



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

“Sistema de Alerta Temprana ante inundaciones, caso: Cuenca del
rio Huarmey, 2021”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Civil

AUTORES:

Milla Villafana, Víctor Enrique (ORCID: 0000-0003-0272-4451)

Rubina Moreno, José Yhim (ORCID: 0000-0002-0940-1578)

ASESOR:

Mg. Segura Terrones, Luis Alberto (ORCID: 0000-0002-9320-0540)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de Obras Hidráulicas y Saneamiento

LIMA – PERÚ

2021

DEDICATORIA

A DIOS

Por haberme dado la sabiduría de permitirme llegar a esta instancia y darme salud para alcanzar cada objetivo que voy aprendiendo a diario.

A MIS PADRES

Por el apoyo en todo momento, por sus consejos, valores, que los caracteriza y que me vienen enfundando siempre, con la motivación para salir adelante y por su amor.

A MIS MAESTROS

Por el apoyo y motivación por la culminación de cada curso, por su tiempo compartido en cada clase y por impulsar el desarrollo de mi formación profesional.

A MIS AMIGOS

Por el apoyo mutuo durante la formación profesional y que hasta ahora lo venimos haciendo en cada clase.

Victor Enrique Milla Villafana

Yhim Rubina Moreno

AGRADECIMIENTO

Quiero en primer lugar agradecer a Dios, por guiarme en el camino y fortalecerme espiritualmente para empezar un camino lleno de éxito. Les agradezco a mis padres y hermanos, que quienes con sus consejos fueron el motor de arranque y mi constante motivación, gracias por su paciencia y comprensión, y sobre todo su amor y ejemplo de vida.

Victor Enrique Milla Villafana

Yhim Rubina Moreno

Índice de contenidos

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
Índice de contenidos	iii
ÍNDICE DE FÍGURAS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	v
Resumen	vi
Abstract.....	vii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA	15
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	15
3.2. Variables y Operacionalización de variables	16
3.3. Población, Muestra y muestreo	18
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	19
3.5. Procedimientos	19
3.6. Método de análisis de datos.....	19
3.7. Aspectos éticos.....	19
IV. RESULTADOS.....	20
V. DISCUSIÓN	63
VI. CONCLUSIONES.....	64
VII. RECOMENDACIONES.....	65
REFERENCIAS	66
ANEXOS.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 01. Operacionalización de variables.	16
Figura N° 02. Demarcación política de la cuenca Huarmey.	20
Figura N° 03. Visor Alaska Satellite Facility para obtención de imágenes de satelitales.	23
Figura N°04. Ventana de búsqueda del satélite ALOS PALSAR.	24
Figura N°05. Imágenes de satélite con Modelo Digital de Elevación para el área de estudio.	24
Figura N°06. Raster resolución 12.5 x 12.5 m	25
Figura N°07. Mapa de delimitación de la cuenca Huarmey.	25
Figura N°08. Mapa de delimitación de sub cuencas Huarmey.	26
Figura N°09. Mapa de pendiente de la cuenca Huarmey.	27
Figura N°10. Mapa de pendiente de la cuenca Huarmey	28
Figura N°11. Mapa de suelos de la cuenca Huarmey	29
Figura N°12. Mapa de cobertura vegetal de la cuenca Huarmey.	32
Figura N°13. Mapa Numero de Curva – Condiciones normales.....	36
Figura N°14. Ingreso de datos al modelo de la cuenca.....	44
Figura N°15. Ingreso de datos al modelo de la cuenca.....	46
Figura N°16. Recolección de datos en campo	47
Figura N°17. Ingreso de parámetros de los ríos.	48
Figura N°18. Estaciones meteorológicas en la cuenca.....	49
Figura N°19. Polígono de Thiessen de la cuenca.	50
Figura N°20. Curva SCS Tipo I para desagregación de lluvias	54
Figura N°21: Ingreso de precipitaciones desagregadas en software HEC-HMS.....	55
Figura N°22: Ingreso de las especificaciones de control y simulación del modelamiento.	56
Figura N°23: Descarga pico del modelamiento hidrológico del Rio Huarmey	57
Figura N°24: Hidrograma de salida en la ciudad de Huarmey	57
Figura N°25: El pluviógrafo automático.....	58
Figura N°26: Sensor Radar de cálculo de flujo continuo (velocidad y nivel)	59
Figura N°27. Esquema de componentes del Sistema de Alerta Temprana del Rio Huarmey	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°01: Operacionalización de la variable Independiente	17
Tabla N°02: Operacionalización de la variable Dependiente	18
Tabla N°03. Demarcación política de la cuenca Huarmey.....	21
Tabla N°04. Parámetros morfológicos de la cuenca Huarmey.....	22
Tabla N°05. Áreas y perímetros de las sub cuencas.....	26
Tabla N°06. Longitud, pendiente media de las sub cuencas y cauces principales.....	27
Tabla N°07. Descripción del tipo de suelo.....	30
Tabla N°08. Reclasificación del Mapa de suelo.....	30
Tabla N°09. Descripción de tipo de cobertura vegetal.....	32
Tabla N°10: Reclasificación del Mapa de cobertura.....	33
Tabla N°11. Tabla de CN según descripción Uso de la tierra y Grupo hidrológico.....	33
Tabla N°12. Valores de los grupos hidrológicos para nuestro modelo.....	35
Tabla N°13. Valores de CN de los grupos hidrológicos para nuestra cuenca.....	36
Tabla N°14. Valores de CN de los grupos hidrológicos para nuestra cuenca.....	45
Tabla N°15. Parámetros por tramos de los ríos en la cuenca.....	47
Tabla N°16: Estaciones meteorológicas de la cuenca Huarmey.....	49
Tabla N°17. Pesos relativos de las estaciones en las sub cuencas.....	50
Tabla N°18: Datos históricos de precipitación del mes de marzo.....	52
Tabla N°19: Desagregación de precipitación del día 15 de marzo del 2017.....	54
Tabla N°20. Presupuesto referencial de instalación.....	61
Tabla N°21. Presupuesto referencial de operación anual.....	62

Resumen

El presente desarrollo de investigación tiene por finalidad desarrollar un sistema de alerta temprana de inundaciones en la cuenca del río Huarmey, para desarrollar el estudio de la investigación se llevará a cabo el método de diseño de investigación no experimental, tipo descriptiva, debido a que el estudio persigue generalmente una propuesta de sistema de alerta temprana que evaluara con los datos obtenidos de la cuenca del río Huarmey.

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 con la finalidad de simular el comportamiento real del río frente a las precipitaciones, y en consecuencia poder realizar predicciones de caudales a corto, mediano y largo plazo; para luego finalmente proponer mejoras en cuanto a los sistemas de recopilación de información, que traen consigo la reducción de tiempos de reacción frente a estos desastres.

Palabras clave: Alerta Temprana, inundación, modelamiento hidrológico.

Abstract

The purpose of this research development is to develop an early warning system for floods in the Huarmey river basin, to develop the research study the non-experimental, descriptive research design method will be carried out, because the study generally pursues a proposal for an early warning system that will be evaluated with the data obtained from the Huarmey river basin.

This methodology consists first of an analysis of the existing hydrometeorological measurement equipment in the basin and the data they provide, to then proceed to the creation of a hydrological model in order to simulate the real behavior of the river in the face of rainfall and consequently to be able to make predictions of flows in the short, medium and long term; and then finally propose improvements in the information gathering systems, which bring with it the reduction of reaction times in the face of these disasters.

Keywords: Early Warning, flooding, hydrological modeling.

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental alrededor del mundo ha generado cambios climáticos a lo largo de los años, estos cambios climáticos son causados principalmente por el calentamiento global producido por la humanidad y su inconsciencia e ignorancia con el descuido del medio ambiente.

El cambio climático provoca numerosas consecuencias y afectaciones de gran impacto a nivel global que se generan primordialmente de variaciones en los patrones climáticos, una creciente del nivel marítimo y de las anomalías meteorológicas más extremas. También afecta en mayor medida a las comunidades menos desarrolladas social y económicamente, y esto se debe a que la mayoría de estas comunidades se establecen en los límites de la sociedad, en edificaciones con poca estabilidad e infraestructura débil y en zonas más vulnerables ante inundaciones, deslizamientos de tierras o sismos de gran magnitud, y también debido a que no poseen recursos adecuados además de un reducido acceso a gestiones de respuesta de emergencia. Estas instancias son más graves en los países que se encuentran en desarrollo.

La ocurrencia de precipitaciones en el territorio peruano durante temporadas de Fenómeno El Niño, que provoca el aumento de los caudales en los ríos de la costa en cantidades más grandes de lo normal y a esto se le suma las alteraciones de su cauce tales como arrojamiento de desmonte o basura, colmatación del río, etc. son los causantes de inundaciones. Esto es una de las causas principales en las localidades de la cuenca baja debido a que solo en época de lluvias se presenta crecidas de caudales muy fuertes y es necesario proveer o tener un Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones en caso de algún evento extraordinario.

El fenómeno del niño costero del año 2017 provocó grandes desastres en la costa norte de Perú, sobre todo en las regiones de Tumbes, Piura y Lambayeque; los cuales fueron establecidos en estado de emergencia por el Comité Multisectorial Encargado del Estudio Nacional del Fenómeno de El Niño (ENFEN). Otros departamentos que fueron también afectados en gran medida fueron La Libertad y Áncash. Trujillo fue afectada por las quebradas y varias vías

de comunicación se encontraron bloqueadas, mientras que Huarmey en Ancash, quedó inundado e incomunicado por el desborde del río Huarmey.

En la provincia de Huarmey, el niño costero dejó cerca de 15,000 damnificados, 6,700 afectados, 6 muertos y 74 heridos por las precipitaciones de gran intensidad que provocaron desbordamiento de ríos e inundaciones, según lo que informó el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) al Centro de Operaciones de Emergencia Nacional del Ministerio de Defensa. Así mismo, 425 casas terminaron afectadas, 169 se derrumbaron y quedaron prácticamente inhabitables; mientras que 12 colegios también fueron afectados, 11 quedaron prácticamente inaccesible y otras tres sufrieron daños que hicieron que colapsen. Además, tres centros de salud fueron totalmente sumergidos lo que provocó que no se pueda acceder a estas y a dos se les declaro como inhabitables. En total, cinco huaicos destrozaron toda la localidad de Huarmey, la red de alcantarillado, de agua, de energía y de telefonía colapsaron. Huarmey estuvo sin comunicación con días y las tiendas y mercados fueron saqueadas debido a la falta de recursos y fueron frecuentes por lo que fue necesaria la presencia de las Fuerzas Armadas y el aumento de efectivos de la Policía Nacional.

Es debido a estos daños causados principalmente en la costa norte de Perú que, se debe tener un sistema de alerta temprana de inundaciones para así poder prevenir y mitigar los daños y perjuicios que son causados por los desbordes de ríos provocados por precipitaciones fuertes.

Es importante saber que los sistemas de alerta temprana son sistemas de gestión que posibilita advertir a la población y así prevenir todas estas afectaciones y además tomar medidas para disminuir los daños y perjuicios que provocan estos eventos catastróficos. Los sistemas de alerta temprana funcionan para poder advertir a su localidad y su población por si se desarrolla un desastre natural teniendo como resultado provocar impactos negativos en la población.

La problemática del presente proyecto sería: ¿Cómo prevenir y disminuir pérdidas de vida o perjuicios materiales mediante un sistema de alerta temprana ante inundaciones aplicando un modelo hidrológico en la cuenca Huarmey?

Este proyecto de investigación se fundamenta en el sentido de servir como una herramienta preventiva de apoyo para las autoridades en la toma de decisiones ante la construcción social del riesgo en áreas potenciales de peligro, así mismo este documento pretende servir como un medio de información para la población sobre las características físicas de su territorio y áreas potencialmente inundables que ponen en peligro a la población.

El objetivo general del presente proyecto de investigación ha sido poder prevenir los daños causados por las inundaciones que provocan las precipitaciones de gran magnitud en épocas del niño costero. Como objetivos específicos se tiene: Conocer el sistema natural del río Huarmey, identificar y evaluar la información Meteorológica disponible en la cuenca y todas aquellas características que conforman bases informativas técnicas del funcionamiento de dicho sistema. Realizar el modelo hidrológico mediante el uso del programa HEC-HMS para simular el comportamiento de la cuenca bajo precipitaciones máximas y, proponer un Sistema Scada de Alerta Temprana ante Inundaciones para el río Huarmey basado en un modelo hidrológico.

Por tanto el desarrollo del presente proyecto de Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones en el Río Huarmey Aplicando un Modelamiento Hidrológico e Hidráulico se fundamenta en el sentido de servir como una herramienta preventiva de apoyo para las autoridades en la toma de decisiones ante la construcción social del riesgo en áreas potenciales de peligro, así mismo este documento pretende servir como un medio de información para la población sobre las características físicas de su territorio y áreas potencialmente inundables que ponen en peligro a la población.

Como hipótesis tenemos que el modelamiento hidrológico en el río Huarmey utilizando el programa HEC-HMS permitirá simular el comportamiento de la cuenca bajo precipitaciones máximas, para así planificar el sistema de alerta temprana SCADA ante inundaciones. Logrando poder dar advertencia a la comunidad local con el tiempo adecuado para poder evitar los mayores riesgos posibles.

II. MARCO TEÓRICO

Para este proyecto se encontraron antecedentes a nivel internacional, así como también a nivel nacional, las cuales sirvieron como referencia para la ejecución del proyecto de investigación.

A nivel internacional, según **Santos (2017)**, En Ecuador, el propósito de esta investigación ha sido realizar un modelamiento de la lluvia-escorrentamiento enfocada a la subcuenca del río Carrizal, situada al extremo oriental de la Provincia de Manabí, el cual tuvo como objetivo examinar y simular la conducta hidrológico de las precipitaciones y el caudal que corresponde por medio de la evaluación del programa de modelamiento hidrológico HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System) y también mediante aplicación del programa HEC-RAS; en donde el programa HEC-HMS demostró con exactitud la conducta hídrica del período 2011-2015, teniendo como resultado que en el año 2012 ha sido donde se presenció la más grande lluvia que provocó gran acumulación de agua conocida también como "inundación" en la provincia de Manabí. Para el análisis de dichos ensayos de infiltración, escurrimiento, avenidas de caudales máximos se analizaron datos de precipitación y caudal de la estación meteorológica de la ESPAM el cual facilita de mejor manera poder identificar las superficies con riesgo a quedar inundadas y con lo cual el asentimiento de la simulación de estimación del proceso lluvia - escurrimiento en la subcuenca del río Carrizal.

Cabrera et al. (2019), en Cuenca-Ecuador, para esta investigación se aplicó el manejo del programa HEC-HMS, para realizar una simulación del proceso conocido como lluvia-escorrentía, el cual se trata de conocer que cantidad de agua se va infiltrar en un área y va escurrir a través de una cuenca, en este caso la cuenca de Páramo que cuenta con un área aproximada de 21.8 km² ubicada al sur de Ecuador. Para calibrar y validar el programa HEC-HMS se utilizó información que pertenece al periodo de julio-2013 a junio-2016 con valores cotidianos. Se usó el procedimiento de Contenido de Humedad del Suelo (SMA) para estimar el flujo de agua en el área del proyecto. Para la distribución de la precipitación en el área de la cuenca se usó el método de Polígono de Thiessen, en el cual el cálculo de la evapotranspiración se obtuvo con la ecuación de

Penman-Monteith. Los resultados obtenidos fueron que a) alrededor del 83% del agua se infiltra en el suelo del área de la cuenca en lo que aproximadamente el 17% es retenido en la vegetación y el área del suelo, b) el agua de la precipitación es retenida por alrededor de 42 días antes de llegar al río y c) que más del 60% del agua corresponde a agua subsuperficial”.

Según **Angulo y Saavedra (2018), en Cuba**, para este estudio se validó el modelamiento hidrológico de la cuenca Maylanco mediante el software HEC-HMS, programa que es usado para poder estimar una avenida de caudales máximos en un periodo de tiempo. Se recopiló información de la zona de estudio a través de estaciones pluviométricas, las cuales manejan datos de las precipitaciones que han acontecido desde el año 1980 hasta el 2016, también se usaron mapas temáticos de la zona, así como también levantamiento topográfico del lugar. Para la calibración del modelamiento hidrológico se usaron las lluvias que tuvieron lugar en el año 2018 entre las fechas del 15 a 17 de febrero. Como resultado llegaron a la conclusión de que la zona es un área potencialmente inundable en el cual recomendaron realizar estudios de modelamiento hidrodinámico y así poder estimar el área de inundación.

A nivel nacional, según **Palomino & Mauricio (2019)**, Lima-Perú, el análisis se basó en la realización del modelo hidráulico e hidrológico en la zona Cashahuacra del distrito Santa Eulalia teniendo como objetivo plantear la composición de una gestión de sistema de alerta temprana el cual incluía dichos modelos para eludir el riesgo que corren las vidas de la población y de sus servicios básicos, así como también de sus fuentes de ingreso económico. La modelación hidrológica la hicieron por medio del programa HEC-HMS y el modelamiento hidráulico lo realizaron mediante el software FLO-2D versión PRO”.

A nivel local, según **Huancas (2019)**, en Chiclayo, en este estudio de investigación se tuvo el objetivo primordial de realizar el modelo hidráulico del río Reque teniendo como intención detectar los tramos más vulnerables ante inundaciones y de esta forma evitar o disminuir las afectaciones que estas provocan, tanto en el aspecto económico como de salud, proponiendo como medida de prevención ante esta catástrofe, las estructuras denominadas como

defensas ribereñas. De la modelación hidráulica se obtuvieron como resultado las zonas más vulnerables de inundaciones situadas en el tramo en análisis a lo largo del río Reque, estas precipitaciones que originaron inundación y en consecuencia provocaron pérdidas agrícolas a la localidad y zonas colindantes; tuvieron como solución el planteamiento y diseño de defensas ribereñas con la utilización del programa River para cada tramo crítico presentado.

Ahora para poder entender la problemática que se tiene en el presente proyecto de investigación, se debe conocer cuáles son las principales causas que originan esta problemática. La Tierra tiene un sistema climático muy complicado que además este viene a ser el impulsor natural y primordial de los recursos hídricos de nuestro planeta, según **Kundzewicz et al. (2018)**.

Entonces el cambio climático juega un papel muy importante que puede afectar en todas las regiones de la Tierra, lo que genera afectaciones de gran importancia en ecosistemas naturales que llegan a tener un impacto político y económico en cada una de las regiones de la Tierra, según **Houng (2018)**.

Ahora **Ramírez y Briones (2017)** nos explica que la región noroeste de América del Sur se presenta como una región que llega a ser vulnerable ante cambios hidrometeorológicos que se presentan periódicamente como el fenómeno “El Niño”.

El personal a cargo de investigar al fenómeno “El Niño” en los continentes de las Américas, incluyendo Estados Unidos y Perú, no pudieron presagiar el desarrollo y evolución de esta anomalía, a pesar de contar con un sistema de monitoreo de toda la cuenca de la región del Pacífico y por tal motivo las autoridades locales no pudieron advertir a la población de los riesgos y peligros altamente potenciales que genera esta anomalía que provoca inundaciones repentinas, según **Ramírez y Briones (2017)**.

Según **Quispe (2018)**, los 3 componentes primordiales que originan el fenómeno “El Niño” son: la existencia de alisios, vientos del suroeste modulados por el Anticiclón del Pacífico Sur (APS) que transportan aire más gélido y denso hacia el sector tropical; el afloramiento costero, cuya prueba es una temperatura superficial del océano (TSM) gélida; y la cadena montañosa altoandina que,

vinculada con los recurrentes flujos del este en niveles medios, frecuente crear subsidencia al oeste (a sotavento). No obstante, raramente han sido registradas episodios, en particular en el área norte, donde los valores cotidianos de lluvia han superado los acumulados climatológicos anuales. Es fundamental nombrar la existencia de una de las circulaciones climatológicas de escala universal que modula las precipitaciones en el área tropical: el área de convergencia intertropical (ITCZ). Por consiguiente, es un cinturón de baja presión y alta nubosidad cercana a el área ecuatorial que se alarga en torno al globo y que se desplaza estacionalmente hacia el hemisferio donde hay más grande insolación (hemisferio de verano) gracias a la intensificación de los alisios del hemisferio de invierno. En el Pacífico usualmente oscila entre los 15°N y 5°S, empero puede llegar a moverse hasta los 10°S. A lo largo del mes de marzo frecuente desarrollar una segunda banda que alcanza los 5°S en el Pacífico ecuatorial; no obstante, en un escenario del Infante ésta está más activa y se desplaza hacia el sur hasta cerca de los 10°S.

Ahora **Quispe** (2018) nos cuenta que un calentamiento de la temperatura superficial del mar en el Pacífico ecuatorial central y oriental frecuente estar referente con un fenómeno de escala universal nombrado El Niño (ENSO), el cual es un acoplamiento océano-atmósfera que usualmente tiene una periodicidad de 3.8 años. A lo largo de un episodio ENSO, las propiedades importantes que muestra la atmósfera en el Pacífico ecuatorial central y oriental son: un debilitamiento de los alisios e inclusive su inversión dando sitio a flujos del oeste, un movimiento de la ITCZ hacia el sur y un más grande desarrollo convectivo en su segunda banda, un incremento de la convección, un aumento de humedad en niveles bajos y un debilitamiento de la igualdad atmosférica. Principalmente, el crecimiento de la TSM en el Pacífico oriental se desencadena gracias a un pulso de subsidencia asociado a una onda Kelvin (generada por una perturbación atmosférica en el Pacífico ecuatorial occidental).

El ENSO suele afectar Perú mediante un incremento de lluvias en la zona norte y un déficit en la región altoandina, estas lluvias se correlacionan con la TSM en un punto localizado alrededor de a 15 km de la costa norte y se concluye que con temperaturas por arriba de los 26°C hay alta posibilidad de que se hagan lluvias

relevantes, en lo que, con valores mayores a los 29°C podrían ser catastróficas, según **Quispe** (2018).

Quispe (2018) nos cuenta que el verano del 2017 tuvo propiedades particulares en Perú. La TSM del área 1+2 se calentó súbitamente al rededor del mes de febrero, alcanzando su pico mayor en marzo con valores cercanos a 29°C, dando de esta forma sitio a lo que se llama El Niño Costero.

Ahora **Ramírez y Briones** (2017) señala que la literatura científica preliminar en Perú indica que El Niño Costero no es un tipo nuevo, sino que es un tipo distinto de El Niño como el documentado en 1925 que los de Perú recuerdan como un acontecimiento desastroso de gran intensidad en su costa norte. Independientemente de las diferencias entre El Niño Costero y El Niño en toda la cuenca, los impactos del costero de El Niño de 2017 en los ecosistemas y comunidades peruanos fueron significativos y semejantes a otros fenómenos extraordinarios del Infante, como 1982-1983 y 1997-1998.

Las evaluaciones gubernamentales preliminares de los males costeros de El Niño documentaron la destrucción experimentada por los peruanos en términos de pérdida de vidas e infraestructura a lo largo del territorio. Las pérdidas económicas gracias a las lluvias torrenciales en relación con El Niño se estimaron en USD 3,1 mil millones, al 28 de marzo de 2017. Los efectos de El Niño se distribuyeron de forma desigual en las zonas geográficas peruanos y los impactos más severos (según el porcentaje de individuos dañadas en Perú) se reportaron en localidades de los apartamentos costeros del norte de Piura (32%), Lambayeque (16%) y La Independencia, según **Ramírez y Briones** (2017).

Ramírez y Briones (2017) expresó que los investigadores de El Niño en las Américas, incluidos los de Estados Unidos y Perú, no vieron el desarrollo del acontecimiento costero pese a una gestión de control de toda la información que se maneja mediante estaciones meteorológicas y pluviométricas a lo largo del área de la cuenca del Pacífico. Una viable razón es el problema constante del fenómeno climático denominado como El Niño que es extensamente usada y crítica la gestión de prevención como el sistema de alerta ENSO de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA). El desarrollo del ciclo ENSO se supervisa de cerca en un sistema que posibilita a los científicos para

mirar los cambios del medio ambiente a lo largo del Pacífico y producir alertas y advertencias si surge un El Niño o La Niña (NOAA). Según este sistema de Alerta ENSO, El Niño y La Niña son anomalías positivas y negativas de la temperatura superficial del océano (TSM), respectivamente, que sobrepasan un \pm Umbral de 0,5 C a lo largo de 5 períodos continuos de 3 meses. La zona de enfoque es el Pacífico ecuatorial central y oriental conocido como El Niño. Esta zona es la base del Índice de Infante Oceánico (ONI) que guía el sistema de alerta por medio de la utilización de SST junto con otras fronteras climáticas, como los vientos, la radiación de onda extensa saliente y los cambios de presión atmosférica (el Índice de Oscilación del Sur); el reconocimiento tardío podría deberse a un problema de definición, uno que es inadecuado para reconocer el evento de tipo costero, o quizás El Niño costero fue simplemente una sorpresa climática y para complicar aún más la situación de monitoreo y definición, muchos países, incluidos Perú y Ecuador, se basan en el sistema de alerta ENSO de la NOAA y en los modelos de pronóstico que estiman la probabilidad de que ocurra El Niño, según **Ramírez y Briones** (2017).

Ahora **Vilela** (Santiago de Chile, 2020) expresó que, de forma especial, el Niño Costero del 2017 se presentó por medio de intensas precipitaciones, las cuales provocaron inundaciones, huaycos, deslizamientos, derrumbes y tormentas; teniendo un efecto más intenso y acentuado en la costa norte y centro, así como en la sierra central del territorio, por lo que ha sido denominado formalmente como “Niño Costero”.

El Niño Costero provocó inundaciones de las cuales, se tiene variedad de tipos y conceptos denominados como “inundación”. En general se entiende como un exceso de caudal o volumen de agua que es mayor al volumen de capacidad de las estructuras hidráulicas conocidas como “canales” en las cuales estos caudales fluyen. De igual manera, el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) lo expresa como un desborde o inundación que pertenece a un río ocasionando perjuicios a las zonas aledañas las cuales pueden ser poblaciones o zonas agrícolas, según **Butrich** (2018).

La variedad de desborde o inundación que va a ser usado en este trabajo de investigación es la inundación de río o además llamada inundación fluvial.

Butrich (2018) nos explica que esta clase de inundaciones son provocadas por el exceso del caudal del río gracias a fuertes lluvias que además tienen una larga duración anormal.

Los desbordes de los ríos involucran la mezcla de una secuencia de componentes tales como, las circunstancias del clima, el tipo y características del suelo, sistemas de prevención frente a inundaciones, entre otros, según **Butrich** (2018). A esta clase de inundaciones fluviales se les conoce como inundaciones de nivel freático. No obstante, en casos de épocas en el que el caudal disminuye por ausencia de lluvias conocidas Estiaje, la capacidad del suelo conocida como Capacidad de Infiltración se reduce y por consiguiente las reacciones ante las precipitaciones son más inmediatas; provocando de esta forma inundaciones súbitas. Un factor fundamental de esta clase de inundación es que la saturación del suelo es completa lo cual provoca una superación en la capacidad de absorción de agua en el suelo y ocasionando el aumento del flujo y escorrentía del agua procedente de las lluvias intensas, según lo que nos explica **Butrich** (2018).

Butrich (2018) nos cuenta que el elevado riesgo se justifica por las grandes localidades que se han asentado en dichos sitios y por todos los elementos como recursos agrícolas localizados en aquellas regiones. Entre las consecuencias directas generadas por dichos eventos se hallan los perjuicios y la defunción de personas y viviendas, entre otros, en lo que las consecuencias indirectas involucran pérdidas el sector agrícola e industrial, la denigración a las vías de transporte, un crecimiento de costos, la polución de saneamiento, entre otros.

Ahora **Estrada y Pacheco** (2018) nos explicaron que para poder evaluar una simulación de estas inundaciones en un área de estudio se usa el modelo hidrológico que funciona como un instrumento de gran trascendencia y así poder analizar avenidas que tuvieron lugar por todo el planeta, prácticamente teniendo lugar mayormente en territorios con un mayor desarrollo social y económico. Actualmente, con la realización de estas modelaciones, se hace una estimación de estas inundaciones y así poder elaborar un sistema de prevención ante las consecuencias de estos eventos; además, es viable controlar información y datos que se aproxime lo más posible a la realidad y que nos proporcione un cierto nivel

de certeza para la formulación de decisiones o elecciones, así sea en la organización de la región alrededor de los ríos o para la consideración de construcción de estructuras hidráulicas capaces de responder correctamente ante situaciones de emergencia. Inclusive, dar alerta a las autoridades como Defensa Civil e implantar un sistema de acciones o procedimientos frente a probables condiciones de riesgo por fuertes precipitaciones de larga duración.

Son diversos tipos de modelamiento hidrológico que hay, siendo el Sistema de Modelación Hidrológico del Centro de Ingeniería Hidrológica corporal de Ingenieros del Batallón de los EE. UU. (HEC-HMS por sus siglas en inglés) que es un software de libre uso y de gran uso a nivel mundial en el análisis de caudales máximos, el cual proporciona una pluralidad de posibilidades para la simulación de procesos de precipitación-escorrentía y flujo de caudales, según **Estrada y Pacheco (2018)**.

Estrada y Pacheco (2018) nos cuenta que este modelo usa procedimientos de lluvia-escorrentía para lograr una estimación de los gráficos denominados como “hidrogramas de escorrentía directa” provocados generalmente por lluvias a lo largo de una cuenca en un periodo determinado. Es un software bastante manejable que posibilita al cliente escoger entre diferentes procedimientos para estimar hidrogramas, flujo base, el cálculo de pérdidas y distribución en cauces. Permite simular eventos hidrológicos en forma continua. Las primeras simulaciones son sobre la conducta de un sistema hídrico a lo largo de un acontecimiento de lluvia.

Por otro lado, **Estrada y Pacheco (2018)** nos comenta que los Sistemas de Información Geográficos (SIG) posibilita una incorporación de los parámetros que se obtienen como resultado del modelamiento hidrológico y sus distintas propiedades físico-geográficas pertenecientes a las cuencas en un sistema de prevención hidrológica que permita alertarnos sobre las inundaciones que posiblemente se desarrollen, lo cual se debe corresponder a una toma de decisiones. Los SIG conforman una herramienta conveniente para contestar a preguntas en relación con el reparto espacial y los periodos de escorrentía. Dichos sistemas lograr con mayor facilidad el procesamiento de la data hidrológica de una cuenca debido a que integran métodos elaborados para hacer

la manipulación, el almacenamiento, la captura, análisis, modelamiento y presentación de elementos georreferenciados. Utilizando los SIG el modelamiento hidrológico tiene una aceleración en su desarrollo y aplicación logrando una actuación en forma de base para la experimentación instantánea de novedosas ideas y conceptos, de modo que los resultados tienen la posibilidad de ser integrados a la gestión de toma de decisiones y en la organización de la región.

Los datos obtenidos en la modelación hidrológica con el HEC-HMS son utilizados para elaborar un Sistema de Alerta Temprana (SAT) que en general se define como una mezcla de procesos que consta de cuatro componentes según **Vilela (2018)**. Un Sistema de Alerta Temprana (SAT) posibilita contestar a dichos retos, pudiendo minimizar el riesgo a la pérdida de vidas humanas y la afectación de bienes o recursos que pueden ser fuentes de ingreso económico.

Según **Tu (2020)**, los modelos hidrológicos para el análisis de umbrales de avisos de crecidas repentinas se clasifican principalmente en tres categorías: modelos basados en datos, modelos hidrológicos agrupados y modelos hidrológicos distribuidos. Los modelos basados en datos (por ejemplo, redes estadísticas y neuronales) se utilizan ampliamente para el análisis de umbral de la predicción de inundaciones debido a su simplicidad.

Los sistemas de alerta temprana de inundaciones (SAT) se aplican cada vez más como medida de preparación en todo el mundo, ya que la información oportuna sobre la inundación puede ayudar a las personas que viven en zonas río abajo a reducir las víctimas humanas y proteger bienes de inmuebles. Un SAT incluye la comprensión y el mapeo de peligro; monitorear eventos inminentes; procesar y difundir advertencias comprensibles a las autoridades políticas y la población local; y emprender las acciones apropiadas en respuesta a la advertencia a tiempo, según **Kumar (2020)**. Los sistemas de alerta temprana contra inundaciones (SAT) son vitales para mejorar la resiliencia ante desastres (**Cloke, 2017**).

Es ampliamente reconocido que los sistemas de alerta temprana eficaces presentan un componente inherente de las buenas prácticas en la Reducción del Riesgo de Desastres (RRD) y su importancia se ha enfatizado en las políticas

globales. Muchos estudios globales y regionales han resaltado evidencia empírica que muestra la efectividad de los sistemas de alerta temprana en términos de reducir las víctimas humanas y salvar la propiedad, según **Kumar (2020)**.

Kumar (2020) nos explica que existe una aparente necesidad de generar conocimientos más sólidos centrándose en estudios de casos en países en desarrollo, donde, por un lado, los impactos de las inundaciones tienen consecuencias más graves y las capacidades son menores y, por otro lado, se realizan o deberían realizar grandes esfuerzos. ser tomado por el estado, y especialmente los actores no estatales para instalar nuevos SAT.

La información hidrometeorológica y los sistemas de alerta temprana en el mundo en desarrollo al nivel de estos servicios en el mundo desarrollado conducirían a pérdidas de activos evitadas de entre 300 millones y 2 mil millones de dólares al año, un promedio de 23,000 vidas salvadas por año y entre 3 y 30 mil millones USD de beneficios económicos adicionales anualmente. Muy a menudo, los análisis de costo-beneficio de los sistemas de alerta temprana se basan en escenarios teóricos y se centran en los sistemas de alerta temprana en los países desarrollados, según **Kumar (2020)**.

