



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL**

“ZONAS VULNERABLES A INUNDACIONES
MEDIANTE LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA E
HIDRÁULICA EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO
CHICAMA, REGIÓN LA LIBERTAD 2022”

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autores:

Luis Alberto Melendez Catalan

Luis Fernando Sanchez Fernandez

Asesor:

Mg. Lic. Liana Ysabel Cardenas Gutierrez

<https://orcid.org/0000-0002-9822-7638>

Trujillo - Perú

2023

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	ELVAR RENATO MIÑANO MERA
	Nombre y Apellidos

Jurado 2	MAGDA ROSA VELASQUEZ MARIN
	Nombre y Apellidos

Jurado 3	LIANA YSABEL CARDENAS GUTIERREZ
	Nombre y Apellidos

INFORME DE SIMILITUD

TESIS Melendez - Sanchez

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%	%	10%	11%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	UMBRELLA ECOCONSULTING S.A.C.. "ITS Modificación de Componentes Auxiliares de la Central Hidroeléctrica de Yarucaya-IGA0007220", R.D. N° 008-2017-GRL-GRDE-DREM, 2021	3%
	Publicación	
2	Submitted to Universidad Privada del Norte	2%
	Trabajo del estudiante	
3	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez	<1%
	Trabajo del estudiante	
4	Submitted to Universidad Cesar Vallejo	<1%
	Trabajo del estudiante	
5	Submitted to Universidad San Ignacio de Loyola	<1%
	Trabajo del estudiante	
6	Submitted to Pontificia Universidad Católica del Perú	<1%
	Trabajo del estudiante	

DEDICATORIA

A Dios quien forjo mi camino y por brindarme fuerzas para no desistir ante las adversidades; a Mi familia, en especial a mi madre y hermano mayor, por la comprensión, confianza y amor que me brindaron en este proceso; y a todas las personas cercanas que me apoyaron directa e indirectamente.

Att. Meléndez Catalán Luis

Con amor y gratitud, dedico esta tesis a Dios, mi principal inspiración y fuente de fuerza. A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio, que me han permitido llegar hasta aquí. Y a todas las personas que me han apoyado en este proceso, haciendo que su desarrollo sea posible.

Att. Sánchez Fernández Luis

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por estar siempre iluminarme y bendecirme; a mi familia por su apoyo y esfuerzo. Mg. Lic. Liana Ysabel Cardenas Gutierrez, por su apoyo y asesoramiento en el desarrollo del presente trabajo.

A todos los docentes de la Universidad Privada del Norte por brindarme conocimientos, principios y valores durante mi formación académica.

Att. Meléndez Catalán Luis

Con profunda gratitud, dedico esta tesis a Dios, quien me ha guiado y apoyado en mi camino. A mi familia, por su amor, fortaleza y apoyo constante, que me han permitido llegar hasta aquí.

A mi asesor de tesis, Mg. Lic. Liana Ysabel Cardenas Gutierrez, por su dirección y apoyo en el desarrollo de esta investigación. A los docentes jurados, por su sabiduría y experiencia, que me ayudaron a superar los desafíos de este trabajo.

Att. Sánchez Fernández Luis

TABLA DE CONTENIDO

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE ECUACIONES	10
RESUMEN	11
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	27
CAPÍTULO III: RESULTADOS	48
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	71
REFERENCIAS	76
ANEXOS	88

Índice de tablas

Tabla 1. Instituciones confiables de información ráster y vectoriales.....	30
Tabla 2. Formas geométricas en base a rangos del índice de Gravelius	32
Tabla 3. Fases por pendientes para clasificación de suelos de ONERN*.	36
Tabla 4. Grupo hidrológico según descripción del suelo.	37
Tabla 5. Reclasificación de la cobertura y uso.	38
Tabla 6. Reclasificación para el factor de escombros DF.	46
Tabla 7. Reclasificación para determinar el tipo de peligrosidad.....	47
Tabla 8. Caracterización de forma y drenaje de la cuenca y subcuencas de Chicama	53
Tabla 9. Resumen de la modelación hidrológica en la cuenca baja del río Chicama.....	66

Índice de figuras

Figura 1. Diagrama de un diseño descriptivo comparativo	28
Figura 2. Efecto de la forma para eventos máximos de precipitación en una cuenca.	33
Figura 3. Tabla de ingreso de clasificación de para el número de curvas.	40
Figura 4. Estructura de ingreso al programa HEC4.....	42
Figura 5. Procedimiento de las precipitaciones para PR mediante HIDROESTA 2.....	43
Figura 6. Mapas de identificación del área de estudio.	48
Figura 7. Mapa de vulnerabilidad en la cuenca baja del río Chicama para PR de 5 años... 49	
Figura 8. Mapa de vulnerabilidad en la cuenca baja del río Chicama para un PR de 10 años.	50
Figura 9. Mapa de vulnerabilidad en la cuenca baja del río Chicama para un PR de 20 años.	50
Figura 10. Mapa de vulnerabilidad en la cuenca baja del río Chicama para un PR de 50 años.	51
Figura 11. Mapa de vulnerabilidad en la cuenca baja del río Chicama para un PR 100 años.	51
Figura 12. Delimitación y ubicación de la cuenca y subcuencas del río Chicama.....	52
Figura 13. Mapa topográfico de la cuenca del río Chicama.....	54
Figura 14. Red de drenaje de la cuenca del río Chicama.	55
Figura 15. Numero de curvas de la cuenca del río Chicama.	56
Figura 16. Tipo de suelos de la Cuenca del río Chicama	58
Figura 17. Cobertura Vegetal de la Cuenca del río Chicama.	59
Figura 18. Histograma histórico de la estación ficticia Chicama.....	60
Figura 19. Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov - Smirnov.	61

Figura 20. Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia de la estación Ficticia de los PR...	62
Figura 21. Hietogramas de precipitación para un diseño de 5 años.	63
Figura 22. Hietogramas de precipitación para un diseño de 10 años.	63
Figura 23. Hietogramas de precipitación para un diseño de 20 años.	64
Figura 24. Hietogramas de precipitación para un diseño de 50 años.	64
Figura 25. Hietogramas de precipitación para un diseño de 100 años.	65
Figura 26. Diseño hidrológico base de la cuenca del río Chicama.....	66
Figura 27. Geometría 2D del diseño hidráulico.	67
Figura 28. Tirantes máximos de inundación en la cuenca baja del río Chicama en los diferentes PR.	68
Figura 29. Velocidades máximas de inundación en la cuenca baja del río Chicama en los diferentes PR.	69
Figura 30. Elevaciones superficiales máximas de inundación en la cuenca baja del río Chicama en los diferentes PR.....	70

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Índice de compacidad K_c	32
Ecuación 2. Factor de forma k_f	33
Ecuación 3. Rectángulo equivalente.....	34
Ecuación 4. Cota de relieve máximo y mínimo.....	34
Ecuación 5. Pendiente uniforme del cauce	35
Ecuación 6. Tiempo de concentración mediante	41
Ecuación 7. Índice de peligrosidad.....	46

RESUMEN

Las inundaciones fluviales, son desbordes anormales del límite superficial de un cauce, ocasionado por fuertes lluvias; sin embargo, la población presente y futura está expuesta a estos desastres, ya que han invadido zonas aledañas a los cauces del río. La Libertad es una de las regiones que más sufre con estos acontecimientos, distritos como Pacasmayo, Chicama, Magdalena de Cao, entre otros; se ven afectados por el desbordamiento del río Chicama. Es por ello que, en el presente estudio se propuso identificar las zonas de inundación aplicando la modelación hidrológica e hidráulica para diferentes períodos de retorno de 5, 10, 20, 50 y 100 años, partiendo desde la recolección de información pluviométrica de las estaciones, complementando de datos faltantes y homogenizando las precipitaciones de 24 horas; además de caracterizar la cuenca hidrográfica. Asimismo, se realizó el modelamiento hidrológico de precipitación-escorrentía utilizando el software HEC-HMS para obtener los hidrogramas y los caudales máximos instantáneos, el modelamiento hidráulico en el software HEC-RAS para la simulación de inundación y la delimitación de las áreas inundables; y finalmente se utilizó la herramienta SIG para realizar los mapas de zonas vulnerables e inundaciones.

PALABRAS CLAVES: Modelación hidrológica e hidráulica, SIG, inundaciones y vulnerabilidad

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1. Realidad problemática

Las cuencas hidrográficas son cruciales para la vida y el equilibrio ecológico, previniendo inundaciones, así como se utiliza en el desarrollo agrícola, rural y en la protección ambiental; asimismo, regula el agua al captar, almacenar y liberar este recurso. Sin embargo; se ve afectado por el crecimiento poblacional, por modificaciones en el uso del suelo, sobreexplotación de recursos y el cambio climático. Estos factores provocan una rápida degradación de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los sistemas acuáticos, lo que a su vez, desencadena inundaciones durante épocas de lluvias intensas. Este fenómeno natural afecta prácticamente a todas las regiones de la Tierra, provocando la pérdida de propiedades, daños a infraestructuras públicas, impactos ambientales negativos y lamentablemente, la pérdida de numerosas vidas humanas. (Chand et al., 2022; Minga-León et al., 2018; Ide et al., 2022; Basri et al., 2022)

Estas amenazas y/o desastres han aumentado en los últimos años. La organización Centro de Investigaciones sobre Epidemiología de los Desastres (2020), menciona que las inundaciones constituyeron el 44 % de las causas de desastres entre 2000 y 2019, lo que afectó a 4000 millones de personas; a su vez, han incrementado un 134 % en comparación con las dos décadas anteriores. Además, la World Meteorological Organization (2021), señala que en el año 2020 las inundaciones incrementaron en un 23 % y las muertes en un 18 % en comparación con el promedio anual (promedio anual 163 eventos al año y 5,233 muerte).

Según el informe State of climate services watre del 2021 indica que, entre 1970 y 2019, el continente asiático registró 3454 desastres relacionados con el tiempo, el agua y el clima; donde las inundaciones representan el 45% (1,554.3 inundaciones), 224,393.06 de muertes y una pérdida económica de US\$ 0.684 trillones. Paralelamente, Europa registró

635.36 inundaciones con 4,783.14 muertes y una pérdida económica de US\$ 209.66 billones, África registró 1,017 inundaciones con 29,269.88 muertes y una pérdida económica de US\$ 13.09 billones, y Américas registró 1124.4 inundaciones con 56,551.08 muertes y una pérdida económica de US\$ 70 trillones.

Es por eso que, tanto China como India han experimentado graves inundaciones en las últimas dos décadas. China ha sido el país más golpeado, con un promedio de 20 inundaciones anuales y un total de 900 millones de personas afectadas. En el caso de India, se ha enfrentado a un promedio de 17 inundaciones anuales que han afectado a 345 millones de personas en total. En cuanto a las pérdidas de vidas humanas relacionadas con las inundaciones, se registraron cifras de alarmas en junio de 2013 en India con 654 muertes, en mayo de 2004 en Haití con 2,665 muertes y en julio de 2010 en Pakistán con 1,985 muertes. (Baofeng, 2023; Manandhar et al., 2023; Rendall, 2023; Ambore et al., 2023; Hamidifar & Nones, 2023)

Si bien es cierto, estos países presentan elevadas pérdidas humanas, pero no son los únicos; en el Perú, hay un incremento significativo. El desastre natural más reciente fue el Fenómeno El Niño del 2017, donde 1.9 millones de personas fueron afectadas. Los departamentos con mayores damnificados fueron: Lambayeque con 52,836, Piura con 33,531, La Libertad con 26,243 y Ancash con 24,623; las cuales fueron declaradas en estado de emergencia. Si nos centramos en La Libertad, encontramos que Ascope, fue uno de sus distritos con mayor afectación presentando lluvias intensas en el verano del 2017, las cuales fueron catalogadas entre “Muy lluvioso” y “Extremadamente Lluvioso” durante “El Niño Costero”, ya que superó los 5,9 mm en un día (percentil 95), llegando a registrar en promedio 34,2 mm por día (UNICEF, 2018; CENEPRED, 2018; SENAMIH, 2022).

Las inundaciones, aunque no son eventos constantes, tienen un impacto significativo en la salud, la sociedad, la economía y el medio ambiente. En términos de salud, las

inundaciones pueden desencadenar la propagación de enfermedades y epidemias. Los impactos sociales incluyen pérdida de vidas, traumas mentales y la interrupción de actividades básicas. En términos económicos, se manifiestan en pérdidas materiales y la interrupción de actividades laborales. En el ámbito ambiental, las inundaciones afectan la agricultura causando sobresaturación, infertilidad y erosión del suelo, dañando los campos de cultivo, y contaminando el agua subterránea, haciéndola inadecuada para el consumo humano. (Raza et al., 2023; Rewah, 2021; Mohammad & Beytullah, 2021)

En este contexto, la modelación desempeña un papel crucial en el estudio de las cuencas hidrográficas y en el análisis de los procesos hidrológicos, ya que ayuda a comprender el alcance y el impacto de las inundaciones mediante la determinación de zonas vulnerables y planificación de zonas peligrosas. Es por ello que, el conocimiento anticipado de las inundaciones pluviales es importante para tomar medidas y estrategias eficaces en gestión de inundaciones y respuesta a los desastres. (Ziya et al., 2022; Arias et al., 2021).

La presente investigación, pertenece a la línea de investigación de desarrollo sostenible y gestión empresarial, así mismo a la sub línea de sistemas integrados de gestión, ya que actualmente el departamento de La Libertad presenta una ineficiente respuesta ante estos peligros naturales más recurrentes y devastadores.

En primer lugar, los antecedentes relacionados en la investigación se presentan en las siguientes líneas. Así como Chagua (2018), en su investigación titulada *Estudio de inundación de la zona correspondiente al distrito de Calango, provincia de Cañete, departamento de Lima, Mediante el uso de los modelos matemáticos HEC-HMS Y HEC-RAS*. Cuyo objetivo fue realizar un análisis hidrológico e hidráulico para obtener mapas de inundación usando los modelos matemáticos HEC-HMS y HEC-RAS, y el Sistema de Información Geográfica ARCGIS. La muestra estuvo compuesta por las zonas de cultivo y vivienda del distrito de Calango; la técnica que se realizó fue el análisis hidrológico e

hidráulico para generar un mapa de inundación. Asimismo, se completaron los datos hidrológicos para el análisis de distribuciones estadísticas y curvas de intensidad para la modelación. Como resultado se encontró que en la modelación hidrológica e hidráulica láminas de inundación en los periodos de 100 y 500 años con caudales de diseño de 409.5 m³/s y 542.58 m³/s respectivamente.

Mattos (2018) en su estudio titulado *Caracterización geomorfológica de las Cuencas Hidrográficas Chicama, Moche y Virú, a nivel de microcuencas, utilizando Software ArcGIS*. Cuyo objetivo fue mostrar una metodología de procesamiento de información para la caracterización geomorfológica de microcuencas. La muestra estuvo compuesta por las cuencas hidrográficas de Chicama, Moche y Virú; la caracterización se llevó a cabo mediante las diferentes herramientas de ArcGIS y el software Global Mapper para el procesamiento de información satelital. Los resultados obtenidos en el sistema Pfafstetter del número de microcuencas fueron de 58, 65 y 61 para Chicama, Moche y Virú, respectivamente. Además, ArcGIS permitió generar mapas temáticos e histogramas de frecuencia de manera rápida en complemento con Microsoft Excel.

Blades y López (2020) en su investigación titulado *Análisis hidrológico e hidráulico del potencial de inundación*. En el cual se propuso determinar la vulnerabilidad de los terrenos y obras civiles próximas en la quebrada El Monte; asimismo el estudio es de tipo cuantitativo, corte transversal y alcance descriptivo. Como resultado se determinó que las zonas con mayor peligro de inundación son: las zonas Cine la Torre y Tarija Tennis Club en un PR de 10 años; la zona Hospital Obrero en 25 años; y la zona Coliseo Universitario, en 50 años. Encontrándose una urgencia de tomar medidas de acción ante estos fenómenos.

Quispe y Valeriano (2018) en su estudio titulado *Modelación hidrológica - hidráulica con las plataformas IRIC, HEC-HMS, HEC-RAS y diseño de los muros de encauzamiento del Río Tambo*. Cuyo objetivo es Realizar la modelación hidrológica-

hidráulica para el diseño de los diques encauzamiento de un tramo del río Tambo. La muestra estuvo compuesta por El río Tambo en la localidad “El Toro”; además se emplearon técnicas como el análisis de distribuciones probabilísticas, distribuciones espaciales y temporales de la precipitación máxima de 24 horas de 19 estaciones pluviométricas. Como resultado se obtuvo que las áreas de cultivo son las que más se inundan con un intervalo de tirantes que varían desde 0.01 m a 4.90 m según el PR aplicado.

Quisbert et al., (2022) en su investigación titulado *Actualización y Análisis de la Información Hidrométrica y Régimen Hidrológico de la Cuenca alta del río Pilcomayo*. Cuyo objetivo es actualizar, analizar y tratar la información medida en estaciones hidrométricas antiguas y nuevas durante el periodo 2005-2017. La muestra está compuesta por la cuenca alta del río Pilcomayo; en el que se utiliza el método de Vector Regional para el análisis de consistencia de los caudales medios anuales y medios mensuales. Como resultado se obtuvo que 15 curvas de descarga debidamente ajustadas y validadas, las cuales permitieron obtener series de caudales instantáneos a partir de las series de cotas instantáneas.

Apaza (2018) en su estudio titulado *Modelamiento Hidrológico del Río Azángaro Tramo: Puente Azángaro – Puente Yaraya, con Aplicación de los Programas ARCGIS y HEC RAS, con Fines de defensas*. Cuyo objetivo es realizar un modelo hidrológico del río Azángaro que permita ubicar los lugares más críticos de riesgo a inundaciones en la población urbana aledaña. La muestra está compuesta por el trayecto entre el puente Azángaro y puente Yaraya; la técnica que se emplea es la recolección de información historia de caudales de las estaciones, levantamiento topografía y modelación unidimensional. Como resultado se obtuvo que es necesario la construcción de defensas ribereñas; ya que es vulnerable a inundaciones en un PR de 100 años con un caudal de 496.82 m³/s

Rodríguez y Alarcón (2021) en su investigación *titulado Estudio hidro morfológico de la cuenca La Mona, El Cady y el riesgo de inundaciones imprevistas*. Cuyo objetivo fue simular el comportamiento hidrológico de la cuenca La Mona. El estudio tiene un enfoque descriptivo-comparativo y la muestra está compuesta por la subcuenca Portoviejo. La técnica utilizada es la recolección de datos y uso de programas como el QGIS y HEC HMS. Como resultado se obtuvo 95.4 m³/s, 107.1 m³/s y 118.7 m³/S de caudales; afirmando que el 25 % de la precipitación caída en las subcuencas es por escorrentía.

Jiménez (2021) en su trabajo de investigación titulada *Modelación hidrológica de la cuenca del Río Santa Bárbara considerando herramientas de geo información*. Tuvo como objetivo representar el fenómeno precipitación - escurrimiento en la cuenca hidrográfica del río Santa Bárbara a través de un modelo hidrológico mediante herramientas de geo información y software HEC-HMS. Se hizo uso de la recopilación de datos de la zona, un modelo digital de elevaciones para la delimitación de la cuenca, generación de la red hídrica y los parámetros geomorfológicos de la cuenca mediante el uso de sistemas de información geográfica y la extensión HEC-GeoHMS. La muestra se enfoca en la cuenca del río santa bárbara. Teniendo como resultados que el modelo hidrológico fute desarrollado a través del software HEC-HMS, en donde para el periodo de retorno de 2 años el caudal fue de 129.7 m³/s, 50 años el caudal fue de 886.6 m³/s y para 100 años 1080.1 m³/s.

Godoy (2022) en su trabajo titulado *Modelización hidrológica e hidráulica para establecer las zonas inundables en la cuenca del río Vizcarra, del área urbana de los distritos de La Unión y Ripán, Huánuco 2021*. Tuvo como objetivo realizar la modelización hidrológica e hidráulica del río Vizcarra. Para ello, se realizó el análisis hidrológico con el tratamiento de las precipitaciones máximas de las estaciones meteorológicas seleccionadas, generando caudales picos de 146.4 m³/s, 165.9 m³/s y 259.6 m³/s; se realizó la simulación hidráulica que generó los parámetros hidráulicos con el modelo numérico bidimensional

IBER, esto permitió la elaboración de los mapas de inundación con el software QGIS. Los resultados observamos aquellos lugares con áreas de inundación para el periodo de retorno de 140 años, donde se encuentran la zona 1 con 0.0288 hectáreas inundables; zona 2, con 0.5527 hectáreas inundables; y con el área con mayor inundación ubicada en la zona 3, un área inundable de 3.1934 hectáreas. Se concluye, que los resultados de la modelización hidrológica e hidráulica nos permitieron identificar aquellas zonas que requieren la presencia de estructuras hidráulicas de encauzamiento a fin de permitir el confinamiento de las inundaciones.

Vásquez (2019) en su trabajo de investigación titulada *Aplicación de sistemas de información geográfica y HEC-RAS para calcular el peligro por inundaciones en la cuenca baja del río Huarmey*. Tuvo como objetivo aplicar los Sistemas de Información Geográfica y HEC-RAS para calcular el peligro por inundaciones en la cuenca del río Huarmey. El presente trabajo aplica los Sistemas de Información Geográfica y HEC-RAS para el cálculo del peligro por inundaciones en la cuenca baja del río Huarmey, y obtener como producto una vista general y un mapa de las posibles áreas inundadas en la cuenca baja del río Huarmey. La muestra se considera la cuenca baja del río Huarmey. Teniendo como resultados, nos muestran que el desborde del río se da casi en su totalidad por la margen derecha en la cuenca baja con un área de 611 hectáreas aproximadamente para el escenario más crítico (periodo de retorno de 500 años), abarcando áreas urbanas y zonas agrícolas de importante valor para las actividades socio-económicas de la zona para periodos de retorno menores, la diferencia no es grande, obteniendo superficies inundadas de 483 hectáreas en el mejor escenario.

Mosquera y Rodríguez (2019) en su trabajo titulado *Modelación hidrológica en la cuenca media del caño vanguardia en Villavicencio*. Tuvo como objetivo determinar el comportamiento de los caudales de un tramo de estudio de la cuenca del Caño Vanguardia.

Se realizó una modelación hidrológica de la cuenca media del Caño Vanguardia usando los software HEC-RAS y HEC-HMS, para esto se situaron 6 puntos a lo largo de la cuenca donde se tomó datos hidrológicos a lo largo de 5 meses, desde el mes de Febrero a Junio, mediante el programa ARCGIS se realizó un análisis de variables como temperatura, tiempo de infiltración y precipitación, Como resultados se pudo observar que la precipitación es de 164,29 mm y esto causa que se genere mayor cantidad de agua entrando al cuerpo hídrico pero pocas perdidas con valores de 129,82 mm. Se concluye que el Caño Vanguardia es una microcuenca que maneja un caudal pico de $2,4 \text{ m}^3 / \text{s}$.

Naotou et al. (2021) en su trabajo titulado *Identificación de zona propensa a inundaciones utilizando HEC-HMS Y HEC-RAS, el caso de la cuenca del río Ciberang, distrito de Lebak de la provincia de Banten*. Tuvo como objetivo identificar áreas propensas a inundaciones a partir de los resultados de simulaciones de la respuesta de las cuencas hídricas ante precipitaciones extremas con varios períodos de retorno utilizando software de modelación hidrológica e hidráulica. Los hidrogramas de inundación de la subcuenca aguas arriba y de cuatro subcuencas aguas abajo se calcularon utilizando el software de modelo de lluvia esorrentía HEC-HMS. A continuación, los hidrogramas de inundación de todas las subcuencas se utilizan para simular rutas de canales hidráulicos de flujo inestable 1-D en el río utilizando el software HEC-RAS. El caudal máximo simulado en la estación de medición del nivel de agua de Ciberang-Sabagi como punto de control aguas abajo es de $211,16 \text{ m}^3/\text{s}$, $291,03 \text{ m}^3/\text{s}$, $343,06 \text{ m}^3/\text{s}$ para los casos de inundación de 2, 5 y 10 años, respectivamente.

Tapra, E. (2018) en su trabajo titulado *Definición de zonas de inundación mediante el modelo de simulación HEC-RAS en la cuenca baja del río Coata – Puno*. Tuvo como objetivo determinar las principales zonas afectadas por inundaciones mediante el modelo de simulación hidráulica HEC-RAS en la cuenca baja del río Coata. Se utilizó el software ArcGIS juntamente con la extensión HEC-GeoRAS para digitalizar el cauce del río, los

bancos y los caminos de flujo del cuerpo de agua, todo ello de acuerdo al Modelo de Elevación Digital (DEM). La muestra se enfocó en la cuenca baja del río Coata Teniendo como resultados que el HEC-RAS permitió hallar las posibles áreas con peligros a desbordes en la cuenca baja del río Coata, estimando así la cantidad de hectáreas de cultivo afectados, de igual modo el área urbana afectada, de las localidades cercanas al cuerpo de agua. Concluyendo que se logró identificar zonas de inundación de la cuenca baja del río Coata para un periodo de retorno en 5 años a un caudal de 428.06 m³ /s.

Rivera, G. (2020) en su trabajo de investigación titulada *Determinación de la superficie de inundación del Río Bogotá en el sector de la Universidad Militar Nueva Granada-sede campus Cajicá*. Tuvo como objetivo determinar las potenciales zonas inundables de la Universidad Militar Nueva Granada Sede Campus Cajicá, a partir de un modelo hidrológico e hidráulico de la cuenca alta del Río Bogotá. Así se realizó un análisis estadístico de probabilidades en el manejo de datos hidrometeorológicos para comprender el escenario de inundación por precipitación extrema para diferentes periodos de retorno, luego se generaron modelos hidrológicos e hidráulicos de las zonas inundables con ayuda del Sistema de Información Geográfica ArcGIS, el cual a su vez se integró con el software de análisis hidráulico HECRAS. Concluyendo que a partir de la modelación hidráulica e hidrológica mediante recursos como ArGis y HEC-RAS se determinaron las potenciales zonas de inundación de la universidad militar nueva granada sede campus Cajicá.

Rojas, J. (2018) En su trabajo de investigación titulada *Modelación hidrológica e hidráulica del río Tirishuanca para identificación de zonas vulnerables a inundaciones en la localidad de molino, distrito de molino, provincia de Pachitea, departamento de Huánuco*. Tuvo como objetivo identificar las zonas y áreas vulnerables a inundaciones a través de la modelación hidrológica e hidráulica del río Tirishuanca del sector comprendido entre el malecón Molino y barrio los Ulcumanos, en la localidad de Molino. El estudio tiene

un enfoque cuantitativo, nivel descriptivo, transversal. La muestra estuvo conformada por los tramos del río Tirishuanca que abarca la localidad de Molino y el barrio los Ulcumanos. Los resultados fueron que las áreas de inundación para períodos de retorno de 10, 25, 50, 100, 200, 500 años fueron de 3241.19 m², 3843.97 m², 4280.93 m², 4663.47 m², 5062.49 m², 5581.70 m². Concluyendo que, para periodos de retorno de 10, 25, 50,100,200 y 500 años el rio Tirishuanca se desbordará causando inundaciones a terrenos de cultivo y viviendas aledañas.

Mendoza, M., Silvera, E. (2022). En su trabajo titulado *Determinación de superficie de inundación del río Chumbao en el distrito de San Jerónimo, mediante el modelo numérico HEC-RAS*. Tuvo como objetivo determinar la superficie de inundación del río Chumbao en el distrito de San Jerónimo, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac. Esto mediante la recolección de datos en campo como la topografía, la caracterización del área delimitada dentro de la cuenca, la determinación del caudal máximo para diferentes periodos de retorno (modelación hidrológica) mediante el programa HEC-HMS a partir de la precipitación máxima 24 horas, obtenidas de diferentes estaciones meteorológicas y finalmente la modelación hidráulica bidimensional con el programa HEC-RAS. El área de inundación determinada es de 172.39 km², siendo su caudal de 216 m³ /s para un período de retorno de 500 años, una superficie de inundación total de 31 ha, con alturas máximas de inundación de hasta 3.87 m. Se concluye que se identificó las zonas que son propensas a inundaciones para un período de retorno 500 años con un caudal de 216 m³ /s.

Duran, J., (2023). En su trabajo de investigación titulada *Modelación hidrológica para un control e Identificación de zonas de riesgo y características hidráulica del rio Chaupihuaranga en el tramo urbano Ambo – Yanahuanca – 2022*. Tuvo como objetivo identificar las zonas de vulnerables mediante una modelación hidrológica por un desborde del rio Chaupihuaranga en el tramo urbano Ambo – Yanahuanca. Teniendo una metodología

con un enfoque de recolección de datos, los datos de precipitación obtenidos del SENAMHI y luego se procede a realizar la estimación para las curvas de IDF y de ello se obtiene el estudio de análisis de vulnerabilidad en la parte social y económica. Los resultados obtenidos para las áreas de inundación para cada periodo de retorno, fueron de 20 años de 948.2 m^2 y de 50 años es de 1309.31 m^2 . Los caudales máximos fueron de $139.53 \text{ m}^3/\text{s}$ para un periodo de retorno de 20 años y $170.15 \text{ m}^3/\text{s}$ para un periodo de retorno de 50 años. Y las precipitaciones del río Chaupihuaranga fueron de fue de 35.85; 41.60; 47.04; 54.02; 59.24 para los periodos de retorno de 5, 10, 20, 50, 100, 500 años respectivamente.

