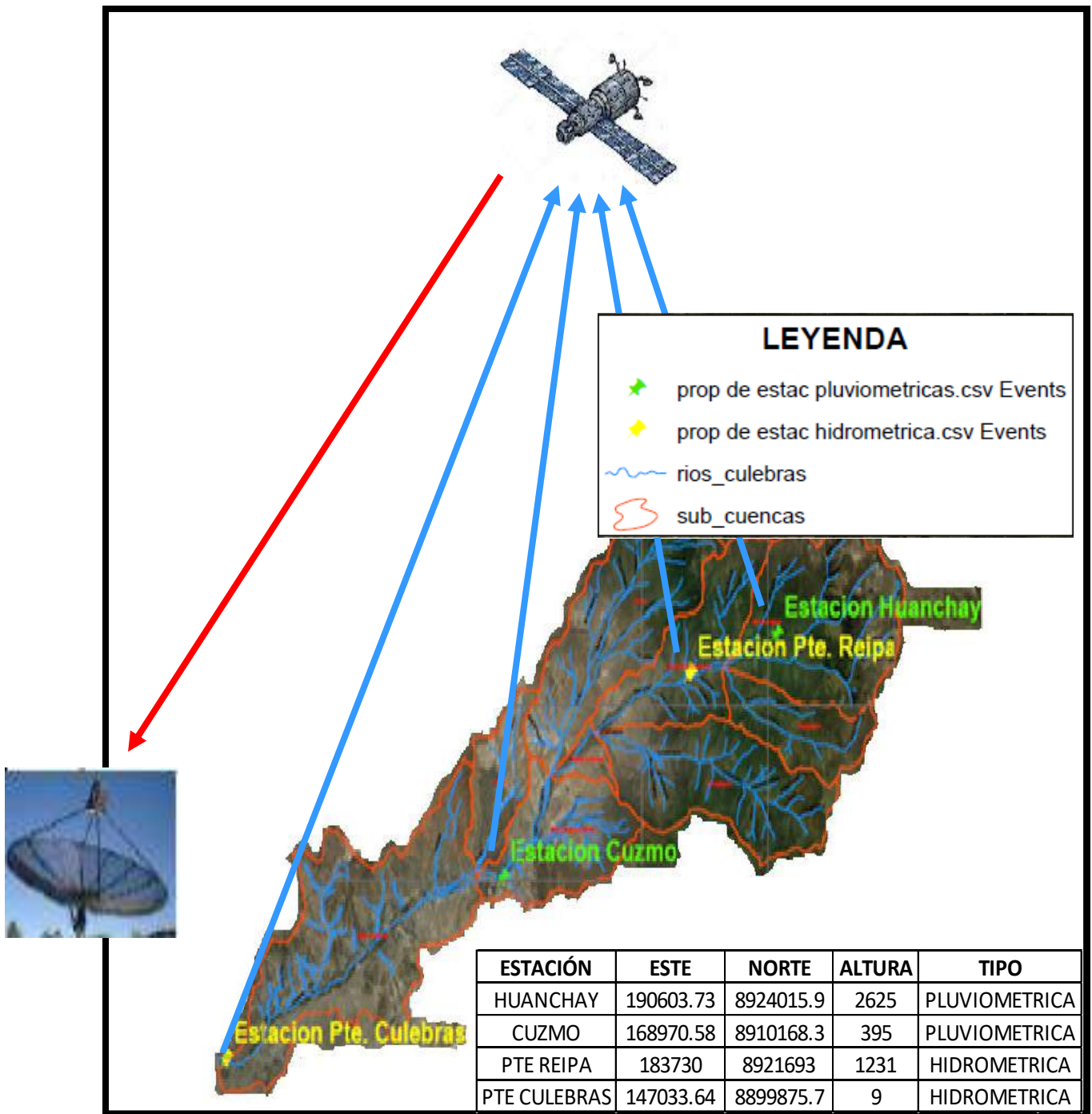


Figura 20: Esquema Típico visto en la Cuenca del Río Culebras

#### IMPLEMENTACION DEL PROYECTO.

En la implementación del proyecto se está considerando la instalación de 2 estaciones pluviométricas (Alto Culebras y Medio Bajo Culebras) y la instalación de 2 estaciones hidrométricas automáticas (Medio Alto Culebras y Bajo Culebras)



## ZONAS VULNERABLES DE LA CUENCA CULEBRAS

El río Culebras, sector Quian y sector Quita Sombrero Bajo, se precisa de 11 tramos en una longitud total de 13.96 km, también colmatados debido a las intensas lluvias producidas por efecto del Fenómeno El Niño Costero 2017. Dichos tramos están en situaciones de riesgo de presentarse lluvias extraordinarias, que originaría desborde e inundaciones y causaría pérdidas de terrenos, deterioro de infraestructuras y afectación a las poblaciones aledañas. Se estima la afectación aproximada de 2000 has de terreno de cultivo.





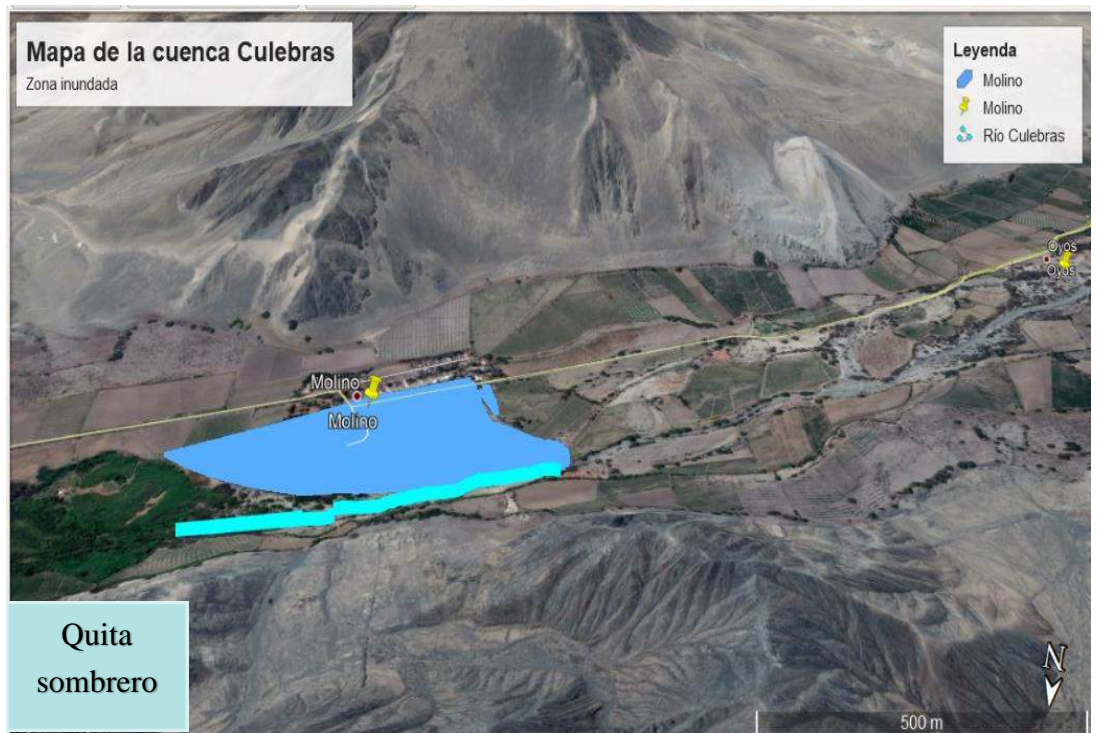
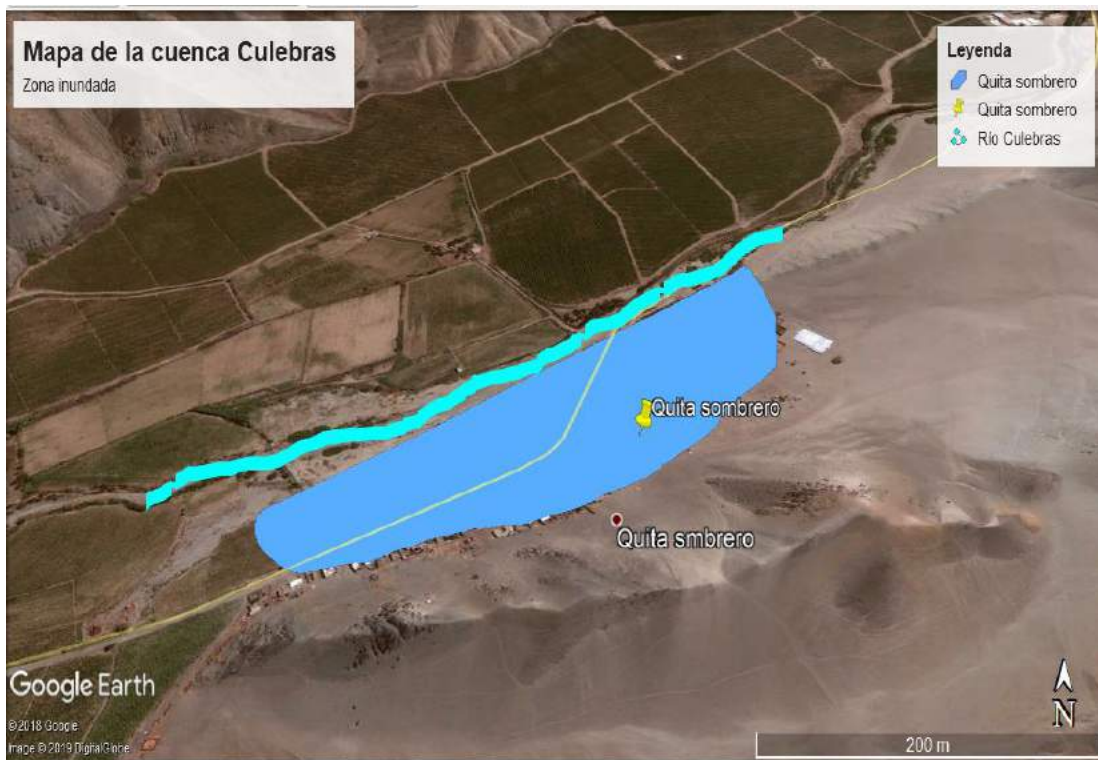