Sin embargo, las alertas tempranas no siempre se traducen en una respuesta de emergencia de todas las personas en riesgo. Las fallas en la difusión y comunicación de las alertas pueden ocurrir en diferentes escalas y pueden surgir en cualquier etapa de un evento de inundación, según **Cloke (2020)**.

Cloke (2020) nos cuenta que incluso cuando la advertencia llega a una comunidad en particular, muchos no prestan atención a la advertencia debido a la falta de conciencia del riesgo y dudas sobre la credibilidad de la advertencia.

En los sistemas de alerta de inundaciones, los modelos hidrológicos e hidráulicos que utilizan datos sobre el estado actualizado de una cuenca y el pronóstico de los datos de entrada (precipitación y otros parámetros) son esenciales para el cálculo del caudal de inundación y la profundidad en toda la cuenca, según **Nguyen et al. (2020)**.

Vilela (2018) nos enseña que un SAT está compuesto por cuatro componentes principales que son:

Noción de la peligrosidad: Recolección de la información o datos que corresponden al entorno natural tales como su clima, tipología de suelos, topografía, cauces de ríos, cuencas pertenecientes a la zona, sistemas de desembocadura de aguas entre otras, también es importante conocer las zonas vulnerables de la localidad que pueden tener como consecuencia afectaciones en sus bienes.

Monitoreo técnico y alerta: Control técnico y científico de los acontecimientos naturales. El monitoreo es llevado a cabo a través de una organización de manera oficial y podría tener como complemento una participación activa por parte de la población.

Difusión y comunicación: Consiste en un sistema de alerta a las sociedades más vulnerables frente al riesgo imperioso, en el cual se destaca el uso de equipos de comunicación y alerta como sirenas, silbatos, campanas, radios, megáfonos, etc. Este procedimiento debe ser administrado por la autoridad local de Defensa Civil siguiendo los lineamientos definidos por un protocolo predeterminado.

Capacidad de respuesta: La más grande respuesta ante un desastre se crea anterior a que este tenga lugar e involucra, entre otras cosas, la gestión de respuesta del proyecto de reacción ante desastres a un grado comunitario y el proyecto de contingencia en un grado distrital, provincial y zonal. El proyecto que corresponde está comprendido por un mapa de riesgos, un mapa de evacuación (calles antes señalizadas), localización y preparación de regiones aseguradas y puntos de vista de encuentro, entre otras herramientas.

Según **Vilela (2018)** se han establecido una lista de procedimientos para la instalación de un Sistema de Alerta Temprana (Ley N° 29664 – Sinagerd):

Primero, que sea implementado en un territorio definido que podría ser una sociedad, distrito, provincia, cuenca, etcétera. Segundo, debería integrar el proyecto de contingencia (nivel distrital, provincial y regional) y el proyecto de contestación (nivel comunitario). Se puede diseñar un SAT para diversos tipos de riesgos, tales como para inundaciones, deslizamientos, tsunamis, erupciones

volcánicas, incendios, bajas temperaturas, entre otros. Y Tercero, en las regiones donde hay diversos riesgos, los SAT tienen que ser “multipeligros”, con el fin de optimizar recursos.

Afirmar que los SAT cumplan con estándares mínimos de calidad, sean sostenibles y con desempeño persistente por medio de la asignación de recursos materiales y humanos por medio de presupuestos institucionales.

En Malasia se utiliza un tipo de sistema de alerta temprana denominado como El Sistema de Adquisición de Datos y Control de Supervisión (SCADA) y es utilizado para medir el nivel del agua por el Departamento de Riego y Drenaje de Malasia (DID), según **Dondang (2021)**.

La adquisición y seguimiento de datos en tiempo real es realizada por el sistema SCADA, que visualiza, controla y recoge los datos sobre el proceso que se está llevando a cabo, según **Anusha (2020)**.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

En este proyecto de investigación tiene como método de diseño de investigación no experimental tipo descriptivo. Se aplicó el Método de Investigación Descriptivo porque describimos la realidad de los alrededores del Río Huarmey en caso de inundaciones, aplicando la metodología del modelamiento hidrológico en la cuenca con el software HEC- HMS para luego poder predecir y encontrar puntos críticos para poder determinar los Sistemas de Alerta Adecuadas a nivel de la cuenca. Al aplicar el Método de Investigación Descriptiva consiste en evaluar ciertas características en la Cuenca del Río Huarmey en la cual con los datos obtenidos lo analizaremos estadísticamente para lograr establecer un adecuado Sistema de Alerta temprana que minimice los estragos que ocasionan los fenómenos que puedan ocurrir a nivel de la cuenca.

Tipo de investigación

Este tipo de Investigación Científica se define como Sustantiva debido a que en base a la recolección de datos que se obtendrá de la cuenca Huarmey se describirá y se diagnosticará la situación actual de la cuenca.

Así mismo se inclina al tipo de Investigación Científica Aplicada debido que al plantear un Sistema de Alerta Temprana Scada se ejecutará un modelo hidrológico que servirá a la localidad y su comunidad.

Diseño de investigación

Este proyecto de investigación es de diseño no experimental teniendo como nivel de investigación descriptivo porque el proyecto busca generalmente un planteamiento de Sistema de Alerta Temprana que se evaluara con la data obtenida del modelamiento hidrológico de la cuenca Huarmey que permita conocer las zonas vulnerables y poder mitigar los estragos de la naturaleza.

Figura N° 01. Operacionalización de variables.



Donde:

P: Área de estudio donde se desarrolló la investigación.

M: Modelo hidrológico de la cuenca.

O: Planteamiento de un Sistema de Alerta Temprana Scada.

3.2. Variables y Operacionalización de variables

Variables

Variable Independiente: Modelamiento Hidrológico de la cuenca.

Variable Dependiente: Sistema de alerta temprana.

Tabla N°01: Operacionalización de la variable Independiente

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE INDICADORES
modelamiento hidrológico con hec-hms	Guaman (2020, p.48). "El HEC-HMS es un software desarrollado para elaborar diversas simulaciones en base al proceso denominado lluvia-escorrentía en cuencas".	Para el desarrollo del modelamiento hidrológico es necesario antes analizar los datos en campo como son los estudios hidrológicos que nos serán de gran ayuda para obtener los resultados.	Estudios hidrológicos	Número de curvas (CN) Periodo de retorno (años)	Razón

Tabla N°02: Operacionalización de la variable Dependiente

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE INDICADORES
sistema de alerta temprana (sat)	Londoño (2018, p. 17). “Este sistema se caracteriza por obtener el conocimiento necesario y oportuno de existentes riesgos, que van a la par de participación de comunidades afectadas y un compromiso institucional que involucra a la educación como objetivo principal para toma de decisiones y preparación ante una amenaza”	Para desarrollar esta variable es necesario conocer las características físicas de la cuenca del río Huarmey. Los estudios que se desarrollarán son: estudios topográficos, características hidrológicas y se hará una recolección de datos.	Características	<ul style="list-style-type: none"> - Lectura y registro - Transmisión de datos - Procesamiento y análisis de datos - Evaluación de la situación y definición de la alerta. 	Nominal

3.3. Población, Muestra y muestreo

Población: La población está compuesta por la Cuenca Huarmey en donde se encuentran las poblaciones afectadas por las inundaciones y las no afectadas. Ya que se evaluará a nivel de cuenca, las zonas más susceptibles ante estos desastres naturales vienen a ser objetos de estudio.

Muestra: Sera una muestra intencional (no probabilística) de distritos. Los criterios de exclusión fueron: mayor incidencia de inundaciones; tenemos a Huarmey, Huiñas y Malvas.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas: Análisis de datos de la zona de estudio, Compilación de datos hidrológicos y Aplicar softwares como ArcMap, Hec-HMS, otros.

Instrumentos: Información hidrológica que se recopila de la data histórica de las estaciones meteorológicas convencionales y automáticas las cuales son Huarmey, Aija, Malvas, Recuay, Cajamarquilla, Shaquek y Pachacoto.

3.5. Procedimientos

Se hizo una visita a campo y se tomaron mediciones de las dimensiones de los cauces de los ríos de la cuenca Huarmey tales como ancho promedio por tramos. Se identificó la rugosidad del río observando los parámetros que se usan en el método de Cowan. Se observó el índice de vegetación para hallar el número de curva. Se corroboró la información recogida en campo con la data proporcionada por el MINAM sobre la cobertura vegetal y el tipo de suelo de la cuenca Huarmey. Todos los datos obtenidos y verificados se ingresaron en los softwares ArcGis y HEC-HMS para el modelamiento hidrológico en la cuenca Huarmey.

3.6. Método de análisis de datos

Por el tipo de investigación es no experimental descriptivo, usada en la compilación de información, proceso de datos con las múltiples fuentes relacionadas a la investigación del modelamiento hidrológico del río Huarmey utilizando previamente diversos programas (software): Microsoft Excel, HEC-HMS, ArcGis.

3.7. Aspectos éticos

Por medio de los inicios de preparación de cada ingeniero civil que es fomentar el cuidado del medio ambiente, además los investigadores llevaron a cabo la indagación con las fronteras normativas y por último dedicar los derechos de autoría de cada fuente citada.

IV. RESULTADOS

Análisis de la zona de estudio.

Área de estudio. El área de estudio se constituye como la zona en la cual exista la posibilidad de presentarse una inundación sea aledañas o no a ríos, caños, quebradas, humedales y otros cuerpos de agua o aquella que hagan parte de su área de influencia. Con respecto a la definición del área de estudio para el presente proyecto, se ha delimitado a la ciudad de Huarmey como zona de implementación de un sistema de alerta temprana, con el fin de definir el grado de amenaza, vulnerabilidad y riesgo presente en dicha ciudad por la manifestación de una inundación.

Demarcación política

Esta tesis Políticamente la Cuenca del Rio Huarmey forma parte de las provincias de Huarmey, Recuay y Aija del departamento de Ancash.

Figura N° 02. Demarcación política de la cuenca Huarmey.

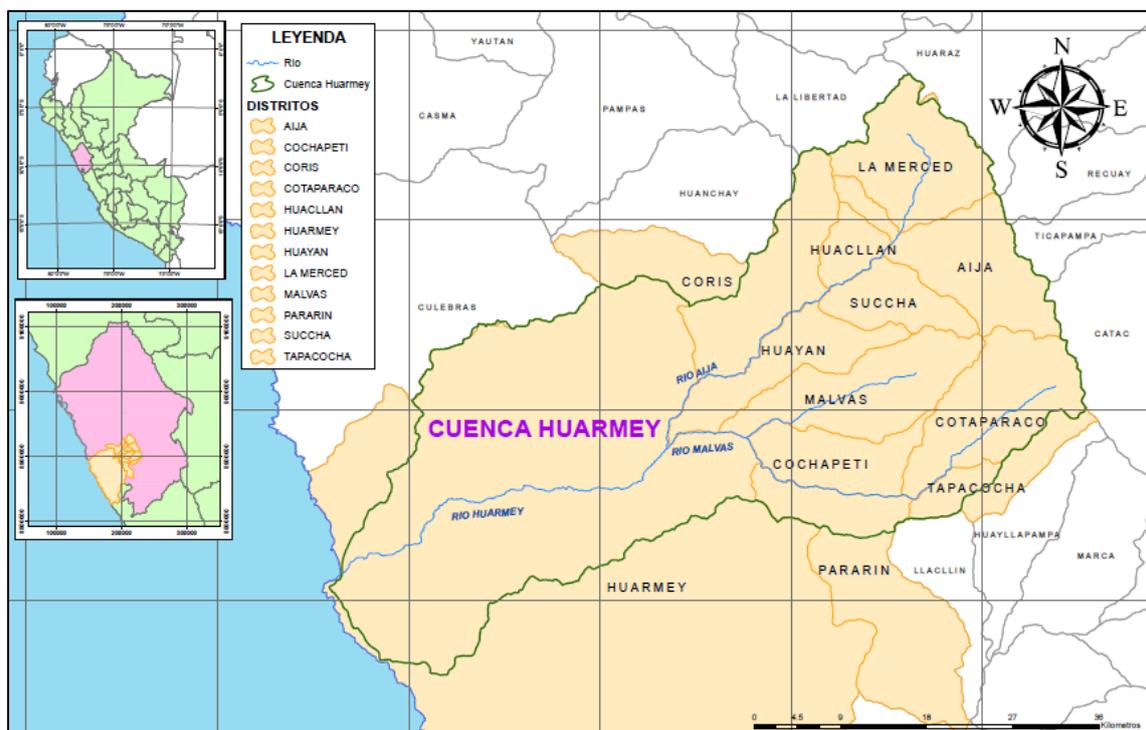


Tabla N°03. Demarcación política de la cuenca Huarmey.

Departamento	Provincia	Distrito	Área (km ²)	Porcentaje
Ancash	Aija	Aija	162.6	7.2
		Coris	162.1	7.2
		Huacllan	40.7	1.8
		La Merced	156.5	7.0
		Succha	77.2	3.4
	Huarmey	Cochapeti	100.6	4.5
		Huarmey	994.8	44.3
		Huayan	112.4	5.0
		Malvas	169.3	7.5
	Recuay	Cotaparaco	176.6	7.9
		Pararin	63	2.8
		Tapacocha	29.2	1.3
	Total			2245.0

Demarcación política

Esta tesis Políticamente la Cuenca del Río Huarmey forma parte de las provincias de Huarmey, Recuay y Aija del departamento de Ancash.

Demarcación hidrográfica

La cuenca del río Huarmey posee una extensión de 2 245,0 Km². y, habiéndose fijado el límite de su cuenca húmeda en la cota de 1 800 m.s.n.m., le corresponde a este sector una extensión de 1 034,3 Km² que representada el 46,07 % del total.

Extensión y límites

La cuenca del río Huarmey abarca 2 245,0 Km.², es de forma rectangular alargada (noreste a noroeste), en ella se encuentran lagunas, manantiales, ríos y quebradas que disminuyen su caudal en los meses de julio, agosto, setiembre, octubre y noviembre; Sus límites son:

Por el Norte: Cuenca del río Culebras y Casma

Por el Sur: Cuenca del río Intercuenca Pararín y Río Fortaleza

Por el Este: Cuenca del río Santa

Por el Oeste: Océano Pacífico.

Modelamiento hidrológico

Para realizar el modelamiento hidrológico se usaron los programas:

ArcGIS v.10.3

HEC-HMS v. 4.2.1

Parámetros morfológicos

Una cuenca hidrográfica tiene como parámetros morfológicos a sus características físicas en relación a sus dimensiones y el comportamiento ante fuertes precipitaciones. Estos parámetros resultan ser de vital importancia para su análisis y también para poder comparar estos parámetros con los de otras cuencas. En la siguiente tabla se puede observar los parámetros morfológicos de la cuenca Huarmey:

Tabla N°04. Parámetros morfológicos de la cuenca Huarmey.

CARACTERISTICA	Unidad	Resultado
Parámetros de forma		
Área	km ²	2245
Perímetro	km	267
Longitud mayor del río	km	79.85
Ancho promedio	km	
Índice o factor de forma	-	0.35
Índice de compacidad o kc	-	1.58
Parámetros de relieve		
Altitud media	m.s.n.m	2183
pendiente media	%	44.5
Parámetros de red de drenaje		
Numero de orden de los ríos	-	5
Densidad de drenaje	%	0.67

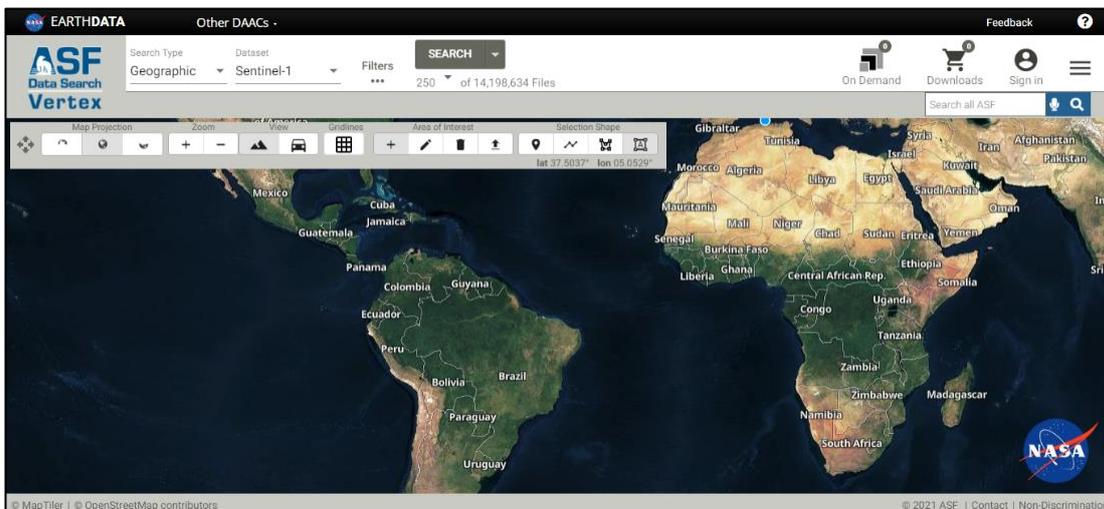
Esta cuenca tiene un área de 2 233 km², una altitud media de 2 183 msnm y una pendiente media en el orden de 45% y de acuerdo a la curva hipsométrica corresponde a un río maduro.

El Factor de Forma determinado es 0,35 lo cual nos estaría indicando que esta cuenca tiene regular respuesta a las crecidas, asimismo el Coeficiente de Compacidad determinado es 1,58 y que corresponden a cuencas de forma oval oblonga a rectangular oblonga.

Características Físicas

Para obtener las características físicas de nuestra cuenca Huarmey, se utilizará el software ArcGIS v.10.3. Este software funciona como una data para el uso de gestión de información espacial. Para lograr esto, se descargará un formato raster que muestran imágenes satelitales que se encuentran en el siguiente enlace: <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>.

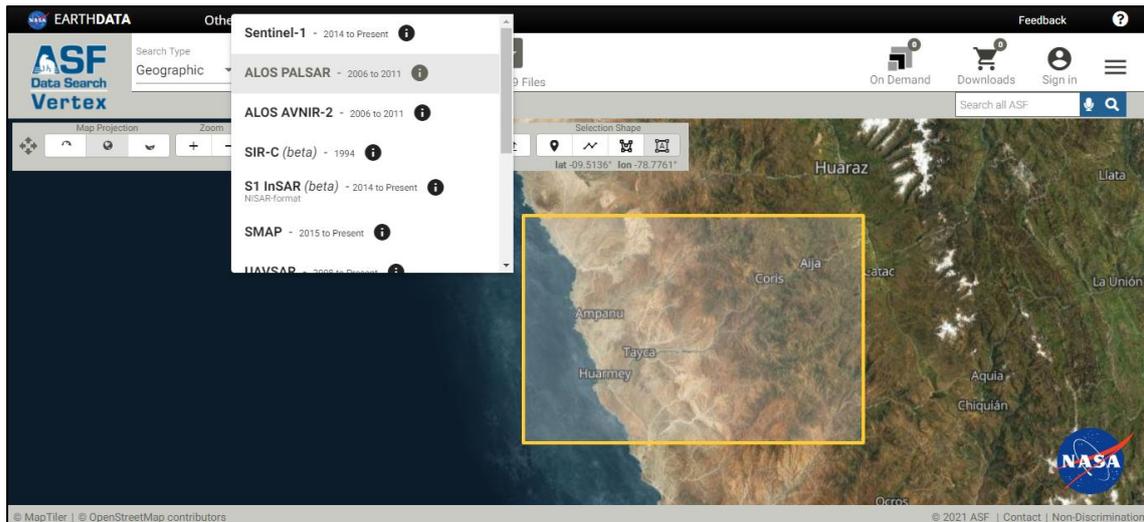
Figura N° 03. Visor Alaska Satellite Facility para obtención de imágenes de satelitales.



Fuente: Página web conocida como “Alaska Satellite Facility”

Seguidamente se presentaron todas las imágenes del satélite existentes para el área seleccionada. Para diferenciar específicamente las imágenes que contenían el Modelo Digital de Elevación se filtró con las letras FBD (polarización dual) en el buscador *Find*, así como se observa en la Figura N°03.

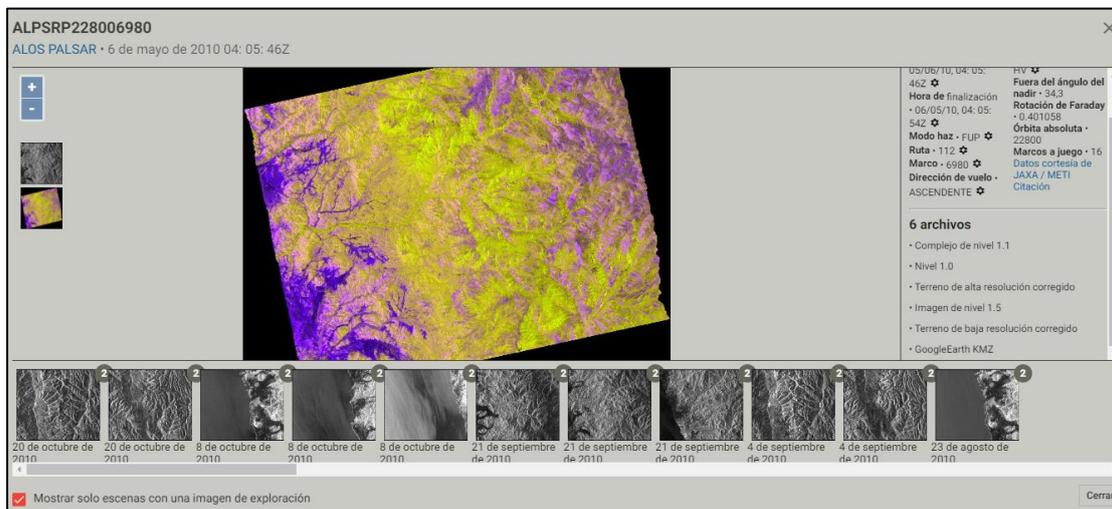
Figura N°04. Ventana de búsqueda del satélite ALOS PALSAR.



Fuente: Página web conocida como “Alaska Satellite Facility”

Se seleccionó la imagen que abarcaba la zona de estudio y se descargó el archivo “Hi Res Terrain Corrected”, que contenía el MDE en alta resolución con datos de terreno corregidos.

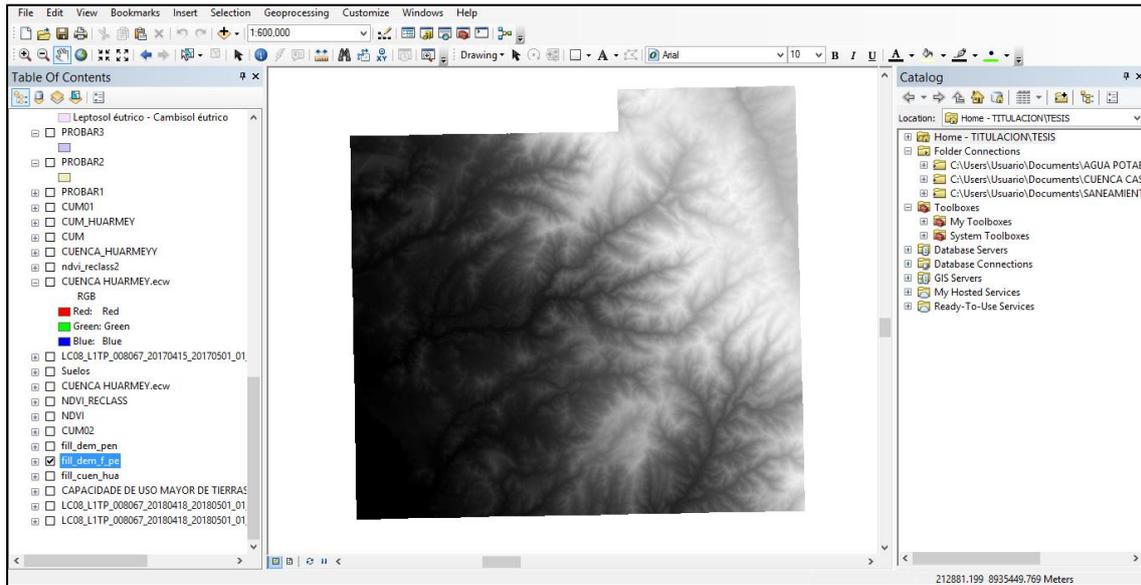
Figura N°05. Imágenes de satélite con Modelo Digital de Elevación para el área de estudio.



Fuente: Portal web de Alaska Satellite Facility

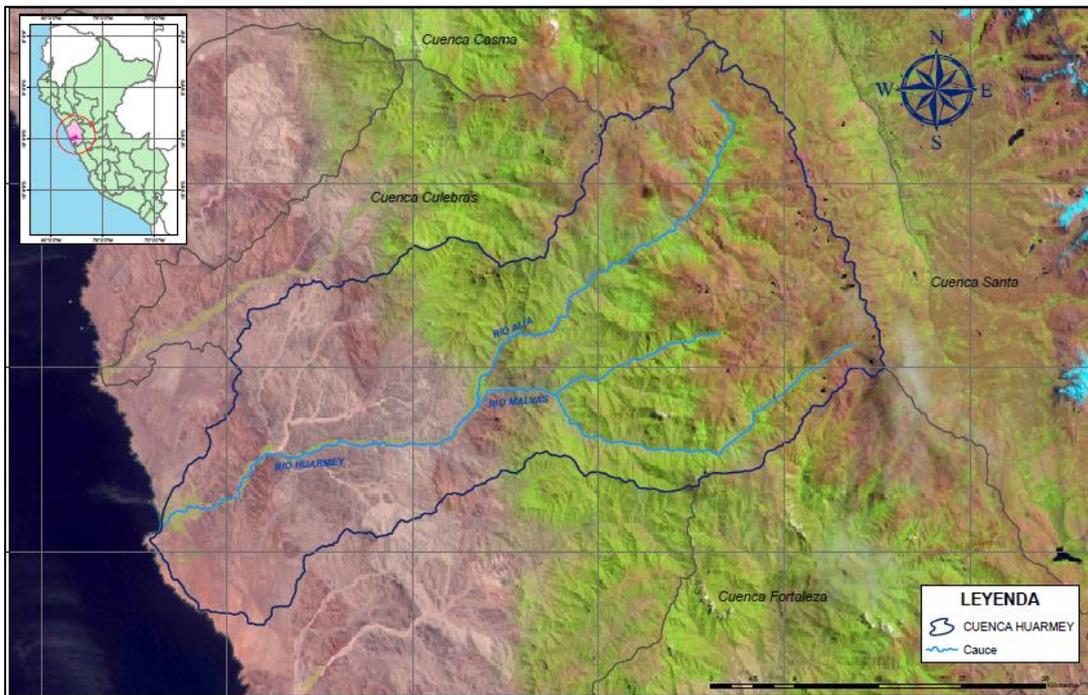
Se procedió a procesar la información obtenida en el software ArcGis. Para ello se proyectó el MDE al sistema de coordenadas WGS 1984 UTM Zona 17s, sistema seleccionado para la ejecución del proyecto. Este procedimiento fue realizado mediante la herramienta “Projections and Transformations”, para archivos en formato raster.

Figura N°06. Raster resolución 12.5 x 12.5 m.



Con el MDE proyectado se procede a la delimitación de la cuenca y sub cuencas obteniendo la siguiente información:

Figura N°07. Mapa de delimitación de la cuenca Huarmey.



Se delimitaron un total de 21 subcuencas tributarias de agua al río Huarmey, también se ubican a partir de la Estación Huarmey hacia aguas arriba.

Figura N°08. Mapa de delimitación de sub cuencas Huarney.

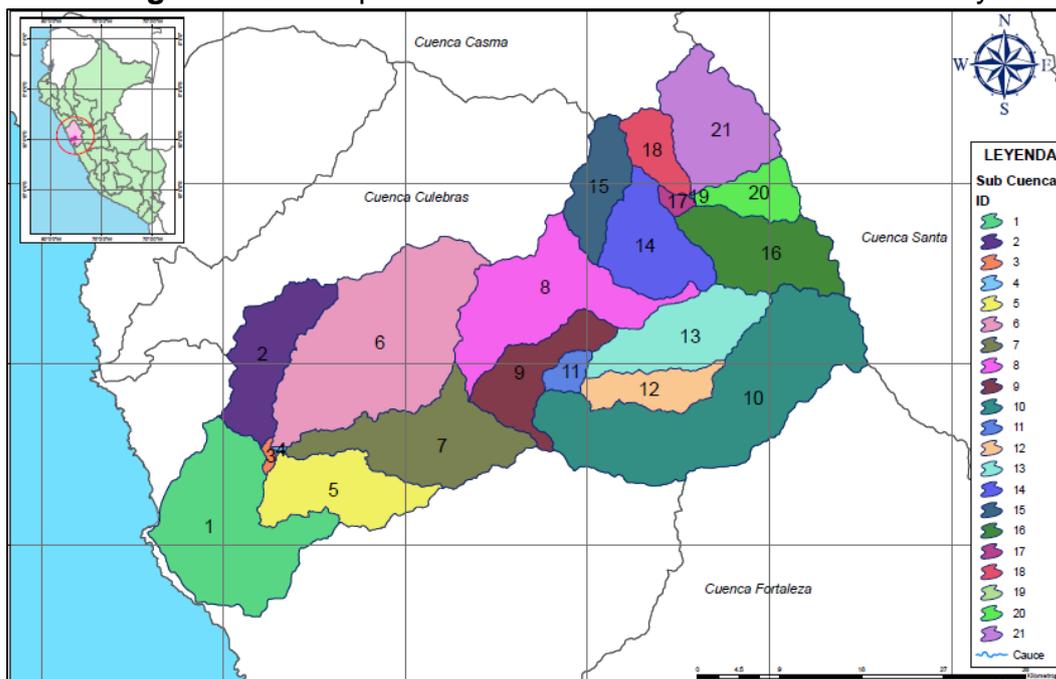


Tabla N°05. Áreas y perímetros de las sub cuencas.

SUB CUENCA	AREA	PERIMETRO
1	231.6833	80.2135
2	106.3128	59.2638
3	3.8638	11.4073
4	0.8556	5.58346
5	111.3227	61.0233
6	310.4529	90.5267
7	157.0652	81.5779
8	186.8503	90.4842
9	85.7970	58.2034
10	339.0602	112.108
11	17.2341	18.6302
12	55.6294	42.5595
13	114.7488	55.4965
14	106.8071	48.7781
15	68.3163	42.7748
16	120.9054	57.0898
17	7.8270	12.7767
18	42.3308	31.1508
19	0.1098	1.78185
20	48.4218	34.7389
21	131.0401	53.9952
TOTAL	2246.6346	

Figura N°09. Mapa de pendiente de la cuenca Huarmey.

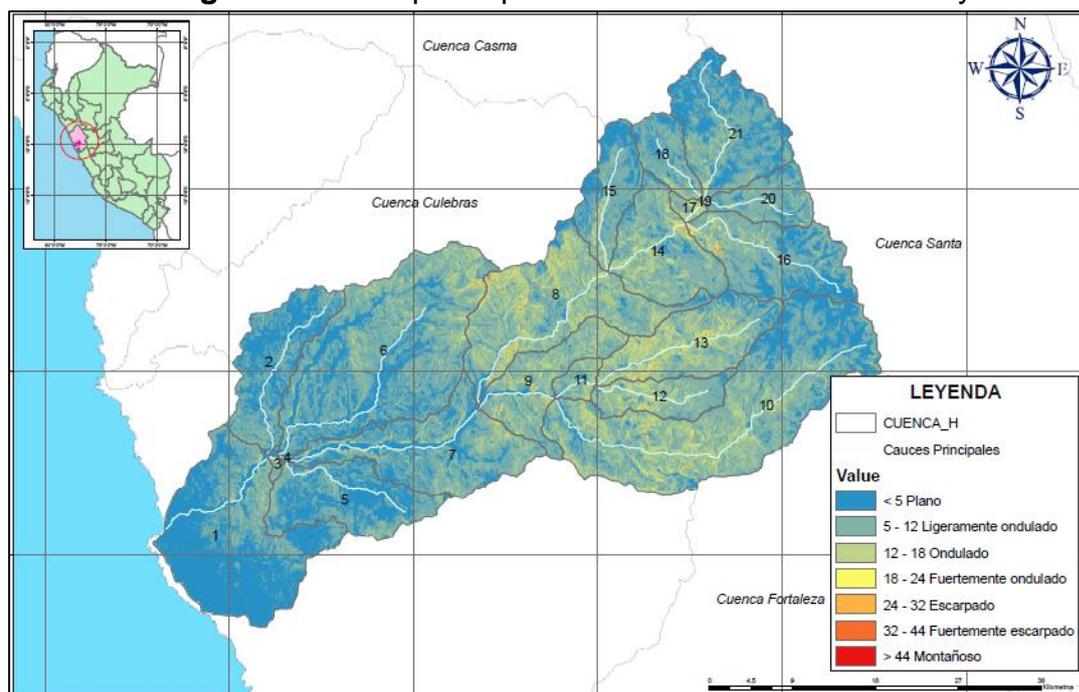


Tabla N°06. Longitud, pendiente media de las sub cuencas y cauces principales.