Benique, K.,(2019) en su trabajo titulado *Modelación Hidrológica de la Cuenca baja del río Cuyocuyo; sector Ccolocconi – Puente Santa Rosa, para determinar el potencial Hídrico y Zonas de Riesgo, con la aplicación del Software Hec – Ras*. Tuvo como objetivo, identificar las áreas con riesgo de inundación en el distrito de Cuyocuyo. El cual se realizó el procesamiento de datos con el software Hec-HMS y la simulación de flujo con el software HEC-RAS para determinar el potencial hídrico como es el caudal, velocidad de flujo y tirante hidráulico. Concluyendo que se determinó el potencial hídrico para diferentes períodos de retorno obteniendo los siguientes caudales, velocidad de fujo y tirante hidráulico respectivamente; $4.4 \text{ m}^3/\text{s}$, 2.97 m/s y 1.98 m para un período de retorno de 02 años, $13.4 \text{ m}^3/\text{s}$, 3.16 m/s y 2.49 m para un período de retorno de 05 años, $20.7 \text{ m}^3/\text{s}$, 3.54 m/s y 2.94 m para un período de retorno de 10 años, $30.6 \text{ m}^3/\text{s}$, 3.91 m/s y 3.47 m para un período de retorno de 25 años, $38.0 \text{ m}^3/\text{s}$, 4.11 m/s y 3.63 m para un período de retorno de 50 años, $45.20 \text{ m}^3/\text{s}$, 44.4 m/s y 3.76 m para un período de retorno de 100 años.

Bocanegra, M.(2021) en su trabajo de investigación titulada *Modelación hidrológica e hidráulica del Río Acaponeta, Nayarit, México*. Tuvo como objetivo de estimar las áreas vulnerables a inundaciones en 40 kilómetros de la parte baja del cauce aproximadamente, como producto del hidrograma generado a partir de un modelo hidrológico calibrado hasta

la estación hidrométrica Acaponeta y derivado de una tormenta sintética de 24 horas y precipitación máxima de 5, 20 y 100 años de periodo de retorno. El modelo hidrológico se realizó en HEC-HMS utilizando el método de número de curva del servicio de conservación de suelos (SCS). El modelo se calibró para la avenida máxima del año 2006 y 2013 obteniendo valores de Nash de 0.65 y 0.68 respectivamente. La modelación hidráulica se realizó con el software HEC-RAS calibrando el coeficiente de rugosidad de Manning manualmente mediante una imagen de satélite Sentinel-2. La muestra fue la cuenca del río Acaponeta. Concluyendo que las localidades de nombre Tecuala y San Felipe Aztatán son zonas vulnerables a inundaciones incluso para el hidrograma de 5 años de periodo de retorno derivado de que se ubican topográficamente en una llanura de inundación.

Delgado, D. (2021) en su trabajo de investigación titulada *Modelación hidrológica e hidráulica del río corredor, para la determinación de sitios de inundación en el poblado san rafael y alrededores* tuvo como objetivo, realizar simulaciones hidrológicas e hidráulicas mediante paquetes informáticos HECHMS y HEC-RAS, para determinar posibles zonas de inundación del Río Corredor ruta 2 Interamericana Sur, sección de control 60 001 en las cercanías del poblado San Rafael, distrito Corredor, en el cantón Corredores Provincia Puntarenas. Con la información relevante de las características morfológicas, a partir de la delimitación del área de estudio de la cuenca Corredor, se efectuó un análisis de tormentas con los datos meteorológicos brindados para el periodo 2008-2018. Con el programa HEC-HMS y HECRAC y el análisis de los datos, se obtendrán resultados sobre la condición actual, importante para la modelación hidrológica en HEC-HMS. Concluyendo que se conoció el comportamiento del río actualmente y se establecieron obras de encauzamiento para periodos de retorno de 25, 50 y 100 años, que mitiguen la inundación, esto, por medio de apilamiento del material colocado en ambos márgenes del río, el cual tiene la función de proteger ese margen derecho, la zona que desea encauzarse.

Dicho esto, la teoría que fundamenta esta investigación, basada en las inundaciones pluviales, establece que se producen cuando el agua de lluvia no puede absorberse en el suelo o en los ríos y arroyos. Esto puede deberse a lluvias intensas continuas, que superan la capacidad de drenaje del suelo, o a lluvias moderadas continuas, que saturan el suelo y provocan que el agua se acumule. Otro término es la cuenca hidrográfica, que se describe como un territorio delimitado por una divisoria de aguas, que actúa como la frontera entre las aguas que se dirigen hacia un solo cuerpo de agua y las que fluyen hacia diferentes cursos de agua. Además, las zonas vulnerables, es un área que tiene un mayor riesgo de sufrir daños o pérdidas como resultado de un peligro o amenaza; este riesgo se debe a una combinación de factores físicos y sociales. (Poma, 2020; Ochoa, 2020; Tapara, 2018)

Cabe mencionar que existen términos relacionados, tal como la escorrentía superficial la cual se define como el flujo superficial de agua de lluvia que no puede infiltrarse en el suelo debido a la saturación del mismo o a la presencia de superficies impermeables. Este fenómeno puede provocar una serie de impactos negativos, como inundaciones, erosión y contaminación del agua. Así mismo, el cambio de uso del suelo es la transformación de la cobertura vegetal y el uso de la tierra en una determinada área. Este cambio puede ser causado por factores naturales o antropogénicos, y puede tener un impacto significativo en el medio ambiente y en la sociedad. (Hernández, 2018; Culma, 2021)

Además, un impacto ambiental es cualquier alteración, positiva o negativa, de las propiedades físicas, químicas o biológicas del ambiente, causadas por la actividad humana que, directa o indirectamente, puede afectar el aire, el agua, el suelo, el clima, el paisaje y a los seres vivos. Por otro lado, los modelos hidrológicos son herramientas que simulan el ciclo hidrológico en una cuenca hidrográfica. Estos modelos se basan en las ciencias físicas y matemáticas para predecir el comportamiento del agua en la cuenca, como la escorrentía, la infiltración y el almacenamiento. Además, el modelo hidrodinámico, es un componente

del modelo RMA que se utiliza para simular el flujo de agua en cuerpos de agua naturales que no están estratificados. (Munar, 2021; Nieto, 2022; Buguña, 2019)

Finalmente, esta investigación se justifica en la importancia que radica en estimar las inundaciones teniendo como base los modelos hidrológicos y modelos hidrodinámicos. Primero los resultados obtenidos en la presente tesis poseen un impacto cognitivo basado en el estudio del modelamiento y mapeo de inundación con los programas HEC-RAS, HEC-HMS y ArcGIS para para mejorar la gestión y manejo de la misma, dirigido a la región La Libertad, específicamente en las provincias de Ascope. Segundo presentan un impacto ambiental, beneficiando a la cuenca hidrográfica, puesto que predice las inundaciones evitan impactos significativos y; además, un aspecto social, mejorando la calidad de vida de los las personas que viven del recurso hídrico; por último, un aspecto económico por la no afectación y pérdida de sus bienes y viviendas

2. Formulación del problema

¿Cuáles serían las zonas vulnerables a inundaciones identificadas mediante la modelación hidrológica e hidráulica en la cuenca baja del río Chicama, región La Libertad?

3. Objetivo general

Identificar las zonas vulnerables a inundaciones mediante la modelación hidrológica e hidráulica en la cuenca baja del río Chicama

3.1. Objetivos específicos

Determinar las características de drenaje, físicas y ambientales de la cuenca del río Chicama.

Analizar las precipitaciones en 24 horas de las estaciones meteorológicas de la cuenca del río Chicama.

Determinar los parámetros de inundación en los PR de 5, 10, 25, 50 y 100 años; utilizando los programas HEC-HMS y HEC-RAS en la cuenca baja del río Chicama.

4. Hipótesis

En la presente investigación no se formula una hipótesis por tener enfoque descriptivo. Esto lo afirma Rochelle et al. (2018), donde nos detalla que las tesis descriptivas no siempre utilizan hipótesis, ya que pueden centrarse en describir fenómenos sin hacer conjeturas específicas.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

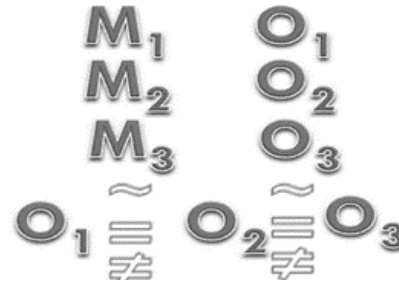
El enfoque considerado para esta investigación es cuantitativo, ya que recolecta y analiza datos para responder las preguntas de investigación. Sobre todo, confía en la medición numérica, el conteo y la estadística para establecer patrones de comportamiento (Vega-Malagón et al., 2014). Esto se debe, a que en la presente investigación se utilizó datos numéricos, que se obtuvieron de fuentes terceras y de los programas empleados; así como, precipitación, tirante (profundidad de inundación), caudal, velocidad del agua y tiempo de concentración.

Así mismo, es de tipo básico, por lo que se centra en la comprensión de un fenómeno. (Pérez 2023). Además, es de tipo ambispectivo porque se realiza retrospectivamente, mientras que el desenlace de interés es evaluado prospectivamente; y presenta un corte de tipo longitudinal puesto que recaban datos en diferentes puntos del tiempo, para hacer inferencias respecto al cambio, sus determinantes y consecuencias (Quispe et al., 2018; Hernández et al., 2014).

Este estudio encuadra dentro del tipo no experimental, debido a que no se manipulan las variables ni se tiene un control directo y no se puede influir en ellas, solo se limita a la observación de los fenómenos porque ya sucedieron, al igual que sus efectos (Hernández et al., 2014). Por lo tanto, se concluye que esta investigación tiene un diseño básico comparativo, por comparar los datos obtenidos de la muestra.

Figura 1.

Diagrama de un diseño básico comparativo



Donde:

M = Muestra

O = Observación de las muestras

La población es un conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones (Hernández et al., 2014). A su vez, la población no solo se refiere a seres humanos, sino que también puede corresponder a animales, muestras biológicas, expedientes, hospitales, objetos, familias, organizaciones, etc. Además, es importante especificarlo, ya que, al concluir la investigación, a partir de una muestra será posible generalizar los resultados obtenidos del estudio hacia el resto de la población (Arias-Gómez et al., 2016). Cabe resaltar que, la población en la presente investigación está conformada por la cuenca del río Chicama.

La muestra es un subgrupo de la población; asimismo es un subconjunto de elementos que pertenecen a un conjunto definido en sus características al que llamamos población (Hernández et al., 2014). Asimismo, la muestra de la presente investigación está delimitada por la parte baja de la cuenca del río Chicama donde encontramos a los distritos de Ascope, Magdalena de Cao, Chicama, Chocope y Santiago de Cao.

Por otro lado, la muestra se determinó mediante los siguientes criterios de inclusión y exclusión.

- a. Criterio de inclusión:** Zonas con riesgos altos de inundación, aledañas al cauce del río, con presencia de estaciones meteorológica e información cartográfica de libre acceso.
- b. Criterio de exclusión:** Zonas con riesgos bajos de inundación, difícil acceso territorial, escasa información meteorológica y cartográfica.

Una vez determinada la muestra gracias a los criterios de inclusión, así como los de exclusión, se procedió a establecer los métodos, técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos que se emplearon en la investigación. A través del método Inductivo - Deductivo los resultados se podrán generalizar e involucrar otros diseños específicos en el mismo estudio (Hernández et al., 2014); en otros términos, se recolectan datos de manera simultánea o en diferentes secuencias, en ocasiones se combinan y transforman los datos teniendo como resultado nuevas variables para contestar las preguntas de investigación.

Hernández y Duana (2020) indica que, las técnicas comprenden procedimientos y actividades que permiten recolectar información necesaria para dar respuesta a una pregunta de investigación. La tesis se desarrolló mediante la técnica de análisis espectral, ficha de recojo de datos meteorológicos y espaciales. Además, estos datos son recolectados mediante múltiples y diferentes instrumentos, los cuales deben ser confiables, objetivos y que tengan validez; de lo contrario los resultados obtenidos no serán legítimos.

Por otro lado, se contó con instrumentos computacionales tales como Excel, HEC4, Hydraccess, Hidroesta 2, QGIS, ArcGIS, HEC-HMS y HEC-RAS; los cuales cuentan con la confiabilidad necesaria para brindar un buen resultado; ya que son de acceso libre. Además,

el análisis de datos de las precipitaciones en 24 horas se llevó a cabo mediante el criterio de valores atípicos (Outlier). La aplicación de este análisis de datos atípicos nos facilita la identificación de información que se aparta de la tendencia general, permitiéndonos evaluar si estos datos atípicos tienen un impacto significativo en los parámetros estadísticos. (Álvarez y MacGregor, 2023)

En primera instancia, la caracterización general de la cuenca como la información meteorológica, poblacional, tipo de suelo y cobertura vegetal; se desarrolló mediante mapas temáticos utilizando el programa ArcGIS. Para ello, fue necesario descargar los datos vectoriales y los datos ráster del SIGRID, ANA, Geoservidor MINAM y otras instituciones nacionales e internacionales; dando así la confiabilidad de los datos empleados.

Tabla 1.

Instituciones confiables de información ráster y vectoriales

Fuente	Datos	Link
MTC	SHP viales	https://portal.mtc.gob.pe/estadisticas/descarga.html
MINAM	SHP nacional	https://geoservidorperu.minam.gob.pe/ArcGIS/rest/services
FAO	SHP de suelos	https://data.apps.fao.org/map/catalog/srv/eng/catalog/search#/metadata/446ed430-8383-11db-b9b2-000d939bc5d8
GEOSERVIDOR	SHP nacional	https://geoservidor.minam.gob.pe/recursos/intercambio-de-datos/
INGEMMET	MapServer	https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/ArcGIS/rest/services
CENEPRED	MapServer	http://sigrid.cenepred.gob.pe/ArcGIS/rest/services
SINIA	-	https://sinia.minam.gob.pe/servicios-wms
IGN	MapServer	https://www.idep.gob.pe/geoportal/rest/services

Las imágenes satelitales y los Modelos Digitales de Elevación (DEM) se descargaron del USGS; para ello se creó una cuenta en el servidor y se seleccionó el área de estudio con una nubosidad del 10 %. En las imágenes Landsat 8, se realizó la combinación de las 11 bandas con un índice de color natural (banda 4, 3 y 2); a su vez, se hizo la corrección atmosférica, radiancia y reflectancia para una mejor resolución de la imagen. Por otro lado, la Cuenca del Río Chicama abarcó 2 DEMs, por lo que fue necesario unir ambos ráster; antes de ello se utilizó la herramienta “Focal Statistics” para la corrección de los píxeles, luego se unió los DEMs mediante la herramienta “Mosaic” obteniendo así el ráster con la información necesaria. Posteriormente, el recorte de la cuenca se realizó con la herramienta “Spatial Analyst Tools/Extract /Extract by Mask” con la ayuda del shapefile del ANA que delimita la cuenca hidrográfica (Anexo 4).

El DEM obtenido se convirtió en un dato shapefile con el que se calculó el área y el perímetro de la cuenca seguimos la dirección “Conversion Tools/From Raster/Raster to Polygon”; también se unió las clases en “Geoprocessing/Dissolve/Gridcode” y calculamos estos parámetros en la tabla de atributos. Luego, la longitud (L) fue calculada con la herramienta “Editor”, creamos un segmento en los extremos de las divisorias topográficas y en la tabla de atributos agregamos un campo y damos clic en “Calculate Geometry”. Al mismo tiempo para la determinación de las subcuencas se aplicó el criterio de polígonos de Thiessen, en tal sentido se conformaron 9 unidades hidrográficas que, en su conjunto, constituyen la cuenca Chicama (Anexo 5). Por otro lado, los demás parámetros de relieve que se calcularon sin emplear SIG fueron:

El índice de compacidad (K_c , adimensional), o índice de Gravelius, este parámetro constituye la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de una circunferencia

que tiene la misma área; de tal manera, se logró identificar los sistemas hidrológicos (Tabla 2) hidráulicamente similares (Diaz, 1999).

Ecuación 1.

Índice de compacidad Kc

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

Kc: Coeficiente de compacidad

P: Perímetro de la cuenca (Km)

A: Área de la cuenca (Km²)

Tabla 2.

Formas geométricas en base a rangos del índice de Gravelius

Clase de geometría	Rango de clase	Forma de cuenca
Kc1	$1 < Kc \leq 1.25$	Oval redonda
Kc2	$1.25 < Kc \leq 1.50$	Oval oblonga
Kc3	$1.50 < Kc \leq 1.75$	Oblonga alargada

El Factor de Forma (Kf, adimensional), es otro índice con el que se expresó la forma y la tendencia de crecientes en una cuenca, en tanto la forma de la cuenca hidrográfica afecta los hidrogramas de escorrentía y las tasas de flujo máximo. (Lux, 2015)

Ecuación 2.

Factor de forma kf

$$K_f = \frac{A}{L^2} \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

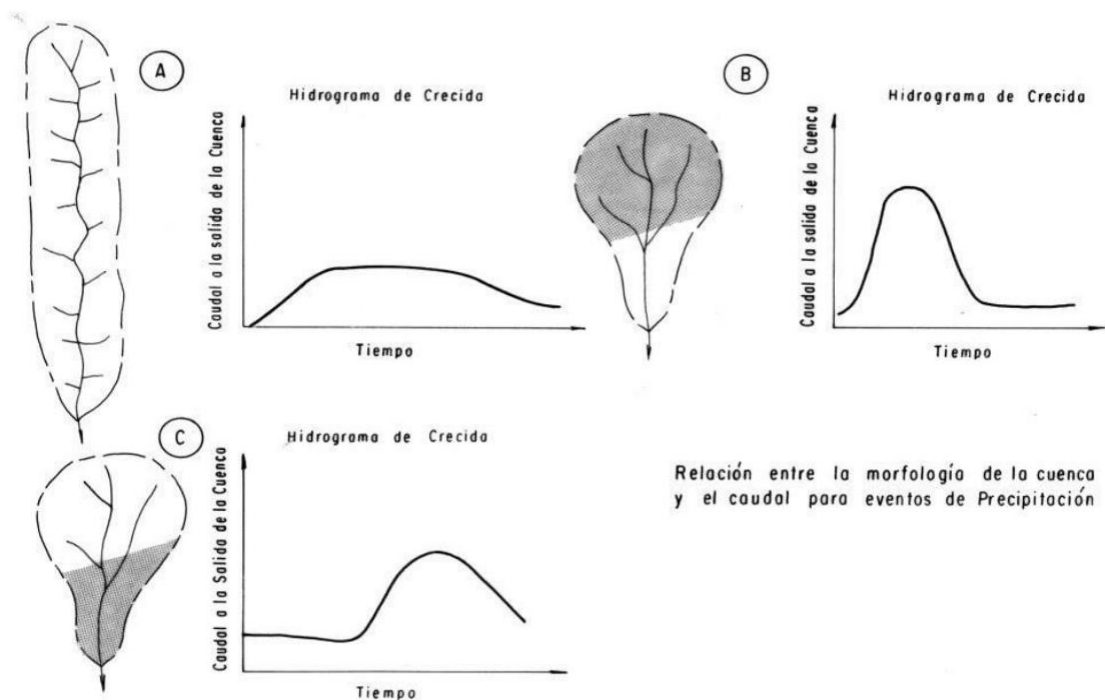
Kf: Factor de forma

A: Área de la cuenca (km²)

L: Longitud del curso más largo (Km)

Figura 2.

Efecto de la forma para eventos máximos de precipitación en una cuenca.



El Rectángulo Equivalente consistió en una transformación geométrica de la cuenca, el cual determina la longitud mayor del mismo perímetro y área, de tal forma que las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas dando forma a un rectángulo. (Cañibano y Gandini, 2018)

Ecuación 3.

Rectángulo equivalente

$$L = \frac{Kc \cdot \sqrt{A} \cdot (1 + \sqrt{(1 - (\frac{1.128}{Kc})^2})}{1.128} \dots\dots\dots(3)$$

$$L = \frac{Kc \cdot \sqrt{A} \cdot (1 - \sqrt{(1 - (\frac{1.128}{Kc})^2})}{1.128} \dots\dots\dots(4)$$

Donde:

L: Longitud del lado mayor del rectángulo equivalente (Km)

I: Longitud del lado menor del rectángulo equivalente (Km)

La cota de relieve máximo y mínimo, caracteriza la variación altitudinal de la cuenca y subcuenca, estas cotas fueron determinada en función a la cartografía y el DEM. Sin embargo, el desnivel total de la cuenca se determinó con la diferencia entre las cotas máximas y cotas mínimas. (Ibáñez et al., 2011).

Ecuación 4.

Cota de relieve máximo y mínimo

$$Ht = Cmax - Cmin \dots\dots\dots(5)$$

Donde:

Ht: Desnivel de la cuenca (m)

Cmax: Cota máxima (m.s.n.m)

Cmin: Cota mínima (m.s.n.m)

Asimismo, Ibáñez et al. (2011) nos menciona que, la altura media (Hm) es la coordenada media de la curva hipsométrica, en ella el 50% del área de la cuenca, está situado

por encima de esa altitud y el 50% está situado por debajo de ella; a su vez la altitud más frecuente es el máximo valor en porcentaje de la curva de frecuencia de altitudes. Por otro lado, existen varias metodologías para obtener la pendiente de un cauce, en la presente investigación se emplean el método de la Pendiente Uniforme.

Ecuación 5.

Pendiente uniforme del cauce

$$Sc = 100 * \frac{Ht}{B} \dots\dots\dots(6)$$

Donde:

Sc: Pendiente del cauce

Ht: Desnivel total

B: Longitud del cauce principal (Km)

Igualmente, en esta investigación se consideró calcular la pendiente de la cuenca, utilizando ArcGIS empleando la clasificación de la ONERN de 1975 (Tabla 3). Primero se determinó las curvas de nivel, utilizamos el DEM delimitado y nos vamos a “Spatial Analyst Tools/Surface/Contour” e ingresamos el intervalo de 30; en la tabla de atributos creamos un nuevo campo “Longitud”, calculamos la geometría y eliminamos los valores menores de 750 m; a su vez, suavizamos las líneas “Cartographic Tool/Generalization/Smooth Line”. Por último, se generó las superficies de pendientes en porcentajes mediante “Spatial Analyst Tools/Interpolation/Topo to ráster” e ingresamos el intervalo de 30; el DEM resultante fue ingresado en “Spatial Analyst Tools/Surface/Slope” y clasificado con los valores de la Tabla 3 a través la siguiente dirección “Propiedades/Clasificación”; y se guardó la clasificación a través de “Spatial Analyst Tools/Reclass/Reclassify”.

Tabla 3.
Fases por pendientes para clasificación de suelos de ONERN.*

Clase de pendiente	Rango de pendiente (%)	Termino descriptivo
A	0 – 2	Plana o casi a nivel
B	2 – 4	Ligeramente inclinada
C	4 – 8	Moderadamente inclinada
D	8 – 15	Fuertemente inclinada
E	15 – 25	Moderadamente empinada
F	25 – 50	Empinada
G	50 – 75	Muy empinada
H	Más de 75	Extremadamente empinada

Nota: Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales

La caracterización del suelo para la cuenca Chicama, debido a su delimitación no se encontró información vectorial a nivel nacional realizando una elaboración más compleja. Se descargo la información vectorial de suelos de la FAO (Anexo 6), luego se extrae los datos nacionales “Geoprocessing/Clic” recortando la información con el shp de Perú. Posteriormente, se tuvo que proyectar en WGS – Zona 17S, se ajustó la estructura con la del Perú y recortamos la zona de interés con el shp delimitado de la cuenca. Por otro lado, para la cobertura vegetal si se encontró el mapa nacional en el GEOSERVIDOR del MINAM, por lo que solo nos limitamos a recortar la zona de interés con la herramienta “Geoprocessing/Clic”. Estos mapas, debido a la información general que nos brinda, se tuvo que eliminar datos innecesarios para poder calcular las curvas números (CN).

El número de curvas se determinó siguiendo el manual del ANA, se utiliza la información vectorial de los tipos de suelo, cobertura vegetal y el DEM delimitado que ya han sido determinado anteriormente. Luego se clasifica el tipo de suelo según el grupo hidrológico (Tabla 4) que le corresponde, agregamos un campo de texto con el nombre “GH” en la tabla de atributos de suelos; al mismo tiempo, reclasificamos la cobertura vegetal según la Tabla 5, agregamos un campo numérico con el nombre “Landuse” en la tabla de atributos y realizamos una intersección con los 2 datos anteriores mediante “Geoprocesong/Intersec”.

Tabla 4.

Grupo hidrológico según descripción del suelo.

Descripción de suelos	Simbología	Grupo hidrológico
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 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 dístrico - Cambisol dístrico	GLd-CMd	B
Gleysol dístrico - Histosol fíbrico	GLd-HSf	D
Gleysol dístrico - Lixisol háplico - Fluvisol dístrico	GLd-LXh-FLd	A

Leptosol dístrico - Afloramiento lítico	LPd-R	B
Leptosol dístrico - Andosol úmbrico - Afloramiento lítico	LPd-ANu-R	B
Leptosol dístrico - Andosol vítrico	LPd-ANz	B
Leptosol dístrico - Cambisol dístrico - Regosol dístrico	LPd-CMd-RGd	B
Leptosol dístrico - Regosol dístrico - 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 dístrico	LXh-GLd	B
Luvisol crómico - Cambisol éútrico	LVx-CMe	C
Regosol dístrico - Afloramiento lítico	RGd-R	B
Regosol dístrico - Cambisol dístrico	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

Tabla 5.

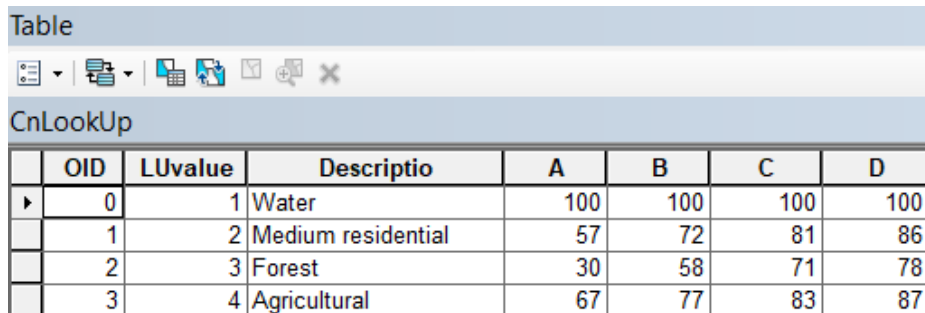
Reclasificación de la cobertura y uso.

Clasificación original		Reclasificación	
Número	Descripción	Número	Descripción
11	Agua a cielo abierto		
90	Humedales leñosos		
95	Humedales herbáceos emergentes	1	Agua
21	Poblados en espacios abiertos		
22	Poblados de baja intensidad		
23	Poblados de mediana densidad	2	Residencial media
24	Poblados de alta densidad		
41	Bosques secos		
42	Bosques Verdes	3	Bosque
43	Bosques mixtos		
31	Tierra fértil		
52	Arbustos/matorrales		
71	Pastizales/herbáceas		
81	Pasto/heno	4	Agricultura
82	Cultivos		

Después en el SHP obtenido agregamos 4 campos numéricos con los nombres “PctA”, “PctB”, “PctC” y “PctD”, estos fueron llenados según la clasificación del grupo hidrológico cambiando los valores A, B, C y D por un valor 100; también creamos un campo de texto con el nombre “LUcode” y un campo numérico “LUVALUE”; luego copiamos y pegamos la clasificación del campo “GH” y del campo “Landuse” respectivamente en los campos anteriores. Para finalizar creamos una tabla mediante “” con el nombre “CnLookUP” y editamos de la misma forma como se muestra en la Figura 3. Luego nos apoyamos de la extensión HEC-geoHMS, realizamos la siguiente dirección “Utility/Generate CN Grid” e ingresamos la información correspondiente.

Figura 3.

Tabla de ingreso de clasificación de para el número de curvas.



	OID	LUvalue	Descriptio	A	B	C	D
▶	0	1	Water	100	100	100	100
	1	2	Medium residential	57	72	81	86
	2	3	Forest	30	58	71	78
	3	4	Agricultural	67	77	83	87

La elaboración de la red de drenaje de la cuenca, se realizó mediante la metodología de Strahler, el cual se basa en la jerarquía de los afluentes (orden de ríos). En ArgGIS, se determinó la dirección del flujo utilizando el DEM de la cuenca “Spatial Analyst Tools/Hidrology/Flow Direction”, también determinamos la acumulación del flujo ingresando el DEM anterior en “Spatial Analyst Tools/Hidrology/Flow Accumulation”. Luego para determinar la red hídrica nos dirigimos a “Spatial Analyst Tools/MapAlgebra” y se hizo el cálculo Log colocando el DEM de acumulación de flujo; del mismo modo usamos esta herramienta para condicionar el DEM anterior con el comando “Conditon” especificando los valores mayores que 3.

La red hídrica obtenida anteriormente no tiene continuidad, por eso usamos la herramienta “Spatial Analyst Tools/Hidrology/Stream Link” ingresamos el DEM anterior y el DEM de la dirección del flujo. Finalmente, se aplicó la metodología de Strahler mediante la herramienta “Spatial Analyst Tools/Hidrology/Stream Oder” ingresando el DEM anterior y el DEM de la dirección del flujo; además, para la visualización numérica de los ríos se utilizó la herramienta “Spatial Analyst Tools/Hidrology/Stream to feature” y con el shaphel obtenido nos vamos en propiedades para activar las etiquetas. Otro parámetro necesario en la modelación hidrológica es la determinación del tiempo de concentración (Tc) según el método SCS.

Ecuación 6.*Tiempo de concentración*

$$T_c = \frac{100L^{0.8}[(\frac{1000}{CN})-9]^{0.7}}{1900S^{0.5}} \dots\dots\dots(7)$$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración**L:** Longitud de la cuenca**CN:** Curvas de nivel**Sm:** Pendiente promedio de la cuenca

Una vez obtenido los parámetros y los mapas característicos de la cuenca se llevó a cabo la segunda parte de la investigación, el cual fue analizar las máximas precipitaciones anuales registradas en 24 horas desde el año 1964 al 2010, cabe resaltar que esta información se obtuvo del estudio hidrológico del ANA (Anexo 7 al 18). Posteriormente, utilizamos HEC4 para completar la data de precipitaciones; para ello fue necesario estructurar la data para que el programa lo pueda leer (Figura 4). De los datos obtenidos, realizamos el análisis de datos dudosos (Outlier) apoyándonos del Excel para el cálculo de los parámetros estadísticos mediante diagrama de cajas (Anexo 19).

Figura 4.

Estructura de ingreso al programa HEC4.