Figura 21: vista del río culebras posiblemente zona vulnerable la estación Quita sombrero y así mismo también observamos la estación molino.

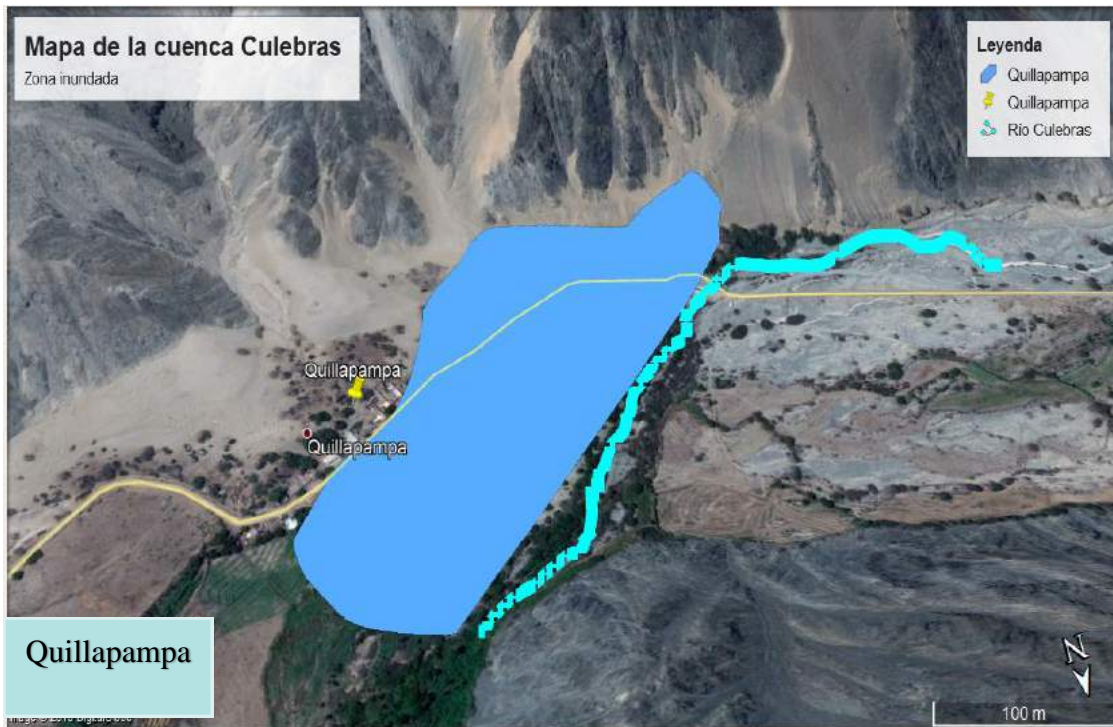


Figura 22: El Río Culebras muestra la zona vulnerable de la estación Quilla pampa

Como podemos visualizar en las siguientes imágenes cuando se produjo el Fenómeno El Niño del año 2017.



Figura 23: En esta imagen se muestra el aumento del caudal y perjudicando la carretera de Huanchay





*Figura 24: El aumento del caudal perjudica los terrenos de cultivos y dejando sin acceso a la población*



*Figura 25: En esta imagen se muestra el desborde del río dejando todo inundado el valle*

# CAPITULO IV

#### **IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN**

En este capítulo analizaremos e interpretaremos la información obtenida; en base a las tablas que contienen resultados y las gráficas; lo cual permitirá apreciar los resultados.

Para empezar el diseño de una propuesta de un Sistema de Alerta Temprana de la cuenca del río Culebras, lo primero que se realizó es un diagnóstico situacional del río, tuvimos que hacer un recorrido general por toda la cuenca para ver el estado actual del río, así como se observa en la Figura 12, Figura 13 y Figura 14. Según Moccetti G. (2011).

En relación al segundo objetivo relacionado con la información hidrológico y el modelamiento hidrológico utilizando el ArcGIS y el HEC-HMS. En la figura 15 se observa los pasos a seguir para elaborar la cuenca establecido.

Así mismo en la Figura 16, se observa el mapa que se elaboró en el software ArcGIS de la cuenca del río Culebras que tuvo 9 subcuencas. En el cuadro se muestra un resumen del cálculo de los parámetros geomorfológicos de cada subcuenca, como son el área, el perímetro, la longitud del cauce, pendiente media (%) y altitud media se detalla en la Tabla 6.

Es necesario realizar estos parámetros geomorfológicos para poder saber de cada subcuenca sus áreas, longitud y pendiente, así como lo estudiado de Heredia, I. (2018).

En la Tabla 7, se representan los pasos seguidos para el cálculo de curva hipsométrica; también se aplica el uso de la gráfica de curva hipsométrica como si se dividiera el volumen total del relieve de la cuenca sobre su superficie proyectada, ingresando por el eje que representa el área con el valor correspondiente al 50% y leyendo el valor de cota correspondiente como se muestra en la gráfica 1.