SUB CUENCA	AREA	PERIMETRO	PENDIENTE MEDIA CUENCA	LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL	PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL
1	231.6833	80.2135	4.36 %	17.4593	1.00000 %
2	106.3128	59.2638	5.23 %	23.2127	1.00044 %
3	3.8638	11.4073	7.53 %	1.1416	1.00000 %
4	0.8556	5.58346	5.13 %	1.2671	1.00000 %
5	111.3227	61.0233	5.33 %	18.2666	1.00276 %
6	310.4529	90.5267	7.24 %	30.5517	1.00100 %
7	157.0652	81.5779	6.95 %	26.971	1.00000 %
8	186.8503	90.4842	10.52 %	26.3	1.02363 %
9	85.7970	58.2034	9.79 %	10.317	1.00000 %
10	339.0602	112.108	8.64 %	45.4813	1.03463 %
11	17.2341	18.6302	9.86 %	5.5335	1.01937 %
12	55.6294	42.5595	10.07 %	14.4268	1.23997 %
13	114.7488	55.4965	10.67 %	21.2152	1.14727 %
14	106.8071	48.7781	9.37 %	11.6271	1.07366 %
15	68.3163	42.7748	6.84 %	15.1543	1.17820 %
16	120.9054	57.0898	7.34 %	22.7275	1.07319 %
17	7.8270	12.7767	11.54 %	2.9284	1.25649 %
18	42.3308	31.1508	7.24 %	9.5153	1.04175 %
19	0.1098	1.78185	7.54 %	0.2475	1.00000 %
20	48.4218	34.7389	7.57 %	11.2488	1.04228 %
21	131.0401	53.9952	6.08 %	19.4119	1.04128 %

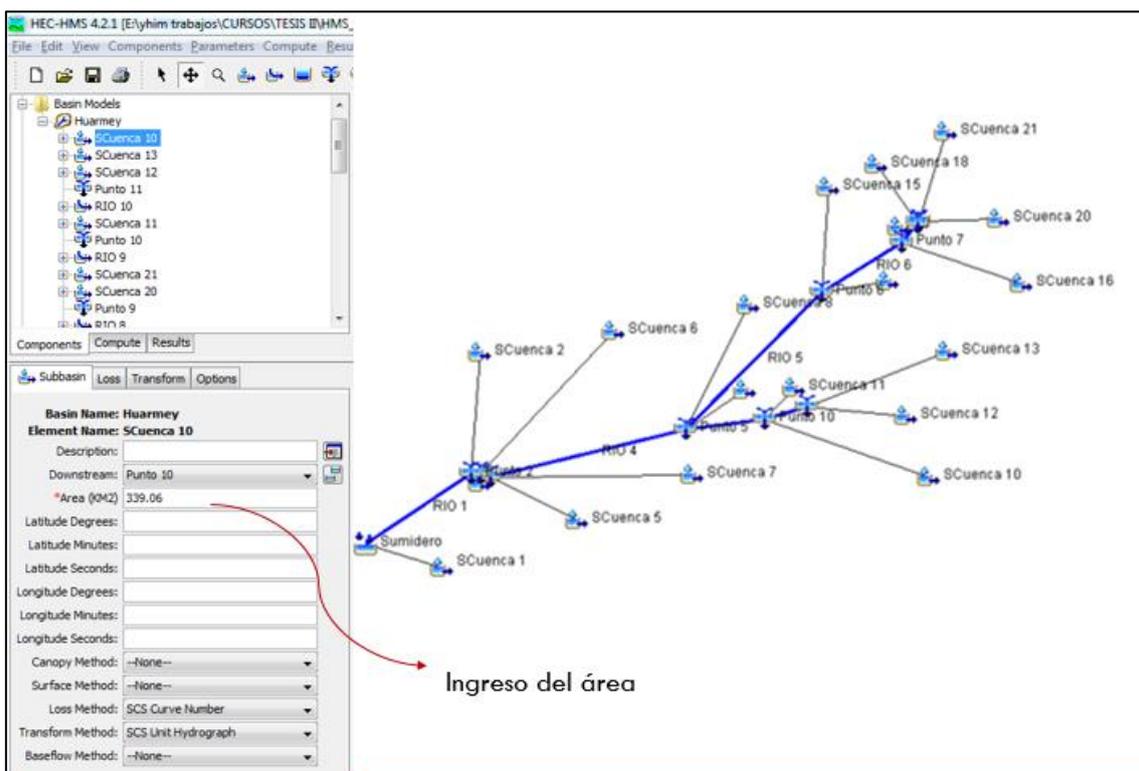
Modelo Hidrológico con HEC-HMS

Se le proporcionará al software la abstracción inicial obtenida a través del método del servicio de conservación de suelos de los Estados Unidos de América (SCS), el valor promedio de la Curva Número (CN) para los distintos tipos de suelo de la zona, las precipitaciones de 5 días antes de la tormenta, el software por medio del hidrograma sintético de la SCS convertirá la precipitación neta en escorrentía superficial, este resultado es el caudal que permitirá identificar el tipo de alerta.

El software HEC-HMS está compuesto por cuatro elementos:

Basin Model o Modelo de la cuenca: El modelamiento hidrológico de la cuenca contiene componentes los cuales describen físicamente a la cuenca, tales como, reservorios, sumideros, subcuencas, alcances, uniones y fuentes que se encuentran enlazados en un grupo de corrientes. Los cálculos hidrológicos se pueden realizar hacia aguas abajo desde aguas arriba.

Figura N°10. Mapa de pendiente de la cuenca Huarmey.



Para realizar el análisis, podemos escoger cuatro métodos desde el apartado de subcuenca. Los cuales son:

Loss methods o método de pérdidas: Para el cálculo de volúmenes de pérdida de agua mediante la infiltración que se genera por la lluvia y las características físicas de la cuenca, existen once formas que pueden ser ejecutadas por el software HEC-HMS. Sin embargo, si no se usa ninguno de estos métodos el programa asumirá toda la precipitación se convierte en escorrentía y en ese caso el valor de la infiltración sería nula. Para realizar este modelamiento se uso el número de curva como método. El número de curva es un método muy utilizado a nivel mundial, ya que se basa en el tipo de suelo, antecedentes de humedad, tratamiento y uso que tiene la tierra, y el estado de la superficie.

Para hallar el número de curva se utilizaron los mapas:

Mapa de suelos del Perú

Mapa de cobertura vegetal del Perú

Mapa de suelos. La información vectorial mapa de suelos del Perú se obtuvo del ONERN-MINAM, se cortó el mapa obteniendo los datos correspondientes a la cuenca.

Figura N°11. Mapa de suelos de la cuenca Huarmey.

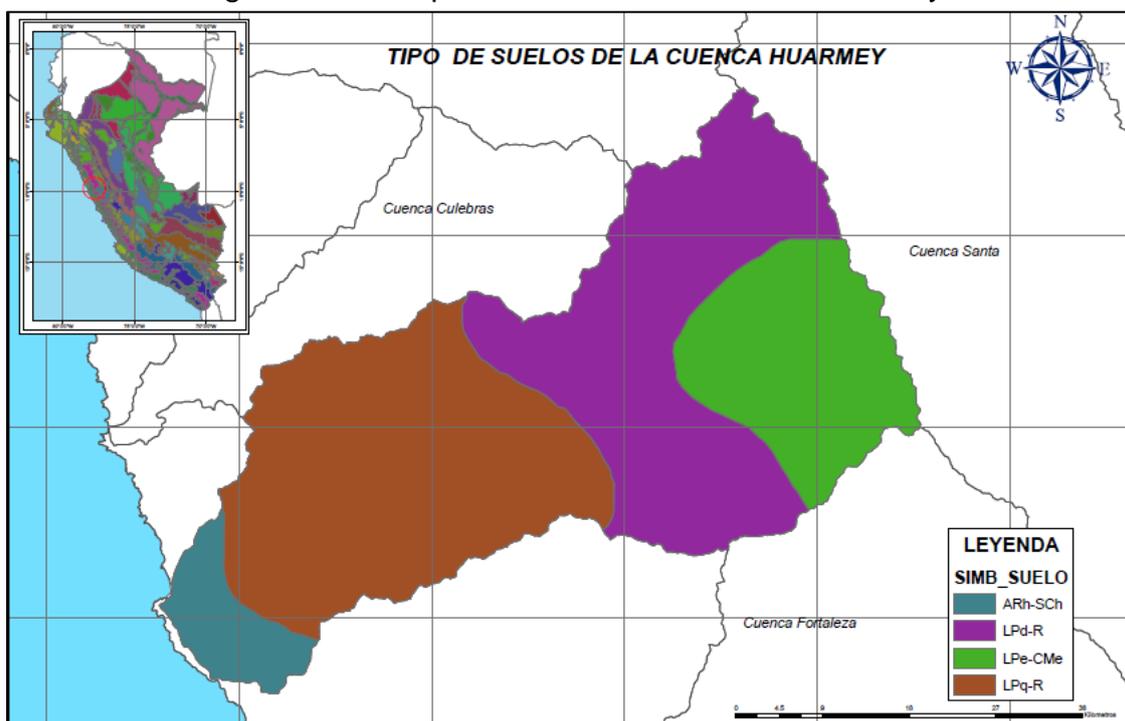


Tabla N°07. Descripción del tipo de suelo.

SIMB_SUELO	DESCRIP_SU	DESCRIP_PA	Area
LPq-R	Leptosol lítico - Afloramiento lítico	Estribaciones de la vertiente occidental de la cadena montañosa andina	881.79996
LPd-R	Leptosol dístrico - Afloramiento lítico	Estribaciones de la vertiente occidental de la cadena montañosa andina	798.114228
LPe-CMe	Leptosol éútrico - Cambisol éútrico	Lomadas, colinas y montañas	433.717105
ARh-SCh	Arenosol háplico - Solonchak háplico	Llanuras marítimas y eólicas	131.359692

De acuerdo al tipo de Suelo, se asignó el grupo hidrológico de suelo a la pertenece, se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla N°08. Reclasificación del Mapa de suelo.

DESCRIPCION DE SUELOS	SIMBOLOGIA	GRUPO HIDROLOGICO
Acrisol háplico - Alisol háplico - Lixisol háplico	ACh-ALh-LXh	C
Acrisol háplico - Alisol háplico - Luvisol crómico	ACh-ALh-LVx	C
Arenosol háplico - Solonchak háplico	ARh-SCh	A
Cambisol dístrico - Acrisol háplico	CMd-ACh	C
Cambisol dístrico - Acrisol háplico - Lixisol háplico	CMd-ACh-LXh	C
Cambisol dístrico - Alisol háplico	CMd-ALh	C
Cambisol dístrico - Nitisol háplico	CMd-NTh	C
Cambisol éútrico - Phaeozem háplico	CMe-PHh	B
Cambisol éútrico - Vertisol éútrico	CMe-VRe	C
Fluvisol éútrico - Gleysol éútrico	FLe-GLe	B
Fluvisol éútrico - Regosol éútrico	FLe-RGe	B
Gleysol dístrico - Cambisol dístrico	GLd-CMd	B
Gleysol dístrico - Histosol fíbrico	GLd-HSf	D

Gleysol déstrico - Lixisol háplico - Fluvisol déstrico	GLd-LXh-FLd	A
Leptosol déstrico - Afloramiento lítico	LPd-R	B
Leptosol déstrico - Andosol úbrico - Afloramiento lítico	LPd-ANu-R	B
Leptosol déstrico - Andosol vítrico	LPd-ANz	B
Leptosol déstrico - Cambisol déstrico - Regosol déstrico	LPd-CMd-RGd	B
Leptosol déstrico - Regosol déstrico - Afloramiento lítico	LPd-RGd-R	B
Leptosol éútrico - Afloramiento lítico	LPe-R	B
Leptosol éútrico - Cambisol éútrico	LPe-CMe	C
Leptosol éútrico - Cambisol éútrico - Regosol éútrico	LPe-CMe-RGe	B
Leptosol éútrico - Kastanozem háplico - Afloramiento lítico	LPe-KSh-R	B
Leptosol éútrico - Regosol éútrico - Afloramiento lítico	LPe-RGe-R	B
Leptosol lítico - Afloramiento lítico	LPq-R	B
Lixisol háplico - Gleysol déstrico	LXh-GLd	B
Luvisol crómico - Cambisol éútrico	LVx-CMe	C
Regosol déstrico - Afloramiento lítico	RGd-R	B
Regosol déstrico - Cambisol déstrico	RGd-CMd	C
Regosol éútrico - Andosol móllico	RGe-ANm	C
Regosol éútrico - Calcisol háplico	RGe-CLh	C
Regosol éútrico - Cambisol éútrico	RGe-CMe	C
Solonchak háplico - Leptosol éútrico	SCh-LPe	A

Fuente: Autoridad Nacional del Agua (ANA)

Mapa de cobertura vegetal. La información vectorial mapa de cobertura vegetal del Perú se obtuvo del MINAM, se cortó el mapa obteniendo los datos correspondientes a cuenca Huarmey.

Figura N°12. Mapa de cobertura vegetal de la cuenca Huarmey.

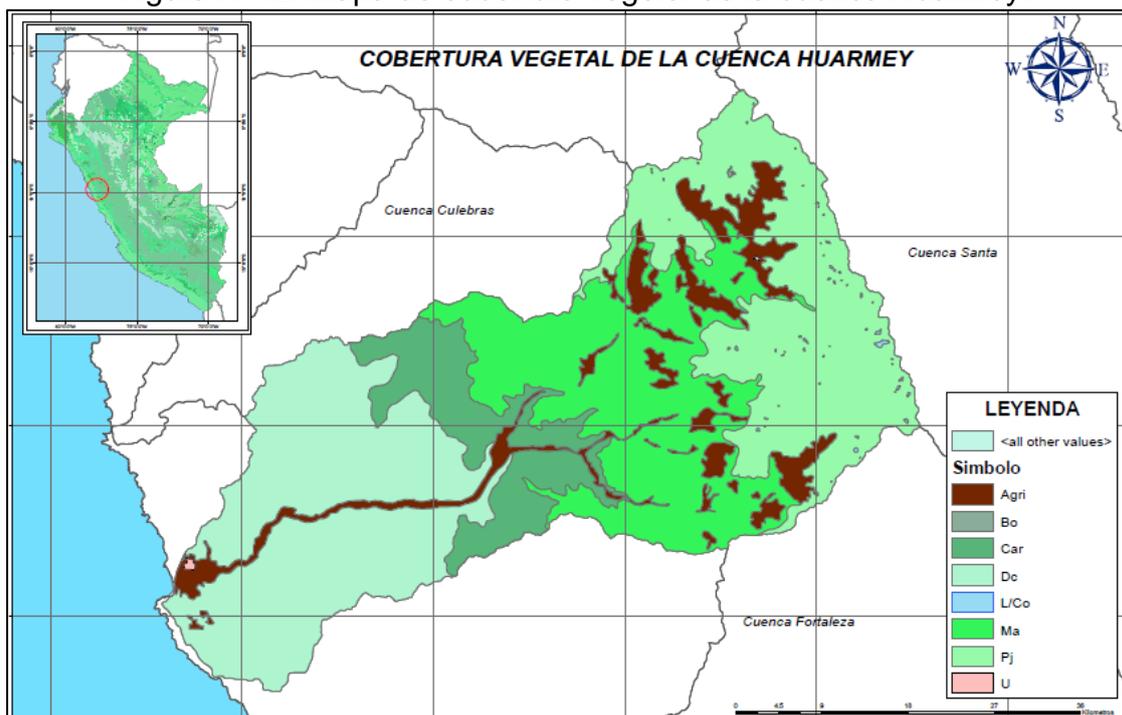


Tabla N°09. Descripción de tipo de cobertura vegetal.

SÍMBOLO	COBERTURA VEGETAL	FISIOGR
Agri	Agricultura costera y andina	Montaña
U	Area urbana	
Bo	Bofedal	Montaña
Car	Cardonal	Montaña
Dc	Desierto costero	
L/Co	Lagunas, lagos y cochas	
Ma	Matorral arbustivo	Montaña
Pj	Pajonal andino	Montaña

De acuerdo al tipo de cobertura y uso del suelo se asigna un código de reclasificación para cada uno, se muestra en el siguiente cuadro:

Vegas de rios: Condiciones optimas	30	58	71	78
Bosques: Troncos delgados, cubierta pobre, sin hiervas	45	66	77	83
Cubierta buena	24	55	70	77
Areas abiertas, cesp�ed, parques, campos de golf, cementerios, etc.				
�ptimas condiciones: cubierta de paseo en el 75% o mas	39	61	74	80
Condiciones aceptables: cubierta de paseo en el 50 al 75%	49	69	79	84
Areas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial:				
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable			
1/8 acre o menos	65	77	85	90
1/4 acre	38	61	75	83
1/3 acre	30	57	72	81
1/2 acre	25	54	70	80
1 acre	20	51	68	79
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentos con cunetas y alcantarillados	98	98	98	98
Grava	76	85	89	91
Tierra	72	82	87	89

Fuente: Hidrología Aplicada, Ven Te Chow

Tabla N°12. Valores de los grupos hidrológicos para nuestro modelo.

DESCRIPCION DEL USO DE LA TIERRA	GRUPO HIDROLOGICO			
	A	B	C	D
Cuerpos de agua	100	100	100	100
Nevados	98	98	98	98
Centros poblados	77	85	90	92
Cultivos/Áreas intervenidas	62	71	78	81
Matorral arbustivo abierto	45	66	77	83
Pradera en zona de clima frio	68	79	86	89
Sabana de árboles leñosos	45	66	77	83
Sabana hidro mórfica	25	55	70	77
Selva lluviosa tropical	25	55	70	77
Selva lluviosa tropical con bambúes	25	55	70	77
Selva temporal de hojas anchas	25	55	70	77
Selva hidrolítica	39	61	74	80
Desierto en zona de clima árido	72	81	88	91

Fuente: Autoridad Nacional del Agua (ANA)

Generación de Rastre CN. Utilizando el software ArcGis conjuntamente la extensión HecGeoHms y habiéndose acondicionado la información temática de cobertura vegetal y suelo de acuerdo a las clasificaciones indicada en la tabla N°06 y N°08, se siguieron los siguientes pasos:

Inicialmente se carga el MDE, este raster se debe de corregir con la herramienta Fill para eliminar celdas nulas.

Se acondiciona la información temática de cobertura vegetal y mapa de suelos, de acuerdo a la clasificación indicada en la tabla N°06 y N°08, se procede a realizar la herramienta Intersección, generando un nuevo mapa en formato vectorial.

Utilizando la herramienta HEC-geoHMS, desde el menú Utility cargar Generate CN GRID, en la ventana que aparece se carga el MDE corregido, la información vectorial producto de la unión

(mapa de cobertura vegetal y suelos), y la tabla N°10 (valores de los grupos hidrológicos), que es lo requiere esta herramienta para generar el mapa de Numero de Curva.

Realizado el geoprocésamiento mencionado anteriormente se obtuvo como resultado el Mapa de Numero de Curva, ver figura N°11, se muestran las distribuciones espaciales de los valores de Número de Curva para condiciones Normales.

Figura N°13. Mapa Numero de Curva – Condiciones normales.

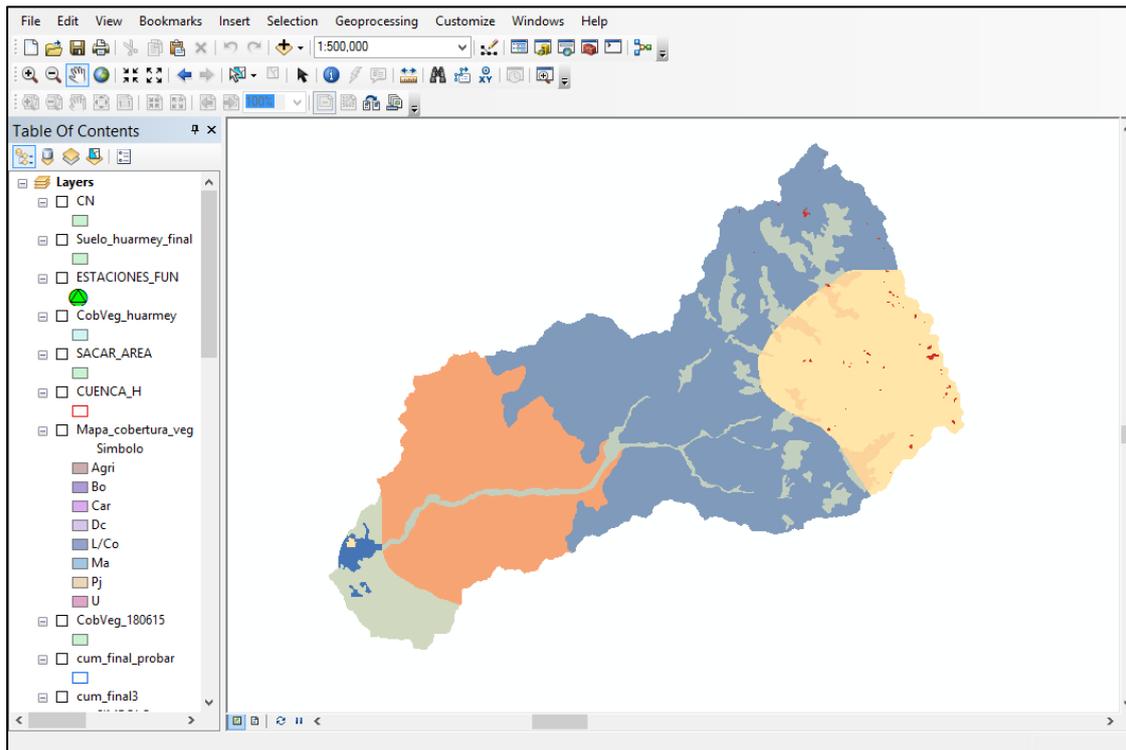


Tabla N°13. Valores de CN de los grupos hidrológicos para nuestra cuenca.

SUB CUENCA	GRUPO HIDROLOG.	USO DE LA TIERRA	AREA	%	CN	CN ponderado
1	A	Agricultura costera y andina	1.08645	0.00469	62	0.29
	A	Agricultura costera y andina	0.855364	0.00369	62	0.23
	A	Agricultura costera y andina	14.308201	0.06174	62	3.83
	B	Agricultura costera y andina	6.257415	0.02700	71	1.92
	A	Área urbana	1.112481	0.00480	77	0.37

	A	Área urbana	0.011481	0.00005	77	0.00
	B	Desierto costero	94.143753	0.40621	81	32.90
	A	Desierto costero	70.965208	0.30620	72	22.05
	A	Desierto costero	43.020508	0.18562	72	13.36
		TOTAL	231.760861	1.00000		74.95
2	B	Agricultura costera y andina	0.289593	0.00272	71	0.19
	B	Cardonal	1.704511	0.01603	66	1.06
	B	Desierto costero	104.339043	0.98125	81	79.48
		TOTAL	106.333147	1.00000		80.73
3	B	Agricultura costera y andina	1.063414	0.27517	71	19.54
	B	Desierto costero	2.550323	0.65992	81	53.45
	B	Desierto costero	0.250847	0.06491	81	5.26
		TOTAL	3.864584	1.00000		78.25
4	B	Agricultura costera y andina	0.494848	0.57826	71	41.06
	B	Desierto costero	0.088602	0.10354	81	8.39
	B	Desierto costero	0.272305	0.31820	81	25.77
		TOTAL	0.855755	1.00000		75.22
5	B	Agricultura costera y andina	0.213642	0.00192	71	0.14
	B	Cardonal	3.902023	0.03505	66	2.31
	B	Desierto costero	107.20171	0.96303	81	78.01
		TOTAL	111.317375	1.00000		80.46
6	B	Agricultura costera y andina	0.234312	0.00075	71	0.05
	B	Cardonal	101.882017	0.32824	66	21.66
	B	Desierto costero	160.811217	0.51809	81	41.97
	B	Matorral arbustivo	47.463381	0.15291	66	10.09
		TOTAL	310.390927	1.00000		73.78

7	B	Agricultura costera y andina	17.036578	0.10851	71	7.70
	B	Cardonal	49.567051	0.31570	66	20.84
	B	Cardonal	6.170059	0.03930	66	2.59
	B	Desierto costero	44.174588	0.28135	81	22.79
	B	Desierto costero	35.448683	0.22578	81	18.29
	B	Matorral arbustivo	4.611031	0.02937	66	1.94
		TOTAL	157.00799	1.00000		74.15
8	B	Agricultura costera y andina	5.115813	0.02740	71	1.95
	B	Agricultura costera y andina	7.056315	0.03779	71	2.68
	B	Agricultura costera y andina	4.183096	0.02241	71	1.59
	B	Agricultura costera y andina	0.233071	0.00125	71	0.09
	B	Agricultura costera y andina	0.394805	0.00211	71	0.15
	B	Cardonal	17.205265	0.09215	66	6.08
	B	Lagunas, lagos y cochas	0.0578	0.00031	100	0.03
	B	Lagunas, lagos y cochas	0.112219	0.00060	100	0.06
	C	Matorral arbustivo	142.987866	0.76586	66	50.55
	B	Pajonal andino	9.356755	0.05012	77	3.86
	TOTAL	186.703005	1.00000		67.04	
9	B	Agricultura costera y andina	4.306429	0.05023	71	3.57
	B	Agricultura costera y andina	0.003138	0.00004	71	0.00
	B	Cardonal	23.350673	0.27237	66	17.98
	B	Cardonal	18.177153	0.21202	66	13.99
	B	Desierto costero	0.61246	0.00714	81	0.58
	B	Matorral arbustivo	39.282292	0.45820	66	30.24
		TOTAL	85.732145	1.00000		66.36
10	B	Agricultura costera y andina	1.372894	0.00405	71	0.29

B	Agricultura costera y andina	6.343231	0.01873	71	1.33
B	Agricultura costera y andina	0.533121	0.00157	71	0.11
B	Agricultura costera y andina	2.283252	0.00674	71	0.48
B	Agricultura costera y andina	1.015154	0.00300	71	0.21
B	Agricultura costera y andina	0.265223	0.00078	71	0.06
B	Agricultura costera y andina	19.200604	0.05671	71	4.03
C	Agricultura costera y andina	4.358102	0.01287	78	1.00
B	Cardonal	10.018648	0.02959	66	1.95
B	Cardonal	3.884096	0.01147	66	0.76
C	Lagunas, lagos y cochas	0.015051	0.00004	100	0.00
C	Lagunas, lagos y cochas	0.010164	0.00003	100	0.00
C	Lagunas, lagos y cochas	0.16898	0.00050	100	0.05
C	Lagunas, lagos y cochas	0.072885	0.00022	100	0.02
C	Lagunas, lagos y cochas	0.138186	0.00041	100	0.04
C	Lagunas, lagos y cochas	0.100135	0.00030	100	0.03
C	Lagunas, lagos y cochas	0.010356	0.00003	100	0.00
C	Lagunas, lagos y cochas	0.115844	0.00034	100	0.03
C	Lagunas, lagos y cochas	0.027185	0.00008	100	0.01
C	Lagunas, lagos y cochas	0.119697	0.00035	100	0.04
C	Lagunas, lagos y cochas	0.01293	0.00004	100	0.00
C	Lagunas, lagos y cochas	0.021674	0.00006	100	0.01
C	Lagunas, lagos y cochas	0.021713	0.00006	100	0.01
C	Lagunas, lagos y cochas	0.010653	0.00003	100	0.00
B	Matorral arbustivo	131.213582	0.38753	66	25.58
C	Pajonal andino	157.252632	0.46444	77	35.76
	TOTAL	338.585992	1.00000		71.81

11	B	Agricultura costera y andina	0.00119	0.00007	71	0.00
	B	Agricultura costera y andina	1.701346	0.09881	71	7.02
	B	Cardonal	2.033598	0.11810	66	7.79
	B	Cardonal	2.53962	0.14749	66	9.73
	B	Matorral arbustivo	10.943325	0.63553	66	41.95
		TOTAL	17.219079	1.00000		66.49
12	B	Agricultura costera y andina	0.773599	0.01392	71	0.99
	B	Agricultura costera y andina	8.470307	0.15244	71	10.82
	B	Agricultura costera y andina	0.397207	0.00715	71	0.51
	B	Agricultura costera y andina	0.067227	0.00121	71	0.09
	B	Agricultura costera y andina	0.056291	0.00101	71	0.07
	B	Lagunas, lagos y cochas	0.088732	0.00160	100	0.16
	B	Lagunas, lagos y cochas	0.016771	0.00030	100	0.03
	B	Matorral arbustivo	35.96828	0.64733	66	42.72
	B	Pajonal andino	9.725796	0.17504	66	11.55
		TOTAL	55.56421	1.00000		66.94
13	B	Agricultura costera y andina	1.809523	0.01579	71	1.12
	B	Agricultura costera y andina	5.980394	0.05218	71	3.71
	C	Agricultura costera y andina	3.016831	0.02632	78	2.05
	C	Agricultura costera y andina	0.00063	0.00001	78	0.00
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.017202	0.00015	100	0.02
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.010853	0.00009	100	0.01
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.016399	0.00014	100	0.01
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.031829	0.00028	100	0.03
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.014346	0.00013	100	0.01
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.034426	0.00030	100	0.03

	C	Lagunas, lagos y cochas	0.009662	0.00008	100	0.01
	C	Matorral arbustivo	27.1102825	0.23656	77	18.22
	B	Matorral arbustivo	27.1102825	0.23656	66	15.61
	C	Pajonal andino	49.43854	0.43140	77	33.22
		TOTAL	114.6012	1.00000		74.04
14	B	Agricultura costera y andina	3.306817	0.03100	71	2.20
	C	Agricultura costera y andina	1.318694	0.01236	78	0.96
	B	Agricultura costera y andina	17.966148	0.16841	71	11.96
	C	Agricultura costera y andina	5.076017	0.04758	78	3.71
	C	Matorral arbustivo	0.975359	0.00914	77	0.70
	C	Matorral arbustivo	9.293011	0.08711	77	6.71
	B	Matorral arbustivo	40.481093	0.37946	66	25.04
	B	Pajonal andino	14.1321825	0.13247	66	8.74
	C	Pajonal andino	14.1321825	0.13247	77	10.20
			TOTAL	106.681504	1.00000	
15	B	Agricultura costera y andina	2.041901	0.02992	71	2.12
	B	Agricultura costera y andina	12.350611	0.18096	71	12.85
	B	Lagunas, lagos y cochas	0.014169	0.00021	100	0.02
	B	Lagunas, lagos y cochas	0.021705	0.00032	100	0.03
	B	Lagunas, lagos y cochas	0.013421	0.00020	100	0.02
	B	Matorral arbustivo	1.093393	0.01602	66	1.06
	B	Matorral arbustivo	1.185135	0.01736	66	1.15
	B	Matorral arbustivo	9.336033	0.13679	66	9.03
	B	Pajonal andino	42.192325	0.61821	66	40.80
			TOTAL	68.248693	1.00000	
16	C	Agricultura costera y andina	0.772578	0.00640	78	0.50

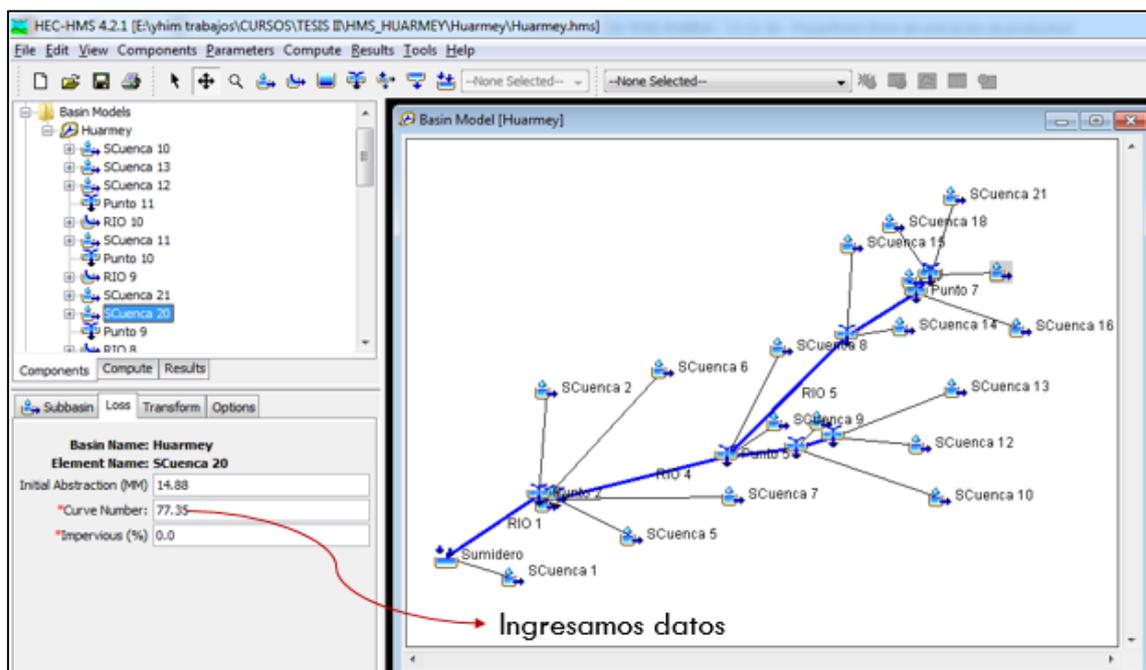
	C	Agricultura costera y andina	6.950332	0.05758	78	4.49
	C	Área urbana	0.015046	0.00012	90	0.01
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.045075	0.00037	100	0.04
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.012282	0.00010	100	0.01
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.623571	0.00517	100	0.52
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.100596	0.00083	100	0.08
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.048582	0.00040	100	0.04
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.198269	0.00164	100	0.16
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.037713	0.00031	100	0.03
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.013604	0.00011	100	0.01
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.081569	0.00068	100	0.07
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.018797	0.00016	100	0.02
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.050487	0.00042	100	0.04
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.014131	0.00012	100	0.01
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.051107	0.00042	100	0.04
	C	Matorral arbustivo	1.416496	0.01173	77	0.90
	C	Matorral arbustivo	14.071257	0.11657	77	8.98
	C	Pajonal andino	96.193841	0.79687	77	61.36
		TOTAL	120.715333	1.00000		77.31
17	B	Agricultura costera y andina	0.01273	0.00163	71	0.12
	B	Matorral arbustivo	5.621241	0.71910	66	47.46
	B	Pajonal andino	2.183127	0.27928	66	18.43
		TOTAL	7.817098	1.00000		66.01
18	B	Agricultura costera y andina	13.952213	0.32999	71	23.43
	B	Lagunas, lagos y cochas	0.020679	0.00049	100	0.05
	B	Lagunas, lagos y cochas	0.031301	0.00074	100	0.07

	B	Matorral arbustivo	3.416013	0.08079	66	5.33
	B	Pajonal andino	24.860111	0.58798	66	38.81
		TOTAL	42.280317	1.00000		67.69
19	B	Agricultura costera y andina	0.021121	0.19264	71	13.68
	B	Matorral arbustivo	0.088517	0.80736	66	53.29
		TOTAL	0.109638	1.00000		66.96
20	B	Agricultura costera y andina	4.222134	0.08733	71	6.20
	C	Agricultura costera y andina	4.222134	0.08733	78	6.81
	C	Área urbana	0.181891	0.00376	90	0.34
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.040957	0.00085	100	0.08
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.037167	0.00077	100	0.08
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.084788	0.00175	100	0.18
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.0175	0.00036	100	0.04
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.010212	0.00021	100	0.02
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.019226	0.00040	100	0.04
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.035171	0.00073	100	0.07
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.020077	0.00042	100	0.04
	B	Matorral arbustivo	0.90794	0.01878	66	1.24
	B	Pajonal andino	17.273636	0.35729	66	23.58
	C	Pajonal andino	21.273636	0.44002	77	33.88
		TOTAL	48.346469	1.00000		72.60
21	B	Agricultura costera y andina	25.653773	0.19605	71	13.92
	B	Bofedal	0.373812	0.00286	100	0.29
	B	Lagunas, lagos y cochas	0.012909	0.00010	100	0.01
	B	Lagunas, lagos y cochas	0.049906	0.00038	100	0.04
	B	Lagunas, lagos y cochas	0.014207	0.00011	100	0.01

B	Lagunas, lagos y cochas	0.018211	0.00014	100	0.01
B	Lagunas, lagos y cochas	0.031378	0.00024	100	0.02
B	Lagunas, lagos y cochas	0.021775	0.00017	100	0.02
B	Matorral arbustivo	2.146217	0.01640	66	1.08
B	Pajonal andino	102.533469	0.78356	66	51.72
	TOTAL	130.855657	1.00000		67.12

Seguidamente ingresamos al programa HEC-HMS los parámetros calculados de número de curva e infiltración inicial para las condiciones húmedas AMC II

Figura N°14. Ingreso de datos al modelo de la cuenca.