PROYECTO CUENCA DEL RIO CHICAMA												
COMPLETACION DE MAXIMAS AVENIDAS (PRECIPITACIONES 24H)												
ESTACION 101 - 105 (Datos Historicos)												
B	1964	1	1	37				1	0	0	0	0
C												
H1011986	1320	1550	2000	1880	550	0	0	750	400	800	2100	2250
H1011987	1900	2000	2200	850	1350	0	680	0	400	1550	2690	-1
H1011988	2580	3050	820	2770	1310	700	0	0	1250	0	700	1270
H1011989	1730	2600	3190	2850	250	250	0	0	1250	750	240	0
H1011990	0	1000	1350	1000	1800	1450	0	0	0	1650	1900	500
H1011991	1050	900	2050	2200	1220	0	0	0	0	0	450	600
H1011992	400	300	1000	1100	400	0	0	0	1230	1310	0	250
H1011993	900	1490	2120	2650	1130	0	0	0	1280	2080	2150	2050
H1011994	1730	2400	2670	1380	1000	250	0	0	350	1890	2290	1810
H1011995	1550	2320	3020	1800	1000	0	510	0	880	2150	2510	2010
H1011996	1890	2610	2850	1800	1610	1210	-1	-1	-1	1860	2000	1430
H1011997	2490	3000	1220	1630	910	630	0	920	1310	2440	4010	4390
H1011998	3960	2320	3120	3610	1130	0	0	120	1940	2030	1010	2810
H1011999	3500	4250	4110	570	1660	1000	240	120	1640	890	1710	3490
H1012000	3210	2510	3400	3400	1900	450	0	710	1390	410	2010	2200
H1012001	3560	1920	4390	840	1010	0	190	300	510	2110	2140	2460
H1012002	3100	1750	4010	2600	340	200	1500	0	1560	-1	1740	2510
H1012003	1900	2500	2560	1400	1000	600	40	300	2040	2300	4000	3810
H1012004	2520	2500	3100	3310	1150	430	-1	-1	1000	2240	2660	2770
H1012005	1840	2340	2720	1200	600	60	0	920	1800	2330	200	2870
H1012006	3520	2010	2760	3810	540	1010	600	1100	1570	1850	1660	3620
H1012007	2030	1610	5010	3010	920	0	130	160	1540	2540	2750	2010
H1012008	3080	2520	3710	5860	610	1670	0	100	2060	2860	1880	1470
H1012009	4510	2730	3080	3290	1500	80	410	100	630	2470	3620	2110
H1012010	910	4070	6390	1900	1460	510	650	0	1000	2750	960	1890
H1012011	2390	1810	2710	2840	-1	410	1340	0	2140	1780	1950	3050
H1012012	3570	2200	900	3000	1850	250	0	200	770	2360	2500	2060
H1012013	1370	1150	2230	2710	1770	160	1200	870	300	2600	440	3400
H1012014	1250	4500	1510	3450	2000	0	210	0	460	2750	1010	1870
H1012015	2210	1460	3150	1010	1790	0	560	0	1400	800	2080	1770
H1012016	4000	1000	2590	2070	120	1400	450	110	630	1560	970	2750
H1012017	2960	2240	5000	2120	1850	3000	0	750	870	3080	1250	2450
H1012018	1180	3360	2760	3060	2190	1210	100	0	2220	2750	2790	2480
H1012019	1600	5720	3390	2400	1980	180	260	0	1640	5120	4270	4120
H1012020	3250	3960	4300	1220	1950	1560	1700	300	330	1800	1510	4600
H1012021	2140	1900	5480	3560	2880	580	210	990	1050	5470	2750	2100
H1012022	1770	1800	3820	2160	700	2050	300	1260	1300	1060	980	3500

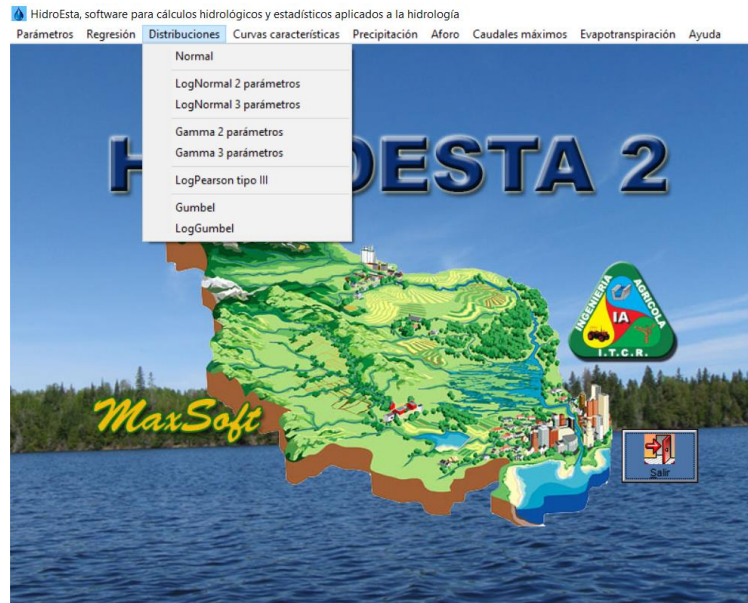
Una vez de validar la tendencia de los datos, empleamos el programa Hydracces para generar el vector regional y la estación ficticia que utilizaremos en la cuenca del río Chicama. El primer criterio nos permitió identificar que estaciones se ajusta en la cuenca y la estación ficticia creada; descartando así las estaciones de Cospan. Luego nos quedamos con 5 estaciones para la creación de la estación ficticia denominada “Chicama” tomando como base el criterio de Kriging, obteniendo así las precipitaciones medias de 24 horas en la cuenca baja del río Chicama; que se utilizarán en la modelación hidrológica.

Asimismo, de las precipitaciones medias de la estación Chicama se realizó el análisis de las distribuciones de probabilidad con los métodos; Normal, Log Normal 2 Parámetros, Log Normal 3 Parámetros, Gamma 2 Parámetros, Gamma 3 Parámetro, Log Person Tipo III, Gumbel y Log Gumbel para los diferentes periodos de retorno (PR) de 5, 10, 20, 50 y 100 años haciendo uso del software Hidroesta 2 (Figura 5). Luego, se eligió a la distribución

Normal, por ser la distribución que más se ajusta a la serie de datos; según el análisis de ajuste Kolmogorov – Smirnov mediante la prueba de bondad.

Figura 5.

Procedimiento de las precipitaciones para PR mediante HIDROESTA 2



Después de analizar la información pluviométrica y determinar la distribución más adecuada, se procedió a diseñar las precipitaciones y la intensidad (curvas IDF), aplicando la metodología de IILA-UM-SENAMHI (1983); el intervalo de tiempo que se consideró para esta investigación fue de 5 minutos, generando así los hietogramas para los PR mencionados, los cuales fueron usados en el software HEC-HMS de la modelación hidrológica, basándose en 3 componentes:

Componente de modelo físico, en este se utilizaron las características de la cuenca, un proceso y un método para la modelación. La primera acción fue dejar en predeterminados los métodos mencionados, para ello nos vamos a “Tools/Program Settings”. Posteriormente se creó un proyecto siguiendo la dirección “File/New...” e ingresamos el nombre de la cuenca; asimismo creamos un modelo con la dirección “Components/Basin Model Manager, luego clic en New indicamos el nombre y Create, después agregamos los datos shapes

haciendo clic en “View/Map Layers/Add...” y activamos las capas. En segundo lugar, se añadió los elementos hidrológicos Subbasin, y Junction que se muestran en la barra de herramientas. Luego, se conectan mediante la opción “Downstream” y se introducen los parámetros obligatorios.

El segundo componente es el Modelo meteorológico, donde se ingresan los hietogramas de las estaciones en “Time-Series Data Manager/New.../Create”. Después agregamos el intervalo (5 minutos), la fecha de PPmax. de la estación y los hietogramas calculados en las herramientas “Time-Series Gage”, “Time Window” y “Table” respectivamente; también, activamos la cuenca Chicama con la dirección “Meteorologic Model Manager/New.../Create/ Basins” e indicamos el método y la estación con la que trabajara a través de “Specified Hyetograph/Selections”; cabe resaltar que para cada PR se realizó el mismo procedimiento sustituyendo los valores de precipitación del hietograma correspondiente.

Para el ultimo componente de especificaciones indicamos el periodo a realizar los cálculos y el intervalo de tiempo de los mismos; para ello creamos el primer control del componente a través de “Control Specifications Manager/New.../Create”; al mismo tiempo, se colocaron las fechas y horas del inicio y final de la corrida con un intervalo de 30 minutos. Una vez de haber definido todos los componentes en HEC-HMS, se ejecutó el modelo hidrológico mediante la dirección “Compute/Create Compute/Simulation Run/Next”.

Por otro lado, para la identificación de las zonas de inundación fue necesario determinar el tirante (profundidad de inundación) y la velocidad de inundación en los PR ya establecidos. Esto fue realizado mediante la modelación hidráulica bidimensional (2D) con el software HEC-RAS 5.0.7; para ello fue necesario el DEM del área a estudiar (cuenca baja del río Chicama) y los caudales máximos generado por HEC-HMS 4.4.1. Acto seguido en esta modelación se realizó en 3 etapas:

Primero se realizó configuraciones básicas en el equipo como la carpeta de salida y cambio de la zona horaria (Hora central de EE. UU-Canadá); ya en el software HEC-RAS cambiamos las unidades de medidas a metros (SI), abrimos RAS Mapper en la barra de menú para proyectar las coordenadas WGS84 UTM 17S y generamos el ráster de terrenos importando el DEM de la zona a estudiar con la dirección “Terrain/Create a New Terrain RAS Terrain”. La segunda etapa de la modelación consistió en elaborar la geometría 2D del ráster; iniciamos con el mallado del perímetro con celdas 10x10 “Perimeters/Edit 2D Area Properties”, luego generamos la línea de quiebre (eje del cauce) con el comando “Break Lines/Start Editing” al mismo tiempo refinamos el mallado “Break Lines /Edit 2D Area Properties” agregando los valores, asignamos las líneas de contorno (aguas arriba y abajo) a través de “Bound Conditions/Boundary Conditions Lines/Start Editing”; y finalizamos añadiendo la geometría diseñada al modelo a través de la barra del menú “Edit/Geometric Data.../ File/Open..”.

La tercera etapa del modelado fue simular la inundación para los PR de 5, 10, 20, 50 y 100 años; para ello en las condiciones de contorno aguas arriba ingresamos los hidrogramas de eventos correspondientes del modelo hidrológico “Edit/Unsteady Flow Data/Flow Hydrograph”. Por último, para correr la simulación nos vamos a “Run/Unsteady Flow Analysis” activamos la programación y especificamos la fecha e intervalo de tiempo en la modelación hidráulica.

La elaboración de mapas identificando las zonas vulnerables a inundación de la cuenca baja del río Chicama, se realizó con el software QGIS y se tomó como base el índice HR de peligrosidad de CENEPRED.

Ecuación 7.

Índice de peligrosidad

$$HR = d(v + 0.5) + DF \dots\dots\dots(8)$$

DF: Flujo de escombros

d: Tirante (m)

v: Velocidad (m/s)

El flujo de escombros (DF), se determinó reclasificando el tirante seleccionando el tipo de uso de suelo en la cuenca baja del río Chicama según la Tabla 6; posteriormente en QGIS versión 3.22.12 creamos una tabla en “Procesos/Caja de herramienta/Análisis ráster/Reclasificación por tablas” e ingresamos el tirante.

Tabla 6.

Reclasificación para el factor de escombros DF.

Tirante (m)	Cultivo	Bosques	Urbano
0 - 0.25	0	0	0
0.25 - 0.75	0	0.5	1
d > 0.75	0.5	1	1

Luego se calculó el índice de HR de peligrosidad definiendo en la ecuación (8) en el software; para ello nos dirigimos a la calculadora ráster “Ráster/Calculadora ráster” e ingresamos la ecuación con los parámetros requeridos. Por último, para definir el tipo de peligrosidad, se ejecutó otra reclasificación en “Procesos/Caja de herramienta/Análisis

ráster/Reclasificación por tablas” ingresando los valores de la Tabla 7; sin embargo, dado que la data es de tipo ráster y fue necesario convertirlo a vector para una mejor manipulación. Con estos parámetros, se alcanzó innumerables respuestas durante el análisis de vulnerabilidad, de acuerdo a los PR y los valores que de generó en la simulación mediante los modelos mencionados

Tabla 7.

Reclasificación para determinar el tipo de peligrosidad.

Valor de HR	Descripción	Tipo de peligrosidad
0	Seguridad	Ninguno
0 - 0.75	Precaución	Bajo
0.75 - 1.5	Peligro para algunos (niños)	Moderado
1.5 - 2.5	Peligro para la mayoría de gente	Significativo
> 2.5	Peligro para todos	Extremo

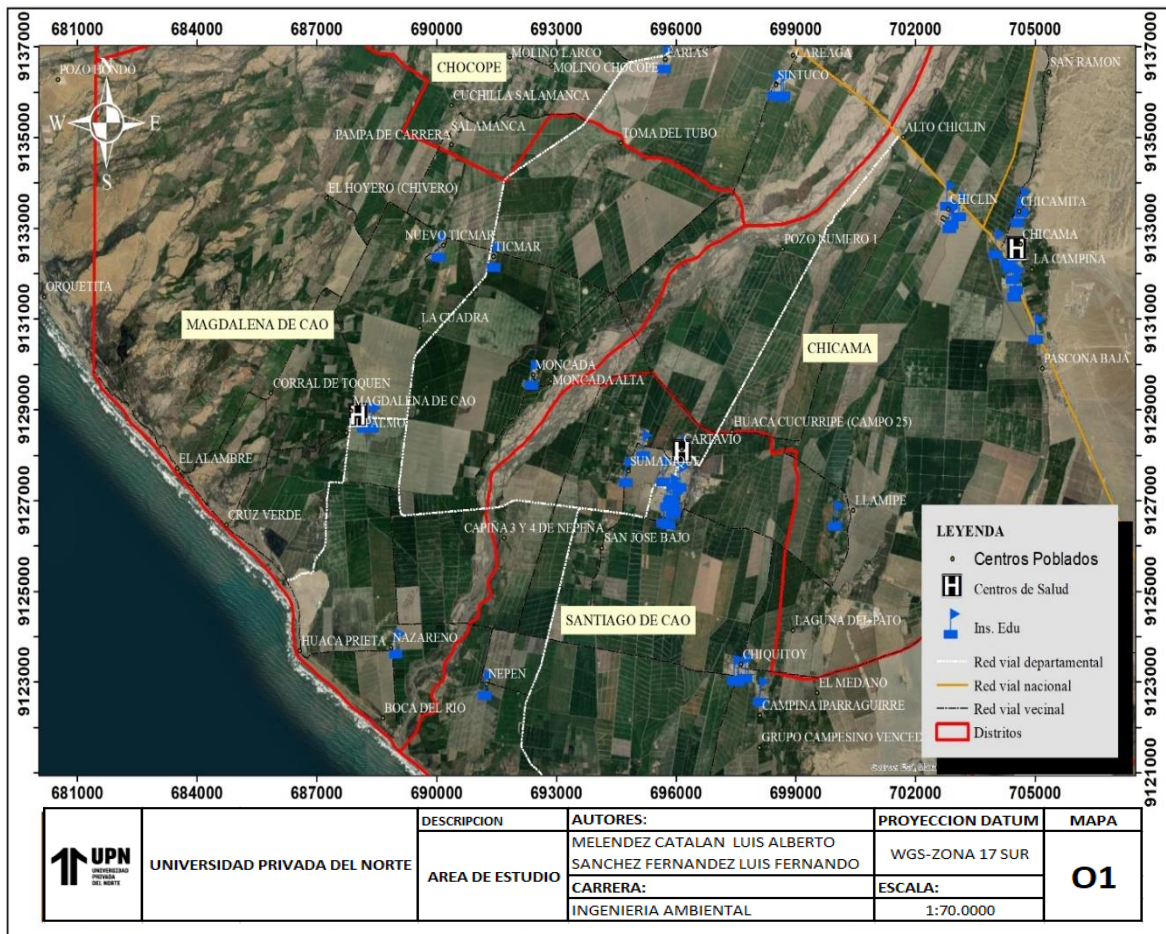
El análisis de los datos consistió en la verificación de la fuente de información y el tratamiento mediante los softwares necesarios. Finalmente se tiene a las consideraciones éticas, donde prevalece el respeto de los derechos de autor, de los propietarios de las tesis de pregrado; así como de los artículos científicos; así mismo, se llevó a cabo las citas de cada fuente de información.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

El principal producto que se obtuvo después de la modelación con los softwares HEC-HMS y HEC-RAS, fueron las zonas vulnerables a inundaciones en la cuenca baja del río Chicama. Sin embargo, primero se identificó los centros poblados, centros de salud, instituciones educativas, las redes viales y los distritos del área a estudiar; por lo tanto, se obtuvo como resultados 25 instituciones educativas dentro de los distritos de Chocope, Chicama, Magdalena de Cao, y Santiago de Cao como se visualiza en la siguiente figura.

Figura 6.

Mapas de identificación del área de estudio.



Las zonas vulnerables a inundaciones en un PR de 5 años son evidenciadas en la Figura 7, donde los CC.PP. afectados fueron: Alto Chiclin, Moncada Alta, Campiña 3 y 4 de Nepeña, NAZARENO y Boca DEL RIO; pertenecientes a los distritos de Chicama, Magdalena de Cao y Santiago de Cacao. Además, no se encontró I.E o establecimientos que se vean afectos directamente; pero en las I.E. 800066, Sumanaqui, Rafael Larco Herrera y el establecimiento de salud Santa Rosa de Cartavio se encontraron en zonas aledañas a la escorrentía de inundación. Cabe mencionar que, en los demás PR, se observó que las zonas afectadas se repetían y algunas aumentaban con el pasar de los años; tal como se evidencia en las siguientes figuras.

Figura 7.

Mapa de vulnerabilidad en la cuenca baja del río Chicama para PR de 5 años.

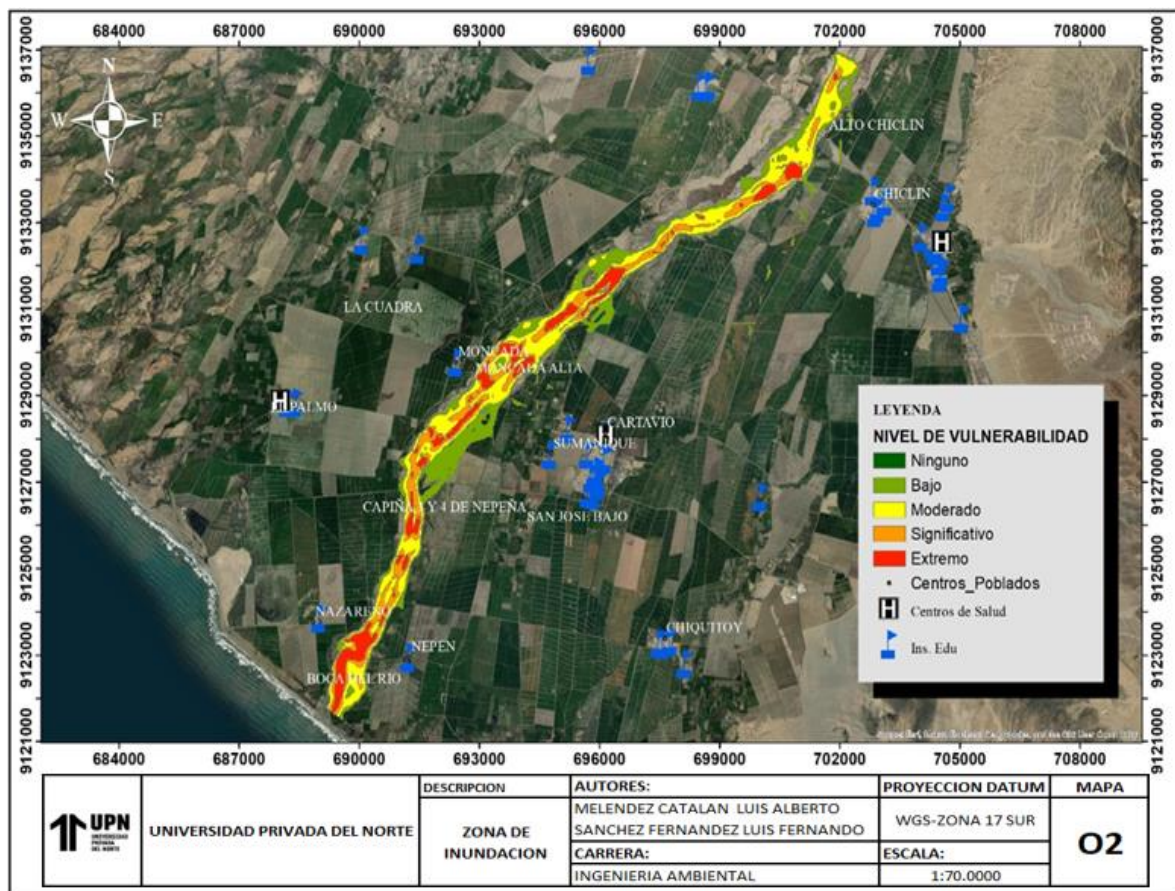


Figura 8.

Mapa de vulnerabilidad en la cuenca baja del río Chicama para PR de 10 años.

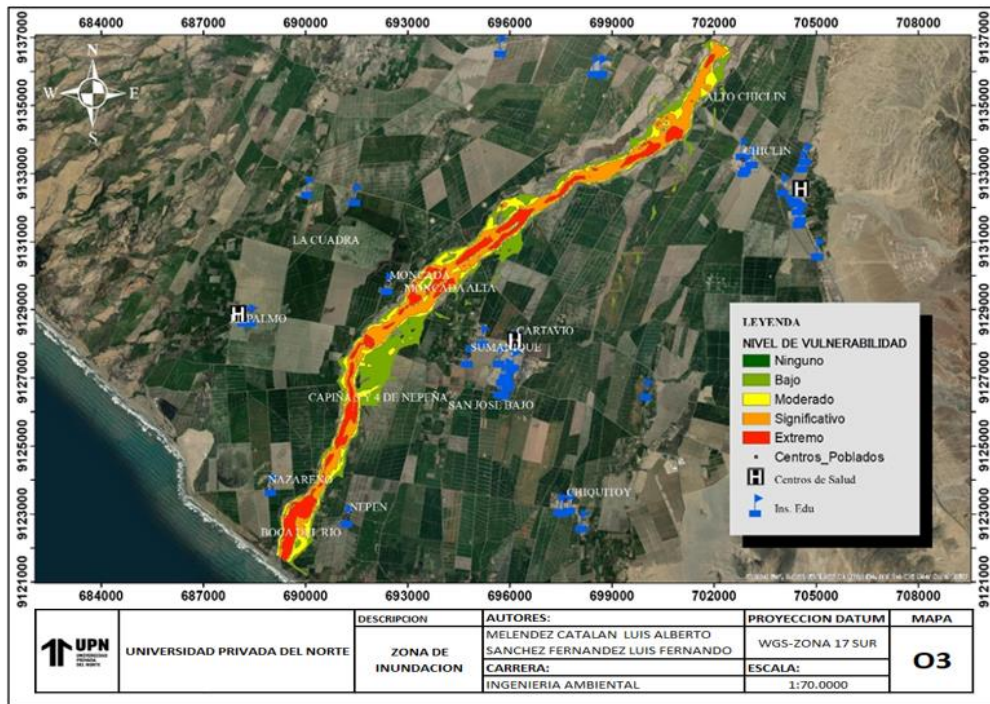


Figura 9.

Mapa de vulnerabilidad en la cuenca baja del río Chicama para PR de 20 años.

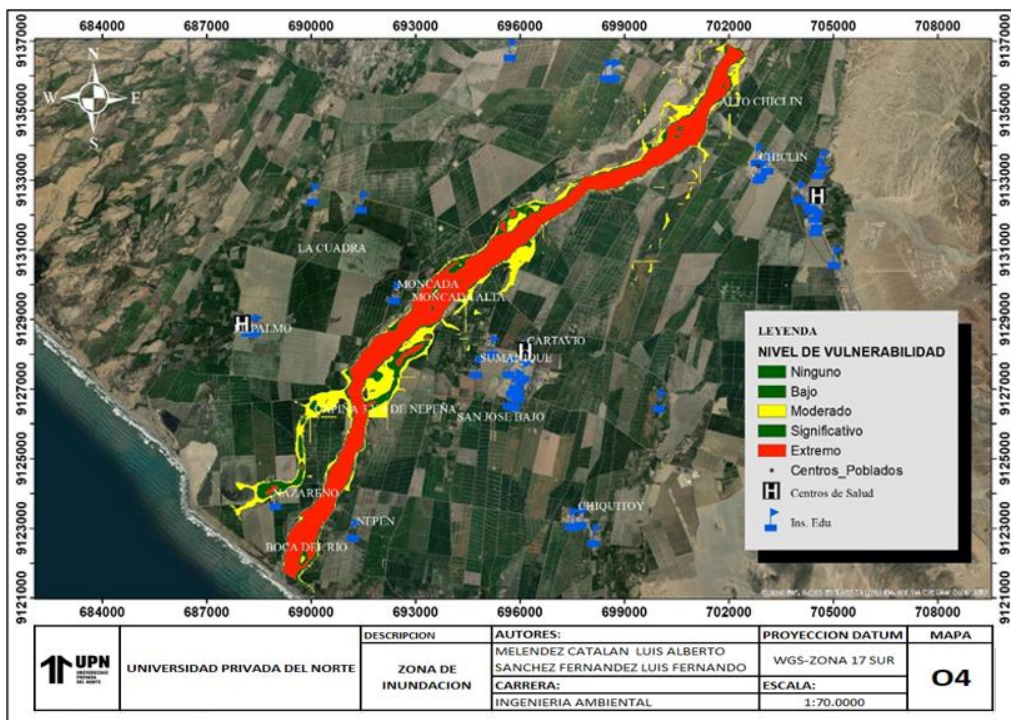


Figura 10.

Mapa de vulnerabilidad en la cuenca baja del río Chicama para PR de 50 años.

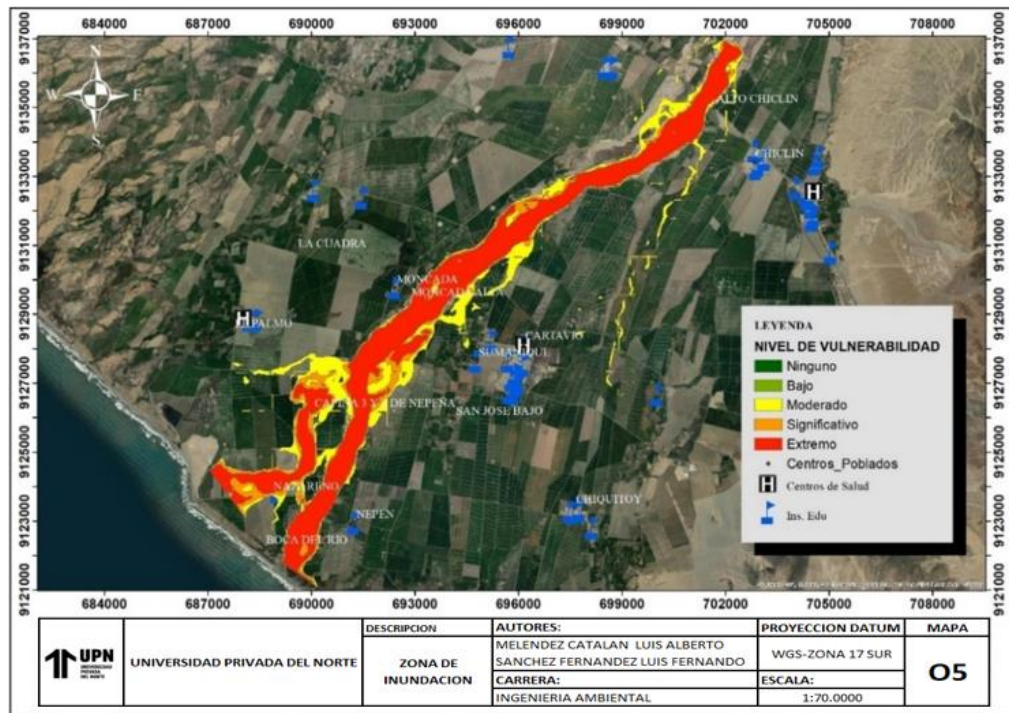
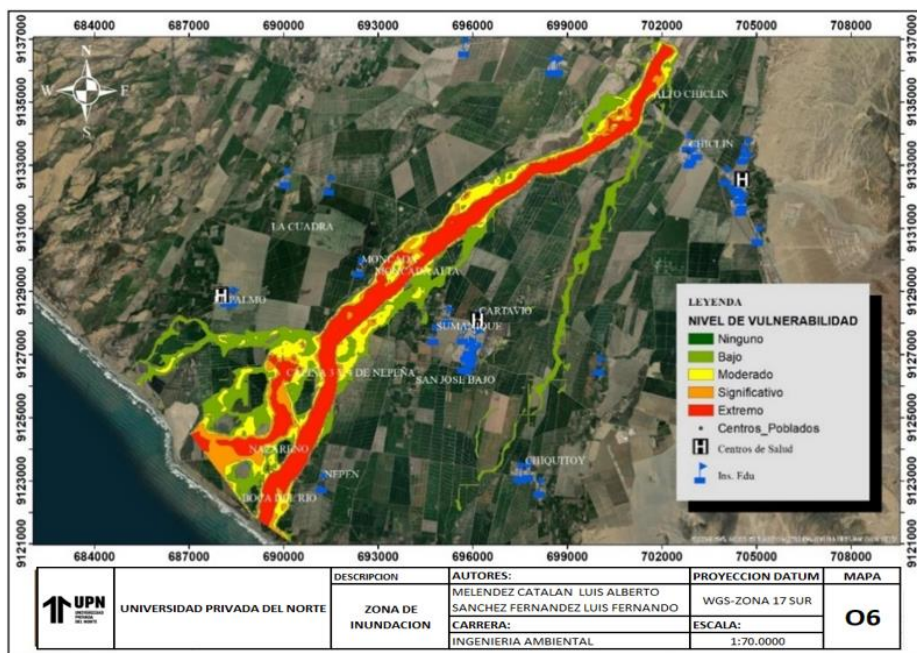


Figura 11.