Los valores de Número de Curva (CN) se ha desarrollado muchos tipos de uso de tierra, si se conoce el tipo de suelo, el uso de la tierra y la condición de humedad para

una determinada cuenca o subcuenca, se entra a tablas desarrolladas y en función a estos datos se determina directamente el valor CN. Según Moccetti G. (2011).

Existen muchas subcuencas en los que se tienen diferentes combinaciones de suelos y cobertura vegetal, por lo cual se procede a hallar un valor de CN compuesto; también se va a ingresar el porcentaje de impermeabilidad, que es el porcentaje del área de la subcuenca. Según Moccetti G. (2011).

El cálculo de los Números de Curva de cada subcuenca se muestra en la Tabla 8 desarrolladas por el SCS ya incluyen este porcentaje de impermeabilidad. Por lo tanto, si se adoptan estos valores el porcentaje de impermeabilidad es cero.

Ahora, se debe de escoger la condición de humedad a utilizar de acuerdo a la Tabla 9 y a los registros de las estaciones en la cuenca mostrados en la Tabla 10.

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

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

En la Tabla 11 se muestra los tiempos de concentración obtenidos para cada subcuenca, donde podremos saber la longitud del cauce, pendiente promedio y el tiempo de concentración; así mismo se realizó el cálculo de los parámetros del método SCS Lag, para todas las subcuencas.

Para realizar el modelamiento hidrológico, el software HEC-HMS nos solicita el dato de tiempo de retraso, el cual se consigue por medio de tiempo de concentración, para calcular el tiempo de concentración en el presente estudio es la siguiente: Fórmula de Kirpich:  $t_c = 0.01947L^{0.77} S^{-0.385}$  Según (Tarazona, 2016).

El modelo meteorológico permite calcular la precipitación real sobre cada subcuenca. Este método establece que la precipitación en cualquier punto de la cuenca es igual a la precipitación que se registra en la estación más cercana, ya que este punto se ubica

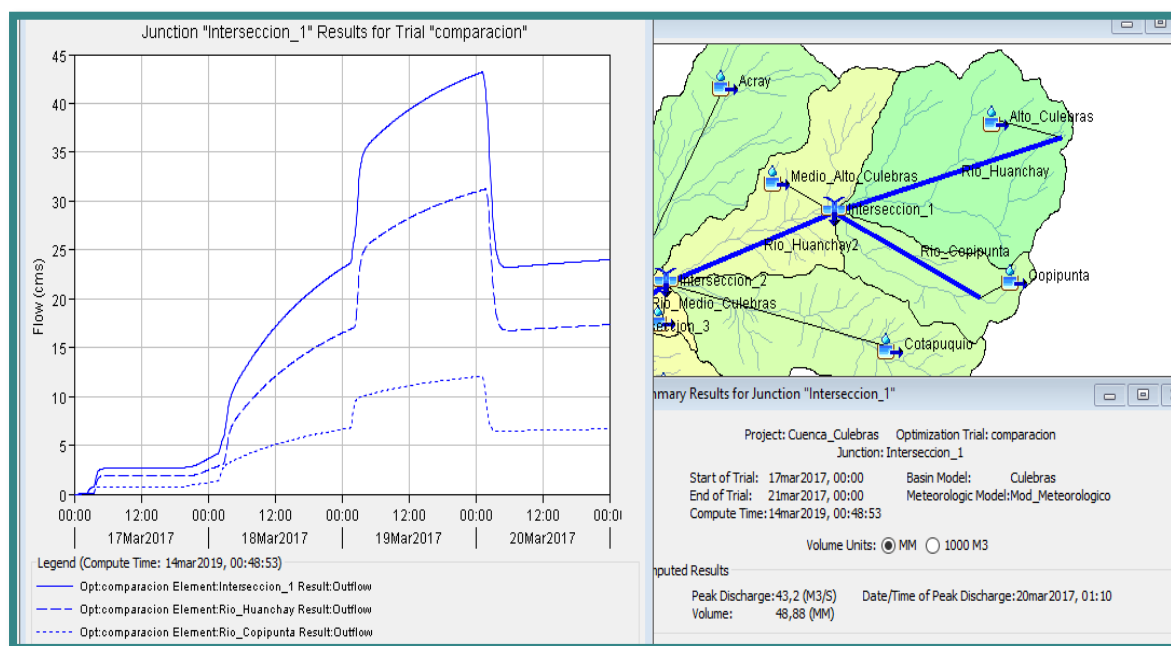
dentro del área de influencia de la estación. Se determina a partir de los polígonos de Thiessen. Según Moccetti G. (2011).

En la Tabla 12 se muestra la estación más cercana de la cuenca del modelo meteorológicos esta información tuvimos que solicitar a SENAMHI.

En la Tabla 14 se muestra el coeficiente de rugosidad de Manning se calculó utilizando el procedimiento desarrollado por Cowan, así mismo en la Tabla 15 se muestra los valores para calcular el coeficiente de rugosidad de Manning según lo establecido.

El cual se basa en el reconocimiento de varios factores que afectan el coeficiente de rugosidad, Cowan elaboro un método para estimar el valor de n mediante la siguiente formula:  $n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m^5$ . Chow et al., 2004).

## EVALUACION DE LA INTERSECCION 1 (PUNTO DE DESCARGA DE LAS SUBCUENCAS HUMEDAS).



Tal como se muestra en la imagen de la Gráfica N°2, tenemos un hidrograma en la cual nos muestra el caudal de descarga de a sub-cuencas de Alto Culebras y Copipunta con su caudal de  $31,1 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $12,1 \text{ m}^3/\text{s}$  respectivamente; para que esto nos genere un caudal resultante en la **intersección 1** de  $43.2 \text{ m}^3/\text{s}$  y tenga como recorrido

en el segundo tramo del río denominado Río Huanchay 2 (subcuenca Medio Alto Culebras). En este punto donde se está analizando cuenta con una precipitación de 48.88 mm.

Como bien se sabe el Río Culebras tiene una descarga que varía entre 0.36 y 30 m<sup>3</sup>/s y en tiempo de avenidas las Autoridades Municipales van a descolmatar el río para que pueda soportar caudales entre el rango de 20 a 40 m<sup>3</sup>/s; entonces con la simulación trabajada en la investigación que nos genera un caudal de 95.5 m<sup>3</sup>/s se tiene que prever de dichas descargas y que las autoridades tomen medidas anticipadas garantizando una descolmatación del río que pueda soportar este caudal.