Transform methods o método de transformación: este método refleja el flujo superficial, consumo de energía y las pérdidas de almacenamiento. Te muestra como fluye el agua desde un punto a otro mediante los canales de flujo. Al seleccionar el SCS Unit Hydrograph o en su traducción "Hidrograma Unitario"; nos damos cuenta que mientras mayor o menor sea la escorrentía, este viene a ser un múltiplo del hidrograma unitario para dicho periodo de tiempo, es decir que la escorrentía resultante viene a ser lineal.

Para el cálculo de la escorrentía el HEC-HMS solo necesita del ingreso del Lag time (tiempo de retardo) en min. que corresponde a la siguiente ecuación: $T_{Lag} = 0.6T_c$.

Tiempo de concentración T_c es el tiempo requerido por una gota para recorrer desde el punto hidráulicamente más alejado hasta la salida de la cuenca. Transcurrido el tiempo de concentración se considera que toda la cuenca contribuye a la salida.

Se utilizó la fórmula de Kirpich $t_c = 0.01947L^{0.77}S^{-0.385}$

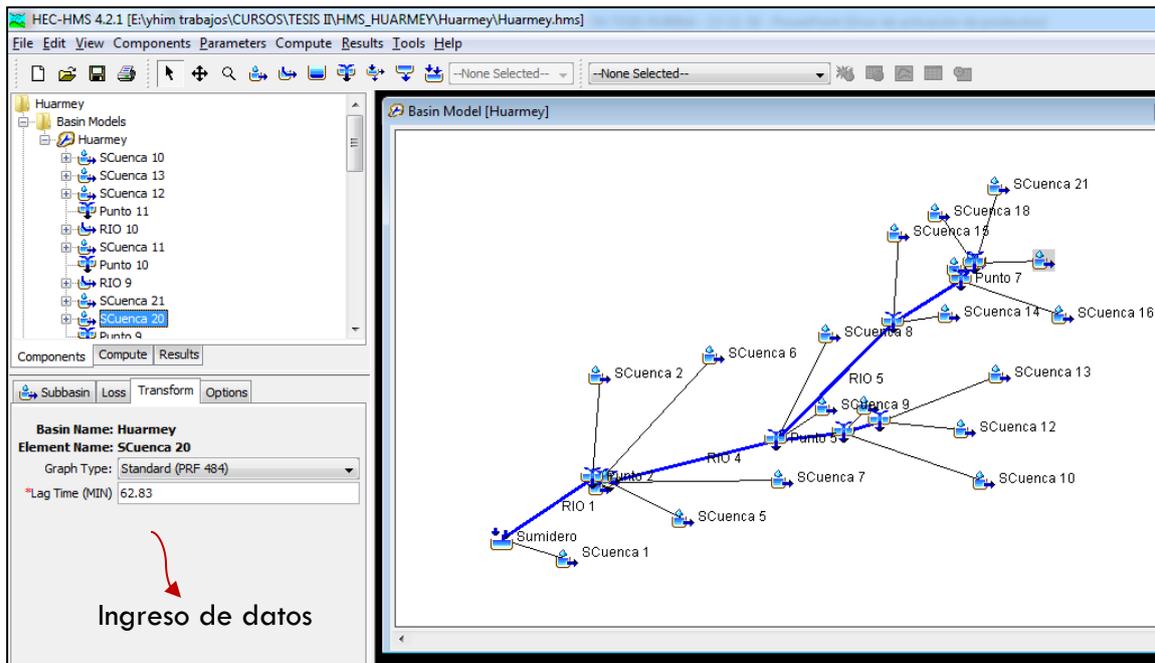
Tabla N°14. Valores de CN de los grupos hidrológicos para nuestra cuenca.

Descripción	Longitud del cauce princ. (m)	Pendiente promedio (m/m)	tc(min)	tc(hr)	Lag Time (MIN)
subcuenca_1	17459.30	0.011	204.88	3.415	122.93
subcuenca_2	23212.70	0.013	237.30	3.96	142.38
subcuenca_3	1141.60	0.015	21.92	0.37	13.15
subcuenca_4	1267.10	0.010	28.09	0.47	16.85
subcuenca_5	18266.60	0.015	189.28	3.15	113.57
subcuenca_6	30551.70	0.016	274.71	4.58	164.82
subcuenca_7	26971.00	0.014	263.15	4.39	157.89
subcuenca_8	26300.00	0.025	203.75	3.40	122.25
subcuenca_9	10317.00	0.018	113.72	1.90	68.23
subcuenca_10	45481.30	0.028	299.29	4.99	179.57
subcuenca_11	5533.50	0.022	64.03	1.07	38.42
subcuenca_12	14426.80	0.034	113.87	1.90	68.32
subcuenca_13	21215.20	0.032	157.51	2.63	94.50
subcuenca_14	11627.10	0.032	99.44	1.66	59.66
subcuenca_15	15154.30	0.028	127.06	2.12	76.24
subcuenca_16	22727.50	0.027	177.01	2.95	106.21
subcuenca_17	2928.40	0.040	31.48	0.52	18.89

subcuenca_18	9515.30	0.022	97.70	1.63	58.62
subcuenca_19	247.50	0.020	6.12	0.10	3.67
subcuenca_20	11248.80	0.026	104.72	1.75	62.83
subcuenca_21	19411.90	0.023	167.53	2.79	100.52

Fuente: Hidrología Aplicada, Ven Te Chow

Figura N°15. Ingreso de datos al modelo de la cuenca.



Baseflow method o Método flujo base: Este método es usado para poder mostrar los aportes del caudal principal a la salida de las subcuencas, dichos valores no pueden ser auto calibrados por el software, así que por tal motivo deben ser calibrados de forma manual. Para este proyecto, ya que se analizará el aumento de escorrentía debido a una excesiva precipitación, se considera nulo al flujo base.

Routing method o método de enrutamiento: Este método se usa para observar flujos en canales abiertos. El agua escurre por encima de cada superficie hasta alcanzar un canal en la intersección de los planos.

Para nuestro proyecto utilizamos el método Kinematic Wave, los siguientes datos requeridos para este método fueron calculados mediante el software Arcgis 10.3, información proporcionada por la municipalidad provincial de Huarney y con la recolección de datos mediante la visita a campo.

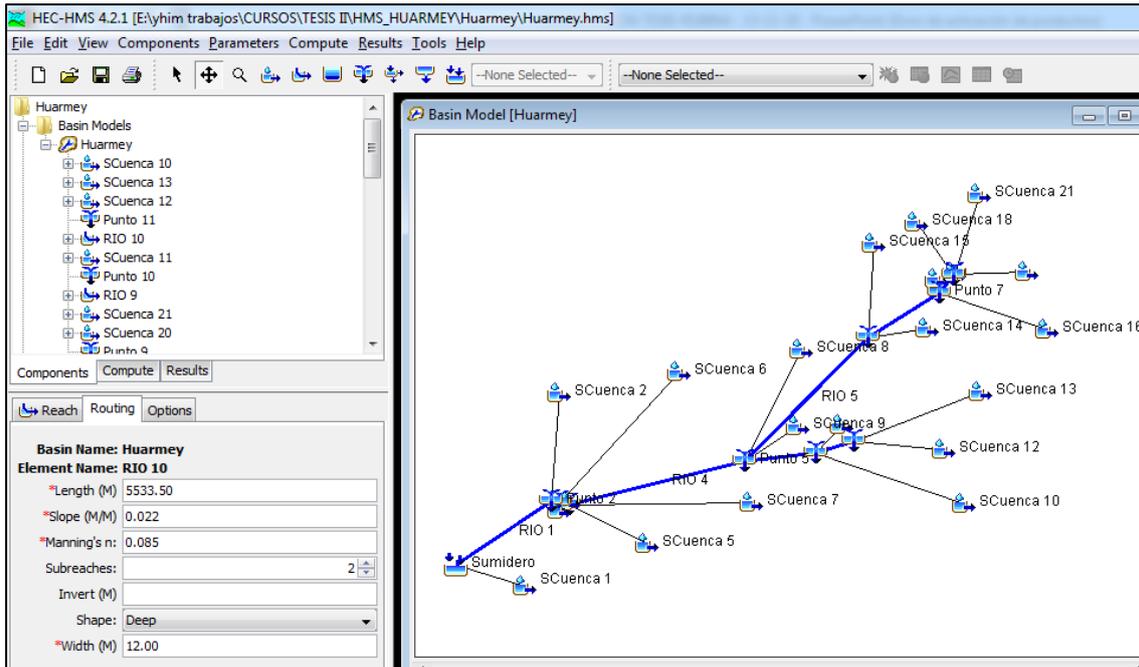
Tabla N°15. Parámetros por tramos de los ríos en la cuenca.

PARAMETROS					
TRAMO	SHAPE	LONG. (m)	S (m/m)	B (m) promedio	MANNING (n)
Rio 1	Trapezoidal	17459.30	0.011	32.00	0.058
Rio 2	Trapezoidal	1141.60	0.015	50.00	0.045
Rio 3	Trapezoidal	1267.10	0.010	46.00	0.075
Rio 4	Trapezoidal	26971.00	0.014	35.50	0.086
Rio 5	Deep	26300.00	0.025	16.50	0.086
Rio 6	Deep	11627.10	0.032	15.00	0.087
Rio 7	Deep	2928.40	0.040	11.00	0.088
Rio 8	Deep	247.50	0.020	9.00	0.086
Rio 9	Deep	10317.00	0.018	15.00	0.086
Rio 10	Deep	5533.50	0.022	12.00	0.085

Figura N°16. Recolección de datos en campo.



Figura N°17. Ingreso de parámetros de los ríos.



Meteorological model o Modelo meteorológico: este método introduce datos de intensidades y tiempo de precipitaciones que se asignaran en las subcuencas de la cuenca en estudio. Los datos de las precipitaciones a usar pueden ser precipitación máxima probable en un determinado punto, tambien puede ser la de eventos pasados que se han registrado en la historia y tambien pueden ser eventos hipotéticos de precipitaciones.

Para nuestra cuenca se recolectaron datos de precipitaciones de las siguientes estaciones meteorológicas.

Tabla N°16: Estaciones meteorológicas de la cuenca Huarmey.

ESTACIONES METEREOLÓGICAS							
NOMBRE	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	TIPO
HUARMEY	ANCASH	HUARMEY	HUARMEY	10° 4' 5.23"	78° 9' 44.35"	8 m	CONVENCIONAL
MALVAS	ANCASH	HUARMEY	MALVAS	9° 55' 38.02"	77° 39' 18.7"	2979 m	CONVENCIONAL
AIJA	ANCASH	AIJA	AIJA	9° 46' 53.92"	77° 36' 24.26"	3508 m	CONVENCIONAL
CAJAMARQUILLA	ANCASH	HUARAZ	LA LIBERTAD	9° 37' 55.36"	77° 44' 28.88"	3286 m	CONVENCIONAL
SHAQUEK	ANCASH	RECUAY	HUAYLLAPAMPA	10° 4' 16.18"	77° 31' 30.14"	2979 m	AUTOMÁTICA
PACHACOTO	ANCASH	RECUAY	CATAC	9° 51' 8.73"	77° 24' 21.86"	3723 m	AUTOMÁTICA
RECUAY	ANCASH	RECUAY	RECUAY	9° 43' 45.1"	77° 27' 13.15"	3431 m	CONVENCIONAL

Figura N°18. Estaciones meteorológicas en la cuenca.

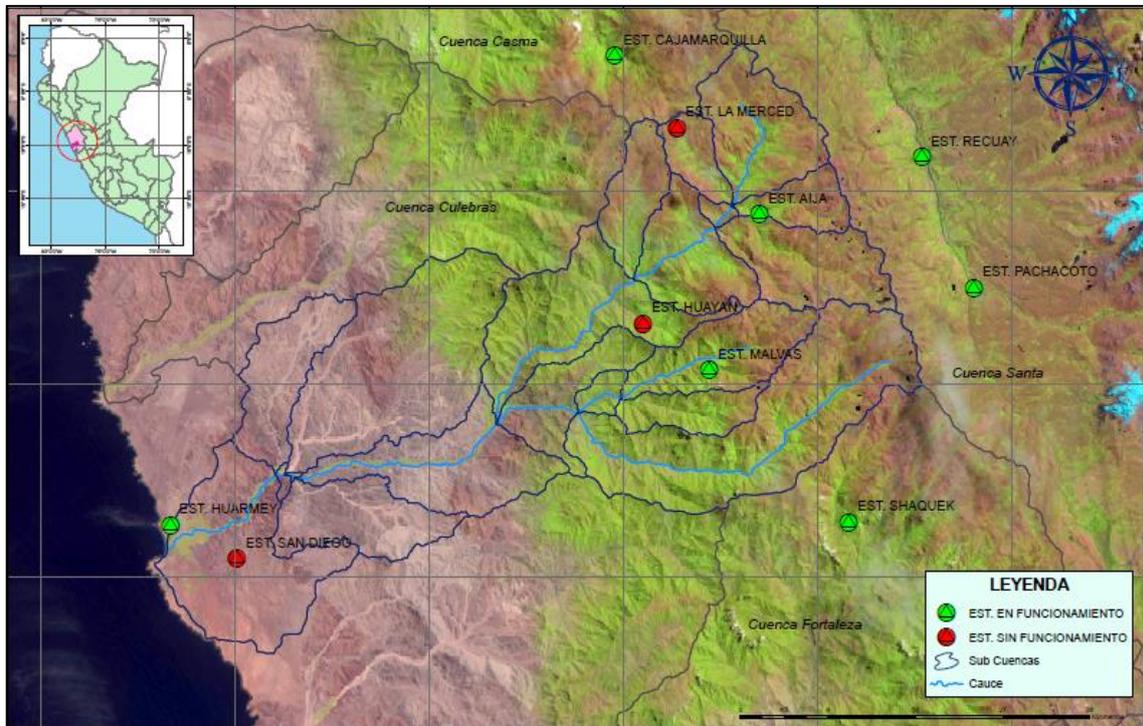


Figura N°19. Polígono de Thiessen de la cuenca.

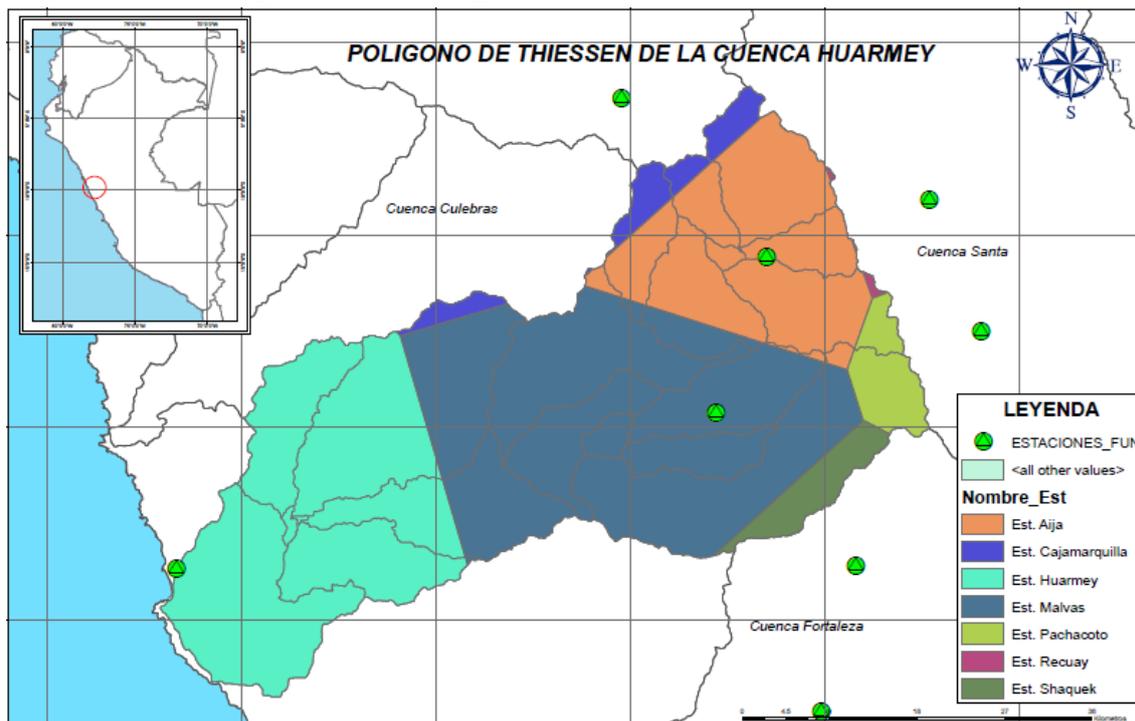


Tabla N°17. Pesos relativos de las estaciones en las sub cuencas.

SUB_CUENCA	ESTACION	AREA_KM2	AREA TOTAL
subcuenca_1	Est. Huaramey	231.76	231.76
subcuenca_2	Est. Huaramey	106.33	106.33
subcuenca_3	Est. Huaramey	3.86	3.86
subcuenca_4	Est. Huaramey	0.86	0.86
subcuenca_5	Est. Huaramey	110.76	111.32
	Est. Malvas	0.55	
subcuenca_6	Est. Huaramey	170.81	310.39
	Est. Cajamarquilla	17.19	
	Est. Malvas	122.39	
subcuenca_7	Est. Huaramey	66.56	157.01
	Est. Malvas	90.45	
subcuenca_8	Est. Cajamarquilla	0.22	186.70

	Est. Malvas	180.74	
	Est. Aija	5.75	
subcuenca_9	Est. Malvas	85.73	85.73
subcuenca_10	Est. Shaquek	63.71	338.59
	Est. Malvas	215.24	
	Est. Aija	5.68	
	Est. Pachacoto	53.95	
subcuenca_11	Est. Malvas	17.22	17.22
subcuenca_12	Est. Malvas	55.56	55.56
subcuenca_13	Est. Malvas	111.82	114.60
	Est. Aija	2.78	
subcuenca_14	Est. Malvas	30.97	106.68
	Est. Aija	75.71	
subcuenca_15	Est. Cajamarquilla	24.55	68.25
	Est. Malvas	3.27	
	Est. Aija	40.44	
subcuenca_16	Est. Recuay	2.12	120.72
	Est. Aija	99.41	
	Est. Pachacoto	19.19	
subcuenca_17	Est. Aija	7.82	7.82
subcuenca_18	Est. Cajamarquilla	10.38	42.28
	Est. Aija	31.90	
subcuenca_19	Est. Aija	0.11	0.11
subcuenca_20	Est. Recuay	0.20	48.35
	Est. Aija	48.14	
subcuenca_21	Est. Recuay	0.57	130.86
	Est. Cajamarquilla	21.96	
	Est. Aija	108.33	

Times series data o Datos de series de tiempo: para este método se ingresan los datos que están relacionados al tiempo que tendrá la simulación. Dichos datos contienen la cantidad de lluvia y el periodo en que se observará.

Para nuestro modelamiento necesitaremos los datos de precipitación de 5 días antes de la última tormenta.

La última tormenta fuerte registrada hasta la fecha fue la del niño costero que ocurrió el día 15 marzo del 2017 en la ciudad de Huarmey.

Por tal razón se utilizaron los datos de precipitación del 11 de marzo al 15 de marzo del año 2017 obteniendo los siguiente:

Tabla N°18: Datos históricos de precipitación del mes de marzo.

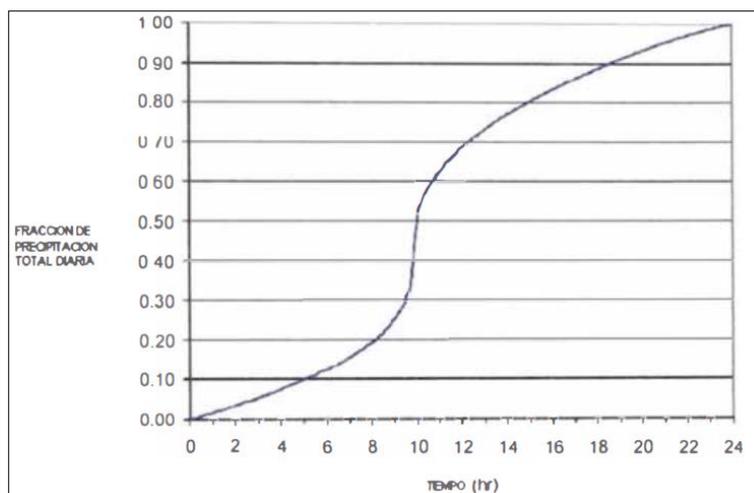
Día/mes/año	E. Malvas	E. Aija	E. Huarmey	E. Shaquek	E. pachacoto	E. Recuay	E. Cajamarquilla
01-mar-17	0.7	0	0	0.2	0	0	20.8
02-mar-17	20.7	0	0	183.4	0	0	14.8
03-mar-17	7.5	0	0	0.7	11.7	11.7	31.2
04-mar-17	10	11.4	0	0.9	1.5	5.9	30.6
05-mar-17	3.8	12.2	0	0.8	6.8	9.2	9.6
06-mar-17	7.4	12.4	0	0.7	4.3	20.2	39.5
07-mar-17	4.2	17.3	0	0.5	13.3	9.6	24.8
08-mar-17	3.4	10.7	0.2	0	14.5	9.4	21.6
09-mar-17	13.6	16.3	0	1	8.6	29.6	14.4
10-mar-17	13.8	20.8	0.5	3.4	17.1	11.5	12.6
11-mar-17	10	8.9	0	2.2	15.7	8.8	21.6
12-mar-17	0.2	2.7	0	1.9	6.2	4.5	34
13-mar-17	19.6	9.5	0	0.4	3.8	5.6	28.8
14-mar-17	28.4	12.5	0.4	0.3	17	14.4	18.4
15-mar-17	31	31.6	0	0.6	9.3	19.4	14.6
16-mar-17	12.2	6.5	0	0.3	25.2	10.9	12.2

17-mar-17	11	0	0	0.3	0.1	0.1	15.4
18-mar-17	17.2	2.7	0	0.5	8.8	11	10.6
19-mar-17	17	1.8	0	0.5	5.6	4.6	21.4
20-mar-17	9.4	6.4	0.3	0.4	2.4	4.6	30.6
21-mar-17	6.5	2.5	0.8	0.5	4.6	15.2	16.2
22-mar-17	14.2	7.8	0	0.6	37.2	2.7	32.8
23-mar-17	16.8	5.3	0	0.2	10.7	9.5	18.2
24-mar-17	4	2.9	0	0.3	6.2	1.8	33
25-mar-17	2.6	3.1	0	0.4	11.4	9.4	12.4
26-mar-17	7.9	6.6	0	0.3	7.3	8.7	18.2
27-mar-17	16.3	3.7	0	0.3	4.1	6.1	28.4
28-mar-17	4	1.7	0	0.3	4.4	0.5	26.4
29-mar-17	0.8	7.8	0	0.3	12.5	12	10.6
30-mar-17	29.1	13.4	0	0.3	25.8	16	12.6
31-mar-17	1.4	12.8	0	0.2	4.4	0	12.6

Fuente: Portal web de Senamhi.

La tormenta de diseño que se utilizó para el estudio fue el tipo I que corresponde a climas con inviernos húmedos y veranos secos (climas del pacifico) pues es la que mejor se adapta a las características de la cuenca en estudio, esta tormenta hipotética fue definida por SCS. Como siguiente paso se ingresaron los hietogramas calculados, en base a la tormenta tipo I. En Total se ingresaron 7 pluviómetros, cada uno con sus respectivos pesos, según el área abarcada por los triángulos de Thiessen que componen cada sub cuenca.

Figura N°20. Curva SCS Tipo I para desagregación de lluvias



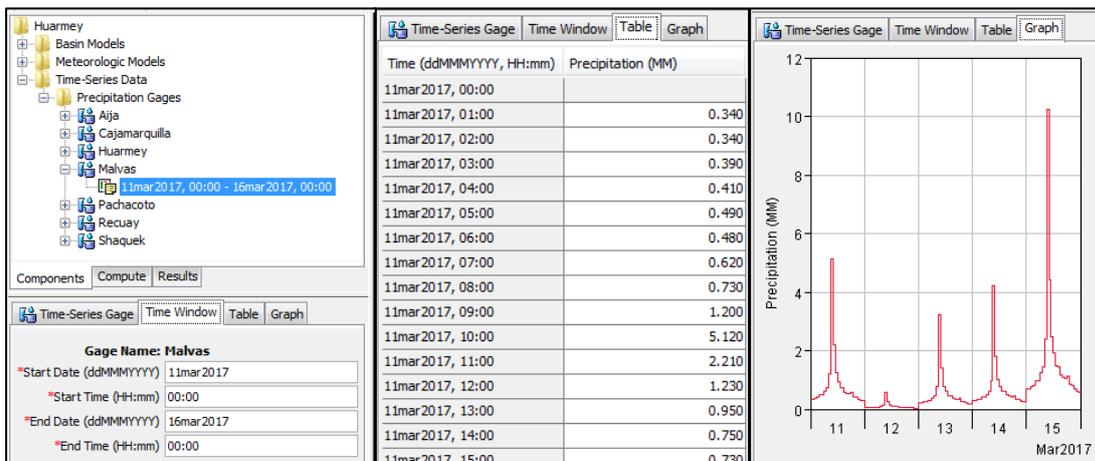
Fuente: Manual Tecnico HEC-HMS – U.S. Army Corps of Engineers

Tabla N°19: Desagregación de precipitación del día 15 de marzo del 2017.

			HUARMEY	MALVAS	AIJA	SHAQUEK	PACHACOTO	RECUAY	CAJAMARQUILLA
P. total (mm)			0	31	31.6	0.6	9.3	19.4	14.6
Fecha	Hora	FACTOR							
15-mar-17	01:00	0.0170	0	0.527	0.5372	0.0102	0.1581	0.3298	0.2482
15-mar-17	02:00	0.0171	0	0.5301	0.54036	0.01026	0.15903	0.33174	0.24966
15-mar-17	03:00	0.0193	0	0.5983	0.60988	0.01158	0.17949	0.37442	0.28178
15-mar-17	04:00	0.0207	0	0.6417	0.65412	0.01242	0.19251	0.40158	0.30222
15-mar-17	05:00	0.0246	0	0.7626	0.77736	0.01476	0.22878	0.47724	0.35916
15-mar-17	06:00	0.0241	0	0.7471	0.76156	0.01446	0.22413	0.46754	0.35186
15-mar-17	07:00	0.0312	0	0.9672	0.98592	0.01872	0.29016	0.60528	0.45552
15-mar-17	08:00	0.0364	0	1.1284	1.15024	0.02184	0.33852	0.70616	0.53144
15-mar-17	09:00	0.0602	0	1.8662	1.90232	0.03612	0.55986	1.16788	0.87892
15-mar-17	10:00	0.2559	0	7.9329	8.08644	0.15354	2.37987	4.96446	3.73614
15-mar-17	11:00	0.1106	0	3.4286	3.49496	0.06636	1.02858	2.14564	1.61476
15-mar-17	12:00	0.0615	0	1.9065	1.9434	0.0369	0.57195	1.1931	0.8979

15-mar-17	13:00	0.0476	0	1.4756	1.50416	0.02856	0.44268	0.92344	0.69496
15-mar-17	14:00	0.0374	0	1.1594	1.18184	0.02244	0.34782	0.72556	0.54604
15-mar-17	15:00	0.0364	0	1.1284	1.15024	0.02184	0.33852	0.70616	0.53144
15-mar-17	16:00	0.0293	0	0.9083	0.92588	0.01758	0.27249	0.56842	0.42778
15-mar-17	17:00	0.0271	0	0.8401	0.85636	0.01626	0.25203	0.52574	0.39566
15-mar-17	18:00	0.0259	0	0.8029	0.81844	0.01554	0.24087	0.50246	0.37814
15-mar-17	19:00	0.0287	0	0.8897	0.90692	0.01722	0.26691	0.55678	0.41902
15-mar-17	20:00	0.0213	0	0.6603	0.67308	0.01278	0.19809	0.41322	0.31098
15-mar-17	21:00	0.0202	0	0.6262	0.63832	0.01212	0.18786	0.39188	0.29492
15-mar-17	22:00	0.0175	0	0.5425	0.553	0.0105	0.16275	0.3395	0.2555
15-mar-17	23:00	0.0154	0	0.4774	0.48664	0.00924	0.14322	0.29876	0.22484
15-mar-17	00:00	0.0146	0	0.4526	0.46136	0.00876	0.13578	0.28324	0.21316

Figura N°21: Ingreso de precipitaciones desagregadas en software HEC-HMS.



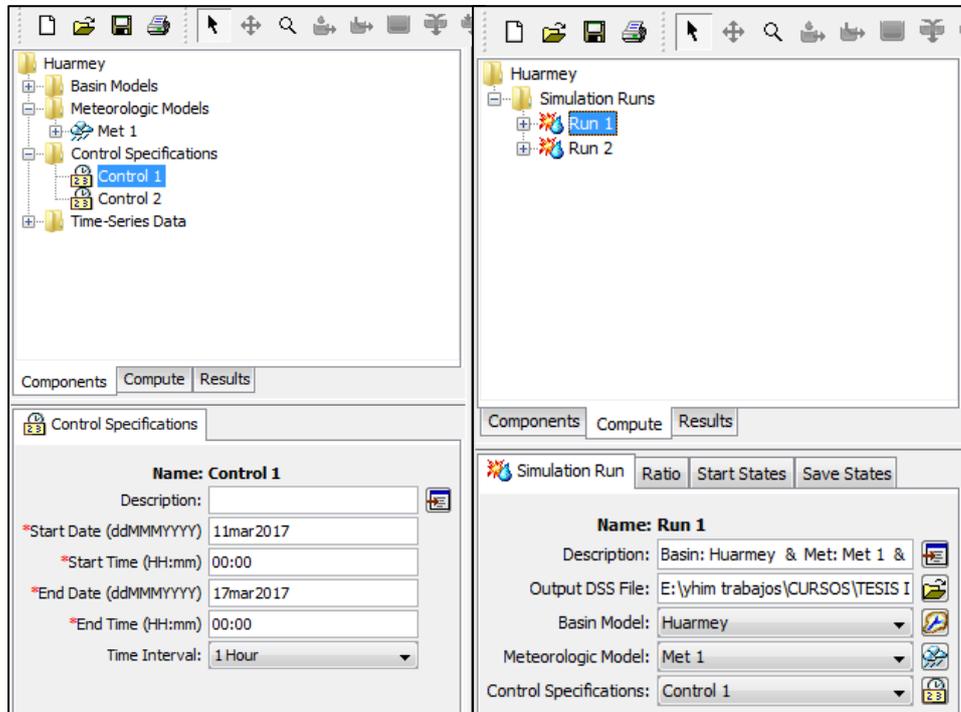
Control specifications o Especificaciones de control: este método deja al usuario poder definir el tiempo que tendrá la simulación, tanto el inicio como su fin.