Mapa de vulnerabilidad en la cuenca baja del río Chicama para un PR 100 años.

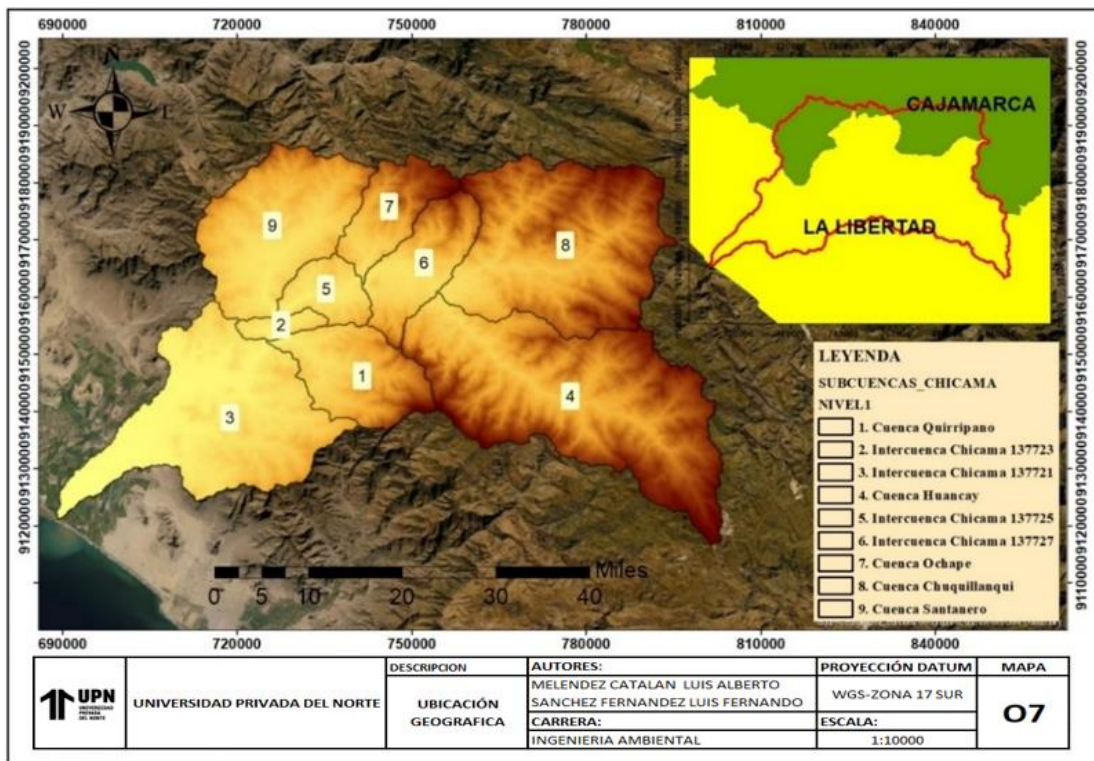


En la siguiente figura, se observa las 9 subcuencas que se obtuvo de la delimitación de Thiessen en la cuenca. Además, las subcuencas 137721, 137723, 137725, Quirripano y

Santanero pertenecen a la WGS84 UTM Zona 17S; en cambio, la subcuenca 137725, Chuquillanqui, Huancay y Ochape son de la WGS84 UTM Zona 18S.

Figura 12.

Delimitación y ubicación de la cuenca y subcuencas del río Chicama.



De acuerdo a los criterios de caracterización, se obtuvo que la cuenca del río Chicama es de tamaño intermedia-grande, de forma oblonga alargada, presenta una clasificación exorreica, un drenaje de tipo dendrítico y entre otros parámetros importantes de forma y relieve, de los que se evidencia en la Tabla 8. Sin embargo, en dicha tabla no solo se caracterizó a la cuenca principal, también se detallaron los parámetros de las subcuencas; siendo Huancay la subcuenca más grande y con alto relieve, ya que presenta un área de 1184.75, una pendiente promedio de 21.34 y una longitud de 66.22.

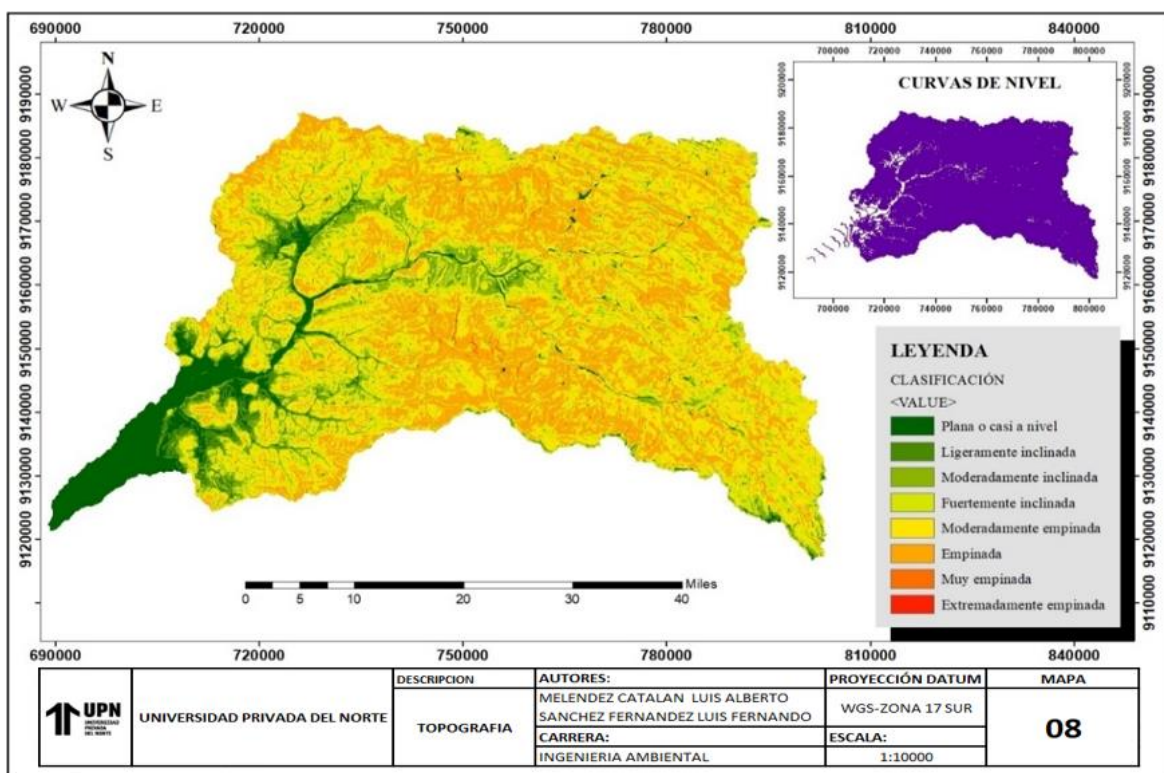
Tabla 8.
Caracterización de forma y drenaje de la cuenca y subcuencas de Chicama

PARÁMETROS	UND	CUENCA						
		CHICAMA	HUANCAY	CHUQUILLANQUI	OCHAPE	SANTANERO	QUIRRIPANO	
Área de la cuenca (A)	Km ²	4493.74	1184.75	910.65	215.36	564.97	327.67	
Perímetro (P)	Km	427.80	194.23	147.41	77.46	110.91	86.77	
Longitud de la cuenca (L)	Km	118.02	66.22	43.43	24.41	36.67	31.53	
Índice de compacidad (Kc)	-	1.79	1.58	1.37	1.48	1.31	1.34	
Factor de forma (Kf)	-	0.13	0.17	0.27	0.21	0.32	0.29	
Rectángulo Equivalente	Lado Mayor (Lm)	Km	189.79	82.80	58.02	32.01	42.05	33.65
	Lado Menor (lm)	Km	23.81	14.31	15.70	6.73	13.44	9.74
Cotas de la cuenca	Cota Máxima (Cmax)	msnm	4260.43	4260.43	4237.32	4255.39	3616.70	4257.81
	Cota Mínima (Cmin)	msnm	-0.51	717.32	704.24	528.03	378.59	341.94
Desnivel total de la cuenca (Ht)	m.s.n.m.	4.29	3.58	3.57	3.76	3.32	3.94	
Altura media de la cuenca (Hm)	m.s.n.m.	1843.98	2635.42	2497.33	2262.01	1347.93	1738.88	
Pendiente de la cuenca determinada en SIG (Sm)	%	18.33	21.34	21.47	20.70	17.04	20.61	
Densidad de drenaje (Dd)	Km./Km ² .	0.69	0.56	0.63	0.49	0.74	0.67	
Longitud del cauce principal (Lc)	Km.	173.53	74.39	51.24	30.68	36.43	35.10	
Pendiente del cauce principal (Sc)	%	2.47	4.81	6.97	12.25	9.11	11.23	
Tiempo de concentración (Tc)	h	12.37	6.88	5.03	3.42	4.10	3.51	

En la Figura 13, se visualiza la pendiente con sus 8 clasificaciones, encontrando un máximo de 83.09 m ($P > 75$) y el mínimo es 0 m ($0 < P > 2$); también se observó que la pendiente de la cuenca es de tipo modernamente empinado. Asimismo, nos permitió definir la zona alta (rojo-anaranjado), media (amarillo-verde) y baja (verde) de la cuenca; cabe resaltar que las curvas de nivel, tienen un intervalo de 10 y una alteración Z de 2.

Figura 13.

Mapa topográfico de la cuenca del río Chicama.



Por otro lado, en la Figura 14 se visualiza la red de drenaje de la cuenca del río Chicama, donde se evidenció la forma dendrítica con un orden máximo de 6; siendo esta última la clasificación el río principal, por donde los ríos de las subcuencas de la parte alta y media acumulan sus descargas hídricas. También se calculó el número de curva (NC) de la

cuenca, el cual oscila entre 58 y 100 como se ve en la Figura 15; sin embargo, al promediar se obtiene un valor de 74.68 NC, valor que es importante en la modelación hidrológica.

Figura 14.

Red de drenaje de la cuenca del río Chicama.

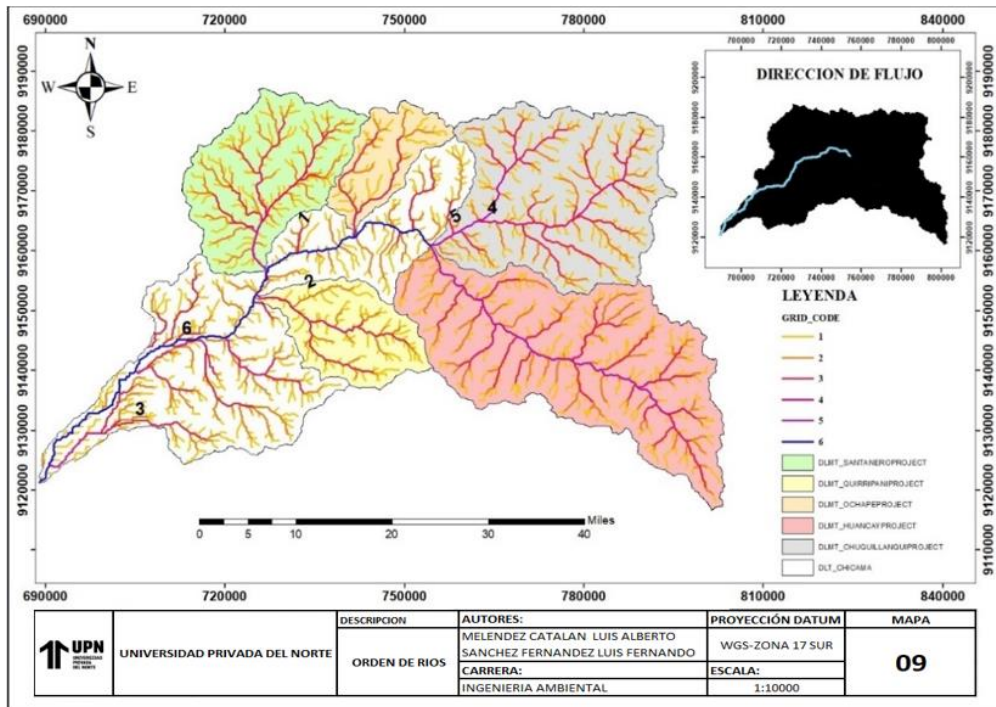
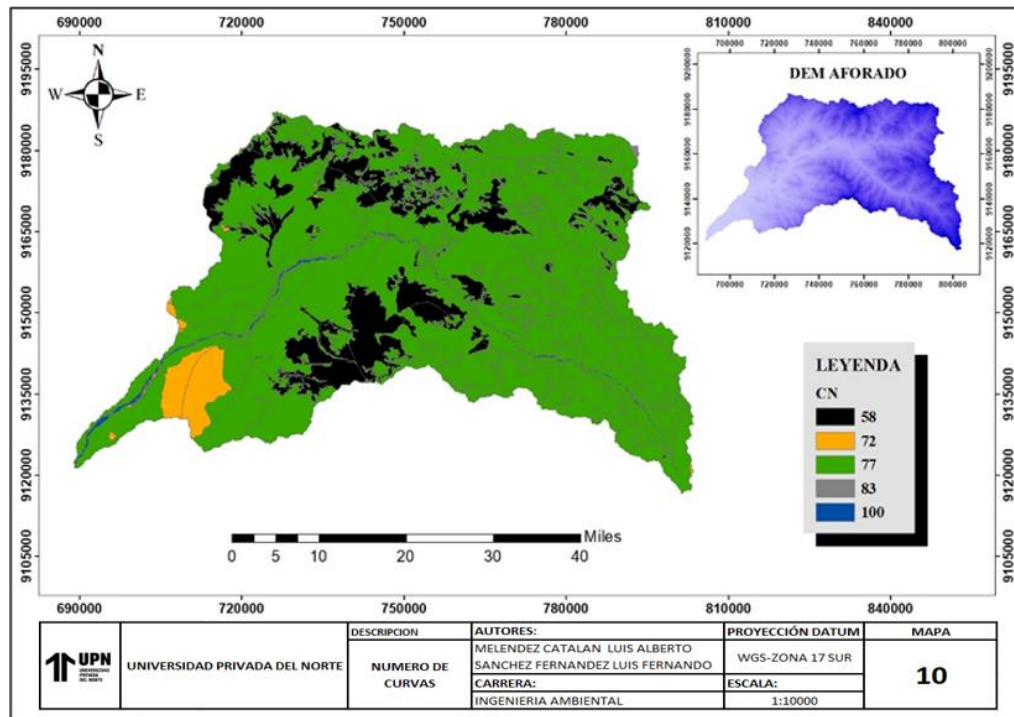


Figura 15.

Numero de curvas de la cuenca del río Chicama.

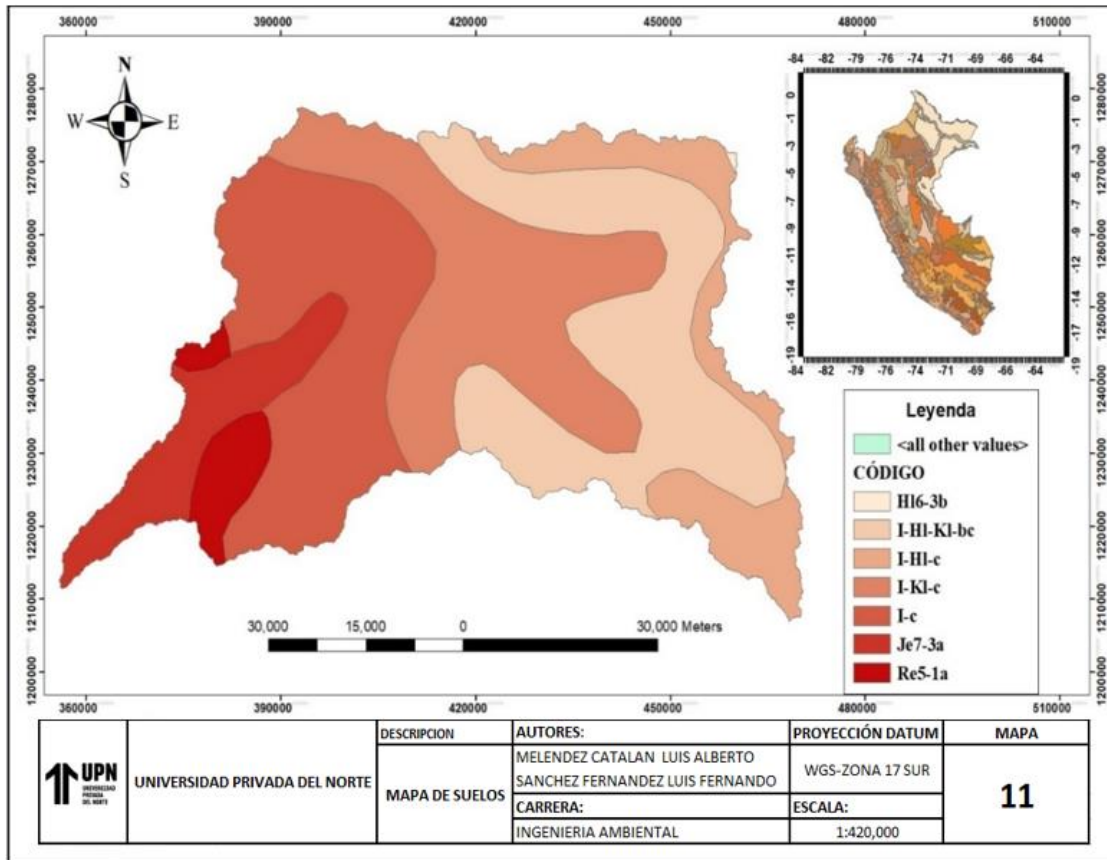


En la siguiente figura, se identificaron los tipos de suelo según la clasificación de la FAO, siendo litosoles (I), la familia de suelo más característico en la cuenca. Sin embargo, dentro de su codificación se encontró suelos:

1. Leptosol - Luvisol Kastanozem – Cronosemas (I-Kl-c)
2. Leptosol – L. Faeosem – L. Kastanozem - Cambisoles crómicos (I-Hl-Kl-bc)
3. Luvisol Faeosem - Cambisoles (Hl6-3b)
4. Leptosol – Cronosemas (I-c)
5. Leptosol - Luvisol Faeosem – Cronosemas (I-Hl-c)
6. Gleysoles eútricos – Acrisoles (Re5-1a)
7. Fluvisoles eutricos – Acrisoles (Je7-3a)

Figura 16.

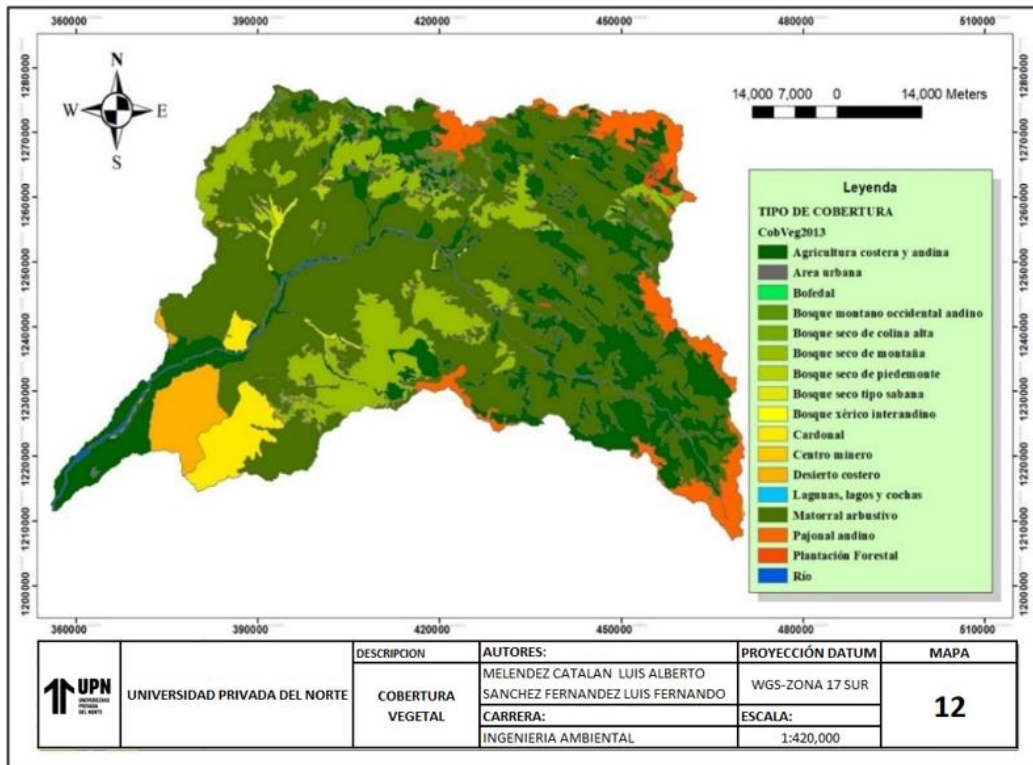
Tipo de suelos de la Cuenca del río Chicama



Otro aspecto ambiental es la cobertura, en la Figura 17 se identificó que los matorrales arbustivos conforman la mayor parte de la cuenca y en menor significancia están las plantaciones forestales ubicados en las zonas más altas.

Figura 17.

Cobertura Vegetal de la Cuenca del río Chicama.



Por otro lado, en la Figura 18 se observa el histograma histórico de las precipitaciones máximas de la estación ficticia que se elaboró con el programa Hydraccess y las 5 estaciones seleccionadas (Callancas, Cospan, Magdalena, San Benito y Sinsicap); siendo el año 1983 el registro con más relevancia. Además, en la Figura 19 se observa los resultados de la prueba de bondad de ajuste en las diferentes distribuciones probabilista, obteniendo que la función de Gumbel es la distribución más adecuada para la estación ficticia Chicama con una delta máxima de 0.07470.

Figura 18.

Histograma histórico de la estación ficticia Chicama.

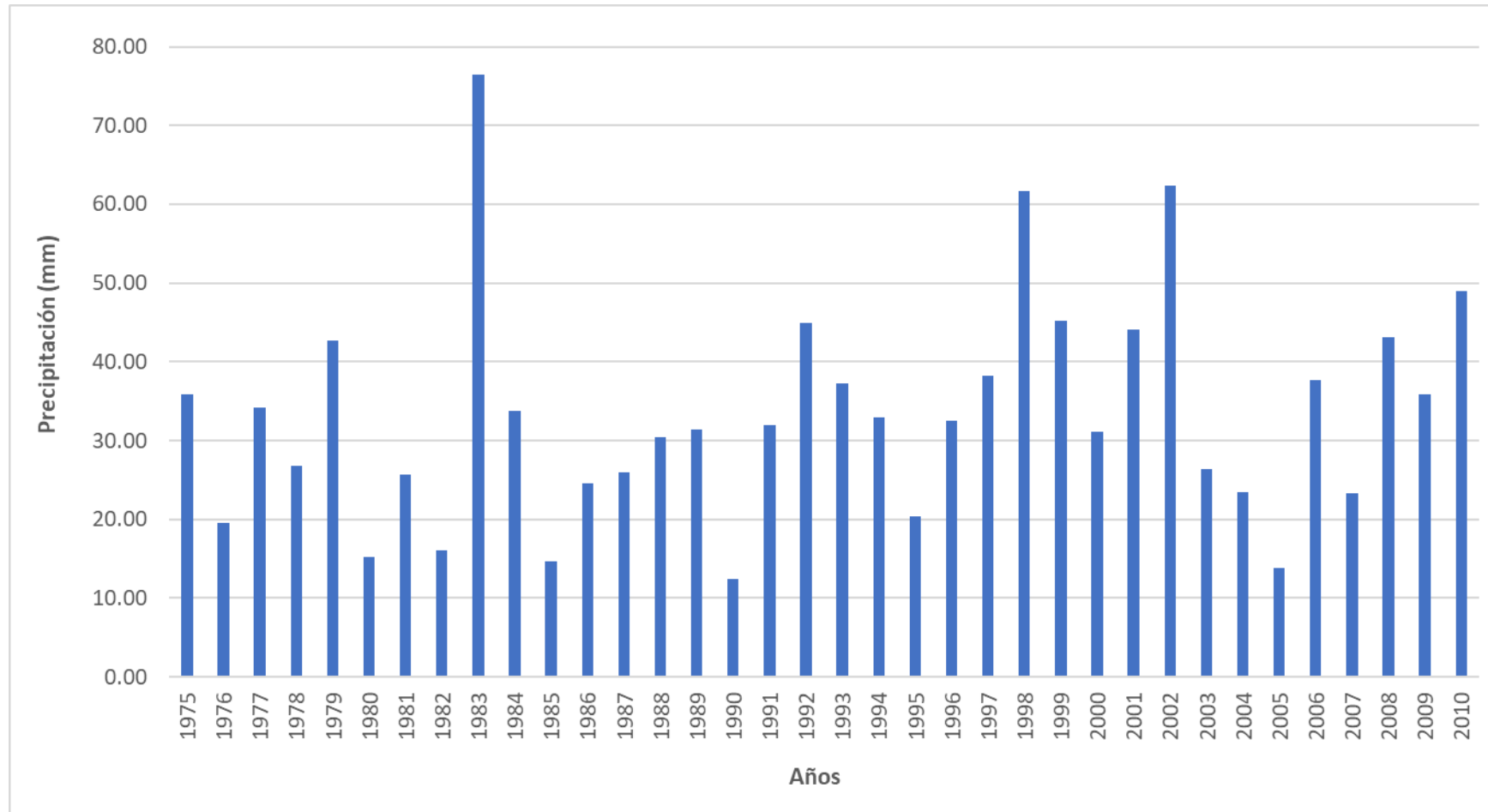


Figura 19.

Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov - Smirnov.

ESTACIÓN FICTICIA												
m	x_m	$F_o(x_m)$	$F(x_m)$ Normal	$ F_o(x_m)-F(x_m) $ Normal	$F(y_m)$ Log - Normal	$ F_o(y_m)-F(y_m) $ Log - Normal	$F(y_m)$ Pearson III	$ F_o(y_m)-F(y_m) $ Pearson III	$F(y_m)$ Log Pearson III	$ F_o(y_m)-F(y_m) $ Log Pearson III	$F(x_m)$ Gumbel	$ F_o(x_m)-F(x_m) $ Gumbel
1	76.4	0.973	0.999	0.026	0.983	0.010	0.992	0.019	0.991	0.019	0.989	0.016
2	62.3	0.946	0.979	0.033	0.951	0.005	0.950	0.004	0.950	0.004	0.960	0.014
3	61.7	0.919	0.977	0.058	0.949	0.030	0.936	0.017	0.936	0.017	0.958	0.039
4	49.0	0.892	0.865	0.027	0.864	0.028	0.917	0.026	0.917	0.025	0.872	0.019
5	45.2	0.865	0.798	0.067	0.818	0.047	0.839	0.026	0.837	0.026	0.825	0.040
6	44.9	0.838	0.792	0.046	0.814	0.024	0.828	0.009	0.827	0.011	0.821	0.017
7	44.1	0.811	0.776	0.035	0.803	0.008	0.814	0.003	0.812	0.002	0.809	0.002
8	43.1	0.784	0.754	0.030	0.788	0.004	0.794	0.010	0.792	0.008	0.792	0.009
9	42.7	0.757	0.745	0.012	0.781	0.024	0.712	0.045	0.708	0.048	0.786	0.029
10	38.2	0.730	0.634	0.096	0.698	0.032	0.698	0.032	0.694	0.036	0.696	0.034
11	37.7	0.703	0.620	0.082	0.687	0.016	0.695	0.007	0.691	0.012	0.684	0.018
12	37.2	0.676	0.607	0.069	0.676	0.000	0.645	0.030	0.640	0.036	0.673	0.003
13	35.9	0.649	0.571	0.078	0.645	0.003	0.646	0.003	0.640	0.009	0.640	0.009
14	35.8	0.622	0.568	0.053	0.643	0.021	0.639	0.017	0.633	0.012	0.638	0.016
15	34.2	0.595	0.524	0.071	0.603	0.008	0.590	0.005	0.583	0.012	0.594	0.000
16	33.8	0.568	0.512	0.055	0.592	0.024	0.552	0.016	0.543	0.024	0.583	0.015
17	32.9	0.541	0.487	0.053	0.567	0.027	0.552	0.011	0.544	0.003	0.557	0.016
18	32.5	0.514	0.476	0.038	0.556	0.043	0.548	0.034	0.540	0.026	0.545	0.032
19	32.0	0.486	0.462	0.025	0.542	0.056	0.468	0.018	0.459	0.028	0.530	0.044
20	31.4	0.459	0.445	0.014	0.525	0.065	0.459	0.000	0.450	0.010	0.512	0.052
21	31.1	0.432	0.437	0.004	0.516	0.083	0.455	0.023	0.445	0.013	0.502	0.070
22	30.4	0.405	0.417	0.012	0.494	0.089	0.450	0.045	0.440	0.035	0.480	0.075
23	26.8	0.378	0.322	0.057	0.379	0.001	0.610	0.232	0.743	0.365	0.362	0.016
24	26.4	0.351	0.312	0.040	0.366	0.015	0.743	0.391	0.746	0.395	0.349	0.003
25	26.0	0.324	0.302	0.022	0.353	0.029	0.746	0.422	0.749	0.425	0.335	0.011
26	25.7	0.297	0.295	0.003	0.343	0.046	0.759	0.462	0.762	0.465	0.325	0.028
27	24.6	0.270	0.268	0.002	0.306	0.036	0.769	0.499	0.773	0.502	0.289	0.019
28	23.4	0.243	0.241	0.002	0.267	0.024	0.790	0.546	0.793	0.550	0.251	0.008
29	23.3	0.216	0.239	0.023	0.264	0.047	0.816	0.600	0.819	0.603	0.248	0.032
30	20.4	0.189	0.180	0.009	0.173	0.016	0.839	0.650	0.841	0.652	0.163	0.026
31	19.6	0.162	0.166	0.004	0.150	0.012	0.869	0.707	0.869	0.707	0.142	0.020
32	16.1	0.135	0.112	0.023	0.068	0.067	0.883	0.748	0.881	0.746	0.069	0.066
33	15.2	0.108	0.100	0.008	0.052	0.056	0.897	0.789	0.893	0.785	0.055	0.053
34	14.6	0.081	0.093	0.012	0.043	0.038	0.927	0.846	0.918	0.837	0.047	0.034
35	13.8	0.054	0.084	0.030	0.032	0.022	0.927	0.873	0.918	0.864	0.037	0.017
36	12.5	0.027	0.071	0.044	0.019	0.008	0.991	0.964	0.965	0.938	0.025	0.002
n	36		Δ_{max}	0.09610			0.08908		0.96435		0.93750	0.07470
α	0.05		$\Delta_{critico} > \Delta_{max}$	Si se ajusta			Si se ajusta		No se ajusta		No se ajusta	Si se ajusta
$\Delta_{critico}$	0.22172		Mejor Ajuste	3			2		5		4	1

Por consiguiente, en la Figura 20 observamos las curvas IDF de las precipitaciones a partir de la estación ficticia y el método IILA-SENAMHI en los años de 5, 10, 20, 50 y 100 años, siendo el último periodo el que presenta un alto nivel de intensidad con 132.8 MM/HR. Del mismo modo, para los PR mencionados, se obtuvo 5 hietogramas (Figura 21 al 25) con un intervalo de 5 minutos, donde llegan a su pico más alto en 60 y 65 minutos.