## **EVALUACION Y COMPARACION EN LAS SUBCUENCAS DE ALTO CULEBRAS Y BAJO CULEBRAS**

Analizando las subcuencas de Alto Culebras y Bajo Culebras podemos hacer un cuadro comparativo:

*Tabla 17: Comparación de resultados de la subcuenca Alto Culebras y Bajo Culebras.*

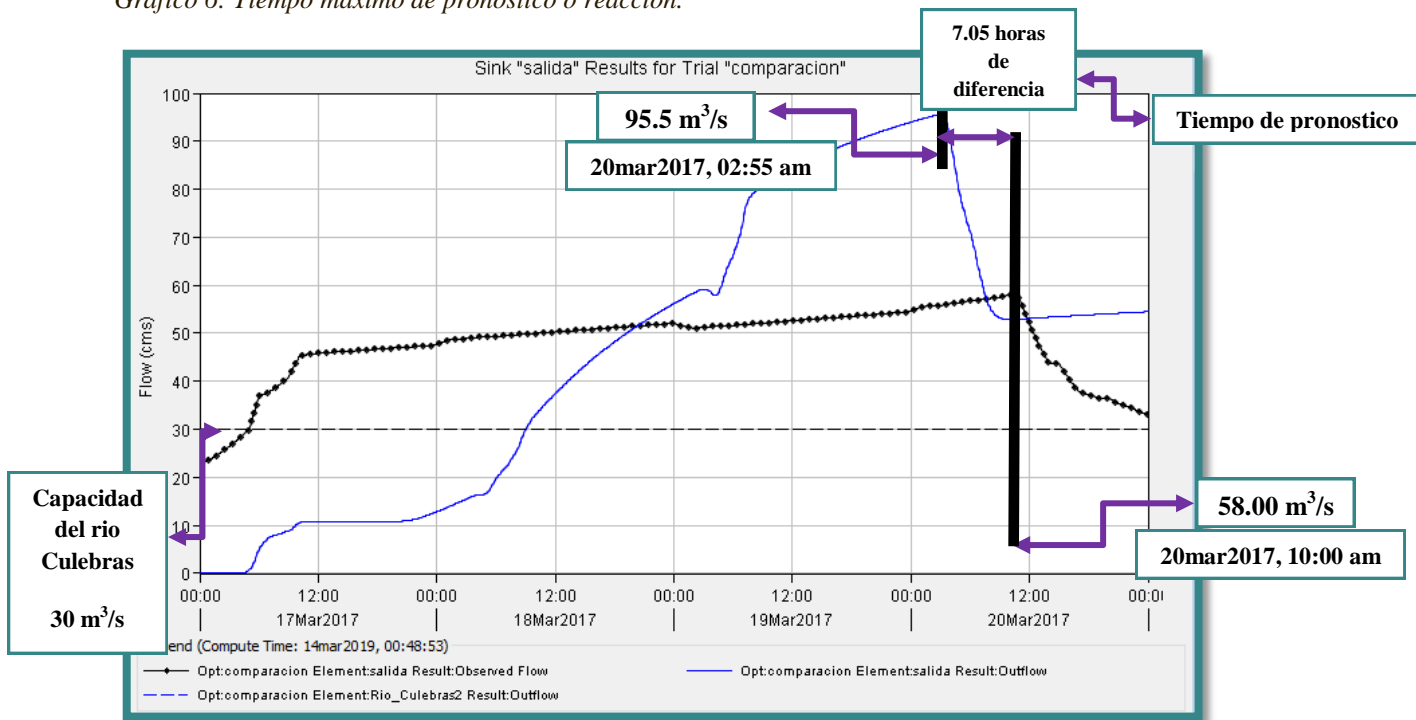
	<b>ALTO CULEBRAS</b>	<b>BAJO CULEBRAS</b>
<b>CAUDAL PICO DE DESCARGA (M3/S)</b>	31.20	0.20
<b>VOLUMEN DE PRECIPITACION (MM)</b>	78.80	1.10
<b>VOLUMEN DE PERDIDA (MM)</b>	28.48	0.94
<b>VOLUMEN DE EXCESO (MM)</b>	50.32	0.17
<b>VOLUMEN DE ESCORRENTIA DIRECTA (MM)</b>	49.72	0.16
<b>ESTACION DE CONTROL</b>	E. Cajamarquilla	E. Huarmey
<b>NUMERO DE CURVA (CN)</b>	86.42	85.22
<b>LAG TIME (MIN)</b>	45.87	161.67

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 subcuenca.



## TIEMPO MÁXIMO DE PRONÓSTICO O REACCIÓN:

Gráfico 6: Tiempo máximo de pronóstico o reacción.



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 subcuencas y la segunda fue graficado con la ayuda del programa HEC-HMS.

Considerando la ruta de flujo más larga desde la parte más alta de la subcuenca Alto Culebras hasta la parte más baja en el puente Culebras, a través de las subcuencas ALTO CULEBRAS, MEDIO ALTO CULEBRAS, MEDIO CULEBRAS, MEDIO BAJO CULEBRAS Y BAJO CULEBRAS, y sumando sus respectivos tiempos de concentración se obtiene un tiempo máximo de pronóstico de 10.80 horas.

De acuerdo con el reporte gráfico del programa se sabe que el caudal máximo se produjo el día 20 de marzo a la 02.55 am. con 95.5 m<sup>3</sup>/s y comparando con la descarga observada el día 20 de marzo a las 10.00 am., ya había superado su

capacidad de carga el Río Culebras el cual su rango es entre 20 y 40 m<sup>3</sup>/s, el caudal pico fue de 58.00 m<sup>3</sup>/s. Por lo tanto, la diferencia de tiempo entre ambos sucesos es de 7.05 horas aproximadamente, que es el tiempo que podemos pronosticar el caudal en la zona baja de la cuenca del Río Culebras.

#### ZONAS VULNERABLES DE LA CUENCA CULEBRAS

La cuenca culebras, es una cuenca pequeña que está rodeada de quebradas en todo su alrededor, cuenta con pueblos pequeños que tienen sus siembras cerca al río, al producirse un huayco puede inundarse por todo el cultivo y perjudicar sus viviendas como también dejarles sin acceso.

El río culebras con Huanchay por la crecida del río es afecta las vías principales que es el único pase para los pueblos de Molino, Quilla pampa, Laguna, Santa Rosa y Ampanu; prácticamente todo el valle; así mismo también afecta los cultivos las siembras que son el esparrago, zandía, tomate y mango. Como también afectaría las viviendas que están muy cerca al río.

En la Figura 21 se puede apreciar como una zona vulnerable a desborde del río Culebras, ubicándose a unos 6.94 km. Aguas debajo de la estación la Quita sombrero.

La zona de inundación comprende la margen derecha, provocando el desborde del río afectando las viviendas del pueblo Quita sombrero provocando así una inundación total, afectando a los moradores de este valle. En la margen izquierda, el desborde del río abarca todas las zonas de cultivos, provocando una pérdida total de toda la siembra de los moradores.

En la Figura 22 se puede apreciar como una zona vulnerable a desborde del río Culebras, ubicándose a unos 2.85 km. Aguas debajo de la estación la Quillapampa.

La zona de inundación comprende la margen derecha y de margen izquierda, el desborde del río abarca todas las zonas de cultivos, provocando una pérdida total de toda la siembra de los moradores.

# CAPITULO V

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- ✓ La cuenca del Río Culebras no cuenta con ninguna información de la precipitación de la Estación pluviométrica e hidrométrica para estudios hidrológicos. Debido a que no se halló ninguna información en las instalaciones de SENAMHI, ANA y la Junta de Usuarios de Huarney.
- ✓ El caudal generado en la simulación de la precipitación desde el día 16 de marzo del 2017 hasta el día 20 de marzo del 2017 nos dio un caudal simulado de 95.5 m<sup>3</sup>/s. El caudal observado que ingresamos en el programa, solo es un aproximado debido a que el río Culebras no cuenta con ninguna estación hidrométrica para medición de caudales, entonces ingresamos el caudal de descarga pico de la cuenca Casma de la estación sector Tutuma.
- ✓ El pronóstico de tiempo para una posible alerta según los análisis en el software HEC-HMS nos indica que tenemos un tiempo de 7.05 horas aproximadamente. Lo cual nos toma tiempo para poder alertar a la población ante un posible evento.
- ✓ La propuesta de estaciones hidrométricas y pluviométricas son las adecuadas debido a que la cuenca del Río Culebras no cuenta con ninguna estación dentro de su delimitación de la cuenca del río Culebras.
- ✓ Con el funcionamiento del Sistema de Alerta Temprana se podrán tomar medidas anticipadas y oportunas. La transmisión de datos para alertar se dará a través de los sistemas de radiocomunicación, radioemisoras, teléfonos o cualquier otro medio de transmisión que sea segura y rápida; para poder evacuar a zonas seguras y así evitar daños.
- ✓ La zona vulnerable de la cuenca del río Culebras es Quilla pampa, Quita sombrero y Huanchay, dichos tramos están en situaciones de riesgo de presentarse abundante lluvia, que va a originar desborde e inundaciones, causando pérdidas de terrenos como zonas de cultivos, destrozos de viviendas, destrozando las carreteras de Huanchay dejando sin ningún acceso para todos los pobladores del valle.