Para el caso de este modelamiento, se escogió como inicio el 11 de marzo del 2017 a las 00:00 y como fecha de término el 16 de marzo del 2017 a las 24:00 debido a que en ese intervalo de tiempo se tienen los caudales máximos del año 2017.

Una vez creado el modelo de la cuenca, el modelo meteorológico y las especificaciones de control se puede hacer la simulación del modelo hidrológico.

Los resultados de esta simulación serán hidrogramas de salida en forma gráfica o tabular.

Figura N°22: Ingreso de las especificaciones de control y simulación del modelamiento.



Resultados de la Simulación mediante el HEC-HMS

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

Para nuestro caso práctico se ha considerado el flujo igual a cero, debido a que el caudal del río Huarmey, tiene registros de caudales ceros en épocas de estiaje. La escorrentía directa para el modelamiento de la cuenca del río Chillón, se han obtenido mediante el modelo del HEC-HMS, con los parámetros geomorfológicos extraídos del software ArcGIS 10.3, y con las tormentas de diseño para cada subcuenca, de las 3 estaciones pluviométricas con las que se cuenta la cuenca más 4 estaciones aledañas. El hidrograma de salida o caudal pico encontrado en nuestro punto de análisis, que es la ciudad de Huarmey es de 371.9 m³/s, como se muestra en las siguientes figuras.

Figura N°23: Descarga pico del modelamiento hidrológico del Rio Huarmey.

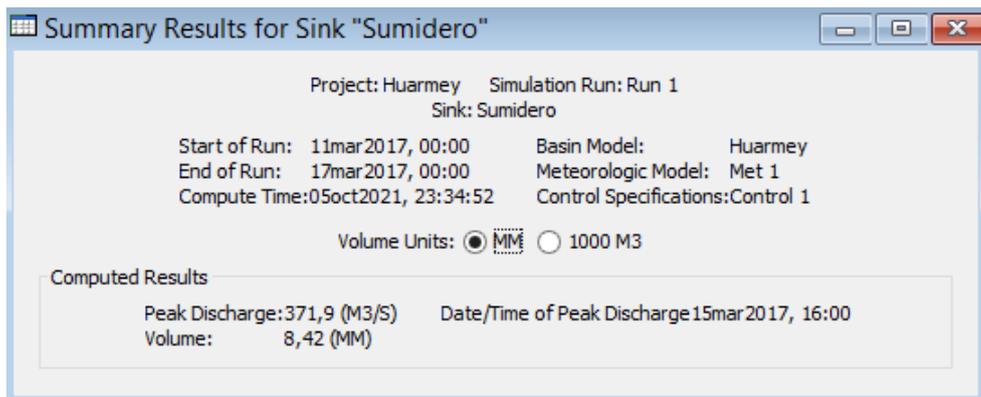
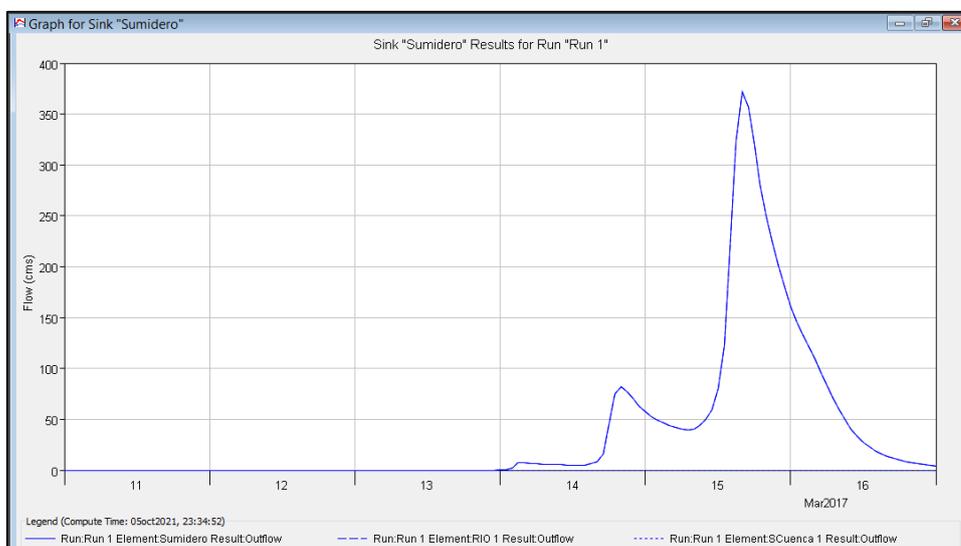


Figura N°24: Hidrograma de salida en la ciudad de Huarmey.



Propuesta De Un Sistema Scada De Alerta Temprana Ante Inundaciones

Componentes del modelo. El primordial elemento físico de un sistema de alerta temprana son las estaciones de medición automática ya sean pluviométricas o hidrométricas estas paralelamente se conforman de otros recursos que son importantes para su adecuado desempeño.

En la cuenca del Rio Chillón, se ofrece la instalación de estaciones automáticas con transmisión de datos en tiempo real, en la actualidad no existe ni una estación automática solo hay estaciones convencionales, que, además, no funcionan de una forma idónea y estructurada.

Cada estación pluviométrica automática de transmisión de datos en tiempo real debería constar fundamentalmente del siguiente equipo: un pluviómetro, un panel solar, una batería, una antena y un módulo electrónico de registro y control

instalado en el centro de un gabinete metálico. Dada la importancia de operar confiablemente y en forma continua las estaciones, especialmente bajo condiciones ambientales muy adversas, por ejemplo, durante una tormenta, es necesario diseñar la estación en forma robusta y con protecciones especiales. Evidentemente la alimentación eléctrica en los equipos es esencial. Para garantizar un suministro permanente e independiente de energía, se necesita equipar las estaciones de registro de precipitación con una batería y un panel solar, además con un circuito para controlar la carga y la regulación del voltaje. Nuestro pluviógrafo mide la lluvia a través de su sensor principal y utiliza energía solar para su funcionamiento.

El panel transforma la energía solar en energía eléctrica, que alimenta la maquinaria interna del pluviómetro. Siempre debe estar limpio para maximizar la transferencia de energía al dispositivo.

Dentro de la caja impermeable se encuentran los circuitos que controlan el funcionamiento del pluviómetro. La caja debe estar siempre cerrada para impedir que la luz directa del sol, el agua, los insectos y otro tipo de elementos peligrosos entren en contacto con la maquinaria interna del equipo y puedan dañarlo.

Figura N°25: El pluviógrafo automático.



Fuente: Programa integral red de agua (PIRAGUA)

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

Para la medición de niveles de caudal existen diversos tipos de equipos, por ejemplo, sensor de flotación, sensor neumático de presión y sensor tipo radar. Para el caso de la cuenca del Rio Huarmey se recomienda el sensor tipo radar, ya que, para su funcionamiento no requiere estar en contacto con el agua, evitando así malos funcionamientos ocasionados por choque de piedras u otros elementos que el rio Huarmey traslada, por lo general en épocas de grandes avenidas.

El Radar es un caudalímetro de canal abierto sin contacto. Consiste en un sensor de velocidad de radar y un sensor de nivel de agua de burbuja o radar.

El sistema está diseñado para un funcionamiento continuo y adecuado para la medición de caudales en ríos y canales abiertos. Se combinan la tecnología de detección de velocidad por radar de onda de pulso con la detección de nivel de eco de pulso de radar para medir de forma remota los flujos de canales abiertos

Figura N°26: Sensor Radar de cálculo de flujo continuo (velocidad y nivel)



Fuente: Peregrine telemetry

Reglas de operación. Las estaciones medirán intensidad de lluvia, la precipitación acumulada y los niveles de los cauces y esta información será enviada por telemetría a una estación central de registro que debe estar en funcionamiento las 24 horas del día.

La difusión de dichos datos hacia la estación central ubicada en la ciudad de Huarmey desde las estaciones automáticas (pluviométricas e hidrométricas), será en tiempo real y esto será posible gracias al uso de satélites. Se propone que la frecuencia mínima de medición y transmisión de datos sea de una hora,

es decir, que no se debe de pasar de una hora sin tener datos de todas las estaciones.

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

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

Al sobrepasar 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.

Implementación del proyecto. En la implementación del proyecto se está considerando la instalación de 6 estaciones pluviométricas automáticas (Aija, Coris, Malvas, Cotaparaco, Huiña, Huarmey), la instalación de 4 estaciones hidrométricas automáticas en la parte alta y media de la cuenca.

Las ubicaciones de las nuevas estaciones serán en los mismos lugares de las estaciones pluviométricas convencionales de la cuenca, y deberán ser administradas por SENAMHI.

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

Movilización: Traslado del personal, maquinaria y materiales al lugar donde se realizarán los trabajos de instalación de las estaciones remotas y estación central.

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

Preparación infraestructura Estación Central: Construcción de las instalaciones de la Estación Central.

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

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

Instalación de paquetes de software: Instalación de los programas que trabajan con las estaciones remotas para la administración y recepción de la información.

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

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

Desmovilización: Traslado del personal, maquinaria y sobrando de materiales a la ciudad de Huarney.

Presupuesto Referencial de instalación. A continuación, se presenta un presupuesto referencial de la instalación de un sistema de previsión de avenidas; así como también el un presupuesto referencial de la operación y mantenimiento anual.

Tabla N°20. Presupuesto referencial de instalación.

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	METRADO	COSTO UNITARIO	SUB-TOTAL
1.00	OBRAS PRELIMINARES				
1.01	Movilizacion y desmovilizacion	UND	6.00	\$ 300.00	\$ 1800.00
1.02	Trazo y replanteo	UND	6.00	\$ 100.00	\$ 600.00
1.03	Cartel de obra	UND	6.00	\$ 40.00	\$ 240.00
2.00	INFRAESTRUCTURA				

2.01	Losa de concreto para estacion remota	UND	6.00	\$ 1500.00	\$ 9000.00
2.02	Cerco de proteccion con malla y puerta	UND	6.00	\$ 800.00	\$ 4800.00
2.03	preparacion de estacion central	UND	1.00	\$ 2000.00	\$ 2000.00
2.04	Losa para caseta de grupo electrogeno	UND	1.00	\$ 800.00	\$ 800.00
3.00	EQUIPAMIENTO				
3.01	Pluviometro automatico	UND	6.00	\$ 1997.00	\$ 11982.00
3.02	Soporte para pluviometro	UND	6.00	\$ 212.00	\$ 1272.00
3.03	Panel solar	UND	6.00	\$ 1195.00	\$ 7170.00
3.04	Equipamiento adicional y transmision	UND	6.00	\$ 5247.00	\$ 31482.00
3.05	Sistema de proteccion, pararrayos	UND	6.00	\$ 100.00	\$ 600.00
3.06	Grupo electrogeno	UND	1.00	\$ 1400.00	\$ 1400.00
3.07	Equipo de aire acondicionado	UND	2.00	\$ 600.00	\$ 1200.00
3.08	Equipamiento y muebles estacion central	GLB	1.00	\$ 1490.00	\$ 1490.00
3.09	Equipamiento de computo	GLB	1.00	\$ 1800.00	\$ 1800.00
3.10	Software	GLB	1.00	\$ 2492.00	\$ 2492.00
3.11	Montaje	GLB	1.00	\$ 926.00	\$ 926.00
4.00	VARIOS				
4.01	Stock basico de repuestos	GLB	1.00	\$ 1000.00	\$ 1000.00
4.02	Herramientas reparacion	GLB	1.00	\$ 1500.00	\$ 1500.00
4.03	Herramientas mantenimiento	GLB	1.00	\$ 1200.00	\$ 1200.00
TOTAL, COSTO DIRECTO					\$ 84,754.00

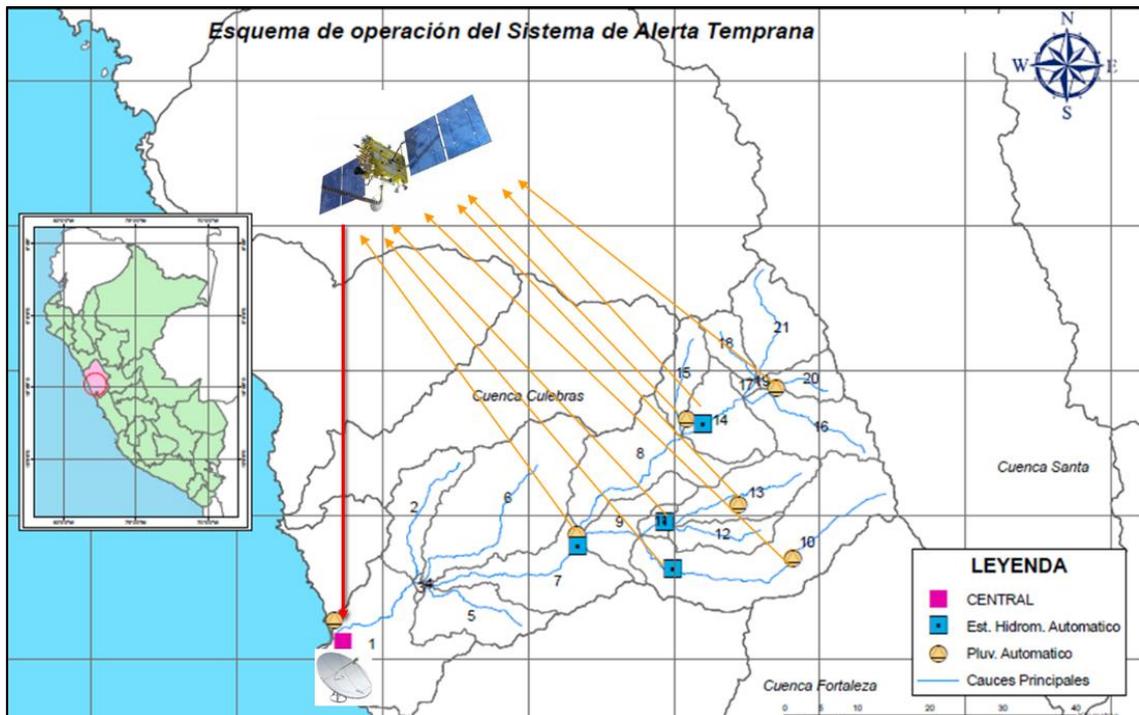
Fuente: Sistema de Alerta Temprana "SIAT"- Experiencia Regional y Local en la Cuenca del río Piura.

Tabla N°21. Presupuesto referencial de operación anual.

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	METRA DO	COSTO UNITARIO (\$)	SUB-TOTAL (\$)
1.00	LOCAL				
1.01	Alquiler de local para estacion central	mes	12	\$ 200.00	\$ 2400.00
2.00	PERSONAL				
2.01	Jefe del Sistema de Alerta	mes	12	\$ 900.00	\$ 10800.00
2.02	Tecnico de Mantenimiento	mes	12	\$ 460.00	\$ 5520.00
3.00	MANTENIMIENTO DE ESTACIONES				
3.01	Movilidad	mes	12	\$ 242.00	\$ 2904.00
3.02	Viaticos	mes	12	\$ 91.00	\$ 1092.00
3.03	Stocks adicionales de repuestos	glb	1	\$ 1000.00	\$1000.00
TOTAL					\$ 23,716.00

Fuente: Sistema de Alerta Temprana "SIAT"- Experiencia Regional y Local en la Cuenca del río Piura.

Figura N°27. Esquema de componentes del Sistema de Alerta Temprana del Río Huarmey.



V. DISCUSION

Caudales que sobrepasaron la capacidad maxima del rio huarmey

En el Mes de Marzo del 2017, en el momento que ocurrió el desastre del Fenómeno del Niño Costero, el Río sobrepaso a su Caudal máximo de 180 m³/seg. Debido a las fuertes lluvias en la parte alta y media de la cuenca, lo cual origino el desborde del Río Huarmey.

En la modelación nos arrojó un caudal pico de 371.9 m³/s lo que no resultaría extraño ya que se dieron desbordes a lo largo del rio en la cuenca media y baja.

Los datos no se pudieron calibrar ya que cuenca no cuenca con estaciones hidrométricas.

Tiempo máximo de pronóstico o reacción

Según al reporte de lluvias para nuestra modelación las precipitaciones máximas se dieron a las 10:00 am y el caudal pico que paso por la ciudad de Huarmey se dieron a las 23:30 pm, teniendo así un tiempo de 13 horas para poder evacuar a zonas seguras. Por lo tanto, las 13 horas de tiempo que tenemos de pronóstico

se originó comparando el caudal pico de un evento real, versus el caudal generado en la simulación del Hec-Hms.

Considerando la ruta de flujo más larga desde la parte más alta de la sub-cuenca_21 hasta la parte más baja en el puente Huarmey, a través de las sub-cuencas sub-cuenca_1, sub-cuenca_3 sub-cuenca_4 sub-cuenca_7, sub-cuenca_9 y sumando sus respectivos tiempos de concentración se obtiene un tiempo máximo de pronóstico de 14.31 horas.

VI. CONCLUSIONES

Red hidrometereológica actual

El número de estaciones pluviométricas (03) en la cuenca es inadecuado y no cuenta con ninguna estación hidrométrica para los registros de caudales.

Las estaciones pluviométricas actuales no son automáticas, ni realizan transmisión de datos teleméricamente; Por lo cual la información recopilada es entregada al SENAMHI cada fin de mes para ser analizadas, lo que hace imposible la predicción de eventos.

Estas estaciones no proporcionan información horaria de lluvias, solo cuenta con precipitación máxima o precipitación acumulada por día.

Las personas encargadas de las mediciones de las estaciones pluviométricas, son pobladores vecinos a la estación y capacitados por el Senamhi; tienen la indicación de realizar las mediciones 2 veces al día; pero no podemos saber si son realizadas correctamente, a la hora indicada y con la frecuencia adecuada.

Modelamiento hidrológico

La cuenca fue sub dividida en 21 subcuencas; en cada una de estas se simula un proceso hidrológico. La precisión de los resultados del modelo aumenta en forma proporcional al número de subcuencas.

Se emplearon datos de precipitación total en 24 horas, a los cuales se le aplico el método de desagregación de lluvias para obtener precipitaciones horarias.

El tiempo máximo con el que se podrá pronosticar una inundación es de 13 aproximadamente. También es llamado tiempo máximo de reacción, el cual será más preciso y real si se tuvieran estaciones que proporcionarían información horaria, trasmitida vía telemetría.

Implementación del sistema de alerta temprana

El sistema de alerta temprana deberá constar de estaciones pluviométricas e hidrométricas que transmitan información en tiempo real.

Con el funcionamiento del Sistema de Alerta Temprana se podrán tomar medidas anticipadas y oportunas de preparación y respuesta, para mitigar los daños por inundaciones.

Teniendo en cuenta las inminentes inundaciones debido a los caudales extraordinarios se plantea instalar un sistema SCADA de previsión de avenidas en la cuenca del Río Huarmey, para así alertar a la población y poner en marcha un plan de emergencia para evacuar la zona de inminente inundación.

El costo estimado de la instalación de un sistema SCADA de alerta temprana de inundaciones, asciende a \$ 84,754.00 dólares americanos.

El costo estimado de la operación y mantenimiento anual del sistema SCADA de alerta temprana de inundaciones, asciende a \$ 23,716.00 dólares americanos.

El costo de la implementación del proyecto será mínimo comparado con el costo que implicará la reconstrucción de los daños causados por una inundación.

VII. RECOMENDACIONES

Continuar con la modernización de las estaciones pluviométricas e hidrométricas para así poder generar modelos hidrológicos precisos. Esto permitirá obtener datos más confiables y reales, además de proporcionar registros de lluvias en intervalos de tiempo menores.

Implementar un Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones para la cuenca del río Huarmey como parte de la solución integral para la reducción de riesgos del programa reconstrucción con cambios.

Realizar un modelamiento Hidráulico en la cuenca media y baja del río Huarmey para crear mapas de inundación y compararlos con los hechos ocurridos en el niño costero.

Reforzar los puntos críticos de la cuenca para reducir los daños. Establecer soluciones integrales perennes como la canalización de los ríos ya que la descolmatación y defensas con enrocados son trabajos temporales.

REFERENCIAS

1. **Acosta, Melisa. (2018).** *Sistema de alerta temprana para la prediccion del nivel de peligrosidad en inundaciones pluviales repentinas.* Universitat Politecnica Valencia.
2. **Ouédraogo, W.A.A.; Raude, J.M.; Gathenya, J.M.** *Continuous Modeling of the Mkurumudzi River Catchment in Kenya Using the HEC-HMS Conceptual Model: Calibration, Validation, Model Performance Evaluation and Sensitivity Analysis.* Hydrology 2018, 5, 44.
<https://doi.org/10.3390/hydrology5030044>
3. **Angulo, Mario A., & Saavedra, Oliver C. (2018).** *MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA MAYLANCO UTILIZANDO HEC-HMS.* Investigación & Desarrollo, 18(1), 53-67.
4. **Borda, Leticia. (2018).** *Efectividad del Sistema de Alerta Temprana en Huaycos e Inundaciones en el distrito de Parcona.* Universidad Cesar Vallejo.
5. **Butrich, Mariana. (2018).** *El impacto de El niño costero en los suelos agrícolas de la parte baja del valle del rio Huarmey.* Pontificia Universidad Católica del Perú.
6. **Cabrera, Juan; Timbe, Luis; Crespo, Patricio. (2019).** *Evaluación del modelo HEC-HMS para la simulación hidrológica de una cuenca de páramo.* Universidad Nacional Colombia.
7. **Carrillo, Norma. (2020).** *La gestión del riesgo y la prevención de los desastres naturales en el Perú.* Universidad Nacional Federico Villarreal.
8. **Castro, Cyndi; Maidment, David. (2020).** *GIS preprocessing for rapid initialization of hec-hms hydrological basin models using web-based data services.* Environmental Modelling and Software Vol. 130 (2020) 104732.
9. **Del águila, Sandra. (2021).** *Modelamiento de procesos hidrológicos en cuencas de la sierra central del Perú.* Universidad Nacional Agraria La Molina.
10. **Derdour, A; Bouanani, A; Babahamed, K. (2017).** *Hydrological modeling in semi-arid region using hec-hms model, case study in ain sefra watershed, ksour mountains (SW-ALGERIA).* Journal of Fundamental and Applied Sciences Vol. 9 No. 2, 1112-9867.

11. **Espinoza, Rudi; Neyra, Roxana. (2019).** *Modelamiento hidráulico e hidrológico de la quebrada Bomboca, zona urbana del centro poblado Chunchuquillo, para condiciones extremas, usando HEC-RAS.* Universidad Nacional de Jaén.
12. **Guaman, Edwin. (2020).** *Modelación hidrológica con hec-hms y rs-minerve de la cuenca del río casacar-el oro.* Universidad Tecnológica de Machala. Ecuador.
13. **Huancas, Cesar. (2019).** *Modelamiento Hidráulico con Hec-Ras para la prevención de Inundaciones desde el km 44+100 al km 49+100 en el rio Reque.* Universidad Cesar Vallejo.
14. **Perera D.; Agnihotri J.; Seidou O.; Djalante R. (2020).** *Identifying societal challenges in flood early warning systems.* International Journal of Disaster Risk Reduction, Volume 51, 101794, ISSN 2212-4209.
15. **Londoño, Emerson. (2018).** *Diseño de un sistema de alerta temprana (SAT) para prevención de inundaciones en el cantón tena de la provincia de napo.* Pontificia Universidad Católica. Ecuador.
16. **Msaddek, M., Kimbowa, G. and Garouani, A. (2020).** *Hydrological Modeling of Upper OumErRabia Basin (Morocco), Comparative Study of the Event-Based and Continuous-Process HEC-HMS Model Methods.* Computational Water, Energy, and Environmental Engineering, 9, 159-184.
17. **Pablo, Karin. (2019).** *Sistema de Alerta Temprana de inundaciones aplicando un modelamiento hidrológico con hec-hms en el río culebras.* Universidad San Pedro.
18. **Palomino, Vani; Mauricio, Luis. (2019).** *Modelamiento hidrológico e hidráulico para un sistema de alerta temprana.* Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
19. **Quise, Kelita. (2018).** *El Niño Costero 2017 Precipitaciones extraordinarias en el norte de Perú.* Universitat de Barcelona.
20. **Riquero, Wilson. (2020).** *Modelamiento hidrológico e hidráulico de inundaciones ante máximas avenidas: 2010-2020. Una revisión Sistemática.* Universidad Privada del Norte.
21. **Santos, Martha. (2017).** *Modelamiento del escurrimiento por el software HEC-HMS para predecir el comportamiento hidrico de la subcuenca río*

- carrizal. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.
22. **Mai, D.T.; De Smedt, F (2017).** *A Combined Hydrological and Hydraulic Model for Flood Prediction in Vietnam Applied to the Huong River Basin as a Test Case Study.* Water 2017, 9, 879.
 23. **Vilela, Victor. (2020).** *Efectos del Fenómeno El Niño del 2017 sobre el rendimiento académico escolar peruano.* Pontificia Universidad Católica de Chile.
 24. **Yabar, Daniel. (2018).** *Metodología para la planificación de un sistema de alerta temprana (SAT) a inundaciones para la región de Madre de Dios, Perú.* Universidad Nacional Agraria La Molina.
 25. **Mocchetti, G. (2006).** *Sistema de alerta temprana de inundaciones – aplicación en el río Chillón.* Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
 26. **Mora Estrada, D. P. (2016).** *Propuesta de Diseño de un Sistema de alerta temprana por inundación en la subcuenca del río tejalpa.* Mexico: Universidad Autónoma Del Estado De México.
 27. **Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. (2017).** *Peligros geológicos y geo-hidrológicos detonados por el Niño Costero 2017 en la región Ancash: análisis geológico, geomorfológico y de peligros en la cuenca media y baja del río Huarmey.* Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12544/1025>.
 28. **Borda Quispe, L. E. (2018).** *Efectividad del Sistema de Alerta Temprana en Huaycos e Inundaciones en el Distrito de Parcona.* Lima, Perú: Universidad César Vallejo.
 29. **Palomino Ramírez, V; Mauricio Estrada, L. R. (2019).** *Modelamiento hidrológico e hidráulico para un sistema de alerta temprana en la quebrada Cashahuacra, distrito de Santa Eulalia.* Lima, Perú: Universidad Peruana De Ciencias Aplicadas.
 30. **Godínez, A. (2011).** *Investigación en Diseño e implementación de un Sistema de Alerta Temprana ante desborde de ríos utilizando la Red GSM.* Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor De San Marcos.
 31. **Rodríguez Penin, A. (2007).** *Sistemas SCADA, Guía Práctica,* Editorial Marcombo S.A. Barcelona - España. Recuperado de

<http://etm2021.com/sbiblioteca/Libros/AUTOMATIZACION%20Y%20CONTROL/SISTEMAS%20SCADA%20-%20Aquilino%20Rodriguez%202013.pdf>

32. **Villón Béjar, M. (2013).** *HEC - HMS Ejemplos*, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Agrícola. Recuperado de <http://maximovillon.blogspot.com/p/hec-hms-ejemplos.html>.
33. **Municipalidad Provincial de Huarmey. (2011).** *Estudio complementario de las condiciones de riesgo de desastres en la ciudad de huarmey*. Recuperado de <https://docplayer.es/18742660-Estudio-complementario-de-las-condiciones-de-riesgo-de-desastres-en-la-ciudad-de-huarmey.html>
34. **CENEPRED. (2017).** *Informe de evaluación de riesgo por desborde del río huarmey e inundación pluvial en el centro poblado de huarmey, distrito y provincia de huarmey, departamento de Ancash*. Recuperado de <http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc2587/doc2587-contenido.pdf>.
35. **Cloke H. et al. (2017).** *How do i know if i've improved my continental scale flood early warning system*. *Environmental Research Letters*, 12, 0440006.
36. **Narayan, K.S.; Xinzhong D.; Wang J. (2017).** *Assessing climate change impacts on fresh water resources of the Athabasca River Basin, Canada*. *Science of The Total Environment*, Volumes 601–602, 2017, Pages 425-440, ISSN 0048-9697.
37. **Z.W. Kundzewicz, V. Krysanova, R.E. Benestad, Ø. Hov, M. Piniewski, I.M. Otto (2018).** *Uncertainty in climate change impacts on water resources*. *Environmental Science & Policy*, Volume 79, Pages 1-8, ISSN 1462-9011.
38. **Nguyen, H.; Shun, B.; Shah, F. (2019),** *Economic impact of climate change on agriculture using Ricardian approach: A case of northwest Vietnam*. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, Volume 18, Issue 4, Pages 449-457, ISSN 1658-077X.
39. **Kumar R.; Homberg M., Gopal P.; McQuistan C.** *Cost-benefit analysis of flood early warning system in the Karnali River Basin of Nepal*. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Volume 47, 2020, 101534, ISSN 2212-4209.

40. **Tu H, Wang X, Zhang W, Peng H, Ke Q, Chen X (2020).** *Flash Flood Early Warning Coupled with Hydrological Simulation and the Rising Rate of the Flood Stage in a Mountainous Small Watershed in Sichuan Province, China.* *Water*; 12(1):255.
41. **Nguyen HT, Duong TQ, Nguyen LD, Vo TQN, Tran NT, Dang PDN, Nguyen LD, Dang CK, Nguyen LK (2020).** *Development of a Spatial Decision Support System for Real-Time Flood Early Warning in the Vu Gia-Thu Bon River Basin, Quang Nam Province, Vietnam.* *Sensors*; 20(6):1667.
42. **Dondang R.; Mansor Z.; Satrya G. (2021).** *Design and Development of Flood Monitoring and Early Warning System.* *Malaysian Journal of Science and Advanced Technology*, 1(3), 72–76.
43. **Shi, Z.; Shen, Q.; Tan, Q.; Li, T (2021).** *Development of Integrated Flooding Early Warning and Rainfall Runoff Management Platform for Downtown Area of Shanghai.* *Sustainability*, 13, 11250.
44. **Zanchetta, A.D.L.; Coulibaly, P. (2020).** *Recent Advances in Real-Time Pluvial Flash Flood Forecasting.* *Water*, 12, 570.
45. **Balut, A. (2018).** *Application of Information Technology Solution for Early Warning Systems at Water Utilities.* *E3S Web Conf.*, 30,01001.
46. **Anusha N. et al. (2020).** *Autonomous Flood Alerting System.* *International Journal of Engineering Research & Technology*, ISSN: 2278-0181.

ANEXOS

ANEXO N° 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES
	OBJETIVO GENERAL		VARIABLE INDEPENDIENTE
¿Cómo reducir o evitar que se produzcan pérdidas de vida o daños materiales mediante un sistema de alerta temprana contra inundaciones aplicando un modelamiento hidrológico en el Río Huarmey?	Poder prevenir los daños causados por las inundaciones que provocan las precipitaciones de gran magnitud en épocas del niño costero	El modelamiento hidrológico en el río Huarmey utilizando el software HEC-HMS permitirá reproducir la respuesta de la cuenca ante un evento de precipitación extrema, para así plantear la estructura del sistema de alerta temprana (SAT) ante inundaciones.	MODELAMIENTO HIDROLOGICO CON HEC-HMS
	OBJETIVOS ESPECÍFICOS		VARIABLE DEPENDIENTE
	a) Conocer el sistema natural del río Huarmey, identificar, evaluar la información Meteorológica disponible en la cuenca y área de influencia hidrológica y todas aquellas características que conforman bases informativas técnicas del funcionamiento de dicho sistema.		SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA (SAT)
	b) Desarrollar el modelamiento hidrológico usando el software HEC-HMS para reproducir la respuesta de la cuenca ante un evento de precipitación máxima.		
c) Proponer un Sistema de Alerta Temprana contra Inundaciones para el río en estudio basado en un modelo hidrológico.			

ANEXO N° 02: OPERACIONALIZACION DE VARIABLES.

Tabla N°01. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE INDEPENDIENTE

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE INDICADORES
MODELAMIENTO HIDROLÓGICO CON HEC-HMS	Guaman (2020,p.48). "El HEC-HMS es un software desarrollado para elaborar diversas simulaciones en base al proceso denominado lluvia-escorrentía en cuencas".	Para el desarrollo del modelamiento hidrológico es necesario antes analizar los datos en campo como son los estudios hidrológicos que nos serán de gran ayuda para obtener los resultados.	Estudios hidrológicos	<ul style="list-style-type: none"> - Número de curvas (CN) - Periodo de retorno (años) 	Razón

Tabla N° 02: OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE DEPENDIENTE

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE INDICADORES
Sistema de Alerta Temprana (SAT)	Londoño (2018, p. 17). “Este sistema se caracteriza por obtener el conocimiento necesario y oportuno de existentes riesgos, que van a la par de participación de comunidades afectadas y un compromiso institucional que involucra a la educación como objetivo principal para toma de decisiones y preparación ante una amenaza”	Para desarrollar esta variable es necesario conocer las características físicas de la cuenca del río Huarmey. Los estudios que se desarrollarán son: estudios topográficos, características hidrológicas y se hará una recolección de datos.	Características	- Lectura y registro	Nominal
				- Transmisión de datos	
				- Procesamiento y análisis de datos	
				- Evaluación de la situación y definición de la alerta.	

ANEXO N° 03: DESARROLLO DE LOS RESULTADOS.

Estudios Informáticos: Para el desarrollo del presente proyecto se utilizaron los softwares ArcGis y HEC-HMS, teniendo como resultados las siguientes gráficas y tablas que muestran datos obtenidos de la cuenca Huarmey.