Figura 20.

Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia de la estación Ficticia de los PR.

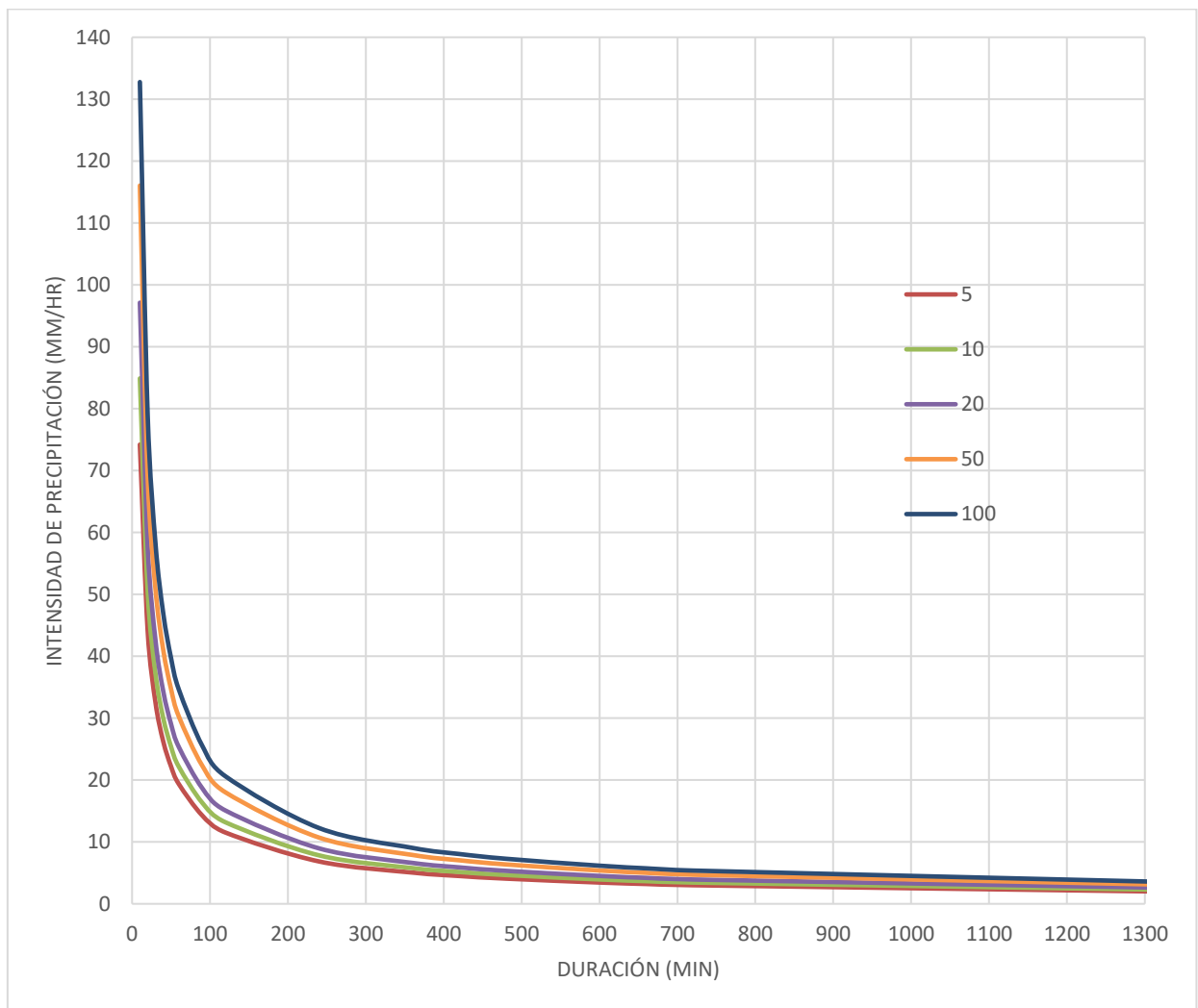


Figura 21.

Hietogramas de precipitación para un diseño de 5 años.

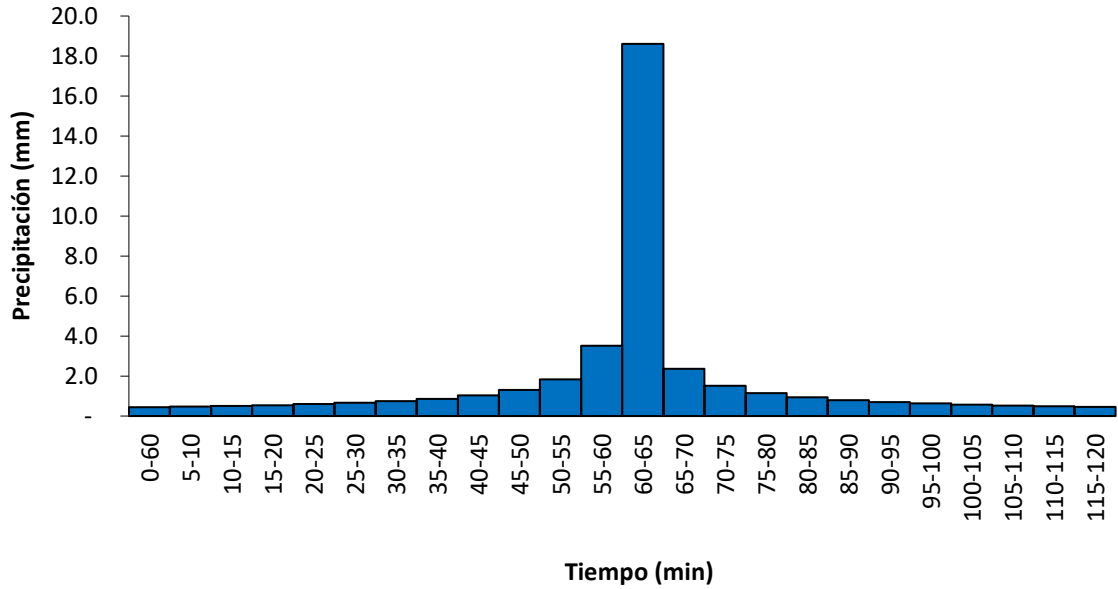


Figura 22.

Hietogramas de precipitación para un diseño de 10 años.

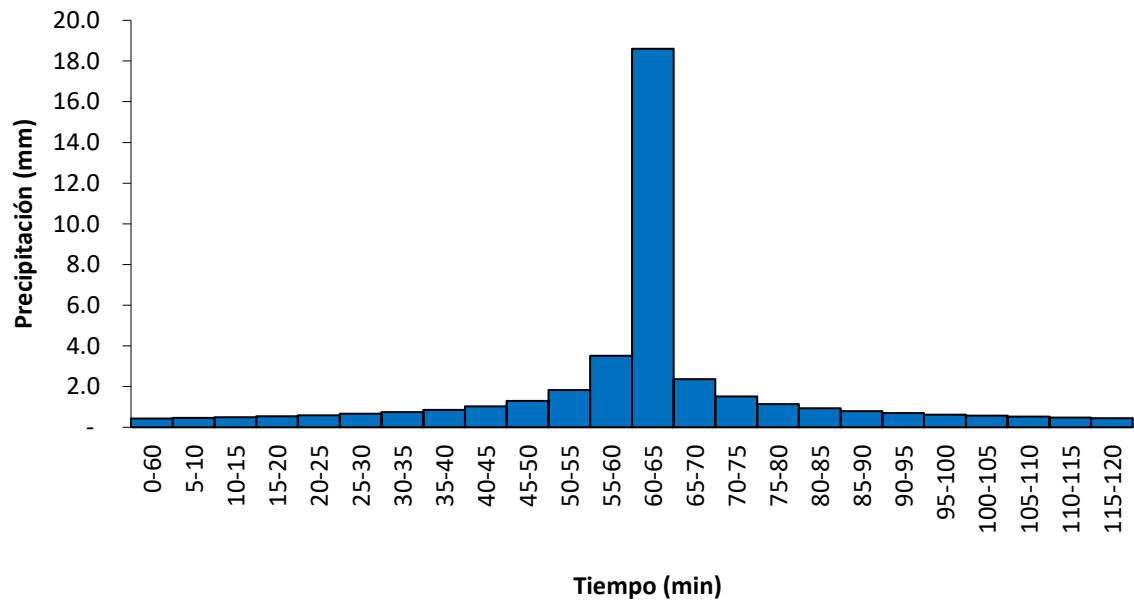


Figura 23.

Hietogramas de precipitación para un diseño de 20 años.

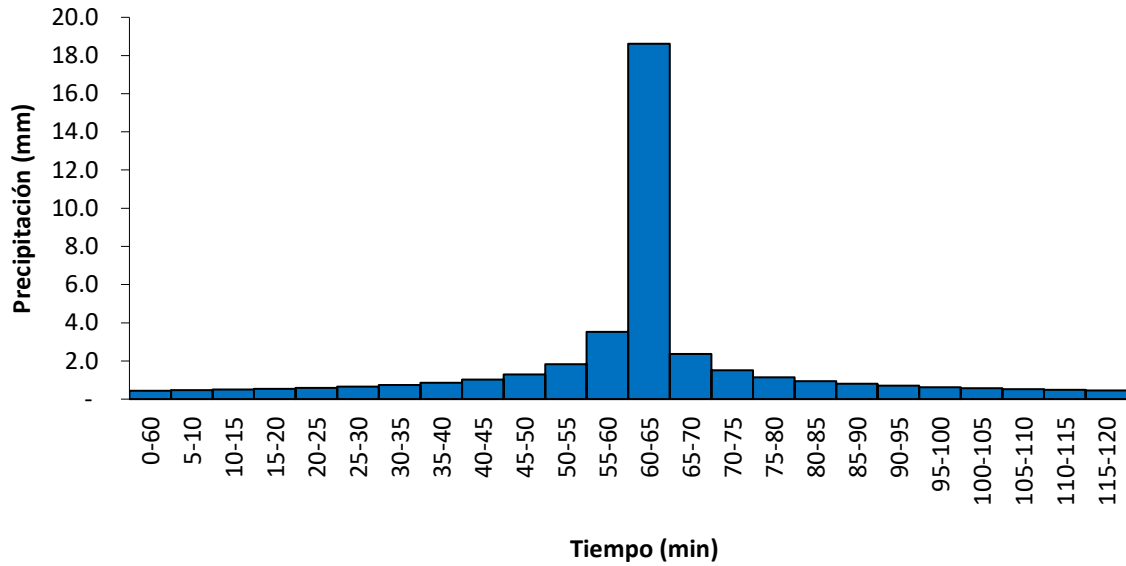


Figura 24.

Hietogramas de precipitación para un diseño de 50 años.

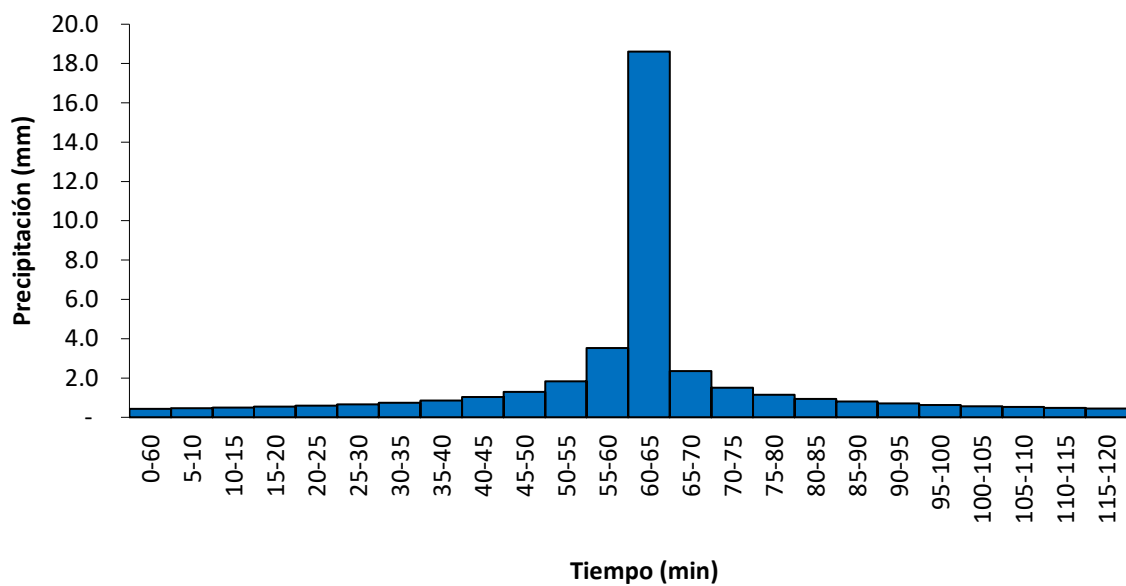
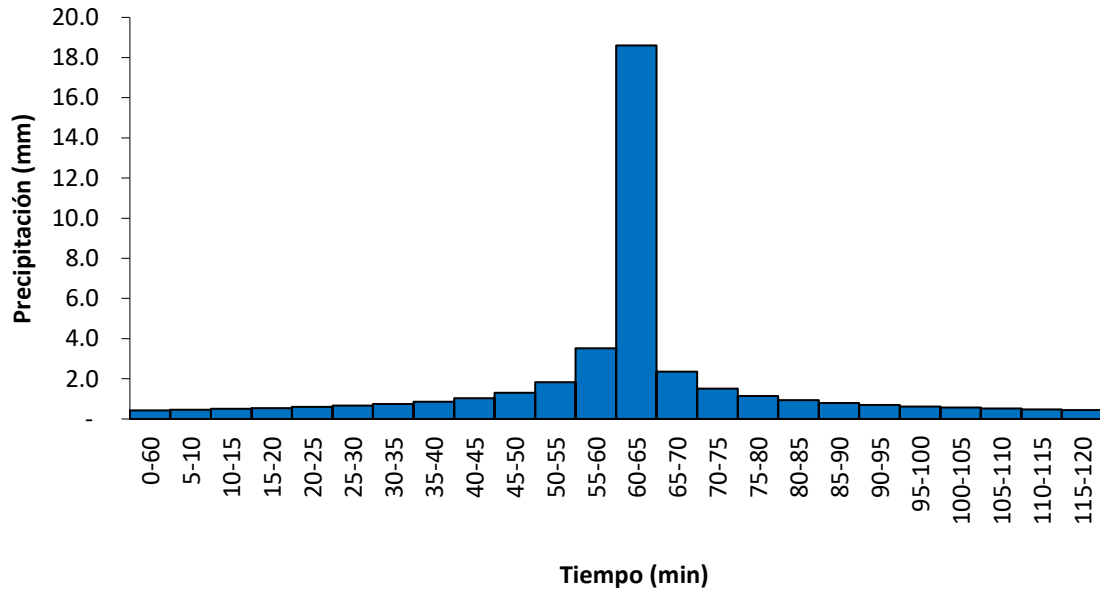


Figura 25.

Hietogramas de precipitación para un diseño de 100 años.



En la Figura 26, se presenta el esquema que se diseñó en el software HEC-HMS 4.4.1, donde W2, W1 y W15 son la cuenca alta, media y baja del río Chicama; los ríos principales se identifican con “R” y el punto de aforo (parte baja de la cuenca) con “A”. Por consiguiente, los resultados de la modelación hidrológica para los diferentes PR, se evidencia en la Tabla 9, donde se obtuvo que, el área de drenaje es el mismo para todos con un valor de 4493.74 km²; sin embargo, los caudales y volúmenes más extremos observo en el PR de 100 años (790.36 m³/s y 7.24 mm) y el mínimo en el PR de 5 años (170.2 m³/s y 1.56 mm). Al mismo tiempo, el software nos brindó los hietogramas de los caudales máximos para eventos extremos.

Figura 26.

Diseño hidrológico base de la cuenca del río Chicama.

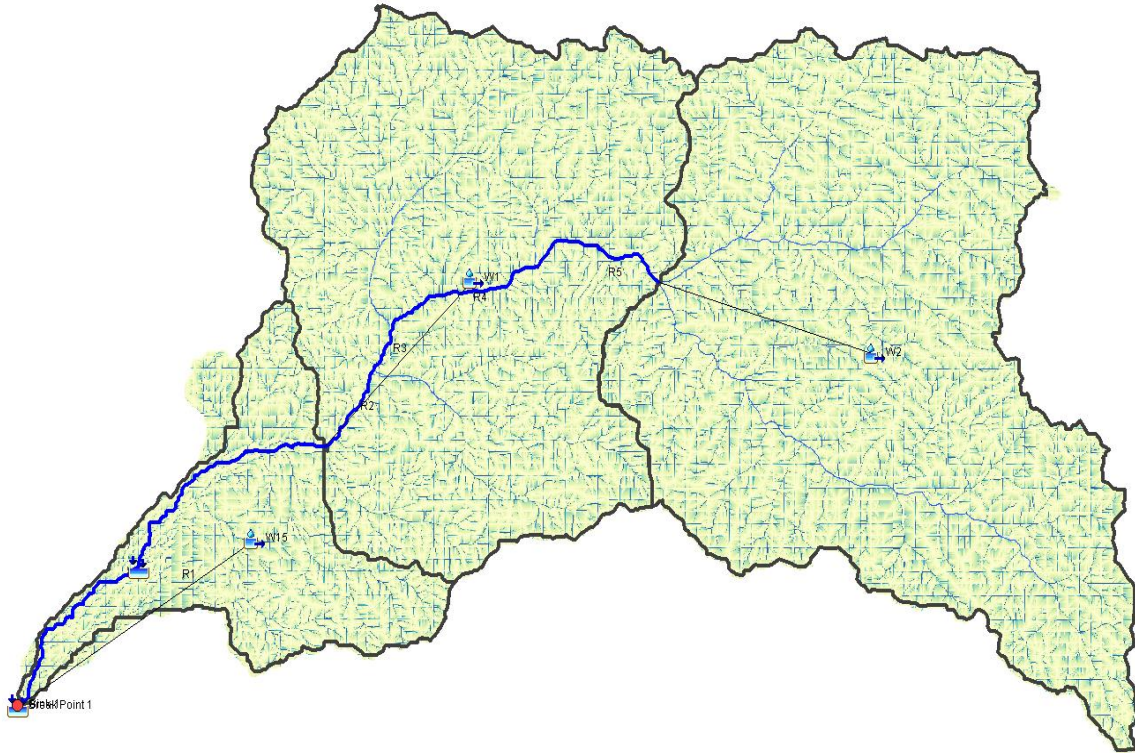


Tabla 9.

Resumen de la modelación hidrológica en la cuenca baja del río Chicama.

TR (años)	PARAMETROS		
	Área de drenaje (km ²)	Caudal máx. (m ³ /s)	Volumen (mm)
5	4493.74	170.2	1.56
10	4493.74	246.3	2.26
20	4493.74	355.6	3.26
50	4493.74	566.7	5.19
100	4493.74	790.3	7.24

En la modelación 2D con HEC-RAS 5.0.7, se diseñó en RAS Mapear una geometría 2D para la simulación de inundación en el área a estudiar (Figura 27), en el cual se utilizó para los PR de 5, 10, 20, 50 y 100 años; igualmente en el software se obtuvo los tirantes de 2.24 m, 2.8 m, 2.47 m, 3.76 m y 5.18 m; con velocidades de 6.04 m/s, 6.24 m/s, 5.89 m/s, 31.6 m/s y 9.17 m/s; también nos brindó las elevaciones superficiales con valores de 128.18 m, 128.2 m, 128.27 m, 128.37 m y 128.46 m en los periodos ya mencionados. Estos parámetros de inundación en la cuenca baja del río Chicama se visualizan en la Figura 28, 29 y 30.

Figura 27.

Geometría 2D del diseño hidráulico.

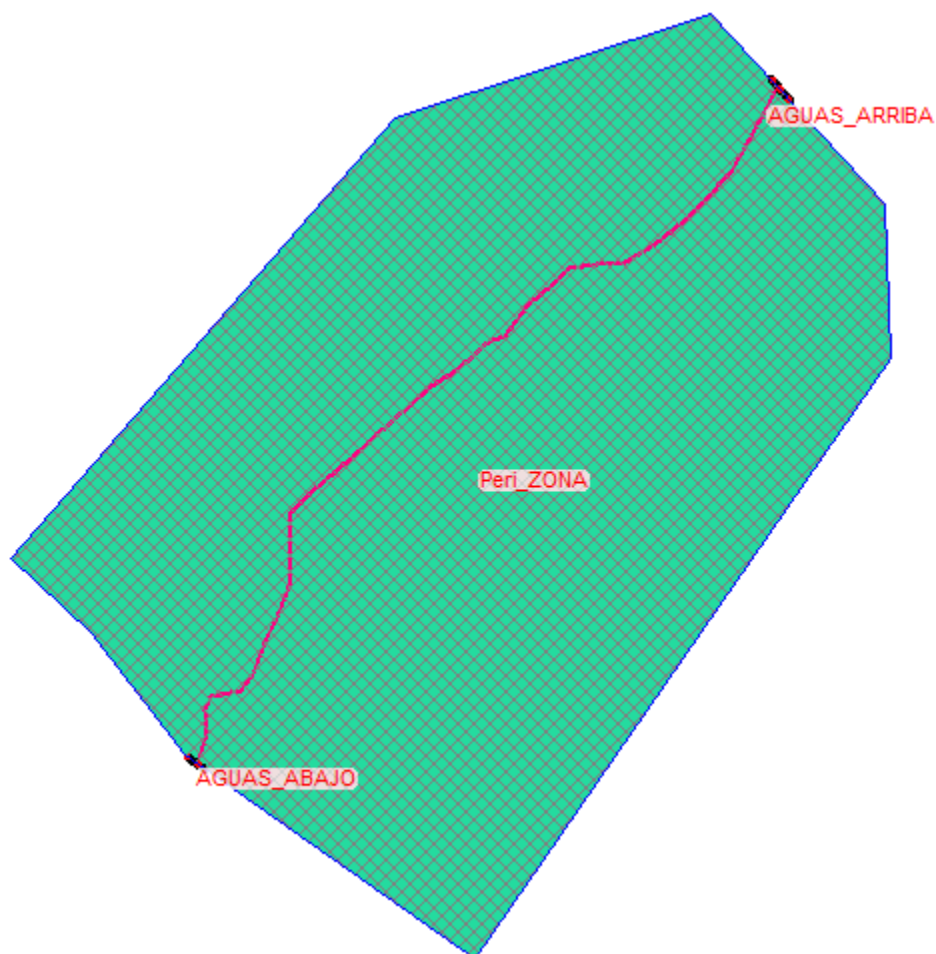


Figura 28.

Tirantes máximos de inundación en la cuenca baja del río Chicama en los diferentes PR.

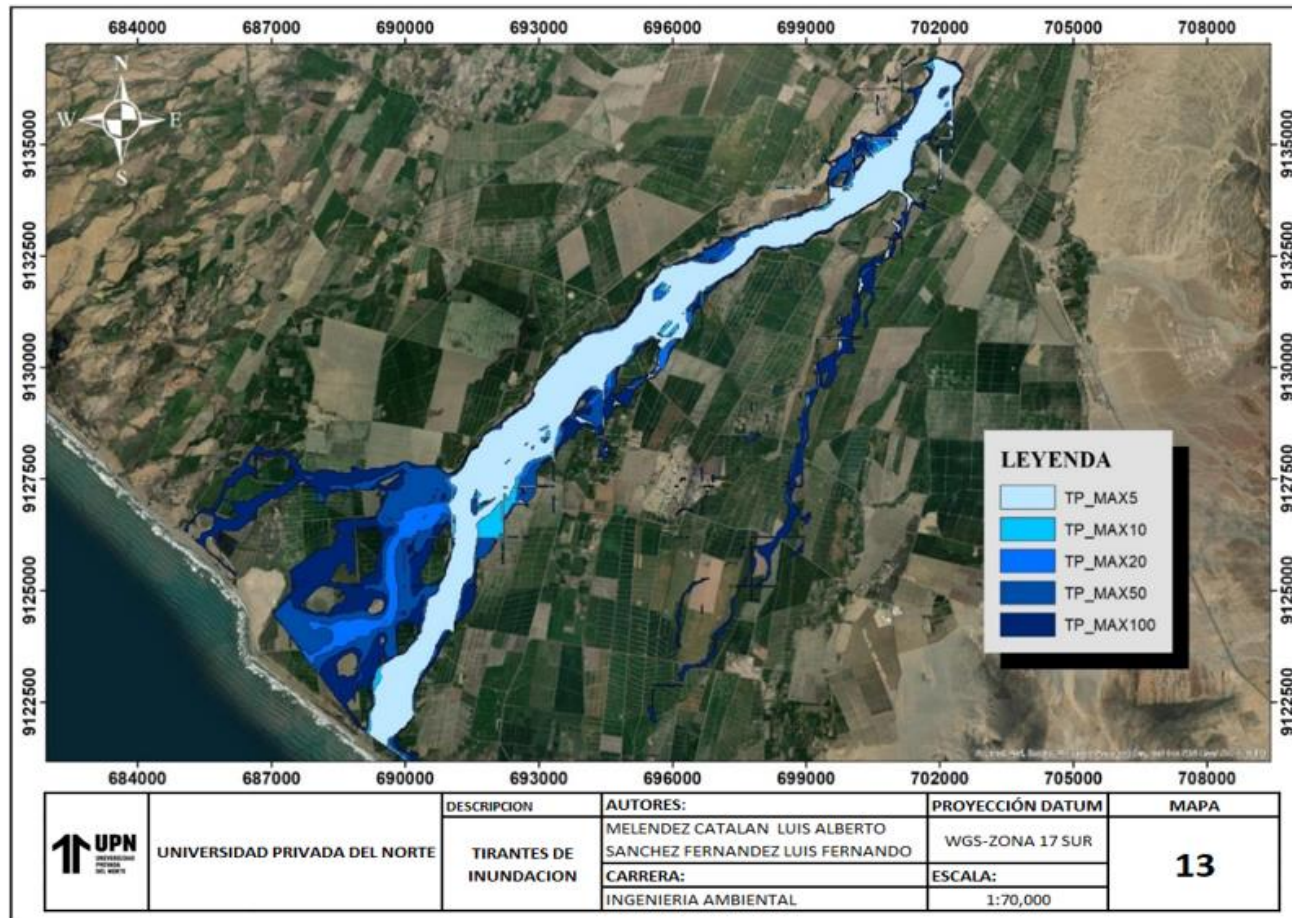


Figura 29.

Velocidades máximas de inundación en la cuenca baja del río Chicama en los diferentes PR.