## RECOMENDACIONES

- ✓ Realizar estudios con más detalles de hidrología en la cuenca del río Culebras, así como también de las cuencas vecinas, los cuales comprendan estudios de avenidas máximas si es que cuentan con estaciones hidrométricas que les sirva de base para la investigación.
- ✓ Se recomienda continuar con el análisis de regionalización en cuencas que no poseen Sistemas de Alerta Temprana.
- ✓ Se recomienda realizar una mejor investigación respecto al Número de Curva a nivel de toda la cuenca del Río Culebras, debido a que este es un factor muy importante para la simulación de nuestro río.
- ✓ Además, sería recomendable la inclusión de estudios meteorológicos como el efecto del cambio climático en la cuenca en estudio, así como la presencia del Fenómeno El Niño, los cuales son eventos que podrían cambiar los registros meteorológicos e hidrológicos.
- ✓ Es recomendable trabajar este Sistema de Alerta Temprana contra inundaciones con el software HEC- RAS para obtener mejor resultado del mapa identificando zonas vulnerables.

# CAPITULO VI

## **VI. AGRADECIMIENTO**

*Primeramente, agradecer a Dios por las oportunidades que pone en mi camino a diario, por otorgarme fortaleza, amor y humildad, por darme las herramientas necesarias para alcanzar mi objetivo.*

*A toda mi familia por el gran apoyo que me brindaron, muchas gracias por la paciencia que me tuvieron para lograr cumplir mi meta trazada.*

*A mi hermano Jhony Pablo Ramírez por su amor, confianza y su gran apoyo de día a día, para poder lograr uno de mis propósitos.*

*También quisiera agradecer a los integrantes del Comité de Asesores, por las valiosas aportaciones y autocriticas constructivas que nos hicieron tener una mejora en nuestra presente investigación.*

*A todos los docentes de la carrera de Ing. Civil que me dieron los conocimientos necesarios para poder aplicarlo en mi profesión y siempre dándome los consejos correspondientes para siempre seguir adelante*

*A mi compañero Heredia Asencio Irwin Raúl, por su apoyo, paciencia y ayuda que me dio para poder realizar mi proyecto.*

*A todos mis compañeros y amigos, con quienes compartí momentos inolvidables.*

*Y a todos los que de alguna manera me apoyaron en la realización de mi trabajo muchísimas gracias.*

*A todos, mi mayor reconocimiento y gratitud.*

**Pablo Ramírez, Karin Katty**

# CAPITULO VII



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ayala, F. J. (2006). *Riesgos Naturales y Desarrollo Sostenible, Impacto, Predicción y Mitigación*. Madrid-España: Instituto Geológico y Minero de España.
- Arboleda, O. D. (2001). *Estimación Holística del Riesgo Sísmico Utilizando Sistemas Dinámicos Complejos*.
- Calderon Aragón, G. (2001). *Construcción y Reconstrucción del Desastre*. Mexico: Plaza y Valdez,S.A. DEC.V.
- Cárdenas, C. (2011). Manual del Sistema de Alerta Temprana. *Manual Informativo de Panama*.
- CENAPRED. (2001). *Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos y Desastres*. Mexico.
- Cervantes, C. (2010). *Generación de Mapas de Riesgo de Inundaciones Mediante Modelación en 2D*. Mexico.
- Choquehuanca, N. (2012). *Evaluación de Riesgo de Inundaciones Basado Sobre GIS y Modelamiento Hidráulico (Hec-GeoRas)*. UNI - Lima.
- Chow, V. (2000). Hidrología Aplicada. *McGraw-Hill*, 582 p.
- Estrada, V. (2012). Modelación Hidrológica con HEC-HMS en Cencas Montañas de la Región Oriental de Cuba. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, p.94-105.
- Heredia, I. R. (2018). *Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones Aplicando un Modelamiento Hidrológico con HEC- HMS en la Cuenca del Río Lacramarca*. Chimbote: Universidad Privada San Pedro.
- Lavell, A. (2003). *La Gestión Local del Riesgo, Nociones y Predicciones en Torno al Concepto y la Práctica*. Guatemala: CEPREDANEC- PNUD.
- Macias, J. L. (2005). Geología e Historia Eruptiva de Algunos de los Grandes Volcanes Activos de Mexico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Volumen Conmemorativo del Centenario (3).
- Maskrey, A. (1993). *Los Desastres no son Naturales*. Colombia.
- Mocetti, G. (2006). *Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones- Aplicación en el río Chillón*. Lima-Perú: Universidad Nacional de Ingeniería-Ingeniería Civil.

- Ochara, J. (2007). *Sistemas de Alerta Temprana. Cuadernos Internacionales de Tecnología para el Desarrollo Humano.*
- OEA. (2010). *Manual para el Diseño, Instalación, Operación y Mantenimiento de los Sistemas Comunitarios de Alerta Temprana ante Inundaciones.* Washignton- Estados Unidos.
- Robleto, J. (2010). *Metodología para el Diseño e Implementación de Sistema de Alerta Temprana ante Inundaciones con Aplicación Hidrológico e Hidráulica.* Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala - Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.
- Tarazona, H. (2016). *Modelamiento Hidrológico de la Cuenca del Río Ica confines de Prevención de Inundaciones en la Ciudad de Ica.* Lima - Perú: Universidad Nacional Agraria la Molina - Facultad de Ingeniería Agrícola.
- UNESCO, O. (2012). *Glosario Hidrológico Internacional.* Suiza.
- UNISDR. (2009). *Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres.* Obtenido de <http://www.unisdr.org/eng/terminology/UNISDR-Terminology-Spanish.pdf>
- Zenaida, A. A. (2010). *Estudio Hidrológico de la Cuenca del Río Culebras.* Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú-Facultad de Ingeniería Civil.

# CAPITULO VIII

# **VIII. ANEXOS**

*ANEXO 1: MAPAS*  
**TRABAJADAS EN**  
**EL SOFTWARE**  
**ARCGIS**

*ANEXO 2:*  
**PROPUESTA  
DETALLADA  
DEL SISTEMA DE  
ALERTA  
TEMPRANA DE  
INUNDACIONES**

En primer lugar es necesario definir las condiciones de emergencia o desastre en una cuenca estas condiciones causan el aumento excesivo del caudal del río, lo que lleva a desbordes que afectan a poblaciones y cultivos.

Las causas más probables de esta situación son lluvias fuertes y constantes, que produce la obstrucción de cauces, ruptura de presas y diques.

Para realizar esta propuesta tuve que buscar varias investigaciones de proyectos ya realizados, de acuerdo a eso obtuve varios ejemplos para poder guiarme y elaborar este trabajo.

#### PRIMER PASO

Identificar el área de trabajo, el río debe ser mapeado teniendo en cuenta sus atributos.

Deben también identificarse centros poblados y terrenos agrícolas que se encuentran en los márgenes del río.

#### SEGUNDO PASO

Usar los datos estadísticos disponibles de las estaciones del SENAMHI, la precipitación media mensual. La cuenca no cuenta con ninguna información de precipitación solo se tome en cuenta las precipitaciones vecinas como (Huarmey, Malvas, Aija, Cajamarquilla y Pariacoto).