Demarcación Política De La Cuenca: Se realizó la demarcación política de la cuenca Huarmey con el software ArcGis, obteniendo lo siguiente:

Figura N° 02. Demarcación Política de la cuenca Huarmey

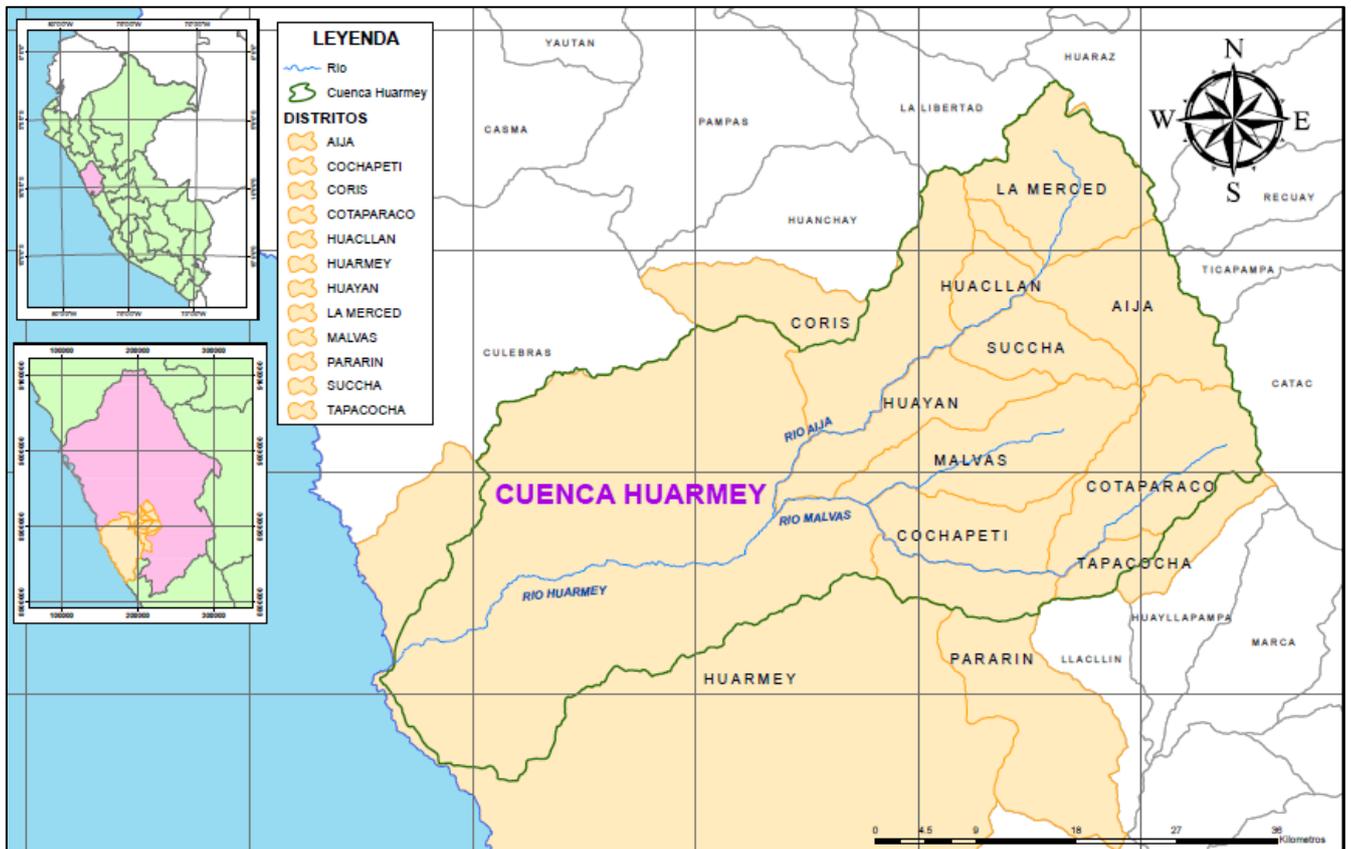


Tabla N° 03: Demarcación Política de Huarmey

Departamento	Provincia	Distrito	Área (km ²)	Porcentaje
Ancash	Aija	Aija	162.6	7.2
		Coris	162.1	7.2
		Huacllan	40.7	1.8
		La Merced	156.5	7.0
		Succha	77.2	3.4
	Huarmey	Cochapeti	100.6	4.5
		Huarmey	994.8	44.3
		Huayan	112.4	5.0
		Malvas	169.3	7.5
	Recuay	Cotaparaco	176.6	7.9
		Pararin	63	2.8
		Tapacocha	29.2	1.3
	Total			2245.0

Modelamiento Hidrológico

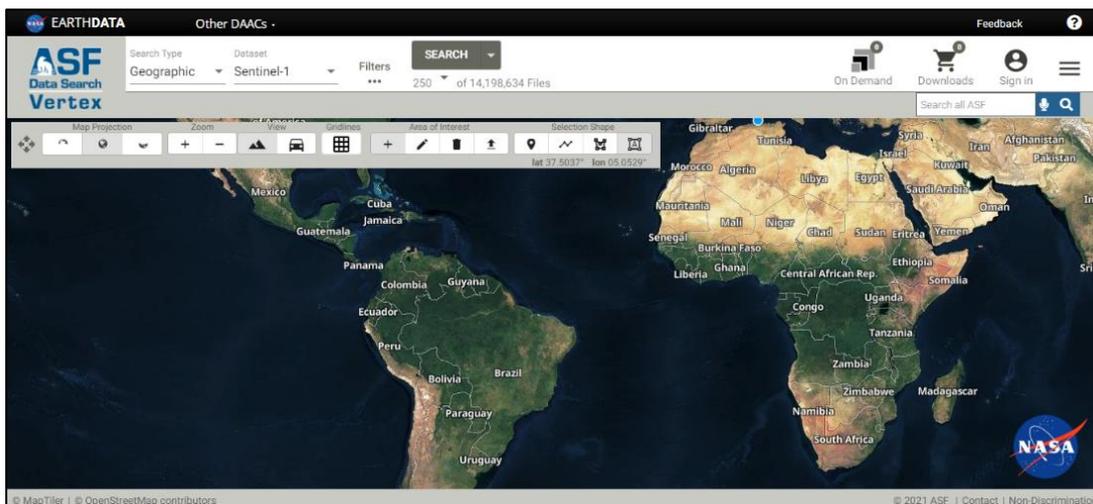
Parámetros morfológicos: Se muestran los parámetros morfológicos en la siguiente tabla.

Tabla N° 04: Parámetros Morfológicos de la cuenca Huarmey

CARACTERISTICA	Unidad	Resultado
Parámetros de forma		
Área	km ²	2245
Perímetro	km	267
Longitud mayor del rio	km	79.85
Ancho promedio	km	
Índice o factor de forma	-	0.35
Índice de compacidad o kc	-	1.58
Parámetros de relieve		
Altitud media	m.s.n.m	2183
pendiente media	%	44.5
Parámetros de red de drenaje		
Numero de orden de los ríos	-	5
Densidad de drenaje	%	0.67

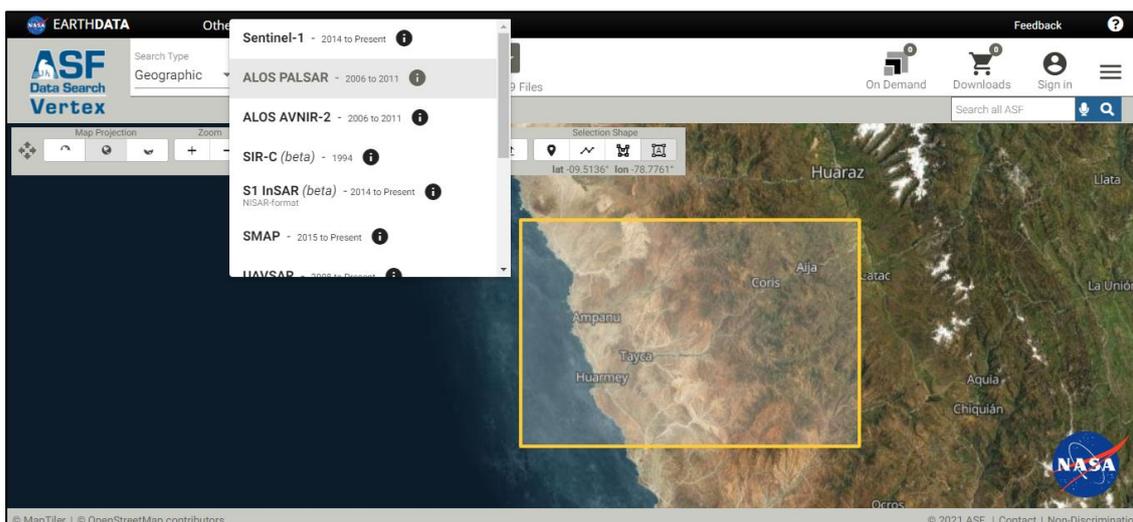
Propiedades Físicas: Se descargó información de la web de Alaska Satellite Facility. De esta web se descargaron imágenes satelitales en formato raster que se usará en el software ArcGis versión 10.3.

Figura N° 03. Visor Alaska Satellite Facility para obtención de imágenes de satelitales



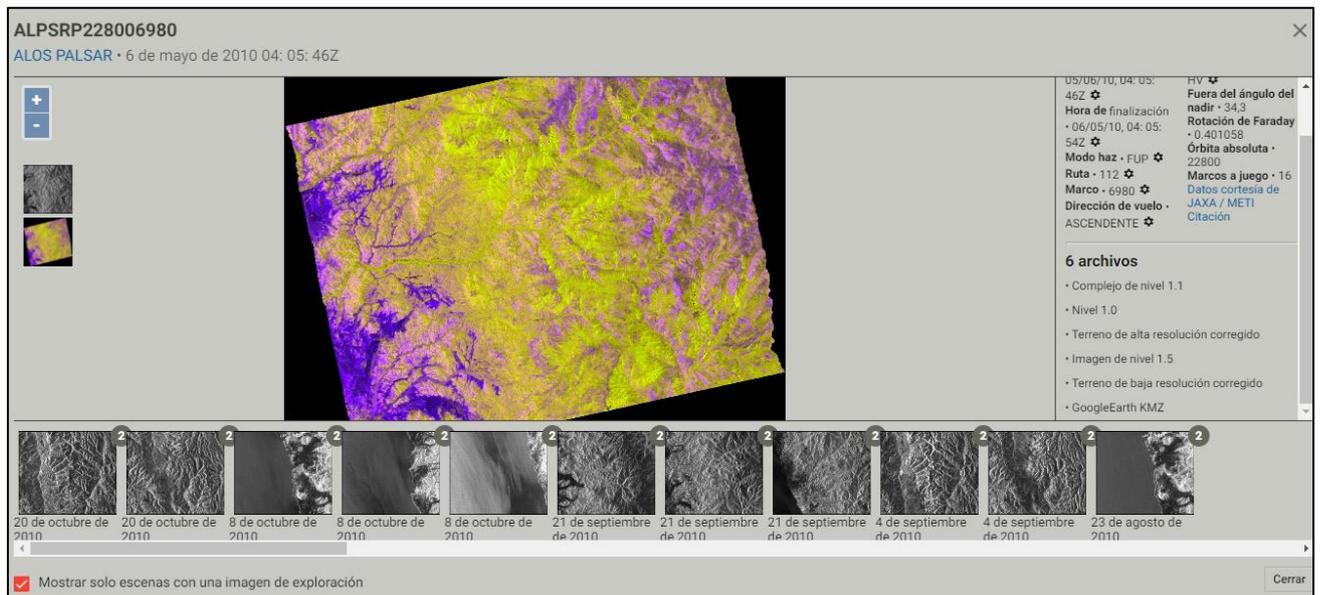
Fuente: Portal Web de Alaska Satellite Facility.

Figura N° 04. Ventana de búsqueda del satélite ALOS PALSAR



Fuente: Portal Web de Alaska Satellite Facility.

Figura N°05. Imágenes de satélite con Modelo Digital de Elevación para el área de estudio.



Fuente: Web Portal de Alaska Satellite Facility.

Figura N° 06. Raster resolución 12.5 x 12.5 m.

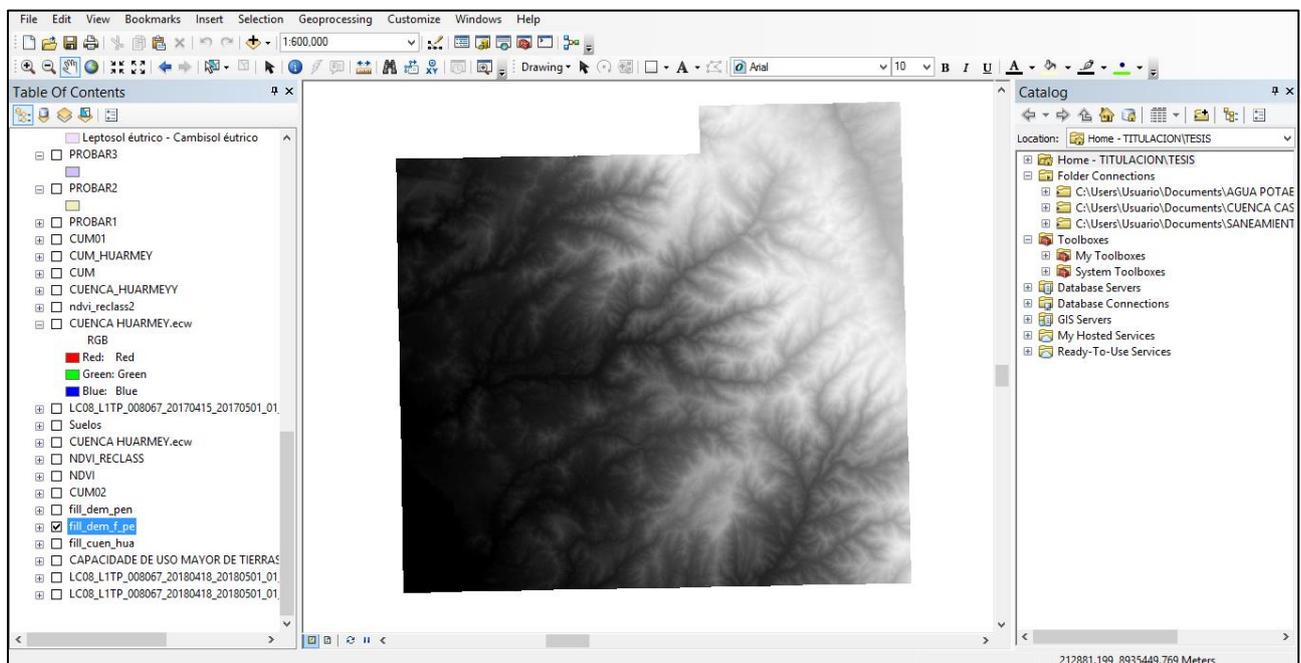


Figura N° 07. Mapa de Delimitación de la Cuenca Huarmey.

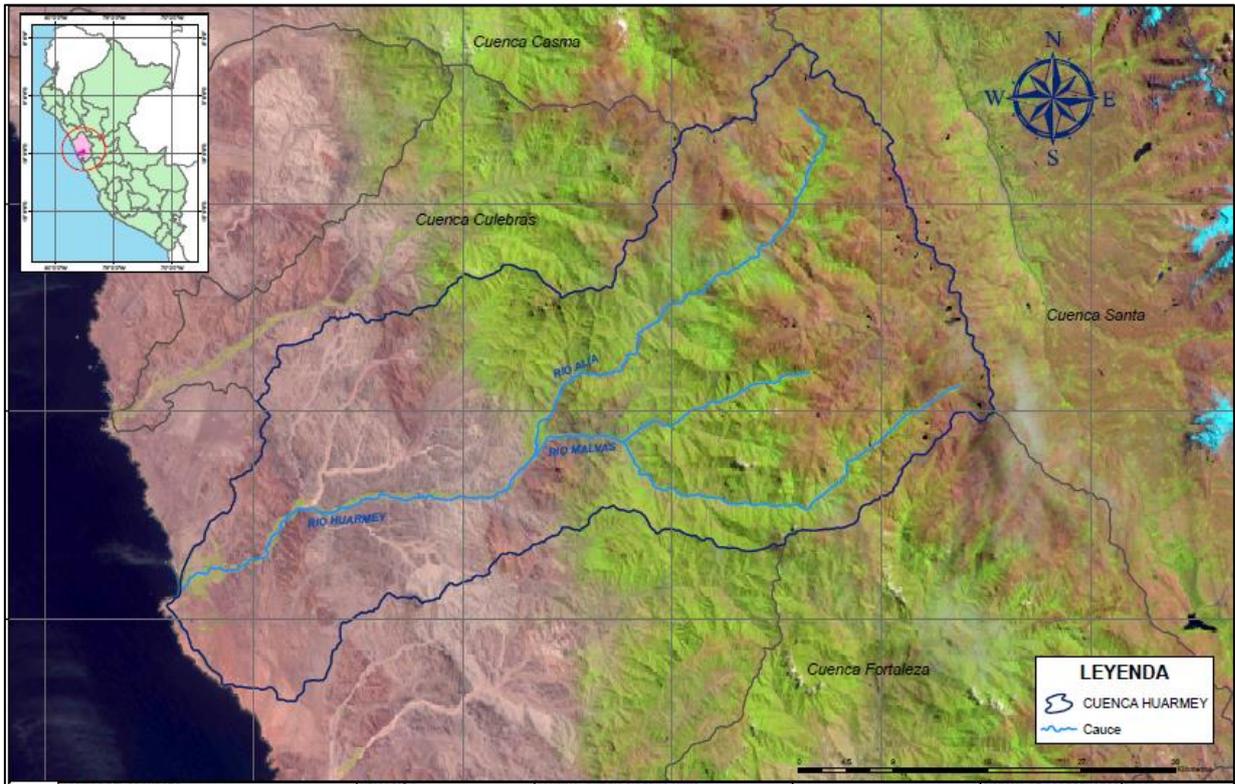


Figura N° 09. Mapa de Delimitación de Subcuencas Huarmey.

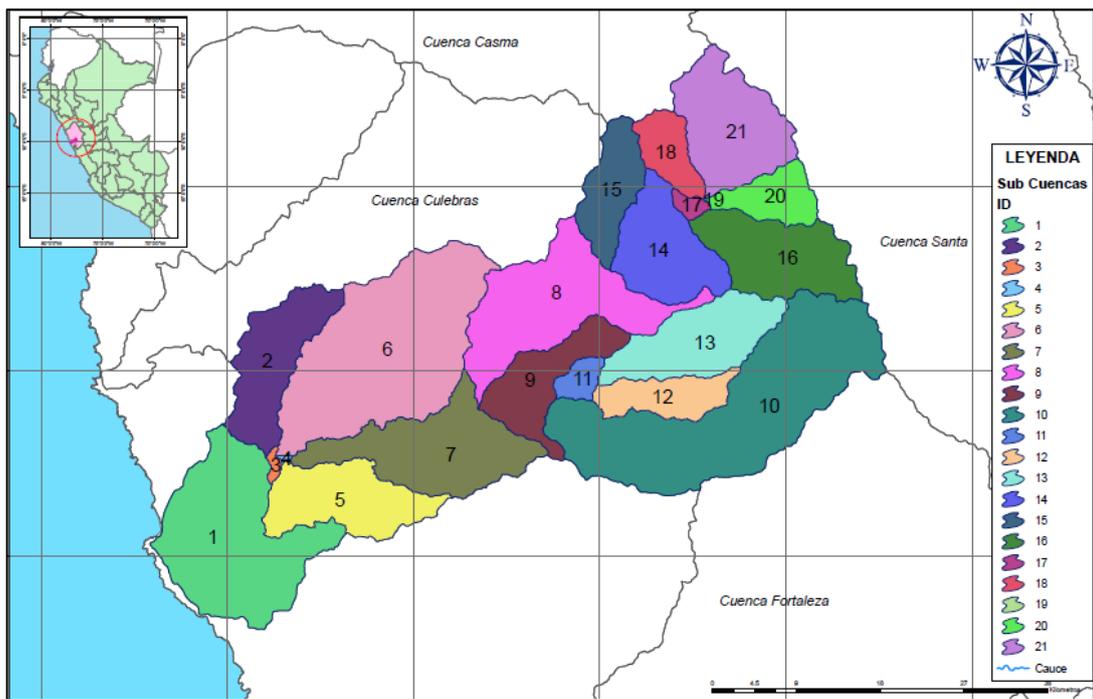


Tabla N° 05. Áreas y perímetros de las subcuencas de Huarney.

<i>SUB CUENCA</i>	<i>AREA</i>	<i>PERIMETRO</i>
1	231.6833	80.2135
2	106.3128	59.2638
3	3.8638	11.4073
4	0.8556	5.58346
5	111.3227	61.0233
6	310.4529	90.5267
7	157.0652	81.5779
8	186.8503	90.4842
9	85.7970	58.2034
10	339.0602	112.108
11	17.2341	18.6302
12	55.6294	42.5595
13	114.7488	55.4965
14	106.8071	48.7781
15	68.3163	42.7748
16	120.9054	57.0898
17	7.8270	12.7767
18	42.3308	31.1508
19	0.1098	1.78185
20	48.4218	34.7389
21	131.0401	53.9952
<i>TOTAL</i>	<i>2246.6346</i>	

Figura N° 09. Mapa de pendiente de la cuenca Huarney.

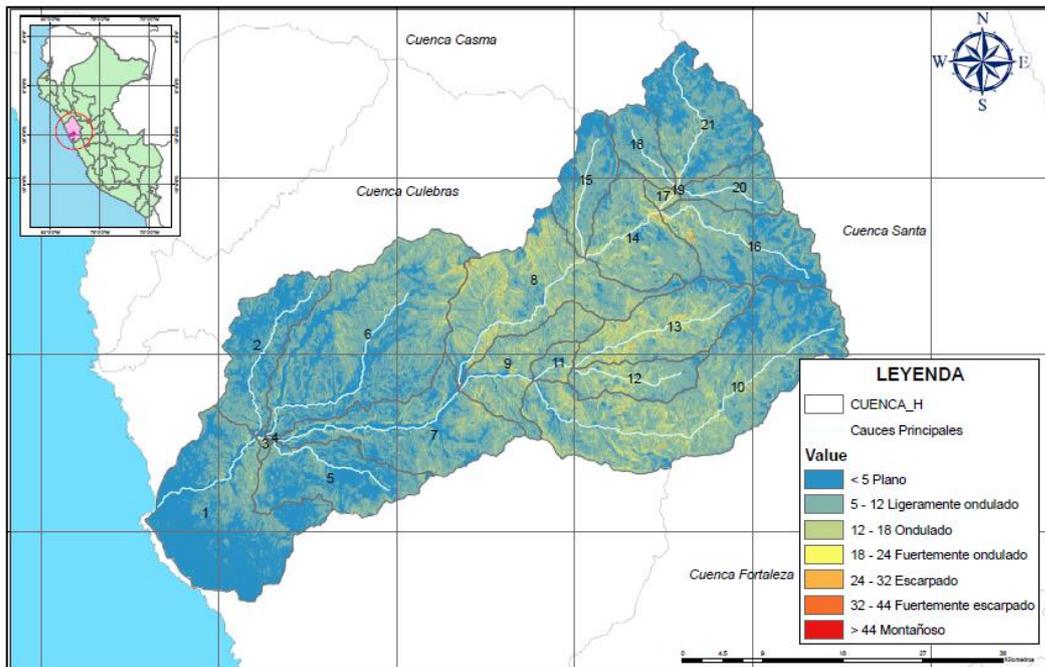


Tabla N° 06. Longitud, pendiente media de las sub cuencas y cauces principales.

<i>SUB CUENCA</i>	<i>AREA</i>	<i>PERIMETRO</i>	<i>PENDIENTE MEDIA CUENCA</i>	<i>LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL</i>	<i>PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL</i>
1	231.6833	80.2135	4.36 %	17.4593	1.00000 %
2	106.3128	59.2638	5.23 %	23.2127	1.00044 %
3	3.8638	11.4073	7.53 %	1.1416	1.00000 %
4	0.8556	5.58346	5.13 %	1.2671	1.00000 %
5	111.3227	61.0233	5.33 %	18.2666	1.00276 %
6	310.4529	90.5267	7.24 %	30.5517	1.00100 %
7	157.0652	81.5779	6.95 %	26.971	1.00000 %
8	186.8503	90.4842	10.52 %	26.3	1.02363 %
9	85.7970	58.2034	9.79 %	10.317	1.00000 %
10	339.0602	112.108	8.64 %	45.4813	1.03463 %
11	17.2341	18.6302	9.86 %	5.5335	1.01937 %
12	55.6294	42.5595	10.07 %	14.4268	1.23997 %
13	114.7488	55.4965	10.67 %	21.2152	1.14727 %
14	106.8071	48.7781	9.37 %	11.6271	1.07366 %
15	68.3163	42.7748	6.84 %	15.1543	1.17820 %
16	120.9054	57.0898	7.34 %	22.7275	1.07319 %
17	7.8270	12.7767	11.54 %	2.9284	1.25649 %
18	42.3308	31.1508	7.24 %	9.5153	1.04175 %
19	0.1098	1.78185	7.54 %	0.2475	1.00000 %
20	48.4218	34.7389	7.57 %	11.2488	1.04228 %
21	131.0401	53.9952	6.08 %	19.4119	1.04128 %

Modelo Hidrológico con HEC-HMS: El modelamiento se realizó con el software HEC-HMS obteniendo así las siguientes gráficas.

Figura N° 10. Mapa de pendiente de la cuenca Huarmey.

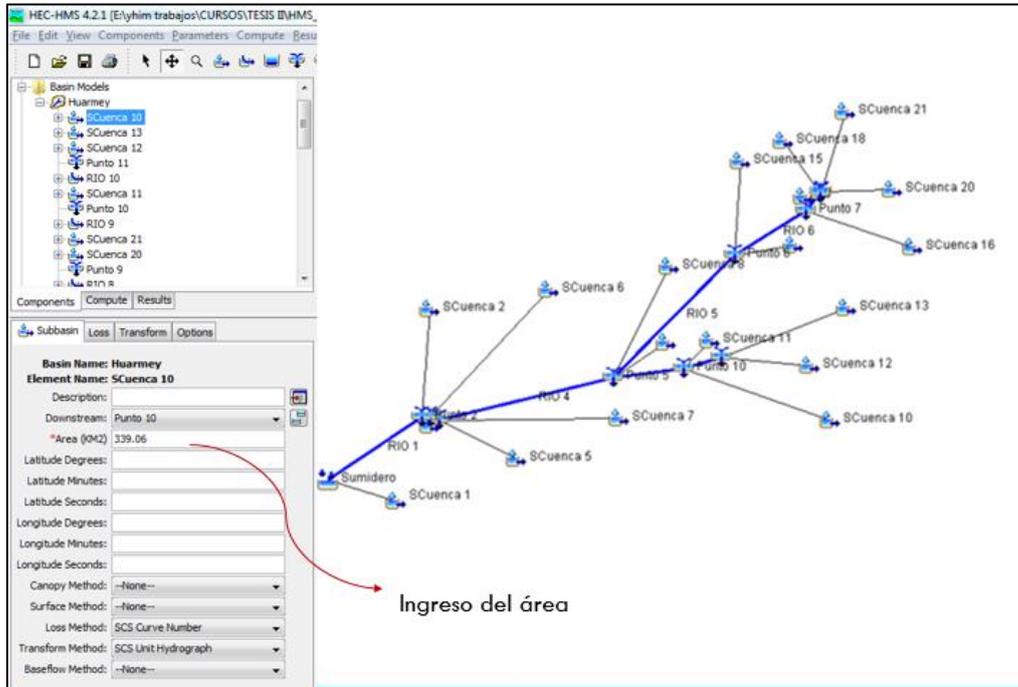


Figura N° 11. Mapa de suelos de la cuenca Huarmey.

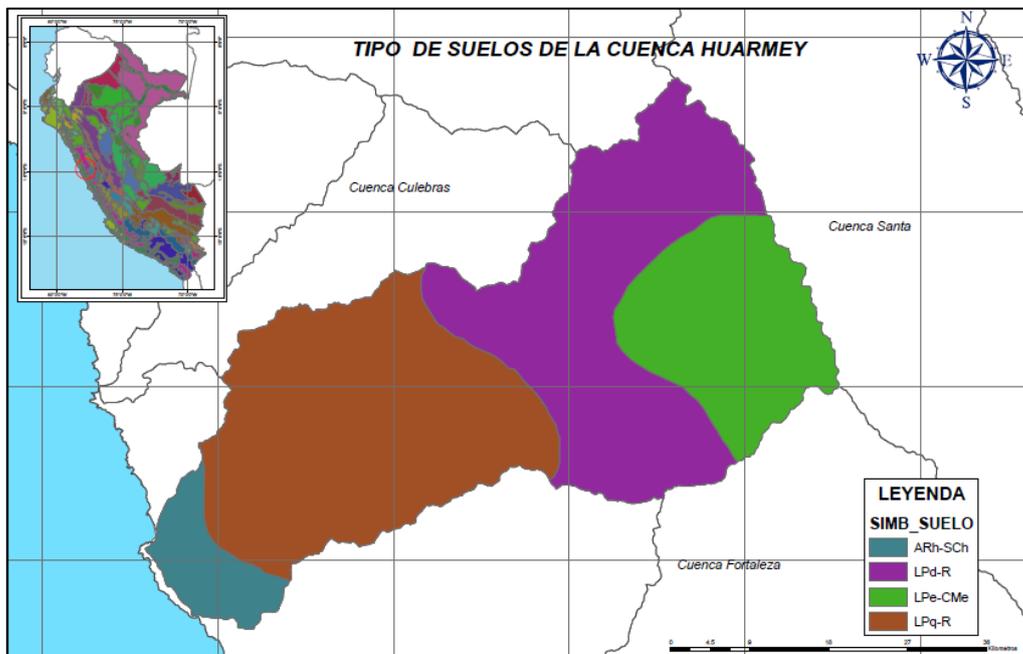


Tabla N° 07. Descripción del tipo de suelo.

SIMB_SUELO	DESCRIP_SU	DESCRIP_PA	Area
LPq-R	Leptosol lítico - Afloramiento lítico	Estribaciones de la vertiente occidental de la cadena montañosa andina	881.79996
LPd-R	Leptosol dístico - Afloramiento lítico	Estribaciones de la vertiente occidental de la cadena montañosa andina	798.114228
LPe-CMe	Leptosol éutrico - Cambisol éutrico	Lomadas, colinas y montañas	433.717105
ARh-SCh	Arenosol háplico - Solonchak háplico	Llanuras marítimas y eólicas	131.359692

Tabla N° 08. Reclasificación del Mapa de suelo.

DESCRIPCION DE SUELOS	SIMBOLOGIA	GRUPO HIDROLOGICO
Acrisol háplico - Alisol háplico - Lixisol háplico	ACh-ALh-LXh	C
Acrisol háplico - Alisol háplico - Luvisol crómico	ACh-ALh-LVx	C
Arenosol háplico - Solonchak háplico	ARh-SCh	A
Cambisol dístico - Acrisol háplico	CMd-ACh	C
Cambisol dístico - Acrisol háplico - Lixisol háplico	CMd-ACh-LXh	C
Cambisol dístico - Alisol háplico	CMd-ALh	C
Cambisol dístico - Nitisol háplico	CMd-NTh	C
Cambisol éutrico - Phaeozem háplico	CMe-PHh	B
Cambisol éutrico - Vertisol éutrico	CMe-VRe	C
Fluvisol éutrico - Gleysol éutrico	FLe-GLe	B
Fluvisol éutrico - Regosol éutrico	FLe-RGe	B
Gleysol dístico - Cambisol dístico	GLd-CMd	B
Gleysol dístico - Histosol fíbrico	GLd-HSf	D
Gleysol dístico - Lixisol háplico - Fluvisol dístico	GLd-LXh-FLd	A
Leptosol dístico - Afloramiento lítico	LPd-R	B
Leptosol dístico - Andosol mbrico - Afloramiento lítico	LPd-ANu-R	B
Leptosol dístico - Andosol vítrico	LPd-ANz	B
Leptosol dístico - Cambisol dístico - Regosol dístico	LPd-CMd-RGd	B
Leptosol dístico - Regosol dístico - Afloramiento lítico	LPd-RGd-R	B
Leptosol éutrico - Afloramiento lítico	LPe-R	B
Leptosol éutrico - Cambisol éutrico	LPe-CMe	C
Leptosol éutrico - Cambisol éutrico - Regosol éutrico	LPe-CMe-RGe	B
Leptosol éutrico - Kastanozem háplico - Afloramiento lítico	LPe-KSh-R	B
Leptosol éutrico - Regosol éutrico - Afloramiento lítico	LPe-RGe-R	B
Leptosol lítico - Afloramiento lítico	LPq-R	B
Lixisol háplico - Gleysol dístico	LXh-GLd	B

Continuación de la Tabla N° 08. Reclasificación del Mapa de suelo.

DESCRIPCION DE SUELOS	SIMBOLOGIA	GRUPO HIDROLOGICO
Luvisol crómico - Cambisol éútrico	LVx-CMe	C
Regosol dístrico - Afloramiento lítico	RGd-R	B
Regosol dístrico - Cambisol dístrico	RGd-CMd	C
Regosol éútrico - Andosol mólico	RGe-ANm	C
Regosol éútrico - Calcisol háplico	RGe-CLh	C
Regosol éútrico - Cambisol éútrico	RGe-CMe	C
Solonchak háplico - Leptosol éútrico	SCh-LPe	A

Fuente: Autoridad Nacional del Agua (ANA).

Figura N° 12. Mapa de cobertura vegetal de la cuenca Huarmey.