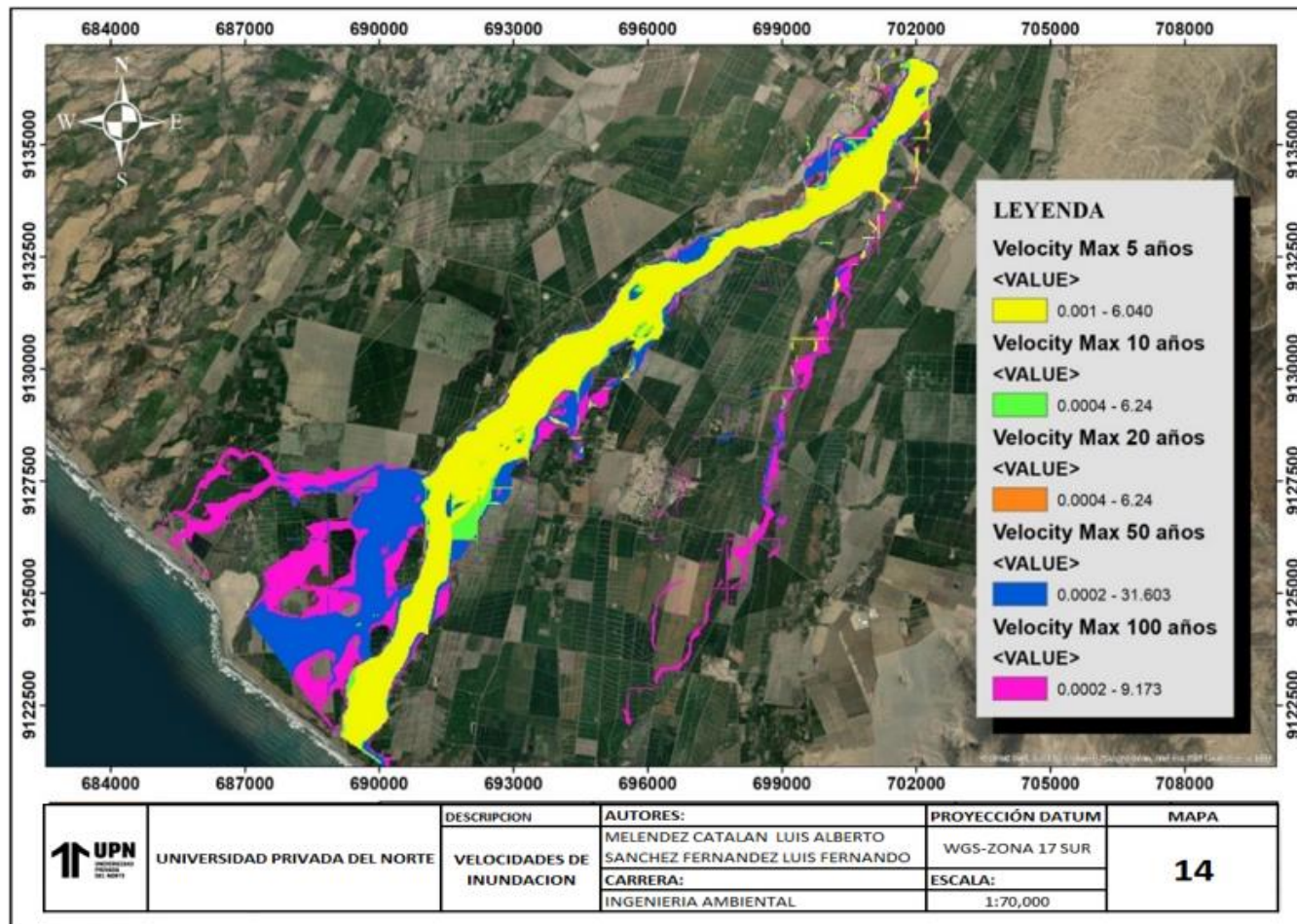
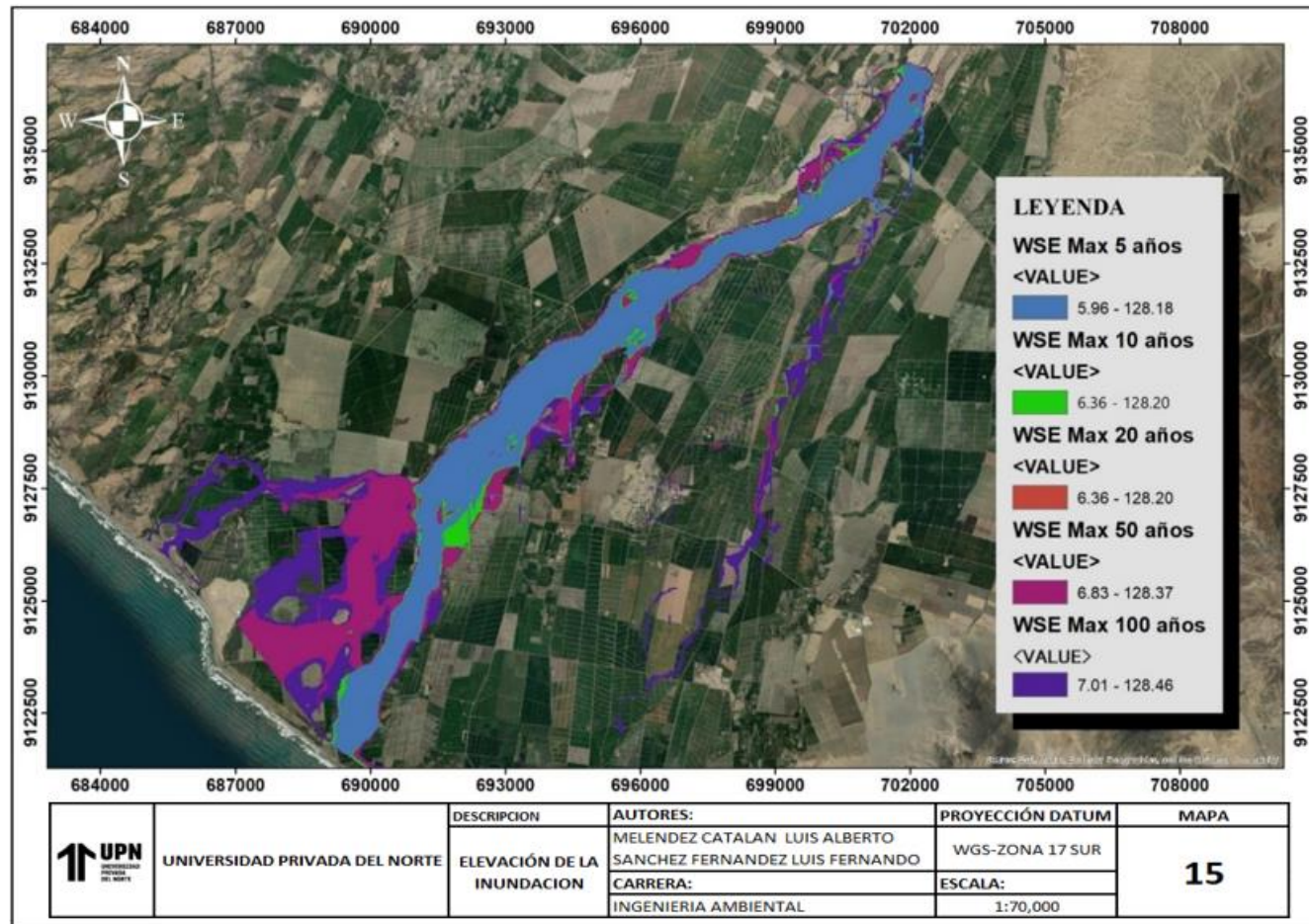


Figura 30.

Elevaciones superficiales máximas de inundación en la cuenca baja del río Chicama en los diferentes PR.



CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las inundaciones fluviales, son desbordes anormales del límite superficie de un cauce, ocasionado por fuertes lluvias; sin embargo, la población presente y futura está expuesta a estos desastres, ya que han invadido zonas aledañas a los cauces del río. Esto se debe a la escasa información y al nivel de pobreza actual, por lo cual, en la presente investigación se propone la modelación como una alternativa para informar zonas vulnerables a inundaciones. Según el SENAMHI (2017), las inundaciones son invasiones de agua fuera de los márgenes del río, convirtiéndose en desastre cuando generan daños significativos. Asimismo, Hamidifar & Nones (2021) considera que la exposición a las inundaciones se multiplicará por tres en el año 2050, ya que incrementará la población y los activos económicos en zonas propensas a inundaciones.

Se planteo como objetivo general identificar las zonas vulnerables a inundaciones mediante la modelación hidrológica e hidráulica en la cuenca baja del río Chicama. Podemos decir que mientras la cantidad de años sea mayor la altura de inundación también lo será, pero el área de inundación será menor. Sin embargo, estos niveles de vulnerabilidad serán analizados según la metodología aplicada, ya que existe una variación si se utiliza otra metodología o datos actualizados. Esto se corrobora en el estudio de Abdulrazaq et al. (2022), en que evaluó la eficiencia de los modelos basado en evidencia (EBF) y análisis jerárquico (AHP) en el mapeo de áreas vulnerables a inundaciones; determinando que el método EBF identificó el 32% como zonas de riesgo de inundación de muy alto a alto, mientras que el método AHP identificó el 22%, demostrando que dependiendo el método se obtiene la viabilidad de los resultados.

Se planteo como primer objetivo específico determinar las características físicas y de drenaje de la cuenca. Sin embargo, fue necesario calcular a su vez las características de las subcuencas que participaban en la modelación hidrológica, ya que permitió una mejor comprensión y análisis de datos. Tal como mencionan Acuña (2020) en su estudio del río Rímac, donde nos menciona que es importante conocer las subcuencas hidrográficas, porque permite llevar un buen control y saber de qué manera está cambiando su área, su cauce y su rendimiento al pasar de los años. Asimismo, Mazahir et al. (2022) nos menciona que, las características físicas y de drenaje de una cuenca son importantes para comprender y gestionar la calidad del agua y los impactos ambientales.

En esta investigación se determinaron parámetros como área, pendiente, longitud del cauce, entre otros; pero los resultados obtenidos no concuerdan con el *Estudio evaluación de los recursos hídricos de la cuenca del río Chicama* del ANA del año 2015 ya que usaron las cartas nacionales del año 2010 y en nuestra investigación se utilizó un DEM del año 2014 con una resolución de 30m procedente del USGSS; esto es importante porque el relieve de una cuenca varía con el pasar de los años y al cambiar dicho parámetro cambian sus demás características. Del mismo modo Ybarra et al. (2018), afirma que el relieve en una cuenca condiciona la dinámica hidrográfica, porque puede inducir a situaciones meteorológicas que favorezcan la precipitación, así como la mayor concentración de las mismas a mayor altitud y viceversa, siendo relevante las alteraciones a las que son expuesto con los años.

Respecto al segundo objetivo específico, en el que se llevó a cabo la modelación con HEC-HMS para la estimación de caudales máximos en 5, 10, 25, 50 y 100 años. Se obtuvo que los hietogramas de Pp máx. y curvas IDF para los diferentes PR usados en el modelo, suelen cambiar según el procedimiento e intervalo de tiempo que se emplee; la

metodología que se aplicó fue IILA-UM-SENAMHI, ya que según el criterio de la Norma Técnica OS.060 Drenaje Pluvial Urbano, es la que mejor se adecua a la cuenca del río Chicama. En relación a lo mencionado, Balbastre (2018), en su investigación concluye que la aplicación de un método u otro no influye de una forma significativa en la respuesta de la cuenca independientemente del tamaño de esta, por lo que en este punto es importante analizar y comparar las metodologías posibles.

Otro factor importante es la homogenización de las Pp máximas, puesto que genera errores al ingresar las series de datos en el software debido a la escasa información. Esto concuerda con Sangüesa (2019), donde nos indica que, al analizar las tendencias se observa cambios intra anuales en las precipitaciones, ya que algunos meses presentan un aumento de las intensidades mientras que en los demás han disminuido. Finalmente, los caudales máximos resultantes del HEC-HMS comprenden a la metodología de SCS Curve Number. Según Carhuapoma (2019), asegura que para conocer el volumen anual de agua que se genera a nivel de unidades hidrográficas, se debe recurrir a la metodología Soil Conversion Service (SCS) obteniendo así caudales máximos de 0.5 m³/s, 8.01 m³/s y 17m³/s para un PR de 5, 25 y 50 años.

Por último, el tercer objetivo específico que se planteó fue determinar los tirantes y velocidades máximas para los PR establecidos en la zona baja de la cuenca. La simulación se realizó en la cuenca baja debido a la acumulación de los ríos de las subcuencas y a la población existente. Este criterio lo afirma Estrada (2021), en el que concluye que las inundaciones afectan de manera recurrente a la población de la cuenca baja, ya que los hogares que no dispongan de ciertos recursos van a presentar singulares características para considerarlos vulnerables a los riesgos de inundación. Además, la modelación que se realizó en el software es bidimensional, porque nos permite una mejor

visualización de resultados. De igual manera, Acero (2019), asegura que este software presenta características idóneas para estos estudios, porque los algoritmos que presenta en su programación le permiten simular bidimensionalmente el flujo de inundación.

Se concluye que, la vulnerabilidad a inundaciones en los PR de 5, 10, 25, 50 y 100 en la cuenca baja del río Chicama son de nivel extremos, siendo viable la modelación hidrológica e hidráulica. Además, la variación de resultados en comparación con otros estudios realizados en la cuenca se debe a factores como el año de los DEM tomados, el tipo de fuentes de información confiable, el intervalo de tiempo que se desea modelar hidrológicamente y la ubicación de la zona o punto de aforo que se desea evaluar. Del mismo modo para los parámetros físicos y de drenaje determinados de la cuenca, ya que las ecuaciones empleadas para su cálculo tienen un respaldo teórico. Por último, podemos decir que las metodologías aplicadas en los softwares HEC-HMS y en HEC-RAS son complementarias e indispensable para los estudios de inundaciones en cuencas hidrográficas, además de ser acceso libre.

En relación a lo anterior Tapara (2018) nos menciona que, estos programas tienen una correlación dependiente, ya que en su investigación logró identificar en la cuenca del río Cañipia zonas con alto, moderado y bajo riesgo de inundación con un área de 18 Ha, 25.2 Ha y 34.1 Ha respectivamente. Utilizando el programa HEC-HMS para la obtención de caudales máximos en PR de 2, 5, 10, 25, 50, 100 años; y el programa HEC-RAS con la extensión HecGeoRas para el análisis hidráulico y generación de mapas de inundación. De igual forma Yabar (2023), haciendo uso de ambos programas identifiqué que, las zonas agrícolas son las más afectadas por el desplazamiento del agua de la cuenca del río Huallaga con caudales de 118.70 m³/s, 197.80 m³/s, 274.00 m³/s, 379.80 m³/s y 758.80 m³/s para PR de 2, 25, 50, 100 y 500 años respectivamente.

Por otro lado, la limitación principal fue la escasa información pluviométrica y la no homogenización de los datos de precipitación en 24 horas, porque al generar la corrida en la estación ficticia se debe tener completo los datos y la misma cantidad de años. Otra limitación fue el idioma de los artículos de investigación, ya que en muchos de nuestros antecedentes estuvieron en inglés; por eso se recomienda en las investigaciones futuras considerar estas limitaciones para determinar el tiempo a modelar, zona específica de afectación y traducción de artículos para obtener buenos resultados.

Por último, la implicancia que se presentaron en nuestra investigación fue de tipo práctica, debido a que la manipulación de datos para completar y extender los datos de precipitación en Excel, es más complejo y con tendencia a errores. Sin embargo, con los programas HIDROESTA 2 y HEC4, completar los datos de precipitación en 24 horas es más práctico generando así una data adecuada para usarse en los modelos HEC-HMS y HEC-RAS bríndanos así resultados que se asemejan más a la realidad.

REFERENCIAS

- Acero, A. (2019). *Modelación numérica bidimensional del flujo generado por rotura de la presa Mulacorrall mediante Hec Ras 5.0*. Repositorio Digital Institucional de la Escuela Politécnica Nacional. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20428>
- Acuña, S. (2022). *Estudio y determinación de los parámetros morfométricos de una subcuenca hidrográfica*. Repositorio de Tesis UPU. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3559>
- Álvarez-Bayona, M. A., y MacGregor-Torrado, A. A. (2023). Determinación de los periodos de retorno utilizando el ajuste de distribución de probabilidad para la estación meteorológica de La Playa Norte de Santander. *Revista Ingenio*, 20(1), 59–65. <https://doi.org/10.22463/2011642X.3710>
- Arias, D. (2021). *Evaluación del riesgo de inundación fluvial en la cuenca baja del Río Esmeraldas*. Repositorio Digital UTN. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10942>
- Arias-Gómez, J., Villasís-Keever, M., y María-Guadalupe, M. (2016). El protocolo de investigación III: la población de estudio. *Revista Alergia México*, 63(2). <https://www.redalyc.org/pdf/4867/486755023011.pdf>
- Autoridad Nacional del Agua. (2016). *Generacion del mapa tematico de curva numero (cn)*. Udocz. <https://www.udocz.com/apuntes/55918/generacion-del-mapa-tematico-de-curva-numero-cn-ana-apoyame-con-un-me-gusta-gracias>
- Apaza, M. (2018) Modelamiento Hidrológico del Río Azángaro Tramo: Puente Azángaro – Puente Yaraja, con Aplicación de los Programas ARCGIS y HEC RAS, con Fines de defensas. [Tesis de grado, Universidad Andina Nestor Cáceres

Velasquez]. Repositorio Institucional UANCV.

<http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/2152>

Balbastre, R. (2018). Análisis comparativo de metodologías de cálculo de tormentas de diseño para su aplicación en hidrología urbana. Repositorio Institucional UPV. <https://riunet.upv.es/handle/10251/100090>

Benique, K. (2019) Modelación Hidrológica de la Cuenca baja del río Cuyocuyo; sector Ccolocconi – Puente Santa Rosa, para determinar el potencial Hídrico y Zonas de Riesgo, con la aplicación del Software Hec - Ras [Trabajo de investigación, Universidad Andina Néstor Cáceres Velasquez]. Repositorio Institucional de la DSPACE. <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/3150>

Bladés Benítez, M. A., & López Soto, J. G. (2020). Análisis hidrológico e hidráulico del potencial de inundación. Revista Ingeniería, 4(10), 178–191. <https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v4i10.65>

Bocanegra, M.(2021) Modelación hidrológica e hidráulica del Río Acaponeta, Nayarit, México [Trabajo de investigación, Universidad autónoma de chapingo.]. Repositorio Institucional de la Universidad autónoma de chapingo. <https://repositorio.chapingo.edu.mx/items/f7140c60-5e89-417e-8889-5bccd1a27e16>

Buguña, N. (2019). Aplicación de modelos hidrológicos para la estimación de caudales mensuales en la sub cuenca del río Bigote [Tesis de Máster en Ingeniería Civil con Mención en Recursos Hídricos]. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Piura, Perú. <https://hdl.handle.net/11042/4016>

Carhuapoma, A. (2019). Uso del software Hec-Hms y ArcGIS para determinar máximas avenidas y diseño de bocatoma de la quebrada Chimina. Distrito Sarín. Provincia

- Sánchez Carrión. La Libertad. 2019. Repositorio Institucional UNT.
<https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/12354>
- Campo, A., Gil, V. & Ibarra, A. (2017). Análisis del relieve y dinámica fluvial. Cuenca del arroyo Casa de Piedra, Río Negro, Argentina. Researchgate.
https://www.researchgate.net/profile/Guadalupe-Ybarra-Alcaraz/publication/331935548_Analisis_del_relieve_y_dinamica_fluvial_Cuenca_del_arroyo_Casa_de_Piedra_Rio_Negro_Argentina/links/5c938e43a6fdccd4602fbfbc/Analisis-del-relieve-y-dinamica-fluvial-Cuenca-del-arroyo-Casa-de-Piedra-Rio-Negro-Argentina.pdf
- Cañibano, A., Gandini, M. (2018). El concepto de Rectángulo Equivalente para la caracterización de la forma de una cuenca. Research square research square,9(1),7-14.
https://www.researchgate.net/publication/337528843_El_concepto_de_Rectangulo_Equivalente_para_la_caracterizacion_de_la_forma_de_una_cuenca
- Centro de Investigaciones sobre la Epidemiología de los Desastres. (2020). El costo humano de los desastres: Una mirada a los últimos 20 años 2000-2019.
<https://n9.cl/whs3u>
- Culma, M. (2021). Influencia del cambio del uso del suelo y la expansión urbana sobre escorrentía superficial del Municipio de Madrid durante el periodo 1977 - 2020 [Tesis de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/11349/28351>
- Chagua, J. Z. (2018) Estudio de inundación de la zona correspondiente al distrito de Calango, provincia de Cañete, departamento de Lima, Mediante el uso de los modelos matemáticos HEC-HMS Y HEC-RAS. [Tesis de titulación], Pontificia

- Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional de la PUCP.
https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/13180/CHA_GUA_CIERTO_JAMES_ZOSIMO.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Delgado, D. (2021) Modelación hidrológica e hidráulica del río corredor, para la determinación de sitios de inundación en el poblado san rafael y alrededores [Trabajo de investigación, Universidad Latina de costa Rica.]. Repositorio Institucional de la Latina de costa Rica]. <https://hdl.handle.net/20.500.12411/258>
- Diez-Hernández, J. (2008). Evaluación hidrodinámica del hábitat eco hidráulico dirigida a la conservación y restauración de hidro sistemas fluviales. *Ing. Investig*, 28(2).
<https://n9.cl/g8hik>
- Díaz, C., Mamadou, K., Iturbe, A., Esteller, M., y Reyna, F. (1999). Estimación de las características fisiográficas de una cuenca con la ayuda de SIG y MEDT: caso del curso alto del río Lerma, Estado de México. *CIENCIA ergo-sum*, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva, 6(2).
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10401504>
- Duran, J., (2023). Modelación hidrológica para un control e Identificación de zonas de riesgo y características hidráulica del rio Chaupihuaranga en el tramo urbano Ambo – Yanahuanca – 2022 [Universidad de Huánuco].
<http://repositorio.udh.edu.pe/20.500.14257/4195>
- Flores, J. (2020). Modelación hidrológica para la estimación de caudales máximos en la cuenca Khora del municipio de Tiquipaya [Tesis de grado, Universidad Mayor San Simón]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/123456789/19568>

- Godoy, K., (2022) Modelización hidrológica e hidráulica para establecer las zonas inundables en la cuenca del río Vizcarra, del área urbana de los distritos de La Unión y Ripán, Huánuco 2021. [Tesis de grado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://repositorio.udh.edu.pe/123456789/3777>
- Gutiérrez, J., (2021) Modelación hidrológica e hidráulica para prevención de inundaciones en el río Tesechoacán de la Cuenca Papaloapan. [Tesis de Doctorado, Instituto de enseñanzas e investigación en ciencias agrícolas]. Repositorio Institucional Colegio de Posgrado. <http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/4952>
- Henríquez, C., Azócar, G., y Aguayo, M. (2006). Cambio de uso del suelo y escorrentía superficial: aplicación de un modelo de simulación espacial en Los Ángeles, VIII Región del Biobío, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 36, 61-74. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022006000200004>
- Hernández, M. (2018) Análisis de los impactos socioambientales y la percepción de la población del cambio de uso de suelo de zona agrícola a zona urbana en el desarrollo urbano e inmobiliario del distrito de Ica, Perú: el caso de la hacienda san José, periodo 2003 al 2017 [Tesis de posgrado, Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional. https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/13453/HERNANDEZ_PUMA_MILAGRO_DEL_ROSARIO.pdf?sequence=1
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación* (6a ed.). McGraw-Hill. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Hernández, S., y Duana, D. (2020). Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

- Ciencias Económico Administrativas del ICEA*, 9(17).
<https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icea/article/view/6019/7678>
- Hernández-Uribe, R., Barrios-Piña, H., y Ramírez, A. (2017). Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 8(3), 5-25. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-03-01>
- Ibáñez, S., Moreno, H. y Gisbert, J. (2011). *Morfología de las cuencas hidrográficas*. Riunet.
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10782/Morfolog%C3%ADa%20de%20una%20cuenca.pdf>
- Jiménez, S. (2021) Modelación hidrológica de la cuenca del Río Santa Bárbara considerando herramientas de geo información. [Tesis de grado, Universidad Católica de cuenca]. Repositorio Institucional.
<https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/11604>
- Loayza, M. y De la Cruz, J. (2021). Risk of infections, chronic diseases and mental health disorders after floods by the coastal child phenomenon in displaced populations, Piura, 2017. *Revista de la Facultad de Medicina Humana*, (21), 3. <https://doi.org/10.25176/RFMH.v21i3.3826>
- Lozada, J. (2014). Investigación aplicada: Definición, propiedad intelectual e industria. *Centro de Investigación en Mecatrónica y Sistemas Interactivos*, 3(1).
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6163749>
- Lux, B. (2015), Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas. [Tesis de maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio Institucional Universidad de San Carlos de Guatemala <https://core.ac.uk/reader/35294551>
- Mamani, R., y Llanchipa, D. (2018). Definición de zonas de inundación mediante el

- modelo de simulación Hec-Ras en la cuenca baja del río Coata - Puno [Tesis de grado, Universidad Peruana Unión]. Repositorio de Tesis Digitales. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3316>
- Mattos, H. (2018). Caracterización geomorfológica de las Cuencas Hidrográficas Chicama, Moche y Virú, a nivel de microcuencas, utilizando Software ArcGIS [Tesis de grado, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio UNT. <https://hdl.handle.net/20.500.14414/12064>
- Mazahir, S. , Javed, A. and Khanday, M. (2022) Drainage Basin Characteristics of Dhund River Basin, Eastern Rajasthan India, Using Remote Sensing and GIS Techniques. *Journal of Geographic Information System*, 14, 347-363. doi: 10.4236/jgis.2022.144019.
- Méndez, C. y Vásquez. G (2021). Modelación hidrológica e hidráulica de la cuenca del río Machángara para evaluar zonas de inundación. [Trabajo de titulación]. Universidad Católica de Cuenca. Recuperado de <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/11559>
- Mendoza, M., Silvera, E. (2022). Determinación de superficie de inundación del río Chumbao en el distrito de San Jerónimo, mediante el modelo numérico HEC-RAS [Universidad Peruana Unión]. <http://hdl.handle.net/20.500.12840/5686>
- Mikail, A. Q., & Hamad, R. (2023). Mapping Flood Vulnerability by Applying EBF And AHP Methods, in the Iraqi Mountain Region. *Science Journal of University of Zakho*, 11(1), 1–10. <https://doi.org/10.25271/sjuoz.2023.11.1.1033>
- Moreira, A., Mirandola, P., Pinto, A., Salina, E., y De Oliveira, I. (2020). Manejo integrado de cuencas hidrográficas: posibilidades y avances en los análisis de uso y cobertura de la tierra. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de*

Geografía, 29(1), 69–85. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v29n1.76232>

Mosquera Salcedo, C y Rodriguez Moreno, M. (2019). Modelación hidrológica en la cuenca media del caño Vanguardia en Villavicencio-meta. Universidad Santo Tomás. <http://hdl.handle.net/11634/16876>

Munar-Samboní, Andrés-Mauricio; Méndez-Pedroza, Nelly-María; Valbuena-Calderón y Oscar-Eduardo. Modelación hidrodinámica y de calidad del agua en un ecosistema estuarino urbano con incidencia maregráfica y vertimientos de aguas residuales. En: *Entramado*. Enero - junio, 2021 vol. 17, no. 1, p. 302-320 <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.1.7285>

Naotou, Y., Rachmad, J., y Pamudji, A. (2021). *Identification of flood-prone area using HEC-HMS and HEC-RAS, the case of ciberang river basin, lebak district of banten province* [Tesis de maestría, Universitas Gadjah Mada]. Repositorio de Tesis Digitales. <http://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/203127>

Ngoc A. y Kumar L. (2017) Application of remote sensing and GIS-based hydrological modelling for flood risk analysis: a case study of District 8, Ho Chi Minh city, Vietnam [Aplicación de sensores remotos y modelos hidrológicos basados en SIG para el análisis de riesgo de inundaciones: un estudio de caso del Distrito 8, ciudad de Ho Chi Minh, Vietnam]. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2), 1792-1811. <https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1388853>

Nieto, S. (2022). Impacto de la actividad minera artesanal en la calidad del agua del rio abajo, cuenca del abujao-masisea región ucayali-2010, [Tesis posgrado, Universidad Nacional de Ucayali]. Repositorio de Tesis Digitales. http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/5253/B3_2022_UNU_MAE STRIA_2022_TM_SEGUNDO-NIETO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Ochoa, J., Guzmán, A., (2020). La vulnerabilidad urbana y su caracterización socio-espacial, 15(27). Recuperado a partir de <https://www.redalyc.org/journal/4779/477963263004/html/>
- Pineda, R., Valdés, J., y García, P., (2017). Modelación de Crecidas Aluvionales en la Cuenca del Río Copiapó, Chile. *Ingeniería del agua*, 21(2), 135-152. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5966506>
- Poma, M., (2020). Evaluación del peligro por inundación pluvial de la Quebrada Santa Cecilia, Huamanga, Ayacucho, 2020 [Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/61077>
- Quispe, F. y Valeriano, F., (2018) Modelación hidrológica - hidráulica con las plataformas IRIC, HEC-HMS, HEC-RAS y diseño de los muros de encauzamiento del Río Tambo. [Trabajo de investigación, Universidad Nacional de San puntín de Arequipa]. Repositorio Institucional de la UNSA. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6167>
- Quisbert Morillas, M. C., Aguilar Rey, R. I., & Mendoza Rodríguez, J. C. (2022). Actualización y Análisis de la Información Hidrométrica y Régimen Hidrológico de la Cuenca alta del río Pilcomayo. *Aqua-LAC*, 14(1), 89-118. Recuperado a partir de <https://www.aqua-lac.org/index.php/Aqua-LAC/article/view/317>
- Rivera, G. (2020). Determinación de la superficie de inundación del Río Bogotá en el sector de la Universidad Militar Nueva Granada-sede campus Cajicá. [Tesis de grado, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio de Tesis. <http://hdl.handle.net/10654/36807>

- Rochelle, Rocha, Costa., Othavio, Porto, Backes., Pedro, Figueiredo., Flávio, Antônio, de, Souza, Castro. (2018). Procedimientos de muestreo y cálculo para la determinación del tamaño de la muestra: criterios y métodos adoptados en tesis y disertaciones en Ciencias del Movimiento Humano: un estudio descriptivo. *Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano*, doi: 10.5007/1980-0037.2018V20N5P480
- Rodríguez, C., y Alarcón, J. (2021). Estudio hidro morfológico de la cuenca La Mona, El Cady y el riesgo de inundaciones imprevistas. *Estudio hidro morfológico de la cuenca La Mona, El Cady y el riesgo de inundaciones imprevistas*, 15. <https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2598>
- Rodríguez, J., Ruiz, M., y Ortiz, A. (2017). Planificación y gestión de los recursos hídricos: una revisión de la importancia de la variabilidad climática. *Revista Logos Ciencia & Tecnología*, 9(1), 100–105. <https://doi.org/10.22335/rlct.v9i1.401>
- Rojas, J., (2018). Modelación hidrológica e hidráulica del río Tirishuanca para identificación de zonas vulnerables a inundaciones en la localidad de Molino, distrito de Molino, provincia de Pachitea, departamento de Huánuco [Tesis, Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. <https://hdl.handle.net/20.500.13080/3999>
- Santillán, L. (2022). Modelación hidrológica e hidráulica del Río Chalaco, para el diseño de Puente Chalaco, cuenca Medio Alto Piura [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/5662>
- Sardón, H., Lavado-Casimiro, W., y Felipe, O. (2022). Inventario de datos de eventos de inundaciones del Perú. Estudio Final. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI. <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/1786>


- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2017). Lluvias e Inundaciones en aprender con el SENAMHI. Repositorio Senamhi. <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/463>
- Tapra, E. (2018). Modelamiento Hidrológico de la cuenca del Río Cañipia, Aplicando Sistemas de Información Geográfica para determinar las Zonas Vulnerables a Inundaciones en la localidad de Espinar [Tesis de grado, Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez]. Repositorio Dspace. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3316?show=full>
- Triviño, A., y Ortiz, S. (2004). Metodología para la modelación distribuida de la escorrentía superficial y la delimitación de zonas inundables en ramblas y ríos-rambla mediterráneos. *Investigaciones Geográficas*, 35. <https://doi.org/10.14198/INGEO2004.35.08>
- Valdés, Y., y Villalejo, V. (2017). Caudal ambiental: herramienta eco hidrológica en la gestión de los recursos hídricos. *Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 41(1). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382020000100056
- Vásquez, K. P. (2019). Aplicación de sistemas de información geográfica y Hec-Ras para calcular el peligro por inundaciones en la cuenca baja del río Huarmey (Trabajo de investigación). Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11537/21955>
- Vega-Malagón, G., Ávila-Morales, J., Vega-Malagón, A., Camacho-Calderón, N., Becerril-Santos, A., y Leo-Amador, G. (2014). Paradigmas en la investigación. enfoque cuantitativo y cualitativo. *European Scientific Journal*., 10(15). <https://core.ac.uk/reader/236413540>

- World Meteorological Organization. (Edis). (2021). State of climate services water. Scientific. Editors. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10826
- Yabar, L., (2023). Determinación de zonas de riesgo por inundación mediante la modelación hidráulica e hidrológica planteada en el río Huallaga para el tramo del centro poblado de Huaracalla-Huánuco-2022.Puno [Tesis de Titulación, Universidad de Huánuco]. Repositorio de universidad de Huánuco. <http://repositorio.udh.edu.pe/20.500.14257/3963>
- Ynaotou, Jayadi, R., Rahardjo, A., y Puspitosari, D. (2021). Identification of Flood-prone Areas using HEC-HMS and HEC-RAS, the Case of Ciberang River Basin, Lebak District of Banten Province [Identificación de áreas propensas a inundaciones utilizando HEC-HMS y HEC-RAS, el caso de la cuenca del río Ciberang, distrito de Lebak de la provincia de Banten], *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 930. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/930/1/012082>

ANEXOS

Anexo 1.