#### TERCER PASO

Con los datos históricos se puede confirmar que durante la estación de lluvias el río puede sufrir inundaciones.

Hecha esta determinación es momento de identificar puntos en la cuenca donde se pueden colocar instrumentos adicionales de medición de precipitación (pluviómetros). Estos de deben colocar en la cabecera de la cuenca, ya que en las partes altas hay precipitación de mayor intensidad.

Además se colocan reglas limnimétricas, que permiten medir el nivel del caudal del río, en zonas de confluencia en las quebradas más importantes, pues ahí es donde el caudal del río aumenta inicialmente



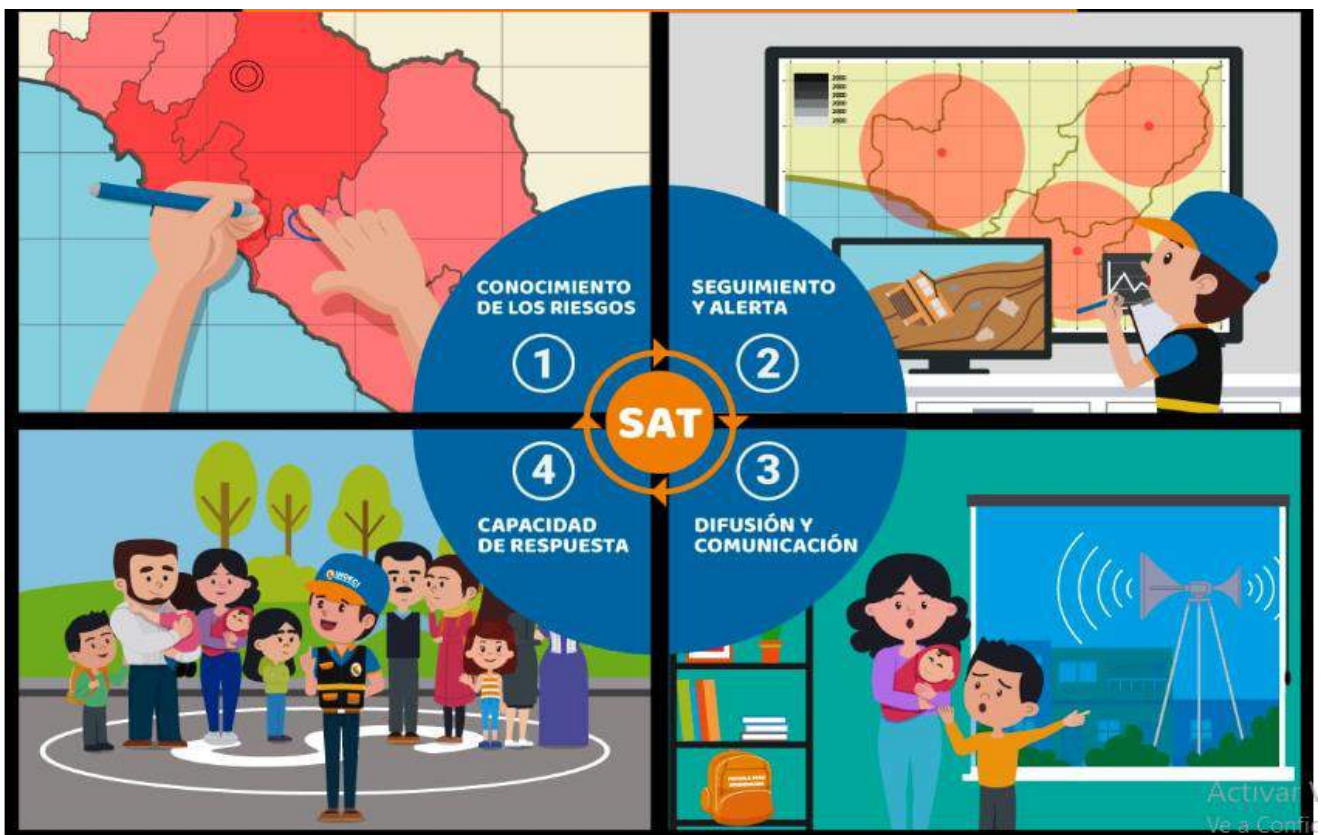
### REGLA LIMNIMETRICA

<b>ROJA</b>	El impacto generado y el desastre requieren de evaluación para la respuesta.
<b>NARANJA</b>	Condiciones de inundación críticas.
<b>AMARRILLA</b>	Incremento de la manifestación de inundación.
<b>VERDE</b>	La situación es normal.