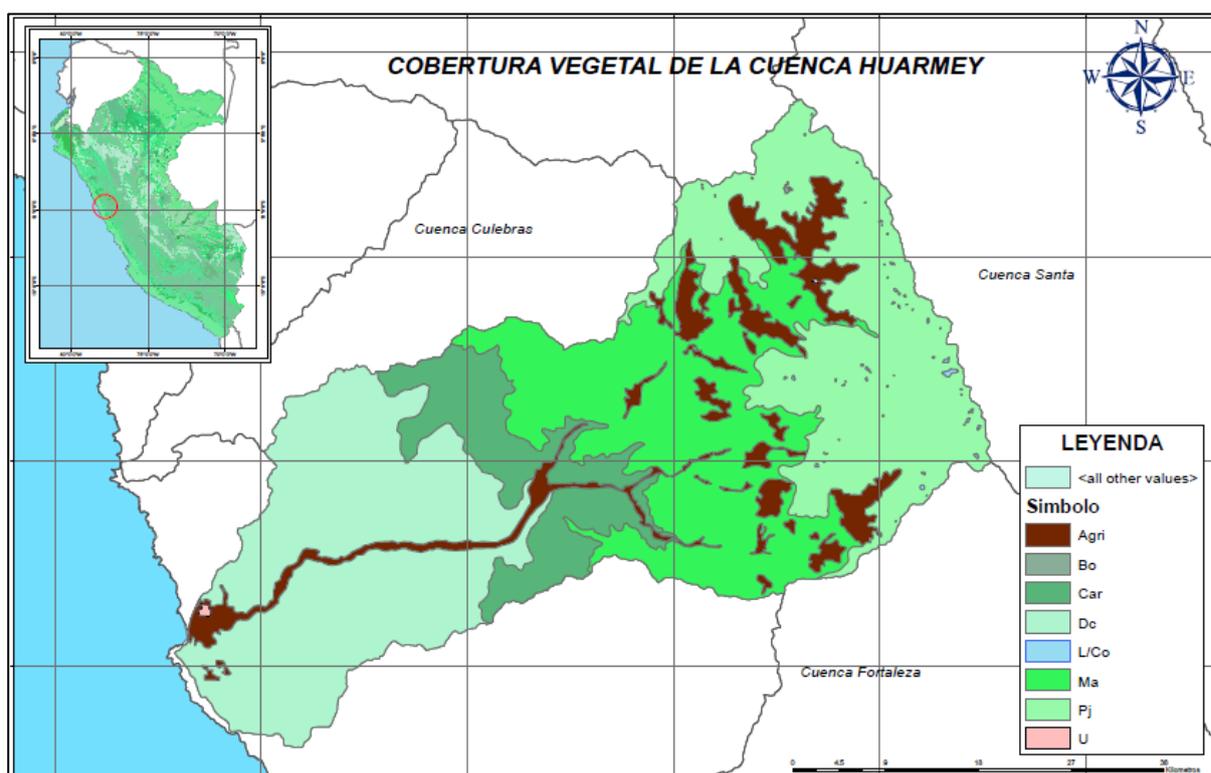


Tabla N° 09. Descripción de tipo de cobertura vegetal.

SIMBOLO	COBERTURA VEGETAL	FISIOGR
Agri	Agricultura costera y andina	Montaña
U	Area urbana	
Bo	Bofedal	Montaña
Car	Cardonal	Montaña
Dc	Desierto costero	
L/Co	Lagunas, lagos y cochas	
Ma	Matorral arbustivo	Montaña
Pj	Pajonal andino	Montaña

Tabla N° 10. Reclasificación del Mapa de cobertura.

DESCRIPCION DE COBERTURAS	RECLASIFICACION
Cuerpos de agua	1
Nevados	2
Centros poblados	3
Cultivos/Áreas intervenidas	4
Matorral arbustivo abierto	5
Pradera en zona de clima frio	6
Sabana de árboles leñosos	7
Sabana hidromorfica	8
Selva lluviosa tropical	9
Selva lluviosa tropical con bambúes	10
Selva temporal de hojas anchas	11
Selva hidrolítica	12
Desierto en zona de clima árido	13

Fuente: Autoridad Nacional del Agua (ANA).

Tabla N° 11. Tabla de CN según descripción Uso de la tierra y Grupo hidrológico.

DESCRIPCION DEL USO DE LA TIERRA	GRUPO HIDROLOGICO			
	A	B	C	D
Tierra Cultivada: Sin tratamiento de conservacion	72	81	88	91
con tratamiento de conservacion	62	71	78	81
Pastizales: Condiciones pobres	68	79	86	89
Condiciones optimas	39	61	74	80
Vegas de rios: Condiciones optimas	30	58	71	78
Bosques: Troncos delgados, cubierta pobre, sin hiervas	45	66	77	83
Cubierta buena	24	55	70	77
Areas abiertas, cespced, parques, campos de golf, cementerios, etc.				
Óptimas condiciones: cubierta de paso en el 75% o mas	39	61	74	80
Condiciones aceptables: cubierta de paseo en el 50 al 75%	49	69	79	84
Areas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial:				
Tamaño promedio del lote				
Porcentaje promedio impermeable				
1/8 acre o menos	65	77	85	90
1/4 acre	38	61	75	83
1/3 acre	30	57	72	81
1/2 acre	25	54	70	80
1 acre	20	51	68	79
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentos con cunetas y alcantarillados	98	98	98	98
Grava	76	85	89	91
Tierra	72	82	87	89

Fuente: Ven te, Chow. Hidrología Aplicada, p154.

Tabla N° 12. Valores de los grupos hidrológicos para nuestro modelo.

DESCRIPCION DEL USO DE LA TIERRA	GRUPO HIDROLOGICO			
	A	B	C	D
Cuerpos de agua	100	100	100	100
Nevados	98	98	98	98
Centros poblados	77	85	90	92
Cultivos/Áreas intervenidas	62	71	78	81
Matorral arbustivo abierto	45	66	77	83
Pradera en zona de clima frio	68	79	86	89
Sabana de árboles leñosos	45	66	77	83
Sabana hidromorfica	25	55	70	77
Selva lluviosa tropical	25	55	70	77
Selva lluviosa tropical con bambúes	25	55	70	77
Selva temporal de hojas anchas	25	55	70	77
Selva hidrolítica	39	61	74	80
Desierto en zona de clima árido	72	81	88	91

Fuente: Autoridad Nacional del Agua (ANA).

Figura N° 13. Mapa Número de Curva – Condiciones Normales.

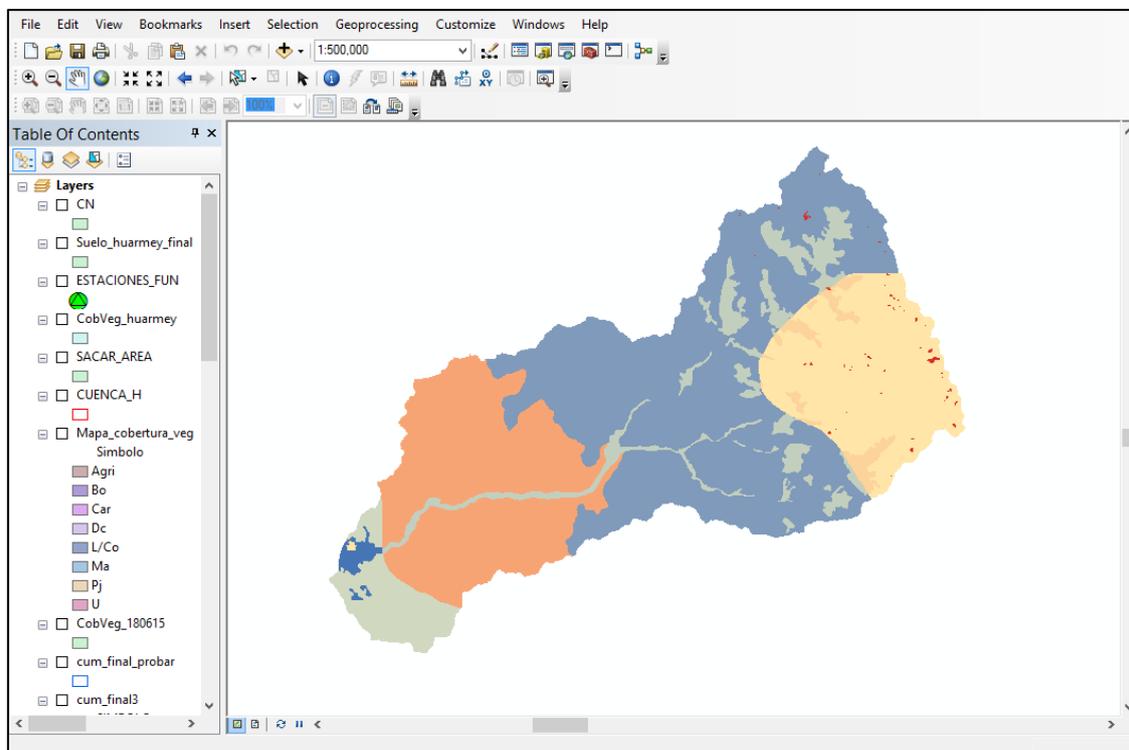


Tabla N° 13. Valores de CN de los grupos hidrológicos para nuestra cuenca

SUB CUENCA	GRUPO HIDROLOG.	USO DE LA TIERRA	AREA	%	CN	CN ponderado
1	A	Agricultura costera y andina	1.08645	0.00469	62	0.29
	A	Agricultura costera y andina	0.855364	0.00369	62	0.23
	A	Agricultura costera y andina	14.308201	0.06174	62	3.83
	B	Agricultura costera y andina	6.257415	0.02700	71	1.92
	A	Area urbana	1.112481	0.00480	77	0.37
	A	Area urbana	0.011481	0.00005	77	0.00
	B	Desierto costero	94.143753	0.40621	81	32.90
	A	Desierto costero	70.965208	0.30620	72	22.05
	A	Desierto costero	43.020508	0.18562	72	13.36
		TOTAL	231.760861	1.00000		74.95
2	B	Agricultura costera y andina	0.289593	0.00272	71	0.19
	B	Cardonal	1.704511	0.01603	66	1.06
	B	Desierto costero	104.339043	0.98125	81	79.48
		TOTAL	106.333147	1.00000		80.73
3	B	Agricultura costera y andina	1.063414	0.27517	71	19.54
	B	Desierto costero	2.550323	0.65992	81	53.45
	B	Desierto costero	0.250847	0.06491	81	5.26
		TOTAL	3.864584	1.00000		78.25
4	B	Agricultura costera y andina	0.494848	0.57826	71	41.06
	B	Desierto costero	0.088602	0.10354	81	8.39
	B	Desierto costero	0.272305	0.31820	81	25.77
		TOTAL	0.855755	1.00000		75.22
5	B	Agricultura costera y andina	0.213642	0.00192	71	0.14
	B	Cardonal	3.902023	0.03505	66	2.31
	B	Desierto costero	107.20171	0.96303	81	78.01
		TOTAL	111.317375	1.00000		80.46
6	B	Agricultura costera y andina	0.234312	0.00075	71	0.05
	B	Cardonal	101.882017	0.32824	66	21.66
	B	Desierto costero	160.811217	0.51809	81	41.97
	B	Matorral arbustivo	47.463381	0.15291	66	10.09
		TOTAL	310.390927	1.00000		73.78
7	B	Agricultura costera y andina	17.036578	0.10851	71	7.70
	B	Cardonal	49.567051	0.31570	66	20.84
	B	Cardonal	6.170059	0.03930	66	2.59
	B	Desierto costero	44.174588	0.28135	81	22.79
	B	Desierto costero	35.448683	0.22578	81	18.29
	B	Matorral arbustivo	4.611031	0.02937	66	1.94
		TOTAL	157.00799	1.00000		74.15
8	B	Agricultura costera y andina	5.115813	0.02740	71	1.95
	B	Agricultura costera y andina	7.056315	0.03779	71	2.68
	B	Agricultura costera y andina	4.183096	0.02241	71	1.59

	B	Agricultura costera y andina	0.233071	0.00125	71	0.09
	B	Agricultura costera y andina	0.394805	0.00211	71	0.15
	B	Cardonal	17.205265	0.09215	66	6.08
	B	Lagunas, lagos y cochas	0.0578	0.00031	100	0.03
	B	Lagunas, lagos y cochas	0.112219	0.00060	100	0.06
	C	Matorral arbustivo	142.987866	0.76586	66	50.55
	B	Pajonal andino	9.356755	0.05012	77	3.86
		TOTAL	186.703005	1.00000		67.04
9	B	Agricultura costera y andina	4.306429	0.05023	71	3.57
	B	Agricultura costera y andina	0.003138	0.00004	71	0.00
	B	Cardonal	23.350673	0.27237	66	17.98
	B	Cardonal	18.177153	0.21202	66	13.99
	B	Desierto costero	0.61246	0.00714	81	0.58
	B	Matorral arbustivo	39.282292	0.45820	66	30.24
			TOTAL	85.732145	1.00000	
10	B	Agricultura costera y andina	1.372894	0.00405	71	0.29
	B	Agricultura costera y andina	6.343231	0.01873	71	1.33
	B	Agricultura costera y andina	0.533121	0.00157	71	0.11
	B	Agricultura costera y andina	2.283252	0.00674	71	0.48
	B	Agricultura costera y andina	1.015154	0.00300	71	0.21
	B	Agricultura costera y andina	0.265223	0.00078	71	0.06
	B	Agricultura costera y andina	19.200604	0.05671	71	4.03
	C	Agricultura costera y andina	4.358102	0.01287	78	1.00
	B	Cardonal	10.018648	0.02959	66	1.95
	B	Cardonal	3.884096	0.01147	66	0.76
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.015051	0.00004	100	0.00
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.010164	0.00003	100	0.00
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.16898	0.00050	100	0.05
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.072885	0.00022	100	0.02
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.138186	0.00041	100	0.04
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.100135	0.00030	100	0.03
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.010356	0.00003	100	0.00
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.115844	0.00034	100	0.03
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.027185	0.00008	100	0.01
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.119697	0.00035	100	0.04
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.01293	0.00004	100	0.00
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.021674	0.00006	100	0.01
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.021713	0.00006	100	0.01
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.010653	0.00003	100	0.00
	B	Matorral arbustivo	131.213582	0.38753	66	25.58
	C	Pajonal andino	157.252632	0.46444	77	35.76
		TOTAL	338.585992	1.00000		71.81
11	B	Agricultura costera y andina	0.00119	0.00007	71	0.00
	B	Agricultura costera y andina	1.701346	0.09881	71	7.02
	B	Cardonal	2.033598	0.11810	66	7.79

	B	Cardonal	2.53962	0.14749	66	9.73
	B	Matorral arbustivo	10.943325	0.63553	66	41.95
		TOTAL	17.219079	1.00000		66.49
12	B	Agricultura costera y andina	0.773599	0.01392	71	0.99
	B	Agricultura costera y andina	8.470307	0.15244	71	10.82
	B	Agricultura costera y andina	0.397207	0.00715	71	0.51
	B	Agricultura costera y andina	0.067227	0.00121	71	0.09
	B	Agricultura costera y andina	0.056291	0.00101	71	0.07
	B	Lagunas, lagos y cochas	0.088732	0.00160	100	0.16
	B	Lagunas, lagos y cochas	0.016771	0.00030	100	0.03
	B	Matorral arbustivo	35.96828	0.64733	66	42.72
	B	Pajonal andino	9.725796	0.17504	66	11.55
		TOTAL	55.56421	1.00000		66.94
13	B	Agricultura costera y andina	1.809523	0.01579	71	1.12
	B	Agricultura costera y andina	5.980394	0.05218	71	3.71
	C	Agricultura costera y andina	3.016831	0.02632	78	2.05
	C	Agricultura costera y andina	0.00063	0.00001	78	0.00
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.017202	0.00015	100	0.02
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.010853	0.00009	100	0.01
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.016399	0.00014	100	0.01
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.031829	0.00028	100	0.03
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.014346	0.00013	100	0.01
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.034426	0.00030	100	0.03
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.009662	0.00008	100	0.01
	C	Matorral arbustivo	27.1102825	0.23656	77	18.22
	B	Matorral arbustivo	27.1102825	0.23656	66	15.61
	C	Pajonal andino	49.43854	0.43140	77	33.22
	TOTAL	114.6012	1.00000		74.04	
14	B	Agricultura costera y andina	3.306817	0.03100	71	2.20
	C	Agricultura costera y andina	1.318694	0.01236	78	0.96
	B	Agricultura costera y andina	17.966148	0.16841	71	11.96
	C	Agricultura costera y andina	5.076017	0.04758	78	3.71
	C	Matorral arbustivo	0.975359	0.00914	77	0.70
	C	Matorral arbustivo	9.293011	0.08711	77	6.71
	B	Matorral arbustivo	40.481093	0.37946	66	25.04
	B	Pajonal andino	14.1321825	0.13247	66	8.74
	C	Pajonal andino	14.1321825	0.13247	77	10.20
		TOTAL	106.681504	1.00000		70.23
15	B	Agricultura costera y andina	2.041901	0.02992	71	2.12
	B	Agricultura costera y andina	12.350611	0.18096	71	12.85
	B	Lagunas, lagos y cochas	0.014169	0.00021	100	0.02
	B	Lagunas, lagos y cochas	0.021705	0.00032	100	0.03
	B	Lagunas, lagos y cochas	0.013421	0.00020	100	0.02
	B	Matorral arbustivo	1.093393	0.01602	66	1.06
	B	Matorral arbustivo	1.185135	0.01736	66	1.15

	B	Matorral arbustivo	9.336033	0.13679	66	9.03
	B	Pajonal andino	42.192325	0.61821	66	40.80
		TOTAL	68.248693	1.00000		67.08
16	C	Agricultura costera y andina	0.772578	0.00640	78	0.50
	C	Agricultura costera y andina	6.950332	0.05758	78	4.49
	C	Area urbana	0.015046	0.00012	90	0.01
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.045075	0.00037	100	0.04
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.012282	0.00010	100	0.01
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.623571	0.00517	100	0.52
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.100596	0.00083	100	0.08
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.048582	0.00040	100	0.04
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.198269	0.00164	100	0.16
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.037713	0.00031	100	0.03
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.013604	0.00011	100	0.01
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.081569	0.00068	100	0.07
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.018797	0.00016	100	0.02
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.050487	0.00042	100	0.04
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.014131	0.00012	100	0.01
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.051107	0.00042	100	0.04
	C	Matorral arbustivo	1.416496	0.01173	77	0.90
	C	Matorral arbustivo	14.071257	0.11657	77	8.98
	C	Pajonal andino	96.193841	0.79687	77	61.36
			TOTAL	120.715333	1.00000	
17	B	Agricultura costera y andina	0.01273	0.00163	71	0.12
	B	Matorral arbustivo	5.621241	0.71910	66	47.46
	B	Pajonal andino	2.183127	0.27928	66	18.43
		TOTAL	7.817098	1.00000		66.01
18	B	Agricultura costera y andina	13.952213	0.32999	71	23.43
	B	Lagunas, lagos y cochas	0.020679	0.00049	100	0.05
	B	Lagunas, lagos y cochas	0.031301	0.00074	100	0.07
	B	Matorral arbustivo	3.416013	0.08079	66	5.33
	B	Pajonal andino	24.860111	0.58798	66	38.81
		TOTAL	42.280317	1.00000		67.69
19	B	Agricultura costera y andina	0.021121	0.19264	71	13.68
	B	Matorral arbustivo	0.088517	0.80736	66	53.29
		TOTAL	0.109638	1.00000		66.96
20	B	Agricultura costera y andina	4.222134	0.08733	71	6.20
	C	Agricultura costera y andina	4.222134	0.08733	78	6.81
	C	Area urbana	0.181891	0.00376	90	0.34
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.040957	0.00085	100	0.08
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.037167	0.00077	100	0.08
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.084788	0.00175	100	0.18
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.0175	0.00036	100	0.04
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.010212	0.00021	100	0.02
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.019226	0.00040	100	0.04

	C	Lagunas, lagos y cochas	0.035171	0.00073	100	0.07
	C	Lagunas, lagos y cochas	0.020077	0.00042	100	0.04
	B	Matorral arbustivo	0.90794	0.01878	66	1.24
	B	Pajonal andino	17.273636	0.35729	66	23.58
	C	Pajonal andino	21.273636	0.44002	77	33.88
		TOTAL	48.346469	1.00000		72.60
21	B	Agricultura costera y andina	25.653773	0.19605	71	13.92
	B	Bofedal	0.373812	0.00286	100	0.29
	B	Lagunas, lagos y cochas	0.012909	0.00010	100	0.01
	B	Lagunas, lagos y cochas	0.049906	0.00038	100	0.04
	B	Lagunas, lagos y cochas	0.014207	0.00011	100	0.01
	B	Lagunas, lagos y cochas	0.018211	0.00014	100	0.01
	B	Lagunas, lagos y cochas	0.031378	0.00024	100	0.02
	B	Lagunas, lagos y cochas	0.021775	0.00017	100	0.02
	B	Matorral arbustivo	2.146217	0.01640	66	1.08
	B	Pajonal andino	102.533469	0.78356	66	51.72
			TOTAL	130.855657	1.00000	

Fuente: Elaboración propia del investigador.

Figura N° 14. Ingreso de datos al modelo de la cuenca.

The image shows the HEC-HMS 4.2.1 software interface. On the left, a tree view displays the basin model structure, including subbasins (SCuenca 10, 13, 12, 11, 21, 20, 9), points (Punto 11, 10, 9, 10, 9, 11, 9, 9), and rivers (RIO 10, 9, 9, 10, 9, 10, 9). The 'SCuenca 20' element is selected. Below the tree, the 'Basin Name: Huarmey' and 'Element Name: SCuenca 20' are displayed. The 'Initial Abstraction (MM)' is set to 14.88. The 'Curve Number' is set to 77.35, and the 'Impervious (%)' is set to 0.0. A red arrow points from the 'Curve Number' field to the basin model diagram on the right, which shows a network of subbasins (SCuenca 1-21) and rivers (RIO 1-5) connected to a 'Sumidero' (outlet). The text 'Ingresamos datos' is overlaid on the diagram.

Tabla N° 14. Valores de C N de los grupos hidrológicos para nuestra cuenca.

Descripción	Longitud del cauce princ. (m)	Pendiente promedio (m/m)	tc(min)	tc(hr)	Lag Time (MIN)
subcuenca_1	17459.30	0.011	204.88	3.415	122.93
subcuenca_2	23212.70	0.013	237.30	3.96	142.38
subcuenca_3	1141.60	0.015	21.92	0.37	13.15
subcuenca_4	1267.10	0.010	28.09	0.47	16.85
subcuenca_5	18266.60	0.015	189.28	3.15	113.57
subcuenca_6	30551.70	0.016	274.71	4.58	164.82
subcuenca_7	26971.00	0.014	263.15	4.39	157.89
subcuenca_8	26300.00	0.025	203.75	3.40	122.25
subcuenca_9	10317.00	0.018	113.72	1.90	68.23
subcuenca_10	45481.30	0.028	299.29	4.99	179.57
subcuenca_11	5533.50	0.022	64.03	1.07	38.42
subcuenca_12	14426.80	0.034	113.87	1.90	68.32
subcuenca_13	21215.20	0.032	157.51	2.63	94.50
subcuenca_14	11627.10	0.032	99.44	1.66	59.66
subcuenca_15	15154.30	0.028	127.06	2.12	76.24
subcuenca_16	22727.50	0.027	177.01	2.95	106.21
subcuenca_17	2928.40	0.040	31.48	0.52	18.89
subcuenca_18	9515.30	0.022	97.70	1.63	58.62
subcuenca_19	247.50	0.020	6.12	0.10	3.67
subcuenca_20	11248.80	0.026	104.72	1.75	62.83
subcuenca_21	19411.90	0.023	167.53	2.79	100.52

Figura N° 15. Ingreso de datos al modelo de la cuenca Huarmey.

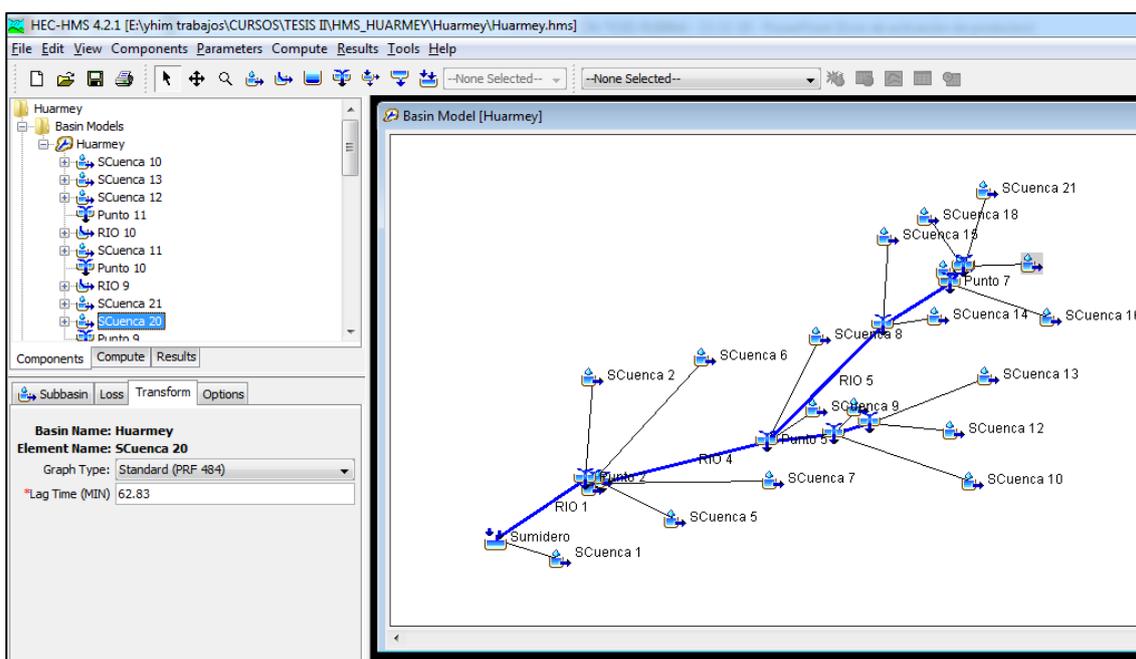


Tabla N° 15. Parámetros por tramos de los rios en la cuenca.

PARAMETROS					
TRAMO	SHAPE	LONG. (m)	S (m/m)	B (m) promedio	MANNING (n)
Rio 1	Trapezoidal	17459.30	0.011	32.00	0.058
Rio 2	Trapezoidal	1141.60	0.015	50.00	0.045
Rio 3	Trapezoidal	1267.10	0.010	46.00	0.075
Rio 4	Trapezoidal	26971.00	0.014	35.50	0.086
Rio 5	Deep	26300.00	0.025	16.50	0.086
Rio 6	Deep	11627.10	0.032	15.00	0.087
Rio 7	Deep	2928.40	0.040	11.00	0.088
Rio 8	Deep	247.50	0.020	9.00	0.086
Rio 9	Deep	10317.00	0.018	15.00	0.086
Rio 10	Deep	5533.50	0.022	12.00	0.085

Figura N° 16. Recolección de datos en campo.



Figura N° 17. Ingreso de parámetros de los ríos.

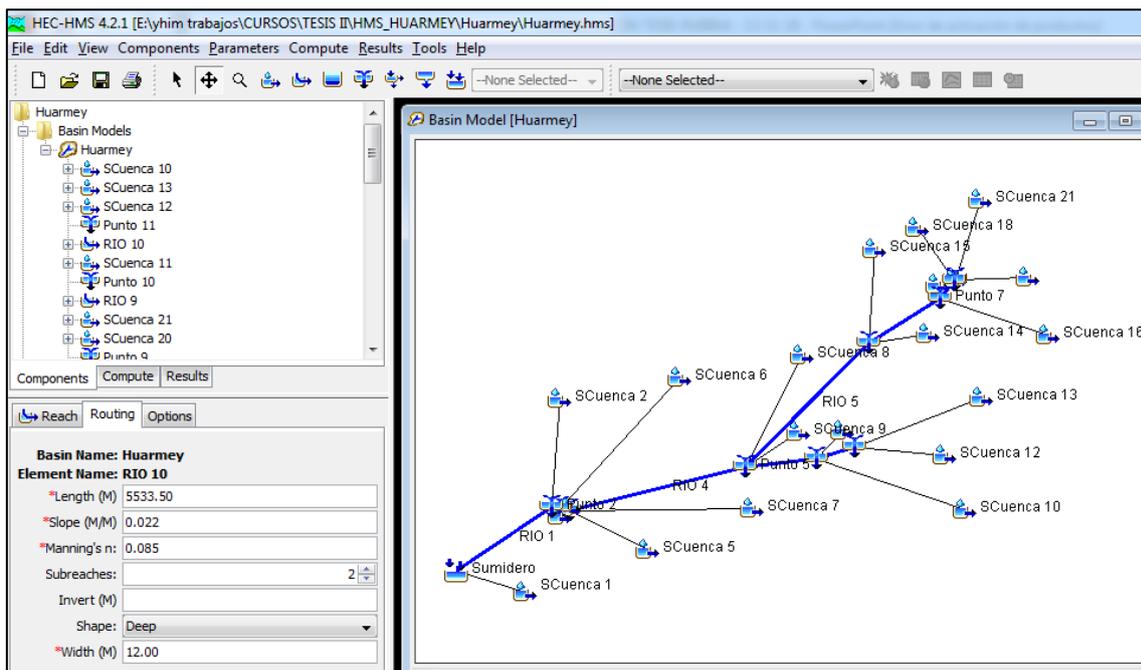


Tabla N° 16. Estaciones meteorológicas de la cuenca Huarmey.

ESTACIONES METEREOLÓGICAS							
NOMBRE	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	TIPO
HUARMEY	ANCASH	HUARMEY	HUARMEY	10° 4' 5.23"	78° 9' 44.35"	8 m	CONVENCIONAL
MALVAS	ANCASH	HUARMEY	MALVAS	9° 55' 38.02"	77° 39' 18.7"	2979 m	CONVENCIONAL
AIJA	ANCASH	AIJA	AIJA	9° 46' 53.92"	77° 36' 24.26"	3508 m	CONVENCIONAL
CAJAMARQUILLA	ANCASH	HUARAZ	LA LIBERTAD	9° 37' 55.36"	77° 44' 28.88"	3286 m	CONVENCIONAL
SHAQUEK	ANCASH	RECUAY	HUAYLLAPAMPA	10° 4' 16.18"	77° 31' 30.14"	2979 m	AUTOMÁTICA
PACHACOTO	ANCASH	RECUAY	CATAC	9° 51' 8.73"	77° 24' 21.86"	3723 m	AUTOMÁTICA
RECUAY	ANCASH	RECUAY	RECUAY	9° 43' 45.1"	77° 27' 13.15"	3431 m	CONVENCIONAL

Figura N° 18. Estaciones meteorológicas en la cuenca.

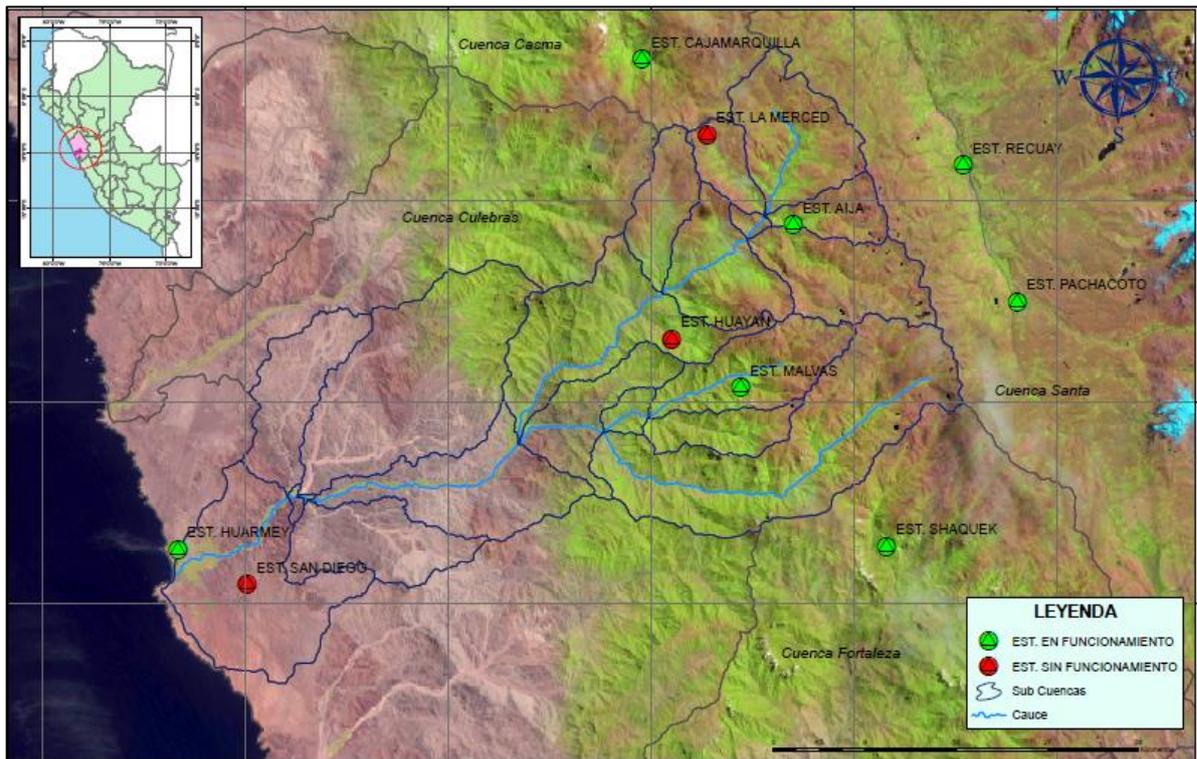


Figura N° 19. Polígono de Thiessen de la cuenca Huarmey.