Matriz de consistencia

TEMA: ZONAS VULNERABLES A INUNDACIONES MEDIANTE LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO CHICAMA, REGIÓN LA LIBERTAD 2022					
PROBLEMA	HIPOTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN
¿Cuáles serían las zonas vulnerables a inundaciones identificadas mediante la modelación hidrológica e hidráulica en la cuenca baja del río Chicama, región La Libertad?	<p>la H1: NA</p> <p>e H0: NA</p>	<p>General: Identificar las zonas vulnerables a inundaciones mediante la modelación hidrológica e hidráulica en la cuenca baja del río Chicama</p> <hr/> <p>Específicos: Determinar las características de drenaje, físicas y ambientales de la cuenca del río Chicama. Analizar las precipitaciones en 24 horas de las estaciones meteorológicas de la cuenca del río Chicama. Determinar los parámetros de inundación en los PR de 5, 10, 25, 50 y 100 años; utilizando los programas HEC-HMS y HEC-RAS en la cuenca baja del río Chicama.</p>	<p>Variable independiente: Modelación Hidrológica e hidráulica</p> <hr/> <p>Variable dependiente: Zonas de inundación</p>	<p>Tipo de investigación: Descriptivo</p> <p>Diseño: No experimental-transversal</p> <p>RG1 } RG2 } RG3 } O1 } </p> <hr/> <p>Técnica: Análisis espectral y registro de datos meteorológicos</p> <p>Instrumentos: ArcGIS 10.5 HEC-RAS 5.0.7OCIT HEC- HMS 4.4.1 Excel 2019</p> <hr/> <p>Método de análisis de datos: Análisis de modelo digital de elevación</p>	<p>Población: La cuenca del Río Chicama.</p> <hr/> <p>Muestra: Está delimitada por la parte baja de la cuenca Chicama donde encontramos a los distritos de Ascope, Casagrande, Chocope y Santiago de Cao.</p>

Anexo 2.

Matriz de operacional

TEMA: ZONAS VULNERABLES A INUNDACIONES MEDIANTE LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO CHICAMA, REGIÓN LA LIBERTAD 2022					
VARIABLE FÁCTICA	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Inundaciones	Es el aumentando las escorrentías superficiales durante épocas de lluvias fuertes o crecidas de agua; lo cual trae como consecuencia daños a la sociedad (Suryadi et al., 2019)	En la presente investigación se llevará a cabo un análisis de las zonas vulnerables a inundaciones en la cuenca, mediante la elaboración de mapas de inundación los cuales se realizarán con los datos que se obtendrán de la modelación hidráulica. Se analizará mediante el criterio de peligrosidad en un terminado perdido.	Lo que se realizará es un análisis digital de elevación el cual será realizado con Arc Gis y el modelo hidráulico que será utilizado para simular la inundación.	Peligrosidad, Curvas de daño	Nominal
VARIABLE TEMÁTICA	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Zonas vulnerables	Es la probabilidad de alterar la superficie, viviendas y población directamente. Hay que tener en cuenta que no todas las variaciones medibles de un factor ambiental pueden ser considerado como una inundación, ya que habría que incluir los criterios de peligrosidad de la zona (Reyes, 2013).	Se evaluará los niveles de vulnerabilidad mediante el análisis espacial en los SIG	Ninguno Bajo Moderado Significativo Extremo	Magnitud, Importancia	De Intervalo
VARIABLE PROPOSITIVA	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Modelo hidráulico	Es un método que permite simular inundaciones, evitando los impactos socio ambientales que pueden ocasionar; debido a que, las inundaciones producen catástrofes o desastres con impacto directo a la economía, al medio ambiente y la sociedad (Arias et al., 2021).	Para la propuesta de un modelo se realizará mediante la comparación de 3 modelos hidrodinámicos de acceso libre.	Factores de simulación	Tirante, Velocidad inundación, Flujos del caudal, Profundidad de inundación	De razón

Anexo 3.

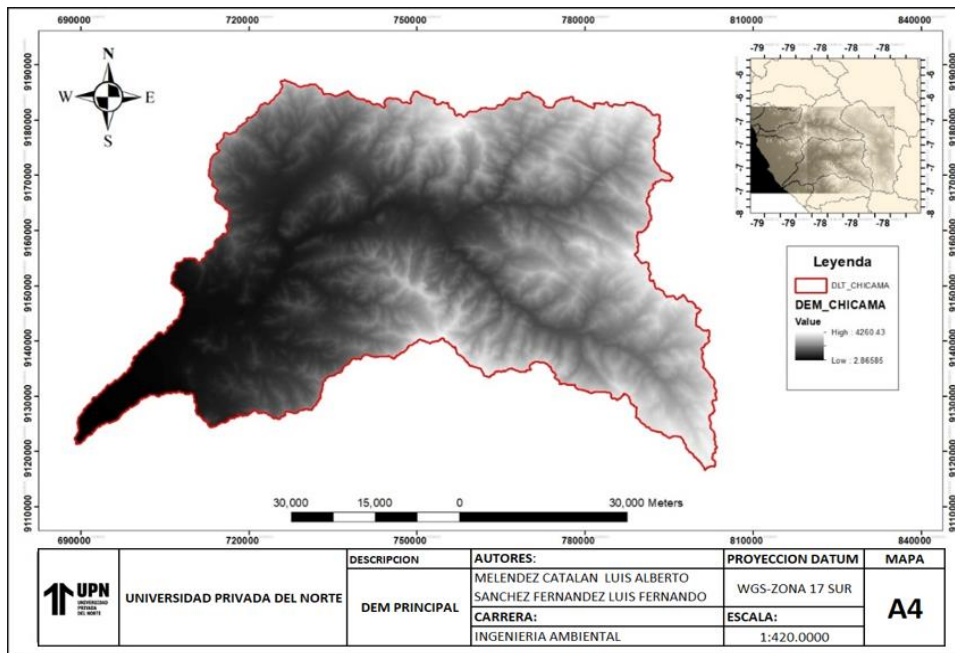
Matriz de instrumentos

TEMA: ZONAS VULNERABLES A INUNDACIONES MEDIANTE LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO CHICAMA, REGIÓN LA LIBERTAD 2022

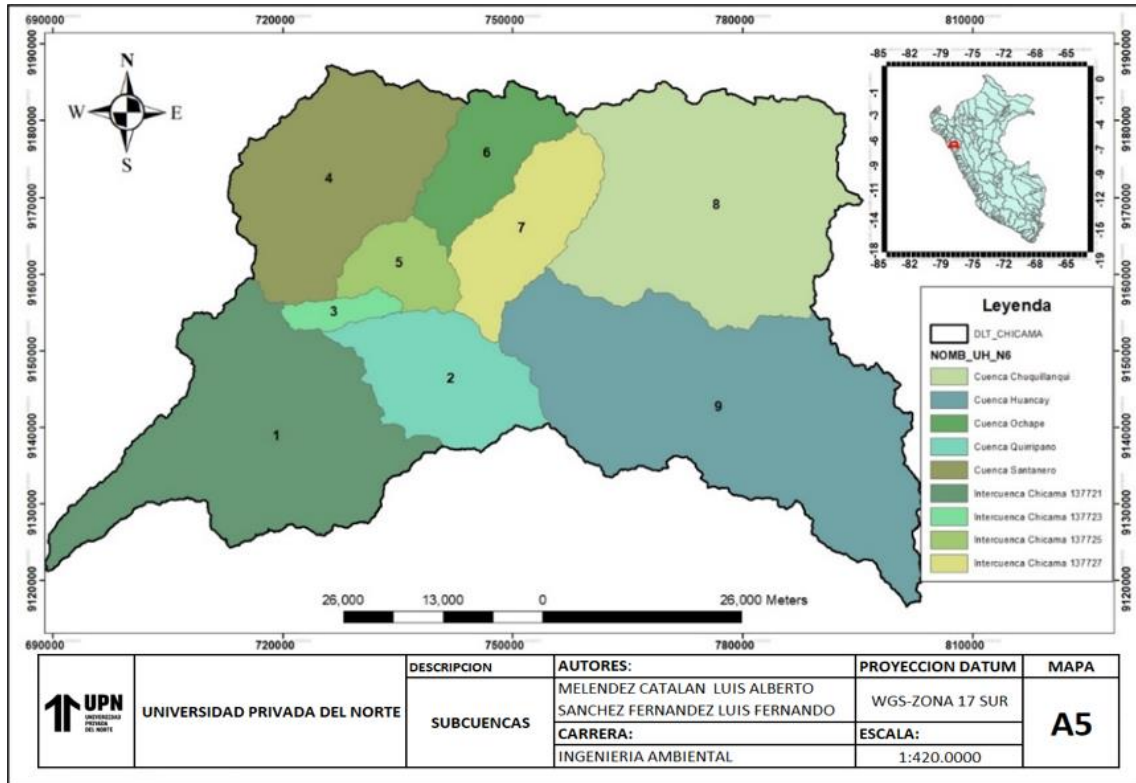
VARIABLE	DIMENSION	INDICADOR	TECNICA	INSTRUMENTO
Inundaciones	Análisis digital de elevación	Peligrosidad Curvas de daño	Criterio de peligrosidad	Arc Gis
Zonas de vulnerabilidad	Ninguno Bajo Moderado Significativo Extremo	Magnitud, Importancia	Observación espacial	ArcGIS
Modelo hidráulico	Factores de simulación	Tirante Velocidad inundación Profundidad de inundación Altura del agua Caudales	Modelación	HEC-RAS, HEC-HMS

Anexo 4.

DEM recortado de la cuenca Chicama

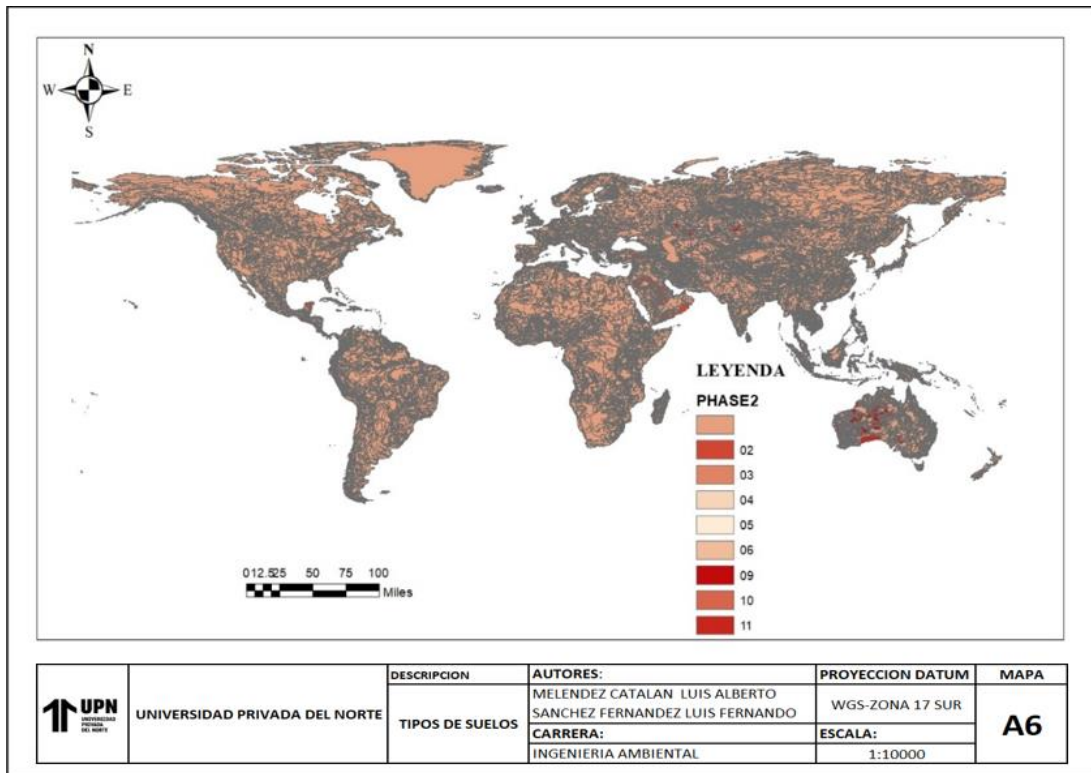


Anexo 5.
Delimitación de las subcuencas de Chicama



Anexo 6.

Mapa de suelo de la FAO



Anexo 7.

Precipitaciones máximas de 24 h del SENAMHI de la estación Asunción

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago.	Set	Oct	Nov	Dic	Máx.
1964	18.7	25.3	29.2	31.6	4.8	1.8	2.5	8.6	7.8	10.1	9.3	8.3	31.6
1965	18.7	15.6	41.7	34.7	6.3	0	2.1	0	4.4	9.3	10	22.3	41.7
1966	26.2	28.3	22.3	12	5.4	4.8	5.2	4.2	20.8	22.1	7.1	2.4	28.3
1967	37.6	48.1	27.6	38.4	12.1	0	7.1	0	3	17.7	6.6	13.1	48.1
1968	9.7	11.1	10.4	10.9	0	0	0	0	14.4	12.8	0	8.5	14.4
1969	0	5.9	31.9	24.1	0	0	0	0	0	22.7	35.7	25.5	35.7
1970	45.2	12.9	18.9	17.7	8.4	11.8	0	9.5	16.1	14.7	23.1	4	45.2
1971	8.9	13.1	27.8	14.1	6.4	0	0	11.7	11.6	11.6	8.6	11.6	27.8
1972	13.6	21.2	21	15.7	5.4	0	0	0	8.4	0	12.9	0	21.2
1973	22.8	15.7	12.5	40.7	2.3	0	0.3	0	8.4	9.8	6.9	13.5	40.7
1974	9	17.7	16.1	13.1	20	0	0	0	0	14.7	0	8.4	20
1975	10.6	13.1	18.8	7.7	5.6	10.5	0	3.2	12.6	27.5	0	18.3	27.5
1976	13.9	20	13.9	15.5	8.6	0	0	0.4	0	0	0	13.8	20
1977	20.6	12.6	9.9	10.1	0	0	0	0	4.2	0	3.4	4.1	20.6
1978	5.8	12	18	10.8	0	0	0	0	0.9	7.1	14	4.2	18
1979	9.8	8.4	12.9		3.4	0	0	0	0	0	2.3	0	
1980	4.6	0	7.7	0	4.5	0	0	0.2	0	9.3	15.9	13.9	15.9
1981	7.8	10.8	20	5.6	0	0	0	0	0	12.2	14.2	16.8	20
1982	8.6	18.4	6.8	0	0	0	0	0	18	28.2	20.9	10.4	28.2
1983	13.8	7.8	15.7	13.9	9.6	0	0.2	0	0	2.3	4.8	11.2	15.7
1984	3.7	16	11.6	16.5	11.7	8.1	3.1						
1985													
1986					2.7	0	0.6	12.7	2	3.7	11.6	28	
1987	36.4	30.4	23	28.2	5.2	2	3.4	3.7	8.7	9.4	22.8	10.2	36.4
1988	29.7	19.3	13.7	15.7	0.6	0	0	0	3.2	7.8	24.3	11.8	29.7
1989	15.7	30.2	38.7	10.4	13.2	4.4	0.1	2.4	9.1	11.1	5.3	0	38.7
1990	18.1	18	25	8.8	10	4.7	0	0	0	9.3	8.7	14.2	25
1991	10.8	28.2	66.7	30.2	6.3	2.4	0	0	2.2	9.5	11.6	17.1	66.7
1992	29	13.5	39	40.6	21.2	8.3	1.1	3.6	4.5	10.1	5.4	9	40.6
1993	22.2	40.1	37.4	26.6	24	0.5	2.1	0.3	10.4	19.1	30.2	14.1	40.1
1994	25.3	39.9	36	35.2	9.4	3	0	0	2.9	1.6	11.9	40.2	40.2
1995	47.4	29.3	26.1	22.4	6.6	2.4	2.8	0	3.2	6.7	10.1	15.5	47.4
1996	22.3	31.4	27.4	16.7	3.3	4	0	1.1	23.4	12.4	7.5	5.9	31.4
1997	8.7	28.6	17.7	18	10.3	4.7	0	0	18.1	18	29.1	40.5	40.5
1998	65.8	61.5	55.5	31.6	13.1	2.8	0	2.5	6	17.4	10.9	25.1	65.8
1999	31.7	56	58.7	20	15.5	12.2	8	0	11.3	14	23.5	28.4	58.7
2000	27.5	37.5	34.7	16.6	18.3	12	0.5	3.7	7.6	16.9	18.3	18.9	37.5
2001	31.6	25.3	48.4	23.3	23.7	0	1	0	3.3	8.9	28.6	12	48.4
2002	8.3	31.1	28.5	80.2	4.4	5.1	2.4	0	19	16.5	20.8	21.9	80.2
2003	32.3	25.5	22.8	11.7	12.8	8.4	2.1	2.4	1	7.9	24.8	28.9	32.3
2004	7.3	29.5	42.1	22.7	6.1	0.6	3.5	4	6	16.2	17.1	27.2	42.1
2005	22.1	29.7	37	8	1.1	0.2	0	0	3.5	10.5	8.4	24	37
2006	20.1	20.4	39.2	31.1	4.4	13	3.1	1	4	1.6	13.2	31.7	39.2
2007	16	22.6	40.6	29.3	3.1	0	0	4.4	2.4	15.1	13.2	13.8	40.6
2008	28.4	53	42.2	51.3	6.7	1.3	0	2.2	22.2	16.6	23.1	3	53
2009	51.5	37.7	72.1	34.7	21.9	5.1	3.2	0	1	14	28	20	72.1
2010	9.2	59.2	42.1	38	10.5	1.9	3.8	0	15.1	8.1	14.7	10.6	59.2
MEDIA	20.6	25.2	29.1	22.4	8	3	1.3	1.8	7.1	11.4	13.8	15.2	37.8
DS	14	14.4	15.5	14.8	6.7	4	2	3.2	6.9	6.9	9.2	10	15.7
MAXIMA	65.8	61.5	72.1	80.2	24	13	8	12.7	23.4	28.2	35.7	40.5	80.2
MINIMA	0	0	6.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14.4

Anexo 8.

Precipitaciones máximas de 24 h del SENAMHI de la estación Cachachi

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MÁX
1965	14.1							5.2	13.2	34.3	18.2	25.8	
1966	28	24.2	26	35.6	17.4	4.1	6.2	10.3	12.3	46.2	26.5	2	46.2
1967	29	260.6	255.1	12.2	20	0	8	18.2	7	37.5	35.7	16.7	260.6
1968	20.4	18.3	37.2	20.6	7.3	4	4.2	12.2	5.2	25.5	3	22.2	37.2
1969	14.8	14.3	27.1	200	130.4	75	0	0	8.3	29.1	40.5	40.1	200
1970	28	8.2	15.1	15	45.2	8.2	3	3	15.4	27.7	18.3		
1971	20.5	12	43.2	51.7	11	1.5	8.4	7.6	7.2	15.2	8.3	45.4	51.7
1972	0.1	22	46.3	24.2	10.3	1.2	0	4.2	26.4	31.2	25.4	37	46.3
1973	50.4	18.6	35.2	34.4	11.7	0	17.2	0	18.8	20	25.5	19.7	50.4
1974	29.9	39.8	46.3	30.7	0	0	0	0	0	17.1	17.6	19.6	46.3
1975	0	33.7	49.7	40.3	15.6	0	0	0	11.6	17.8	0	0	49.7
1976	13.1	27.9	33.2	28.8	0	0	0	0	17.5	29.6	38	18.8	38
1977	20.2	35.2	18.5	0	0	0	0	0	4.3	9.5	7.8	15.4	35.2
1978	0	8.2	3.1	11.8	20.8	0	12.5	0	20.8	10.4	20.1	15.8	20.8
1979	12.6	9.8	9				3.6	13.8	27.2	0	20	9.2	
1980	16.3	11.8	24.5	10	0	0	1.3	2.4	0	20.9	33.3	27	33.3
1981	29.9	20.5	30.4	6.8	15.8	13.2	0	5	4.2	15.5	17.4	24	30.4
1982	25.9	28.8	10.3	6.4	3.5	5	0	0	8	25.5	4.8	18.5	28.8
1983	24	2	35.3	24.2	5.4	2.5	0	0	0	2.2	9	15.5	35.3
1984	0	31.8	24.8	12.5	12.4	2.5	0	2.5	2	20.9	15.8	14.5	31.8
1985	2	0	8.4	2	8	0	0	0	13.3	4.5	2.5	13	13.3
1986	13.2	15.5	20	18.8	5.5	0	0	7.5	4	8	21	22.5	22.5
1987	19	20	22	8.5	13.5	0	6.8	0	4	15.5	26.9	18.5	26.9
1988	25.8	30.5	8.2	27.7	13.1	7	0	0	12.5	0	7	12.7	30.5
1989	17.3	26	31.9	28.5	2.5	2.5	0	0	12.5	7.5	2.4	0	31.9
1990	0	10	13.5	10	18	14.5	0	0	0	16.5	19	5	19
1991	10.5	9	20.5	22	12.2	0	0	0	0	0	4.5	6	22
1992	4	3	10	11	4	0	0	0	12.3	13.1	0	2.5	13.1
1993	9	14.9	21.2	26.5	11.3	0	0	0	12.8	20.8	21.5	20.5	26.5
1994	17.3	24	26.7	13.8	10	2.5	0	0	3.5	18.9	22.9	18.1	26.7
1995	15.5	23.2	30.2	18	10	0	5.1	0	8.8	21.5	25.1	20.1	30.2
1996	18.9	26.1	28.5	18	16.1	12.1	0	0		18.6	20	14.3	
1997	24.9	30	12.2	16.3	9.1	6.3	0	9.2	13.1	24.4	40.1	43.9	43.9
1998	39.6	23.2	31.2	36.1	11.3	0	0	1.2	19.4	20.3	10.1	28.1	39.6
1999	35	42.5	41.1	5.7	16.6	10	2.4	1.2	16.4	8.9	17.1	34.9	42.5
2000	32.1	25.1	34	34	19	4.5	0	7.1	13.9	4.1	20.1	22	34
2001	35.6	19.2	43.9	8.4	10.1	0	1.9	3	5.1	21.1	21.4	24.6	43.9
2002	31	17.5	40.1	26	3.4	2	15	0	15.6	22.3	17.4	25.1	40.1
2003	19	25	25.6	14	10	6	0.4	3	20.4	23	40	38.1	40
2004	25.2	25	31	33.1	11.5	4.3	8.6		10	22.4	26.6	27.7	
2005	18.4	23.4	27.2	12	6	0.6	0	9.2	18	23.3	2	28.7	28.7
2006	35.2	20.1	27.6	38.1	5.4	10.1	6	11	15.7	18.5	16.6	36.2	38.1
2007	20.3	16.1	50.1	30.1	9.2	0	1.3	1.6	15.4	25.4	27.5	20.1	50.1
2008	30.8	25.2	37.1	58.6	6.1	16.7	0	1	20.6	28.6	18.8	14.7	58.6
2009	45.1	27.3	30.8	32.9	15	0.8	4.1	1	6.3	24.7	36.2	21.1	45.1
2010	9.1	40.7	63.9	19	14.6	5.1	6.5	0	10	27.5	9.6	18.9	63.9
MEDIA	20.3	26.5	33.5	25.8	13.6	5.3	2.9	3.1	10.9	19.1	18.8	20.3	45.7
DS	12.1	37.1	36.2	29.8	19.6	11.7	4.4	4.5	7	10	11.2	11	44.4
MAXIMA	50.4	260.6	255.1	200	130.4	75	17.2	18.2	27.2	46.2	40.5	45.4	260.6
MINIMA	0	0	3.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13.1

Anexo 9.

Precipitaciones máximas de 24 h del SENAMHI de la estación Callancas

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MÁX
1971						4.9	0	4.5	4	7.9	5.1	7.9	
1972	21.2	18.3	24	6.2	5.5	2.1	0	0	4.2	3.2	11.1	14.6	24
1973	20.2	9.4	20	23.1	7.3	5.1	1.3	0	12.1	9.2	4.9	8.5	23.1
1974	15.9	19.4	14.9	10.6	0	5.5	0	0	6.1	9.5	2.1	6	19.4
1975	13.2	29	31	15.5	5.9	3.3	1.3	11	5.6	14.5	6.1	4.3	31
1976	22.5	23.4	25.5	8.9	3.9	8.9	0	0	0	6.4	0	12.6	25.5
1977	32.4	26.6	19.2	12.4	2.7	0	1.8	0	5.3	14.4	0.4	11.6	32.4
1978	23.7	13.7	14.9	9.2	9.7	0	0	0	8.6	1.4	8.4	6.5	23.7
1979	8.6	8.6	30.7	6.4	3.2	0	3.8	4.3	3.2	1.5	0	2.6	30.7
1980	5.1	5.8	15	19.9	1.2	0	0	0	0	9.6	17.4	17.7	19.9
1981	19.5	35.5	15.6	7.8	0	1.3	0	2.1	1.8	8.8	4.7	16.1	35.5
1982	10	15.5	6.3	12.7	4.4	0	0	0					
1985	1.8	30.4	15.2	9.4	0	0	0	3.2	4.2	0	0	6.1	30.4
1986	17.2	17.3	19.1	15.2	3.2	0	3	3.1	0	3.3	6	7.5	19.1
1987	26.7	16.7	20	16.5	3.1	0.3	4.1	4.2	0.6	5	8.4	9.5	26.7
1988	18	12	15.5	11.4	4.8	2.5	0.2	0	1	8	4.2	6.4	18
1989	12.2	23.2	17.2	11.7	1.5	1.3	0	3	4.5	0	1.1	4.2	23.2
1990	1.1	0	6.4	7.5	2	0	0	0	4.2	7.7	5.2	3.2	7.7
1991	1.1	10.1	14.1	12	2.2	1.1	0	0	0	6.2	11.2	6.4	14.1
1992	0	4.5	10.6	2.4	0	0	0	0	0	0	0	1.2	10.6
1993	0	13.4	12.7	13.1	5.3	0	0	0	22.2	15.3	4.2	9.8	22.2
1994	7.8	10	12.4	4.4	6.8	0	3	0	2.7	0	10.4	13.8	13.8
1995	9.6	15	5.2	33.6	3.2	5	2.5	1.7	8.5	11.7	4.3	16.9	33.6
1996	8.6	21.6	22.7	6.9	3.2	0	0	0	3.4	8.1	0	2.4	22.7
1997	5.6	16.1	9.2	10	8.6	3.4	0	0	4.6	21	6.6	23.3	23.3
1998	22.3	42.5	22.1	21.4	5.3	3.4	0	0	3.4	11.3	6.2	11.8	42.5
1999	14.9	37.5	12.8	16.4	9.1	6.9	2.5	0	8.3	4.7	7.8	13.8	37.5
2000	13.7	20.8	17.1	14.6	22	3.2	0	4.3	5.1		9	17.6	
2001	15.9	8.8	33.6	14.4	5.5	3.1	0	0	6.2	17	8.3	8.8	33.6
2002	5.7	32.4	26	23.4	0.9	4	0	0	0.8	7.8	23.7	9.5	32.4
2003	13.4	28.8	7.6	9	5.1		1.5	0.2	3.1	4	3.2	22.2	
2004	4.2	17.5	23.1	5.6	12.4	0	1.1	0	7.5	18.6	4.3	21	23.1
2005	8	11.2	32	4.8	0	0.1	0	0	0	7.7	3.9	9.9	32
2006	15	19.3	19.6	12.9	8.3	6.5	3.6	1	1.9	1.3	5.8	9.6	19.6
2007	10.6	6.3	19.9	15.5	31.9	0	0	0.1	1	9.5	10.5	9.5	31.9
2008	25.8	31.9	19.8	16.8	1.6	3	0.7	0.7	1.4	11.6	7.8	0.5	31.9
2009	28.7	14.2	26.8	16	2.2	1.2	0.7	0	0.1	11.9	21.7	14.9	28.7
2010	10.9	61.7	16.8	11	12.1	0.3	3.3	0	3.5	4.4	10.6	9.7	61.7
MEDIA	13.3	19.7	18.2	12.7	5.5	2.1	0.9	1.1	4	7.9	6.6	10.2	26.6
DS	8.5	12.2	7.3	6.2	6.3	2.4	1.3	2.2	4.3	5.5	5.5	5.8	10
MAXIMA	32.4	61.7	33.6	33.6	31.9	8.9	4.1	11	22.2	21	23.7	23.3	61.7
MINIMA	0	0	5.2	2.4	0	0	0	0	0	0	0	0.5	7.7

Anexo 10.