### PLUVIOMETRO

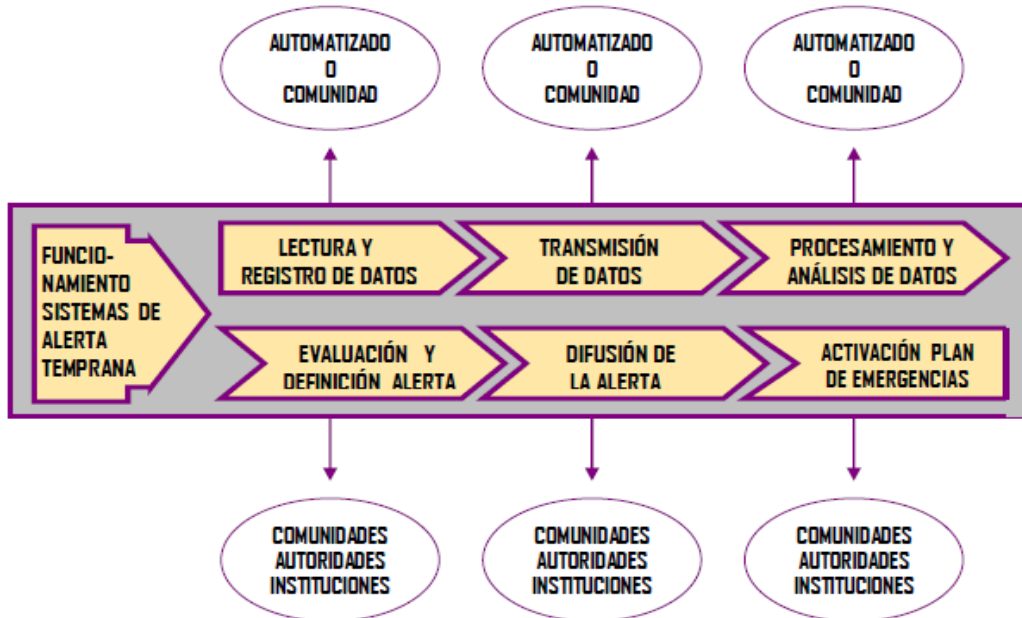


### SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA - COMPONENTES ¡SALVANDO VIDAS!

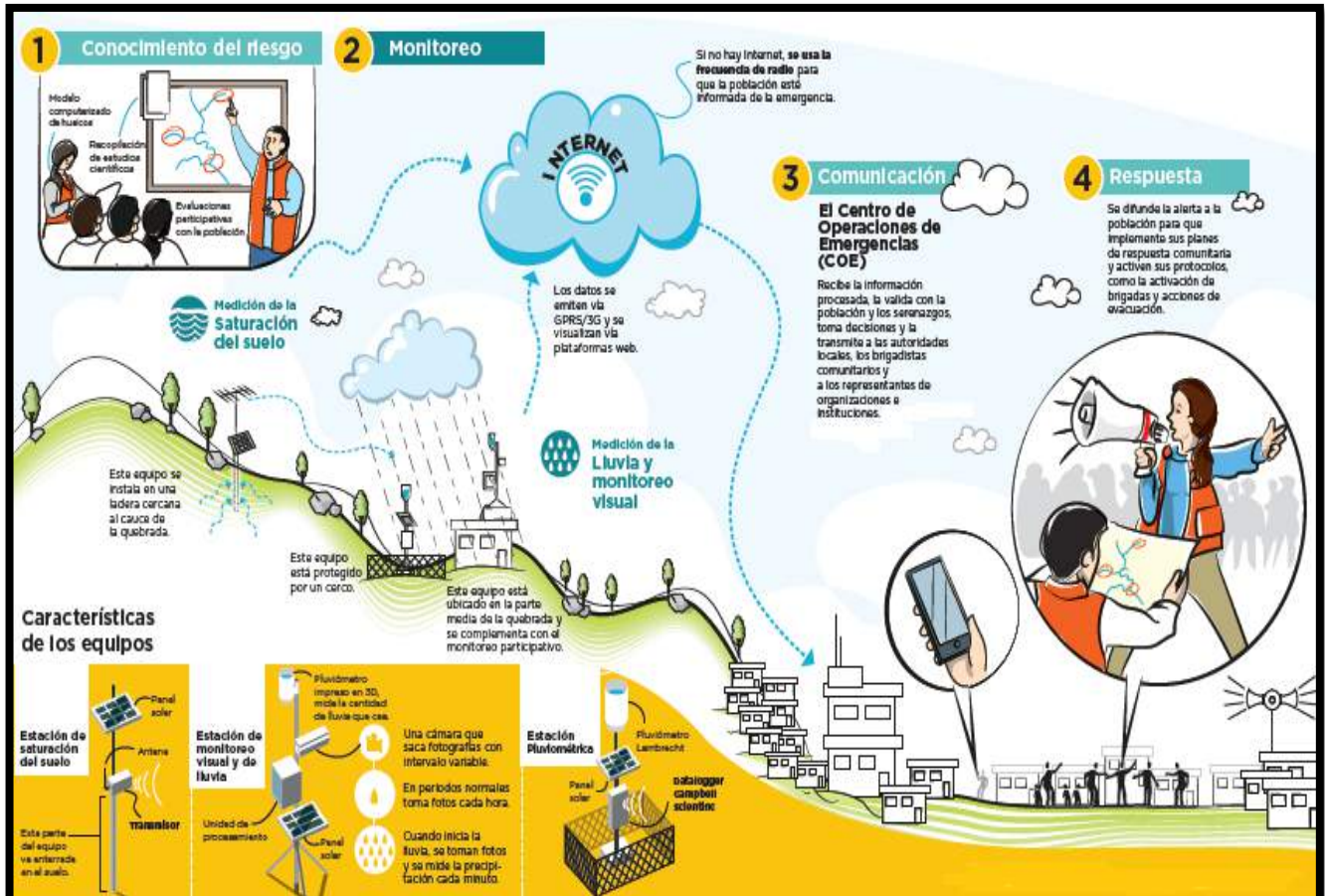




## FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA



## ESQUEMA DEL SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA



*ANEXO 3:* **PANEL  
FOTOGRAFICO**

## PANEL FOTOGRAFICO



*Ilustración 1: En esta foto observamos los puntos correspondientes para poder tomar los datos necesarios.*



*Ilustración 2: Se observa el río que no hay presencia de humedad, debido a que estas fotos fueron tomadas el día 14 de diciembre del 2018.*





*Ilustración 3: En esta imagen se muestra realizando medidas respectivas para poder caracterizar la forma del cauce del río, ya que es un dato muy importante para realizar el modelamiento hidrológico de la cuenca del río Culebras*



*Ilustración 4: Marcando con el GPS las coordenadas de cómo se encuentra el río Culebras*



*Ilustración 5: Llegando a la siguiente parada que es QUILLAPAMPA, lo cual nos dimos cuenta que el río se encuentra seco, pero en un punto observamos un pequeño riachuelo*



*Ilustración 6: Realizando la medida correspondiente del ancho del río*

*Ilustración 7: Obteniendo georreferencia del GPS.*





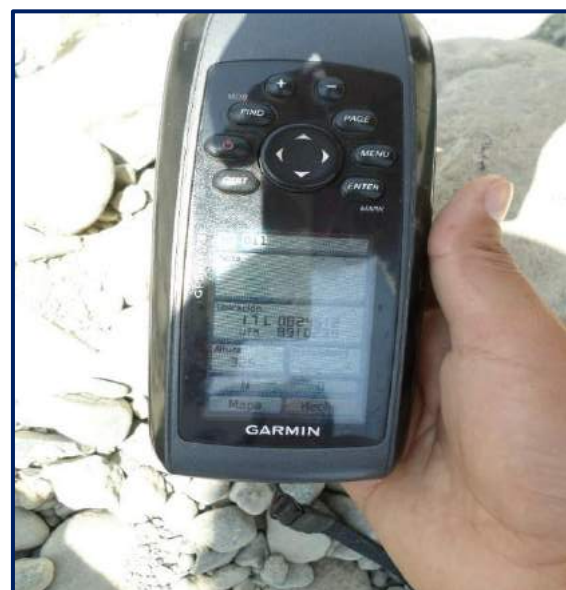


*Ilustración 8: Se observa en esta imagen que el río no presenta nada de humedad y donde se procede a tomar medidas del ancho del río.*



*Ilustración 9: Es donde se procede a marcar los datos con él GPS*

*Ilustración 10: En esta imagen se observa marcando los datos de georreferencia en el GPS*

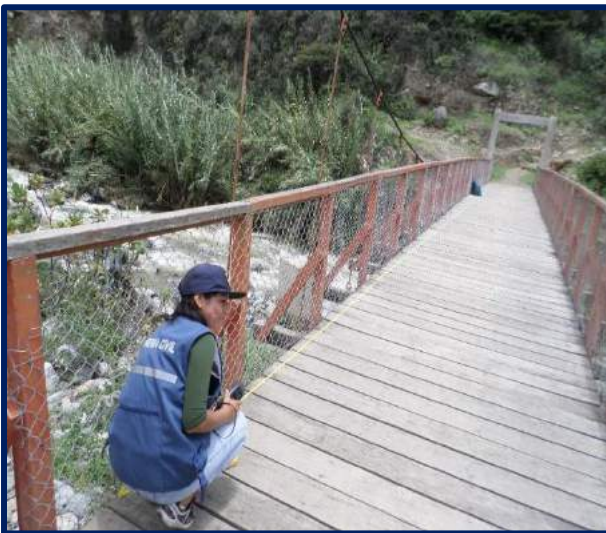




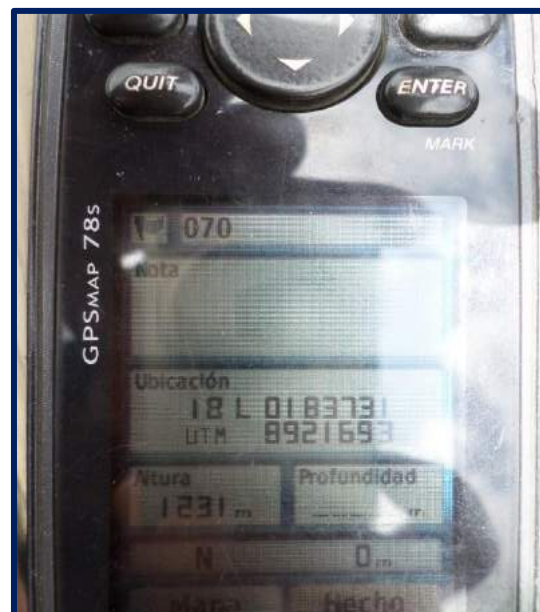
*Ilustración 11: Llegando a la siguiente parada en el puente de REIPA, lo cual nos dimos cuenta que el río se encuentra con caudal*