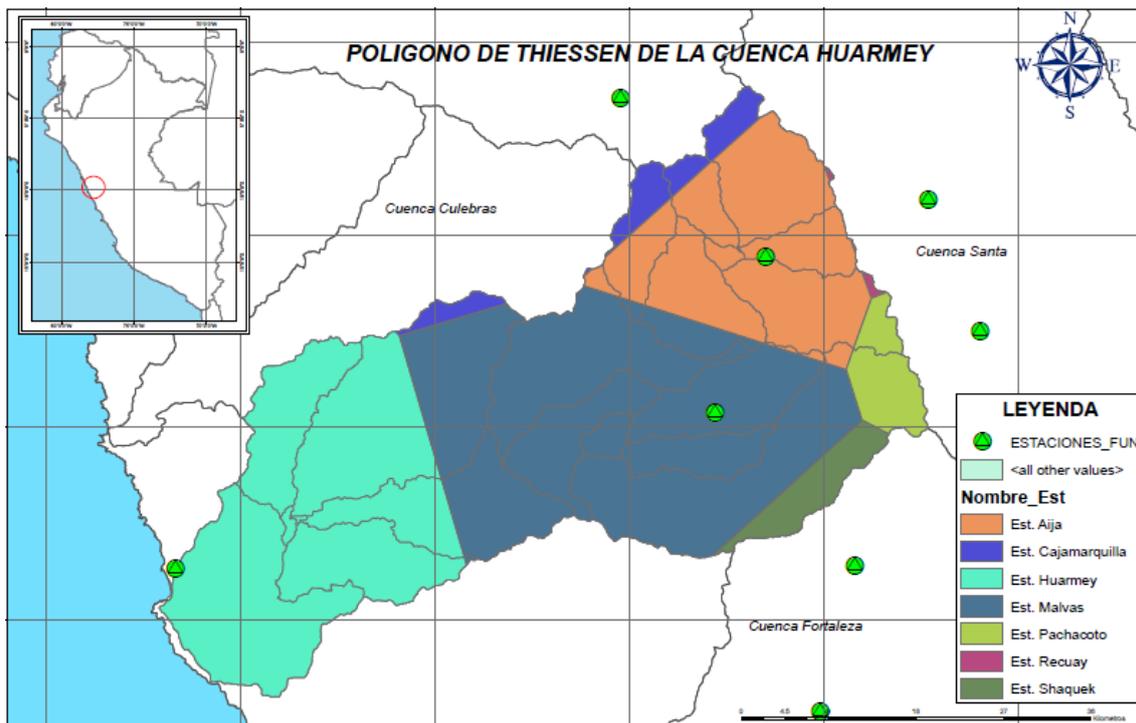


Tabla N° 17. Pesos relativos de las estaciones en las sub cuencas.

SUB_CUENCA	ESTACION	AREA_KM2	AREA TOTAL
subcuenca_1	Est. Huarmey	231.76	231.76
subcuenca_2	Est. Huarmey	106.33	106.33
subcuenca_3	Est. Huarmey	3.86	3.86
subcuenca_4	Est. Huarmey	0.86	0.86
subcuenca_5	Est. Huarmey	110.76	111.32
	Est. Malvas	0.55	
subcuenca_6	Est. Huarmey	170.81	310.39
	Est. Cajamarquilla	17.19	
	Est. Malvas	122.39	
subcuenca_7	Est. Huarmey	66.56	157.01
	Est. Malvas	90.45	
subcuenca_8	Est. Cajamarquilla	0.22	186.70
	Est. Malvas	180.74	
	Est. Aija	5.75	
subcuenca_9	Est. Malvas	85.73	85.73
subcuenca_10	Est. Shaquek	63.71	338.59
	Est. Malvas	215.24	
	Est. Aija	5.68	

	Est. Pachacoto	53.95	
subcuenca_11	Est. Malvas	17.22	17.22
subcuenca_12	Est. Malvas	55.56	55.56
subcuenca_13	Est. Malvas	111.82	114.60
	Est. Aija	2.78	
subcuenca_14	Est. Malvas	30.97	106.68
	Est. Aija	75.71	
subcuenca_15	Est. Cajamarquilla	24.55	68.25
	Est. Malvas	3.27	
	Est. Aija	40.44	
subcuenca_16	Est. Recuay	2.12	120.72
	Est. Aija	99.41	
	Est. Pachacoto	19.19	
subcuenca_17	Est. Aija	7.82	7.82
subcuenca_18	Est. Cajamarquilla	10.38	42.28
	Est. Aija	31.90	
subcuenca_19	Est. Aija	0.11	0.11
subcuenca_20	Est. Recuay	0.20	48.35
	Est. Aija	48.14	
subcuenca_21	Est. Recuay	0.57	130.86
	Est. Cajamarquilla	21.96	
	Est. Aija	108.33	

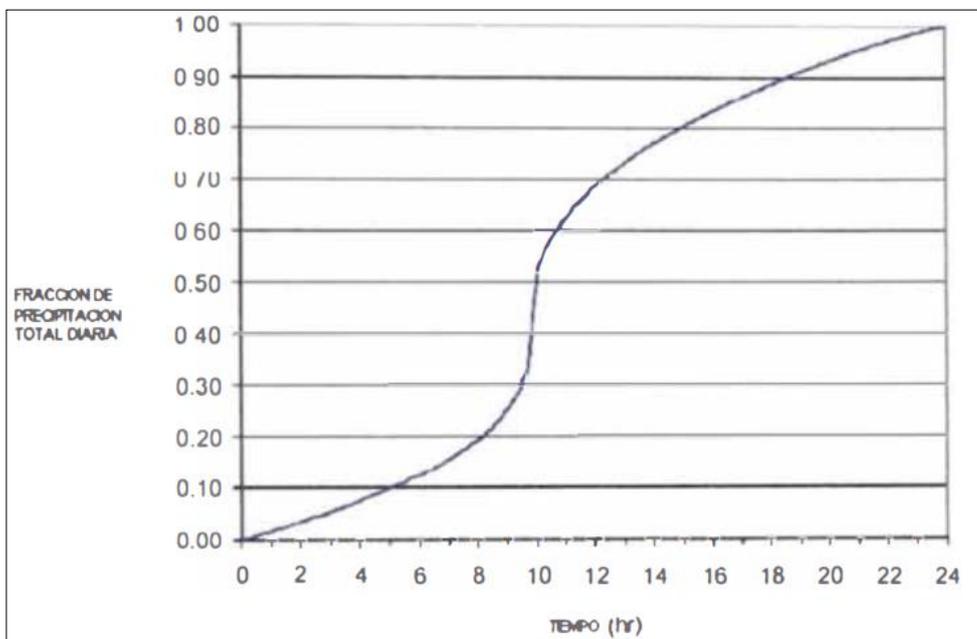
Tabla N° 18. Datos históricos de precipitación del mes de marzo de 2017.

Día/mes/año	E. Malvas	E. Aija	E. Huarmey	E. Shaquek	E. pachacoto	E. Recuay	E. Cajamarquilla
01-mar-17	0.7	0	0	0.2	0	0	20.8
02-mar-17	20.7	0	0	183.4	0	0	14.8
03-mar-17	7.5	0	0	0.7	11.7	11.7	31.2
04-mar-17	10	11.4	0	0.9	1.5	5.9	30.6
05-mar-17	3.8	12.2	0	0.8	6.8	9.2	9.6
06-mar-17	7.4	12.4	0	0.7	4.3	20.2	39.5
07-mar-17	4.2	17.3	0	0.5	13.3	9.6	24.8
08-mar-17	3.4	10.7	0.2	0	14.5	9.4	21.6
09-mar-17	13.6	16.3	0	1	8.6	29.6	14.4
10-mar-17	13.8	20.8	0.5	3.4	17.1	11.5	12.6

11-mar-17	10	8.9	0	2.2	15.7	8.8	21.6
12-mar-17	0.2	2.7	0	1.9	6.2	4.5	34
13-mar-17	19.6	9.5	0	0.4	3.8	5.6	28.8
14-mar-17	28.4	12.5	0.4	0.3	17	14.4	18.4
15-mar-17	31	31.6	0	0.6	9.3	19.4	14.6
16-mar-17	12.2	6.5	0	0.3	25.2	10.9	12.2
17-mar-17	11	0	0	0.3	0.1	0.1	15.4
18-mar-17	17.2	2.7	0	0.5	8.8	11	10.6
19-mar-17	17	1.8	0	0.5	5.6	4.6	21.4
20-mar-17	9.4	6.4	0.3	0.4	2.4	4.6	30.6
21-mar-17	6.5	2.5	0.8	0.5	4.6	15.2	16.2
22-mar-17	14.2	7.8	0	0.6	37.2	2.7	32.8
23-mar-17	16.8	5.3	0	0.2	10.7	9.5	18.2
24-mar-17	4	2.9	0	0.3	6.2	1.8	33
25-mar-17	2.6	3.1	0	0.4	11.4	9.4	12.4
26-mar-17	7.9	6.6	0	0.3	7.3	8.7	18.2
27-mar-17	16.3	3.7	0	0.3	4.1	6.1	28.4
28-mar-17	4	1.7	0	0.3	4.4	0.5	26.4
29-mar-17	0.8	7.8	0	0.3	12.5	12	10.6
30-mar-17	29.1	13.4	0	0.3	25.8	16	12.6
31-mar-17	1.4	12.8	0	0.2	4.4	0	12.6

Fuente: SENAMHI.

Figura N° 20. Curva SCS Tipo I para desagregación de lluvias.



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

Tabla N° 19. Desagregación de precipitación del día 15 de marzo del 2017.

			HUARMEY	MALVAS	AIJA	SHAQUEK	PACHACOTO	RECUAY	CAJAMARQUILLA
		P. total (mm)	0	31	31.6	0.6	9.3	19.4	14.6
Fecha	Hora	FACTOR							
15-mar-17	01:00	0.0170	0	0.527	0.5372	0.0102	0.1581	0.3298	0.2482
15-mar-17	02:00	0.0171	0	0.5301	0.54036	0.01026	0.15903	0.33174	0.24966
15-mar-17	03:00	0.0193	0	0.5983	0.60988	0.01158	0.17949	0.37442	0.28178
15-mar-17	04:00	0.0207	0	0.6417	0.65412	0.01242	0.19251	0.40158	0.30222
15-mar-17	05:00	0.0246	0	0.7626	0.77736	0.01476	0.22878	0.47724	0.35916
15-mar-17	06:00	0.0241	0	0.7471	0.76156	0.01446	0.22413	0.46754	0.35186
15-mar-17	07:00	0.0312	0	0.9672	0.98592	0.01872	0.29016	0.60528	0.45552
15-mar-17	08:00	0.0364	0	1.1284	1.15024	0.02184	0.33852	0.70616	0.53144
15-mar-17	09:00	0.0602	0	1.8662	1.90232	0.03612	0.55986	1.16788	0.87892
15-mar-17	10:00	0.2559	0	7.9329	8.08644	0.15354	2.37987	4.96446	3.73614
15-mar-17	11:00	0.1106	0	3.4286	3.49496	0.06636	1.02858	2.14564	1.61476
15-mar-17	12:00	0.0615	0	1.9065	1.9434	0.0369	0.57195	1.1931	0.8979
15-mar-17	13:00	0.0476	0	1.4756	1.50416	0.02856	0.44268	0.92344	0.69496
15-mar-17	14:00	0.0374	0	1.1594	1.18184	0.02244	0.34782	0.72556	0.54604
15-mar-17	15:00	0.0364	0	1.1284	1.15024	0.02184	0.33852	0.70616	0.53144
15-mar-17	16:00	0.0293	0	0.9083	0.92588	0.01758	0.27249	0.56842	0.42778
15-mar-17	17:00	0.0271	0	0.8401	0.85636	0.01626	0.25203	0.52574	0.39566
15-mar-17	18:00	0.0259	0	0.8029	0.81844	0.01554	0.24087	0.50246	0.37814
15-mar-17	19:00	0.0287	0	0.8897	0.90692	0.01722	0.26691	0.55678	0.41902
15-mar-17	20:00	0.0213	0	0.6603	0.67308	0.01278	0.19809	0.41322	0.31098
15-mar-17	21:00	0.0202	0	0.6262	0.63832	0.01212	0.18786	0.39188	0.29492
15-mar-17	22:00	0.0175	0	0.5425	0.553	0.0105	0.16275	0.3395	0.2555
15-mar-17	23:00	0.0154	0	0.4774	0.48664	0.00924	0.14322	0.29876	0.22484
15-mar-17	00:00	0.0146	0	0.4526	0.46136	0.00876	0.13578	0.28324	0.21316

Figura N° 21. Ingreso de precipitaciones desagregadas en software HEC-HMS.

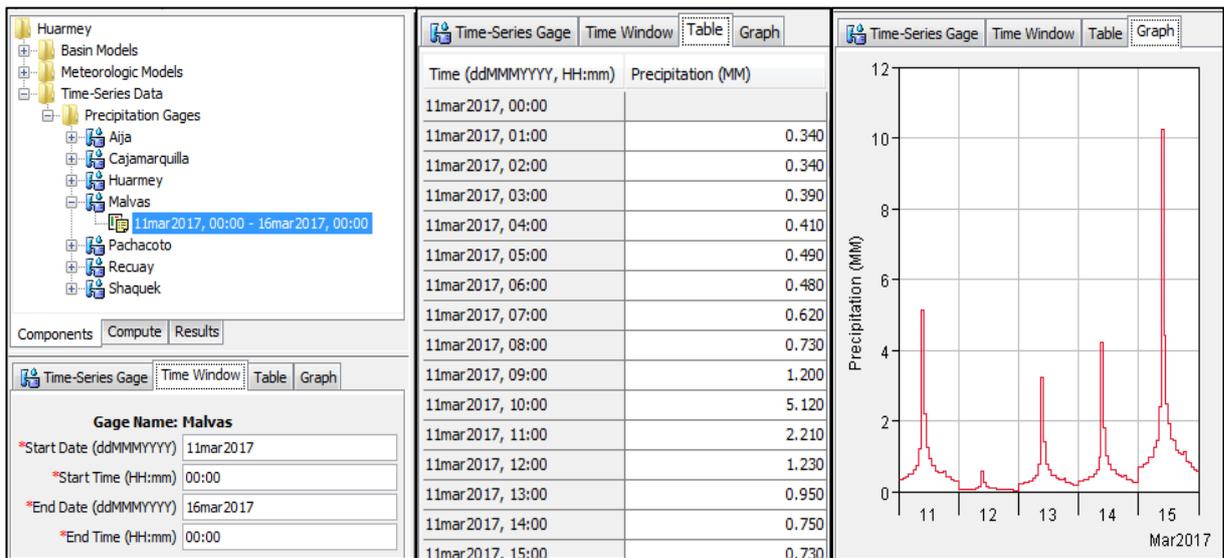


Figura N° 22. Ingreso de las especificaciones de control y simulación del modelamiento.

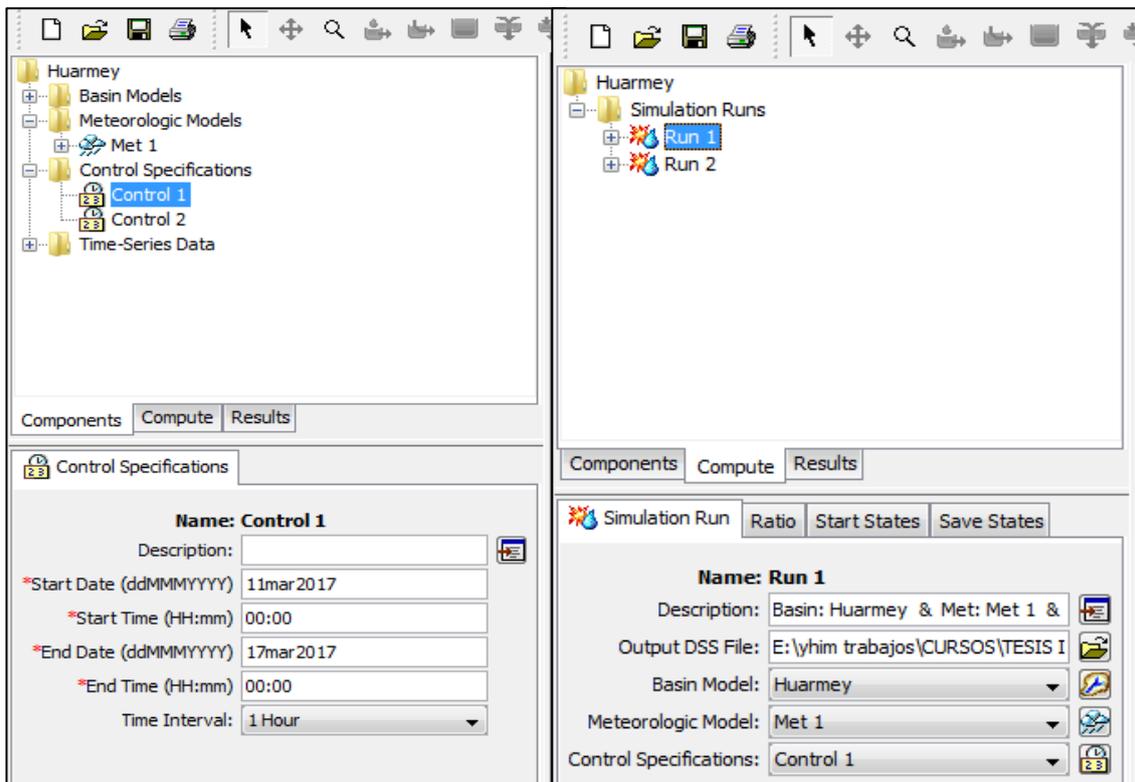
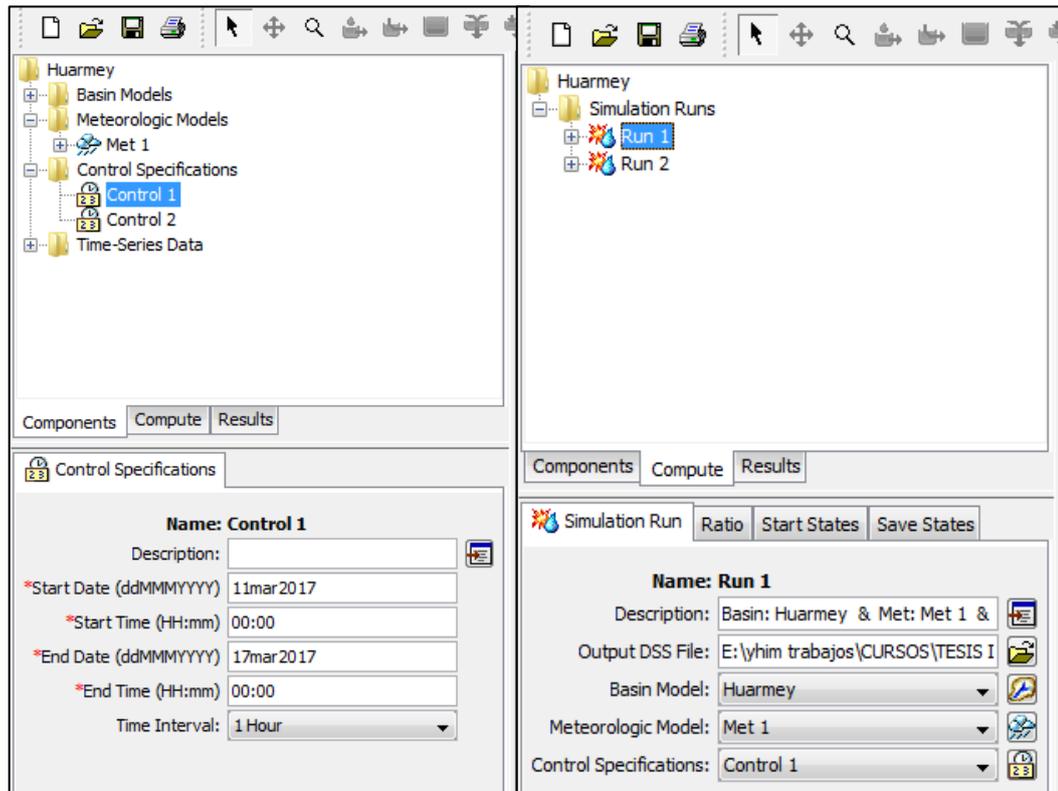


Figura N° 23. Ingreso de las especificaciones de control y simulación del modelamiento.



Resultados de la simulación mediante el software HEC-HMS:

El objetivo del modelamiento es determinar el hidrograma de tormenta producto de una lluvia, con el fin de conocer los caudales pico y el tiempo en el que se producen.

Figura N° 24. Descarga pico del modelamiento hidrológico del Rio Huarmey.

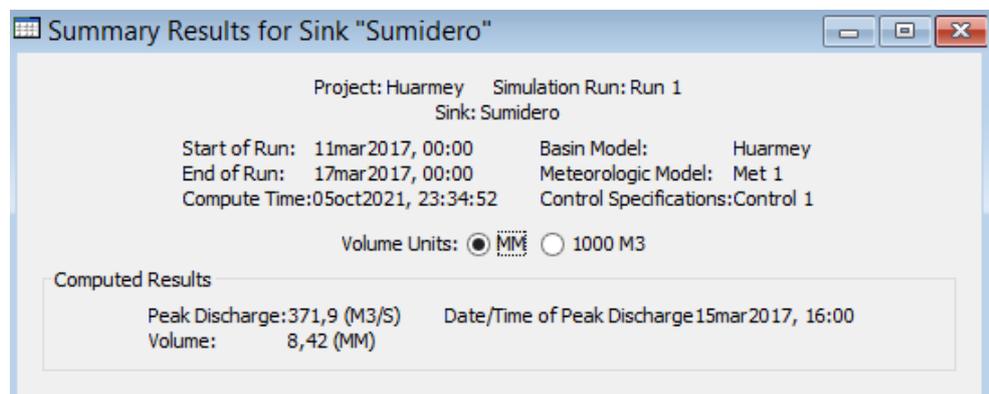
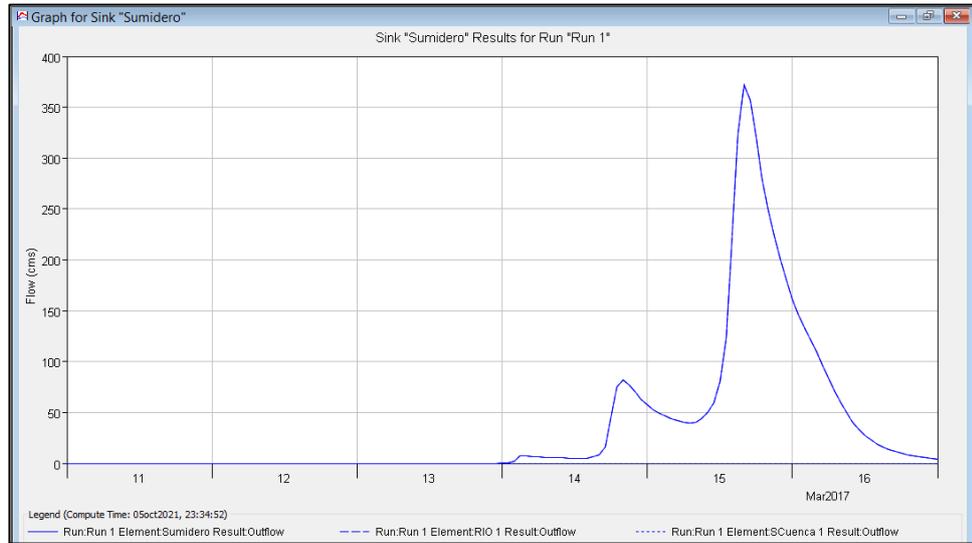


Figura N° 25. Hidrograma de salida en la ciudad de Huarmey.



PROPUESTA DE SISTEMA SCADA DE ALERTA TEMPRANA ANTE INUNDACIONES.

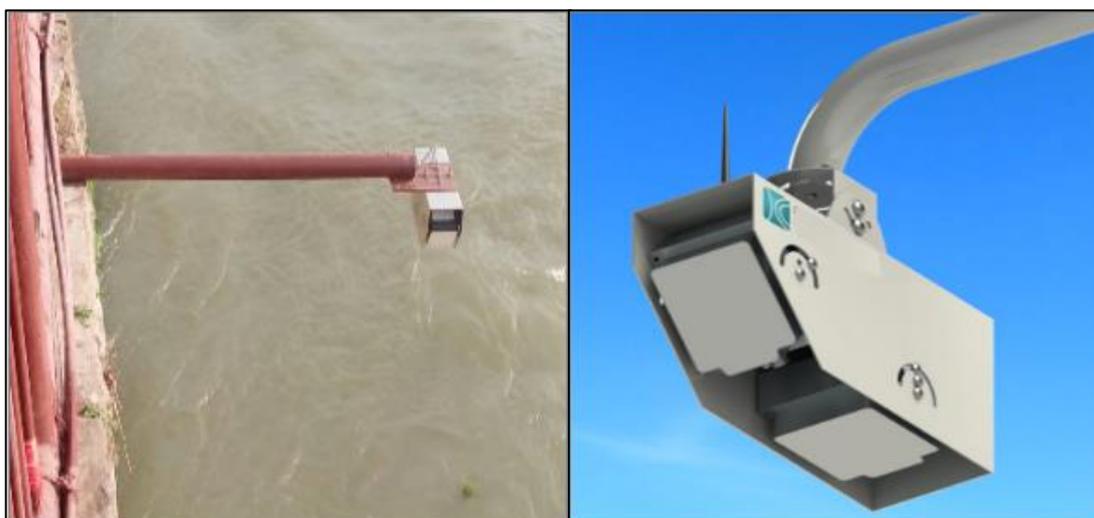
Componentes Del Modelo: El principal componente físico de un sistema de alerta temprana son las estaciones de medición automática ya sean pluviométricas o hidrométricas.

Figura N° 26. El Pluviógrafo automático.



Fuente: Programa integral red de agua (PIRAGUA).

Figura N° 27. Sensor Radar de cálculo de flujo continuo (velocidad y nivel).



Fuente: Peregrine Telemetry.

Presupuesto referencial de instalación:

Tabla N° 20. Presupuesto referencial de instalación.

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	METRADO	COSTO UNITARIO	SUB-TOTAL
1.00	OBRAS PRELIMINARES				
1.01	Movilizacion y desmovilizacion	UND	6.00	300.00	1800.00
1.02	Trazo y replanteo	UND	6.00	100.00	600.00
1.03	Cartel de obra	UND	6.00	40.00	240.00
2.00	INFRAESTRUCTURA				
2.01	Losa de concreto para estacion remota	UND	6.00	1500.00	9000.00
2.02	Cerco de proteccion con malla y puerta	UND	6.00	800.00	4800.00
2.03	preparacion de estacion central	UND	1.00	2000.00	2000.00
2.04	Losa para caseta de grupo electrogeno	UND	1.00	800.00	800.00
3.00	EQUIPAMIENTO				
3.01	Pluviometro automatico	UND	6.00	1997.00	11982.00
3.02	Soporte para pluviometro	UND	6.00	212.00	1272.00
3.03	Panel solar	UND	6.00	1195.00	7170.00
3.04	Equipamiento adicional y transmision	UND	6.00	5247.00	31482.00
3.05	Sistema de proteccion, pararrayos	UND	6.00	100.00	600.00
3.06	Grupo electrogeno	UND	1.00	1400.00	1400.00
3.07	Equipo de aire acondicionado	UND	2.00	600.00	1200.00
3.08	Equipamiento y muebles estacion central	GLB	1.00	1490.00	1490.00
3.09	Equipamiento de computo	GLB	1.00	1800.00	1800.00
3.10	Software	GLB	1.00	2492.00	2492.00
3.11	Montaje	GLB	1.00	926.00	926.00

4.00	VARIOS				
4.01	Stock basico de repuestos	GLB	1.00	1000.00	1000.00
4.02	Herramientas reparacion	GLB	1.00	1500.00	1500.00
4.03	Herramientas mantenimiento	GLB	1.00	1200.00	1200.00
TOTAL COSTO DIRECTO					S/ 84,754.00

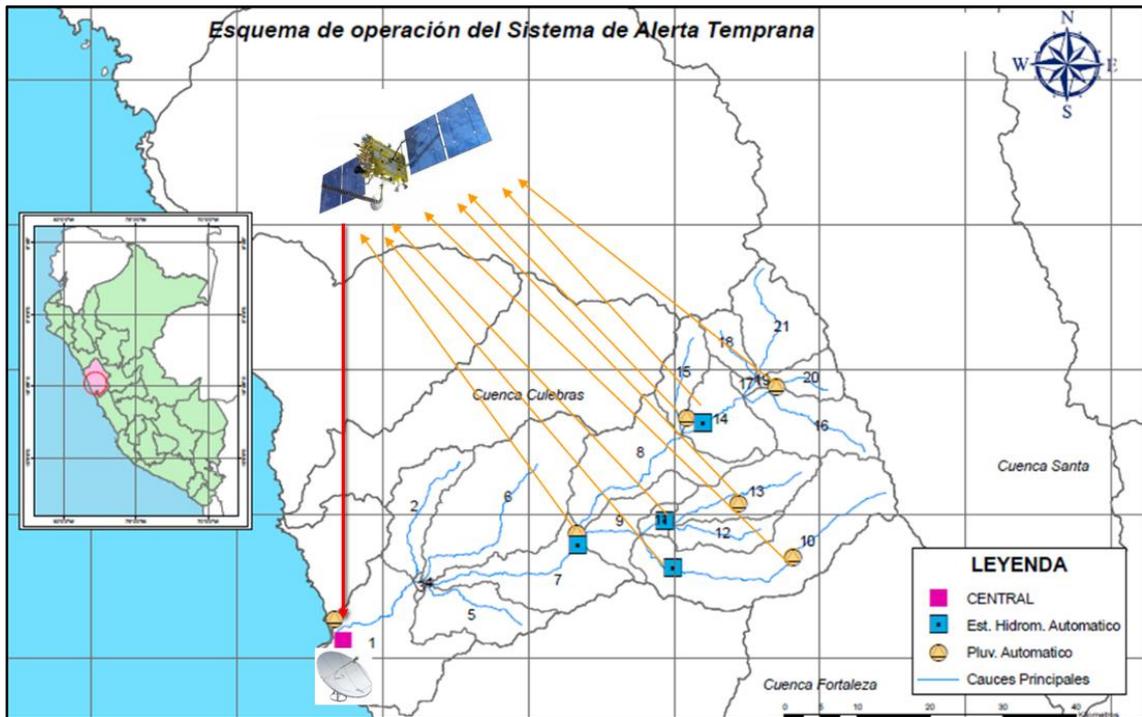
Fuente: Sistema de Alerta Temprana "SIAT"- Experiencia Regional y Local en la Cuenca del río Piura.

Tabla N° 21. Presupuesto referencial de operación anual.

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	METRA DO	COSTO UNITARIO (\$)	SUB-TOTAL (\$)
1.00	LOCAL				
1.01	Alquiler de local para estacion central	mes	12	200.00	2400.00
2.00	PERSONAL				
2.01	Jefe del Sistema de Alerta	mes	12	900.00	10800.00
2.02	Tecnico de Mantenimiento	mes	12	460.00	5520.00
3.00	MANTENIMIENTO DE ESTACIONES				
3.01	Movilidad	mes	12	242.00	2904.00
3.02	Viaticos	mes	12	91.00	1092.00
3.03	Stock adicionales de repuestos	glb	1	1000.00	1000.00
TOTAL					S/ 23,716.00

Fuente: Sistema de Alerta Temprana "SIAT"- Experiencia Regional y Local en la Cuenca del río Piura.

Figura N° 28. Esquema de componentes del Sistema de Alerta Temprana del Rio Huarmey.



ANEXO N° 04: FOTOGRAFIAS DE VISITA A CAMPO

Parte baja del rio huarmey vista aguas abajo (se aprecia la rugosidad del rio)



Parte media baja del rio huarmey vista aguas abajo (se aprecia la rugosidad del rio)



Parte media baja del rio huarmey vista aguas arriba tomando coordenadas UTM con gps garmin



Parte media baja del rio huarmey sacando el ancho promedio del tramo



Puente en el rio Aija para la propuesta de instalación de sensor radar de cálculo de flujo continuo



Estación meteorológica convencional en la ciudad de huarmey



Estación meteorológica convencional en el distrito de Aija



Puente en el rio Aija en Huamba Alta para la propuesta de instalación de sensor radar de cálculo de flujo continuo



Estación meteorológica convencional en el distrito de Malvas



Yo, Mg. Ing. Luis Alberto Segura Terrones, docente de la Facultad de Ingeniería y Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad César Vallejo Campus San Juan de Lurigancho revisor de la tesis titulada:
“Sistema de Alerta Temprana ante inundaciones, caso: Cuenca del río Huarmey, 2021”, de los estudiantes:

MILLA VILLAFANA, VÍCTOR ENRIQUE
RUBINA MORENO, JOSÉ YHIM

Constato que la investigación tiene un índice de similitud de 23% verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin.

El/la suscrito (a) analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

Lugar y fecha: San Juan de Lurigancho, 23-11-21

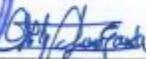


.....

Firma

Mg. Ing. Luis Alberto Segura Terrones

DNI: 45003769

					
Elabora	Dirección de Investigación	Revisó	Responsable del SGC	CÓDIGO	Vicerectorado de Investigación