*Ilustración 12: Realizando la medida correspondiente del ancho del río ubicado en el puente de REIPA*



*Ilustración 13: Obteniendo los datos correspondientes con el GPS*



*ANEXO 4:*  
**DOCUMENTOS  
REALIZADOS  
PARA OBTENER  
INFORMACIÓN  
HIDROMETEREO  
LÓGICA**



## Solicitud a SENAMHI, los datos de precipitaciones de estaciones hidrometereológicos



**USP**  
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela Académico Profesional  
de Ingeniería Civil

Chimbote, 10 de enero de 2019

Señora:  
**Abg. Silvana Patricia Ellas Naranjo**  
Secretaria General SENAMHI  
Presente.-

*Asunto: Solicita información hidrometereológica para la cuenca del Río Culebras*

Me es grato dirigirme, con la finalidad de expresar mi cordial saludo y a la vez presentar a la señorita: **Pablo Ramírez Karin Katty**, con código 1111100854, identificada con DNI N° 46652616, correo electrónico [karinita312@hotmail.com](mailto:karinita312@hotmail.com), celular 945467062, egresada de la Escuela de Ingeniería Civil – Facultad de Ingeniería de la Universidad San Pedro, quien desea autorización para la información hidrometereológica de las estaciones: Pariaecoto, Chacchan Pira, Cajamarquilla, Aña, Malvas, Huarmey, Buenavista, para el desarrollo del estudio de investigación, denominada: "SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA APLICANDO UN MODELAMIENTO HIDROLOGICO CON IHC-IVIS EN EL RIO CULEBRAS".

Los datos requeridos de las estaciones son precipitaciones históricas.

Agradeciendo por anticipado la atención a la presente, aprovecho la oportunidad para expresar los sentimientos de nuestra mayor consideración.

Atentamente,



*Rogelio Castañeda Gamboa*  
Rogelio Castañeda Gamboa  
DIRECTOR  
Escuela Profesional de Ingeniería Civil

## Requisitos de SENAMHI para obtener la información requerida.

Formato 1: Solicitud del servicio 1, Sede Central

Señor:

Gerente General del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

### DATOS DEL SOLICITANTE

NOMBRE o RAZÓN SOCIAL :	KARIN KATTY PABLO RAMIREZ		
Dirección:	SAN JACINTO - NEPEÑA - SANTA - ANCASH		
RUC (*):		Teléfono:	945467062
E-mail :	karinista312@hotmail.com		
Sector o Rubro (*):			
Representante (*):		DNI:	46652616

(\*) Solo completar en caso de ser una persona jurídica.

### INFORMACIÓN REFERENCIAL

Descripción del estudio:	*SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE INUNDACIONES APLICANDO UN MODELLAMIENTO HIDROLOGICO CON HEC-HMS EN EL RIO CULEBRAS**
Alcance:	INFORMACION HIDROMETEREOLÓGICA

### SERVICIO 1: Expedición de información procesada de variables hidrometeorológicas

Estación / Área de interés	Variable Hidrometeorología	Escala (diaria / mensual)	Período
PARIACOTO	PRECIPITACIONES HISTORICAS		2017 HACIA ATRAS
CHACCHAN	PRECIPITACIONES HISTORICAS		2017 HACIA ATRAS
PIRA	PRECIPITACIONES HISTORICAS		2017 HACIA ATRAS
CASAMARQUILLA	PRECIPITACIONES HISTORICAS		2017 HACIA ATRAS
AISA	PRECIPITACIONES HISTORICAS		2017 HACIA ATRAS
MALVAS	PRECIPITACIONES HISTORICAS		2017 HACIA ATRAS
HOARNEY	PRECIPITACIONES HISTORICAS		2017 HACIA ATRAS
BUENA VISTA	PRECIPITACIONES HISTORICAS		2017 HACIA ATRAS

### Información Adicional / Observaciones

--

Fecha: 11 DE FEBRERO DEL 2019

  
Firma del Solicitante

GERENCIA GENERAL DEL SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERU - SENAMHI  
Presente.-

KARIN KATTY PABLO RAMIREZ

(Nombres y Apellidos)

SAN JACINTO - NEPEÑA - SANTA - ANCASSH

(Dirección)

con N° DNI: 46652616 Telf: 945467062 E-mail karrita312@hotmail.com

Universidad/ Instituto: UNIVERSIDAD SAN PEDRO

Carrera/ Profesión: INGENIERIA CIVIL

Ante usted me presento y expongo;

Que, (detallar el estudio, nombre del proyecto que están realizando y el motivo de solicitud de los datos)

ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN, DENOMINADA: "SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE INUNDACIONES APLICANDO UN MODELAMIENTO HIDROLOGICO CON HEC-HMS EN EL RIO "COLEBRAS", PARA EL CURSO DE TITULACIÓN

Solicito la siguiente información:

ESTACIÓN	PARÁMETROS	ESCALA	PERÍODOS
PARIACOTO	PRECIPITACIONES HISTORICAS		2017 HACIA ATRAS
CHACCHAN	PRECIPITACIONES HISTORICAS		2017 HACIA ATRAS
PIRA	PRECIPITACIONES HISTORICAS		2017 HACIA ATRAS
CAJAMARQUILLA	PRECIPITACIONES HISTORICAS		2017 HACIA ATRAS
AISA	PRECIPITACIONES HISTORICAS		2017 HACIA ATRAS
HALVAS	PRECIPITACIONES HISTORICAS		2017 HACIA ATRAS
HUARNEY	PRECIPITACIONES HISTORICAS		2017 HACIA ATRAS
BOENAVISTA	PRECIPITACIONES HISTORICAS		2017 HACIA ATRAS

Por lo expuesto, agradeceré a usted atender lo solicitado.

Lima, 11 de FEBRERO del 2019.

Firma del Usuario

PROCEDIMIENTOS PARA OTORGAR INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA EN EL SENAMHI A ESTUDIANTES, TESISISTAS, MAESTRISTAS, DOCTORADO E INVESTIGADORES

ANEXO 03: FORMATO DE DECLARACIÓN JURADA

DECLARACION JURADA

Yo, KARIN KATTY PABLO RAHIREZ identificado (a) con DNI  
Nº 46652616 con domicilio en SAN JACINTO en el Distrito de  
NEPEÑA Provincia de SANTA Departamento  
ANCASH



DECLARO BAJO JURAMENTO, QUE

La información hidrometeorológica proporcionada por SENAMHI, será de uso exclusivo de mi trabajo/proyecto/tesis titulado (a) "SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE INUNDACIONES APLICANDO UN MODELAJENTO HIDROLÓGICO" de la Universidad/Instituto SAN PEDRO



CHIMBOTE, 11 de FEBRERO del 2019.

  
Firma del Usuario



ANEXO 04: FORMATO DE CARTA DE COMPROMISO

CARTA DE COMPROMISO

Yo, KARIN KATY PABLO RAMIREZ.....  
identificado (a) con DNI N° 46652616..... alumno de la  
Carrera INGENIERIA CIVIL..... me comprometo a cumplir con  
lo siguiente:

Entrega de un (01) ejemplar de mi trabajo de Tesis a la Biblioteca del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI, al término y debida sustentación del mismo.

CHIMBOTE 11 de FEBRERO del 2019..



[Handwritten Signature]  
Firma del Usuario