Precipitaciones máximas de 24 h del SENAMHI de la estación Capachique

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MÁX
1966	7.3	3.1	27	23	13.4	0	0	0	13	18.4	0	18.3	27
1967	20.7	28.8	19.8	20.8	20.7	0	18	4.3	19	33.1	27.3	19.8	33.1
1968	18.8	17.8	28.8	19.8	6.8	0	4.7	7.1	14.4	18.5	8.9	15.5	28.8
1969	10.7	17.7	28.4	20.2	19.5	14.5	3.2	0	10.2	10.8	30.8	30.7	30.8
1970	33.1	10.2	48.9	21	30.8	10	3.5	7.8	13.7	26	13.4	20.7	48.9
1971	13.1	35.6	25.2	0	7.2	15.2	5.1	8.7	13.1	14.1	18.5	14.8	35.6
1972	14.6	18.2	17.3	21.7	10.5	12.4	15.1	2.9	3.1	5.1	7.8	11.2	21.7
1973	25.4	44.4	27.7	28.5	10.2	10.3	3.5	4.2	10.9	15.7	21.1	16.2	44.4
1974	23.4	46.5	28.2	20.9	13	10.5	10.1	6.4	10.1	26.1	11.4	28.1	46.5
1975	32.9	42.7	39.5	37.6	14.1	18.7	4.7	12.5	20.1	25.3	11.5	14.1	42.7
1976	24.9	39.1	40.5	17.9	0	14.1	1.8	5.2	2.4	14.2	6.2	8.2	40.5
1977	25.5	43	26.6	37.8	14.2	6.3	3.6	0	12.2	27.6	18.3	16.6	43
1978	15.1	27.9	24.1	16.9	18.1	2.2	3.7	0	13.8	9.3	5.6	11.4	27.9
1979	11.4	20	36.3	21.8	4.1	0	4.7	10.2	16.4	3.4	14.1	14.4	36.3
1980	15	12.2	18.8	20.1	0	0	3.6	5.5	0	16.4	15.9	8.4	20.1
1981	11.7	25.9	25.1	12.1	10.3	6.2	0	5.2	4.6	9.3	9.6	16.8	25.9
1982	16.8	10.3	17.4	17.5	16	3.8	0	0	8.2	12.7	17.4	16.7	17.5
1983	17.5	20.3	29.7	17.8	12.1	10.2	4.2						
1984		0	0	0	0	0	0	0	5.5	16.3	10.2	7.2	
1985	11.8	13.6	12.5	12.4	5.2	0.6	0	2.3	14.5	5.2	5.4	14.3	14.5
1986	20.1	14.5	14.1	13.7	13	0.9	8.4	6.4	0.9	7.7	10.4	15.7	20.1
1987	13.9	10.2	18.5	18.1	9.5	0.9	0.9	4.1	7.8	6.3	9.3	7.8	18.5
MEDIA	2.1	2.1	2.7	1	0.3	0.1	0.3	0.2	0.4	0.4	0.2	1.6	5.6
DS	2	2.7	3.4	1	0.5	0.2	0.6	0.4	1.1	0.5	0.4	2	3
MAXIMA	6.3	9.5	10.9	3.8	1.7	0.8	2.2	1.2	4	1.8	1.3	5.9	10.9
MINIMA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.4

Anexo 11.

Precipitaciones máximas de 24 h del SENAMHI de la estación Cascas

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MÁX
1964		8.5	15.5	7	0	0	0	1	1	1.5	5	1	
1965	7	12.5	33	9	0	0	0	0	0	1.5	0.5	24	33
1966	12	5	20	2	2.5	0	0	1	2.5	6.1	1	3	20
1967	15	28	16	4	3.9	0	4.5	0	1	2	0	5.5	28
1968	1.8	4	2.1	1	0.9	0	0	0.8	3.4	3.5	5	5	5
1969	4.8	9	9	13	2	2	0	0	0	2.5	4	11	13
1970	6.4	0	17.9	9.5	2.5	2.3	0	0	2.5	8	2.1	7	17.9
1971	4.5	6.7	20	21.3	1.7	1	0	0.7	4	4	2.5	5	21.3
1972	11	22	52	2.8	2.5	0	0	1	2.5	2	9	10.8	52
1973	12.3	13	11	10.5	4	2.3	3.3	0	3.7	2.5	8.9	6.5	13
1974	6.6	15	5.6	7	2.8	2	0	0	2.7	2	2.1	2	15
1975	10	23	15.2	19.2	2.3	4.8	0	1.3	3	5	1.8	1.5	23
1976	14.5	12	9.8	17.5	4	3	0	0	0.1	7.5	0.2	7	17.5
1977	8	31.2	11.5	8.5	1.8	0	0	0			4	6	
1978	3	15.5	10	3.3	3.5	0.6	0	0.5	5	1.2	3.4	4	15.5
1979	1.5	4	29.5	0.7	1.5	0	1.2	0.2	0	0	0	2.7	29.5
1980	1	1.3	5.5	2	4	0	0	0	0	17.5	1.5	24.5	24.5
1981	10	27.5	23.5	7.5	4	0	0	0.5			4.5	3.5	
1982	8	15	2.3	8.5	0.5	0	0	0	2.6	3	2.3	28	28
1983	16	22	87.6	82.5	63	32							
MEDIA	8.1	13.8	19.9	11.8	5.4	2.5	0.5	0.4	2	4.1	3	8.3	22.3
DS	4.7	9.3	19.8	17.7	13.6	7.1	1.3	0.5	1.6	4.1	2.6	8.1	10.8
MAXIMA	16	31.2	87.6	82.5	63	32	4.5	1.3	5	17.5	9	28	52
MINIMA	1	0	2.1	0.7	0	0	0	0	0	0	0	1	5

Anexo 12.

Precipitaciones máximas de 24 h del SENAMHI de la estación Contumazá

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MÁX
1964		11.5		20					5	6.5	11.5	5	
1965	4		13	11	4	0	2	0	2	9	11	18	
1966	16	10	5	7.5	4	0	0	0	7.5	11	2	6	16
1967	22	38	8	3	8	0	0	0	0		0	8	
1968	4.2	18.4	19.7	3.8	3.5	0	1.5	0	6.5	15.3	7	15.4	19.7
1969	11	19	23.5	20	4	4.5	0	0	3	12	14	11	23.5
1970	21	15	14.2	17.2	9	3	0	4	8.3	14.5	5.5	3.5	21
1971	8.4	18	23.5	10	2.2	0	0.4	3	6.5	7	30.5	7.5	30.5
1972	32	31.5	53.4	24.5	2	2	2.2	0	2.8	2.5	19	9.5	53.4
1973	42	24.6	22.2	20.4	5.2	10	10	0	10	8	0	6	42
1974	12.2	22.4	8.2	8.2	0	4.2	0	0	12.2	0	5.2	6	22.4
1975	7	16.6	22.2	5	0	8.2	0	13.6	12	28	0	8	28
1976	18.2	14	14	18.2	7	6	0	1	0	6	6	17	18.2
1977	21.3	10.2	17	17	0	0	0	0	2	6	35	31	35
1978	6	18.5	35.1	75	52	0	14	0	102	82	54	57	102
1979	44	113	387	81	42	0	20	62	80	0	12	37	387
1980	61	50	20	4.1	20	0	0	0	0	84	120	15.6	120
1981	18	24.3	27.2	7.7	0	0	0	4.1	0	12.2	9.5	13.8	27.2
1982	20.2	28.5	1.7	19	4.5	0	0	0	2.5	4.7	6.6	66	66
1983	68	412	84.1	44.2	0	1.8	0	0	0	15	7	21	412
1984	12	28	21	11.5	5	8.4	11.4	0	6	15.4	12.3	8.5	28
1985	8	13.8	14.6	11.4	6.8	0	4.8	11	8.8	4.4	4	4.8	14.6
1986	12.6	3.8	20.4	28	23	0	6	0	0	0	0	13.4	28
1987	124	68.4	70	4.6	0	0	1	4	3.5	1.6	19.8	5.5	124
1988	23.2	12.2	13.2	17.4	5.1	0	0	0	1.4	4.8	7.6	6.2	23.2
1989	16.6	28.8	18.6	18.8	6.8	4.6	0	0	6.4	20.4	22.4	0	28.8
1990	18.2	15.1	16.6	7.9	0.5	10	0	0	0	13.2	14.8	4.2	18.2
1991	4.2	22.6	41.4	22.4	15.2	0	0	0	1.2	7.2	24.8	12.8	41.4
1992	13.4	13.9	24.1	45.7	4.2	8	0	0	10.2	3.2	3.6	0	45.7
1993	16	58	35.2	32.4	5.4	0	0	3.2	12.2	23.5	9.2	8.8	58
1994	26.2	20.8	47.6	12.8	13.7	0	1	0	5.8	0	7.9	21	47.6
1995	20.6	20.4	22.2	21.4	2.6	1.6	4.6	0	0	6.1	10.8	10	22.2
1996	16.8	40.4	29.6	9.3	3.8	3.4	0	0.6	4.6	5.5	0.6	1.3	40.4
1997	2.1	23	20.8	18.4	5.8	5.6	0	0	10.4	6.6	18.4	50	50
1998	63	81	50.2	27.2	11.6	9.4	0	1.2	3.8	4.3	3.9	6.7	81
1999	15.4	37.4	37.2	13.7	11.8	9.6	6.8	0	11.2	4.1	5.4	10.6	37.4
2000	7.5	66.6	86	22.1	19.6	4.7	0.3	2.7	14.4	5.1	22.1	14.2	86
2001	18.3	31.1	40.4	34.5	6.2	3.2	0	0	3.9	6.1	10.9	21.4	40.4
2002	13.2	74.8	25.3	80.5	18.8	8.7	0.7	0	4.7	10.5	14.7	11.3	80.5
2003	25.4	16.2	16.6	15.9	7.6	2	0	0.4	0.8	0.8	4.1	38.9	38.9
2004	1.3	17.8	25.4	18.2	4.1	0	2.1	0	6.4	9.6	8.4	8.5	25.4
2005	9.7	7.3	0.2	13.2	0	0	0	0	1.3	5	7.8	5.9	13.2
2006	14.1	30.3	34.7	13.2	1.6	4.4	0	0.3	4.2	0	6.7	16.6	34.7
2007	26.8	10.6	30.4	17.3	14.8	0	0	3.9	0	13.8	5.1	8.2	30.4
2008	17.7	59.3	30.9	81.9	0.7	2.3	0	6.5	3.4	9.1	14.4	1.6	81.9
2009	33.8	25.7	30.3	15.8	14.2	1.9	1.9	0	2.8	18.2	14.4	8.4	33.8
2010	4.8	39.6	24.5	24.5	10.6	4.8	0	0	6.7	6.7	5.2	11.7	39.6
2011	20	7.1	14.6	34.3									
MEDIA	21.7	37.7	34.9	22.7	8.4	2.9	2	2.6	8.4	11.5	13.5	14.3	59.5
DS	21.4	60.1	55.6	19.8	10.3	3.4	4.2	9.4	18.2	16.7	18.8	14.2	79.8
MAXIMA	124	412	387	81.9	52	10	20	62	102	84	120	66	412
MINIMA	1.3	3.8	0.2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	13.2

Anexo 13.

Precipitaciones máximas de 24 h del SENAMHI de la estación Cospan

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MÁX
1964	14.5	12	24.5	14.7	6.7	6.2			32.3	54.8	47.8	7.2	
1965	9.2	9.4	60.5	9.3	4.5	0	0	8.2	7.2	12.4	12.5	8.7	60.5
1966	12.4	5.4	8.5	5.4	17.4	0	0	0	10.2	12.5	3.2	13.4	17.4
1967	9.6	16.9	23.7	6.2	9.3	12.3	0	0	0	0	0	0	23.7
1968	9	13.7	10.8	10	3.7	0	0	0	9.3	13.5	0	2.3	13.7
1969	9.2	8.3	18.3	11.7	0	2	0	2	2	4.6	10	14	18.3
1970					10	13.2	0	0	10	15	15	7.5	
1971	8.8	5.9	29.7	6	0	5.3	2	0	3.3	7.3	4.3	9.7	29.7
1972	7.1	5.5	13.9	2.3	13.5	0	8	8	10	5.3	36	30.3	36
1973	52	32	24	33.8	14.3	22.3	2	6.2	28.4	40	14	40	52
1974	28.2	31.2	29.4	25	2	12	23.3	9	17.2	10.3	15.6	24.3	31.2
1975	39.2	28.2	32.7	35		5	5	17.4	16	21.1	9.4	8.3	
1976	26.2	27.5	21	13	12.2	10.4	6.3	3	15.3	12.1	5	19	27.5
1977	28	44.3	22.4	18.5	7.9	1.3	0	3.4	6.6	8.6	18.4	19	44.3
1978	24.6	29.2	12.2	12.9	19.4	0	5.1	0	9.7	8.6	13.4	20.4	29.2
1979	10.4	19.2	28.3	12.4	5.7	0	3.4	0	10.2	2.4	4.2	12.1	28.3
1980	14.3	8.1	29.7	12.5	6.7	8.2	0	2.4	0	36.4	23.6	20.6	36.4
1981	23.3	44.2	33.2	21.4	13.4	5.3	0	4.1	13.2	21.1	25.7	19.3	44.2
1982	22.3	29.4	15.4	26.4	18.5	0	0	0	5.1	22.5	27.4	21	29.4
1983	44.4	13.3	53.9	48.6	16.5	5	3.9	0	20.2	40.5	22.3	24.9	53.9
1984	20.3	50	27.2	25.6	26.7	10.5	13.2	2.4	11.8	34.1	24.3	22.1	50
1985	7.6	24.6	15.3	4.8	9.5	0	0	5.5	19.3	8.7	5.9	39.7	39.7
1986	31.9	30.5	24.8	35.2	0	0	0	18.9	0	12.4	16	42.1	42.1
1987	28.6	43.7	23.7	8.3	5.5	0	9.5	7.5	3.6	0	25.9	6.5	43.7
1988	27.4	17.3	12.6	37.9	9.3	0	0	0	15.7	17.3	21.1	20.5	37.9
1989	36	48.5	31	23.3	25.6	4.2	0	0	17	20.7	7.2	0	48.5
1990	17.9	24.8	24	17.5	10.2	20.2	0	0	7.2	32.4	14.3	1	32.4
1991	0	23.2	33.5	25	0	0	0	0	1	10	28	46.3	46.3
1992	21.5	47.8	9	36.5	20.7	0	2	2	13	18	6.5	15	47.8
1993	50	52	54	50	18.5	0	0	0	25	18.5	14	19.5	54
1994	25	27	34	25	6	5	0	0	5.5	8	29	11.5	34
1995	19	26	40	17.5	9.2	1.8	0	0	4	13.6	5.9	20	40
1996	15	35.6	28.7	18.9	0	8.9	1.3	4.5	1.5	24.8	15.3	5.7	35.6
1997	7.4	45.8	19.2	17.4	5.6	9.1	0	0.2	17.7	27.2	22.2	49	49
1998	40.4	51.5	50.6	23.3	7.2	7.5	0	0	1.1	16.4	7.2	33.1	51.5
1999	29	48.4	23.1	18.1	27	6.8	5.4	5	6.9	20.6	18.4	26	48.4
2000	20	31.8	22.8	22.5	14.5	6.3	1.4	3.2	6	7.7	27.2	20.1	31.8
2001	34.3	41.3	44.3	11.7	19.8	0.5	3	0	13.6	16	20.2	16.7	44.3
2002	21.7	35.4	29.1	30.5	15	2.7	0.8	0.3	2.3	15.4	24.7	14.4	35.4
2003	28.3	39.4	21.1	32.4	11.8	4.5	0	13	5.3	7.4	16.9	23.1	39.4
2004	8.8	26.3	39.8	9.6	5.4	2.8	3	5	6.8	14.7	20.8	16.8	39.8
2005	26.1	16.2											
MEDIA	22.2	28.6	27.5	20.4	10.7	4.9	2.5	3.3	10	16.9	16.6	18.8	38.6
DS	12.4	14.3	12.5	11.8	7.5	5.5	4.6	4.7	7.8	11.8	10.2	12.2	10.9
MAXIMA	52	52	60.5	50	27	22.3	23.3	18.9	32.3	54.8	47.8	49	60.5
MINIMA	0	5.4	8.5	2.3	0	0	0	0	0	0	0	0	13.7

Anexo 14.

Precipitaciones máximas de 24 h del SENAMHI de la estación Magdalena

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MÁX
1964	12	19.2	23.1	11.4	8.9	0.2	0	4.3	4.3	10	9.9	10.6	23.1
1965	11.9	10.4	40	19	3.8	0	2.2	0	6.2	6.8	10.3	15.8	40
1966	23.3	8.1	16.5	14.9	4.2	0	0	0	4.1	10	9	4.5	23.3
1967	12	26.4	24.6	2.2	9.7	0	11.1	1.5	4.4	13.2	0	4.3	26.4
1968	3.9	13.2	8	5.2	5.4	0	2.2	0	4.8	7.8	7.8	14.4	14.4
1969	4.6	18.3	20.4	19.8	0	1.6	0	0	0	7.4	8.9	10.8	20.4
1970	9.3	10	13.5	12.3	10.5	6	0	1.5	4.9	23.4	5.3	7	23.4
1971	8.7	13.6	21.8	15.3	2.7	4.2	0.9	1.9	3.5	7.6	10.3	10.5	21.8
1972	11.2	10	14.4	7.2	5	0.4	0.2	0	3.4	5.5	9.6	6	14.4
1973	14.5	14.4	18.6	23.5	12.8	4.5	0	0	7.4	6.5	3	8.5	23.5
1974	10.2	15.7	13.9	8.8	0	0	0	0	10.5	13.9	4.3	6.6	15.7
1975	19.8	15.2	35.1	40.6	4	2.5	0	2	5.9	12.2	7.8	2.2	40.6
1976	24.3	10.2	18.4	7.9	10.3	6.6	0	0	0	4.8	13.5	17.5	24.3
1977	15.2	20.4	11.2	18.7	0.2	0.2	0	0	4.5	3.3	8.9	12.4	20.4
1978	0	22.3	22.2	4.9	14.6	0	0	0	8	0.4	3.2	3.9	22.3
1979	9.8	11.3	24	3.6	6.2	0	2.5	3.9	2.6	0	4.3	0	24
1980	5.8	6.3	13.5	4.8	6.7	2.4	0	0	0	12.4	7	13.4	13.5
1981	7.1	18.8	14.9	0.7	4.8	0	0	0	0	6.9	1	3.8	18.8
1982	13.2	9.4	6.2	12.1	0	0	0	0	5.8	4	21.8	4.3	21.8
1983	3.3	12.1	39.4	36.1	10	12.4	0	0	3.9	4.1	5.6	31	39.4
1984	14.3	16.9	12.6	10.1	17.5	0	0	8.5					
1987	6.2	9	6	5	0	0	0	6	4	5	5	0	9
1988	13	6	9	8	0	0.4	0	0	3	6	6	8	13
1989	10.5	10.6	7.5	9	1.7	0	0	0	0	0	0	0	10.6
1990	6.4	4.8	6.6	2.6	2.6	1.8	0	0	0	2	2.2	4.8	6.6
1991	2	5.2	5	21.9	2.2	0	0	0	0.7	5.1	10	8.3	21.9
1992	14	10	19.5	12.7	19.3	3.5	0	0	5.9	6.7	1.3	1.6	19.5
1993	21.4	25.6	34.1	15.5	7.7	0	0	0	4.6	10.1	8.4	6.2	34.1
1994	12.2	35.3	22	11.3	3.7	0	0	0	4.4	2.4	9.5	23.6	35.3
1995	6.9	15.4	26.8	21.2	5.5	1.8	0	0	1.3	6.1	5.8	9	26.8
1996	11.2	19	13.8	19.3	1.6	3.7	0	0.5	3	6.7	4.8	0	19.3
1997	5.5	16.7	11.5	16.5	0	0	0	0	15	11.9	18.5	21.1	21.1
1998	26.4	32.6	32.1	26	8.8	0	0	0	7.4	5.5	4.6	3.4	32.6
1999	14.3	31.6	22.8	16.4	15.6	9.6	3.2	0	13.3	2.4	10.8	18	31.6
2000	14	15.6	18.1	13.4	16.3	3.2	0	2.2	5.2	5.1	12.6	32	32
2001	15.7	16.4	23.4	16.8	13.9	0	0	0	7.5	10.3	21.4	9.9	23.4
2002	24.5	14.5	17.1	17.4	0	3.7	0	0	6.2	12	15.8	13.1	24.5
2003	13.9	21.2	20.9	8.7	14.7	2.3	0	0	0.7	1.7	15.4	16.1	21.2
2004	3.8	9.7	19.3	13.2	5.6	0	2.7	0.6	2.9	6.6	9	10.1	19.3
2005	13.7	10	31.8	5.9	0.8	0.8	0	0	4.2	5.2	3.8	10.3	31.8
2006	19.9	20	24.8	15.2	0	3.6	0	4.9	4.3	0	4.1	16.4	24.8
2007	8.7	5.8	26.9	13.8	7.3	4.1	0	2.2	0	10.3	4.6	18.1	26.9
2008	14.8	21.4	15.4	6.8	2.8	1.7	0.9	0	6.4	8	13.3	0	21.4
2009	21.4	19.6	28.9	9.8	8.6	7.6	5.5	0.9	0	7.8	9.8	9	28.9
2010	7.5	49.6	25.2	9.3	5.3	0.3	0	0	1.7	6.1	9.2	13.3	49.6
MEDIA	12.1	16.2	19.6	13.2	6.3	2	0.7	0.9	4.1	6.9	7.9	10	24
DS	6.4	8.8	8.9	8.2	5.5	2.8	1.9	1.8	3.4	4.4	5.2	7.6	8.8
MAXIMA	26.4	49.6	40	40.6	19.3	12.4	11.1	8.5	15	23.4	21.8	32	49.6
MINIMA	0	4.8	5	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	6.6

Anexo 15.

Precipitaciones máximas de 24 h del SENAMHI de la estación Quiruvilca

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MÁX
1966	9	11	10	9	0	0	0	0	11	12	9	12	12
1967	13	12	13	9	10.5	5	7.5	13	13	11.5	13	11.5	13
1968	12	13	11.5	8	5	5.5	4	4.5	7.5	4.5	4	4.5	13
1969	3	7	8	6.5	3.5	5	2.5	2.5	2.5	5	6	5.5	8
1970	7	4	4.5	5	4	2	4.5	3	4.5	5	4.5	4.5	7
1971	3.5	5	5.5	6	3.5	3.5	2	5	6	4	5.5	6.5	6.5
1972	4.5	4.5	4.5	3	4.5	4	3	2	3	4	3.5	4.5	4.5
1973	6.5	4.5	4.5	4.5	6.5	3	5	5.5	3.5	4	5.5	4	6.5
1974	3.5	5	6		3	3.5	2.5	1.5	3	3.5	3.5	5	
1975	6	10.5	17	7	5	3	4	4.5	4.5	4	4	4.5	17
1976	4.5	6	9.5	9.8	9.7	6.5	3.5	4.5	5.5	7	4.5	15.5	15.5
1977	10.8	17.5	11.5	14.5	11	6	12.3	7	6	10	9.5	7.5	17.5
1978	6.5	8.5	10.5	10.5	9.5	4	8	2.5	11.5	22.3	16.8	13.7	22.3
1979	9.7	15.5	36.3	22.8	12.7	7.3	12.5	6.7	15.7	8.8	6	9.5	36.3
1980	14.5	14.4	19.4	24.4	22.8	9.5	0	6.5	5.3	19.7	18.5	17.6	24.4
1981	14	23.9	15.2	11.6	7.5	11.3	0	8	12.8	14.3	14.5	19.8	23.9
1982	14	15.3	16.6	16.2	13.2	3.6	0	10.5	12.2	28.6	16.9	20.2	28.6
1983	27.1	15.6	42	27.7	15.9	10.8	3.2	3.8	10.4	15.2	8.8	10.7	42
1984	20.9	47.5	27.8	21.6	11.8	22.6	9.7	5.2	16.2	17.4	16.3	7.8	47.5
1985	4.3	16.6	27.3	15.5	11.5	8.7	6.3	7.3	7.8	23.8	8.4	21.7	27.3
1986	34.3	23.2	24.5	27.7	20.7	9.6	10.8	5.3	11.2	23.7	22.7	29.6	34.3
1987	22.5	22.9	7.7	12.8	17.7	0	3.5	5.8	21.7	25.4	22	19.4	25.4
1988	19.7	21.4	14.8	21.6	18.2	8.3	0	3.5	17.3	16.3	11.8	17.8	21.6
1989	20.4	24.8	29.5	24.4	23.8	7.7	0	3.2	14.7	0			
1990	14.3	16.8	25.5	22.9	20.9	2.3	0	0	10.5	18.8	25.8	20.9	25.8
1991	9.2	18.9	16.7	18.3	19.4	8.5	5.6	0	7.6	6.2	0	8	19.4
1992	5.5	9.2	29.5	24.4	23.8	7.7	0	3.2	18.6	16.3	11.8	17.8	29.5
1993	17.8	27.5	35.1	30.4	27.5	12.9	5.5	7.3	23.6	25.6	35.8	38.6	38.6
1994	22.5	29.5	29.5	30.7	33.7	24.8	9.3	5.3	18.5	24.2	5.1	34.2	34.2
1995	22.7	10	12.7	18.8	13.8	9	6.6	4.3	12.2	20.8	32.4	17.3	32.4
1996	32.9	25.4	31.8	19.5	7.8	3.3	1.1	12.2	9.5	18.7	11.6	12.5	32.9
1997	10	29.3	24	0	10.3	11.9	7.1	7.7	16.2	14.6	23	28.6	29.3
1998	23.7	32.5	42.6	16.7	9.7	2.5	2.5	24.9	16.7	26.5	4.3	12.9	42.6
1999	19.8	37.2	24.1	33.2	20.6	17	11.6	4.3	26.6	11.5	12.2	21.3	37.2
2000	28.6	23	30.3	18	21.9	11	7.9	7.5	11.4	7.2	28.9	36.3	36.3
2001	20.9	16.8	32.3	27.7	26.3	9.7	5		14.2	23.6	32.4	25.7	
2002	32.3	17.6	24	44.7	8	19.1	12.4	0	30.1	30.9	22.5	28.8	44.7
2003	34.6	24.4	24.5	14.1	13.6	12.6	5	0	10.6	14.6	11.2	26.6	34.6
2004	37	29.3	27.4	28.8	17.2		17.7	0	16.3	24.8	22.6	26.3	
2005	20.4	38.5	29.3	14	6.4	3.5	9.2	14.7	18.4	22.7	17	26.2	38.5
2006	18.1	22.9	27.5	13.3	14.1	11.3	4.8	8.1	12.9	31.2	14.8	21.7	31.2
2007	28.9	21.6	35.3	17.7	22.4	4.8	11.1	6	9.8	16.3	12.4	40.4	40.4
2008	31.4	25.5	32.2	20.8	21.5	13.5	10.7	8.8	17.5	16	19.3	9.2	32.2
2009	25.2	15.9	24.5	23.4	22	3.8	8.6	10.2	3.1	13.7	19.3	23.2	25.2
2010	12.6	18.8	35.3	19.4	32.4	9.2	9.9	17.5	18.4	9.7	22.4	17.1	35.3
MEDIA	17	18.7	21.6	17.6	14.3	7.9	5.7	6.3	12.1	15.3	14	17.4	26.7
DS	9.8	9.9	10.8	9.3	8.3	5.5	4.4	5.3	6.5	8.4	8.9	9.9	11.7
MAXIMA	37	47.5	42.6	44.7	33.7	24.8	17.7	24.9	30.1	31.2	35.8	40.4	47.5
MINIMA	3	4	4.5	0	0	0	0	0	2.5	0	0	4	4.5

Anexo 16.

Precipitaciones máximas de 24 h del SENAMHI de la estación San Benito

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MÁX
1964	4	26	24.5	8.5	2.2	0	2.5	2.1	3	2.1	6.4	0.7	26
1965	6.2	21.5	70.4	26.6	3.8	1.2	0	1	2	3	2.7	10	70.4
1966	12.5	12.5	6	2	0	0	0	0	0.8	2	0.7	1.5	12.5
1967	15.6	41	10	1.2	8.2	0	4	0.8	1.8	2	0	3	41
1968	3.7	8	2	3	3.5	0	0.3	0	5	6	8.2	2.2	8.2
1969	5.5	22.9	12.5	11	3.7	0.5	0	0.4	0.5	3.6	4.5	7.7	22.9
1970	16.9	4.5	20	12	4.6	1.5	0	2.5	3.5	12.5	4.1		
1971	6.1	10	26	10	0.6	11	0	0.8	3.7	2.4	0.6	9	26
1972	13.2	41.5	94.2	16	1.6	2.2	0.7	0	0.8	0.8	9.9	9.4	94.2
1973	28.3	13.2	18	17	3.2	0.9	0.6	0.6	3.4	1.1	4.2	7.6	28.3
1974	6.7	23	6.3	6.3	3.6	1.5	0	0.7	0.8	0.6	0.8	3	23
1975	16	42	21.1	18	1.8	6	2	4.7	3	12.2	3	3.7	42
1976	14.8	10	7	13.5	0.9	1.6	0	0	0	6.2	0	11	14.8
1977	26	33	9.1	9	1.3	0	0.7	0	1.4	0	6	8	33
1978	0.7	37.5	6.6	2.2	4	0	0	0	3	2.7	1.5	1.5	37.5
1979	2.5	4.2	63	3.2	1.3	0	0	0	0.6	0	0	3.5	63
1980	2	5.8	7.4	0	4	0	1.5	0.8	0.8	7.9	1.8	15	15
1981	18	18.5	23.7	4.2	0	0	0	5.2	0	2	5	5	23.7
1982	10	12.5	3.6	11.5	0.8	0	0	0	2.8	4.8	4.7	26.5	26.5
1983	23.5	54.8	125	59.2	63	38.5	1.9	0	3	6.8	5.2	7	125
1984	15	32.5	34	2.7	7	0	1.1	1.2	2.7	5	5	5.5	34
1985	3	1.4	10	1.6	2	0.8	0	2.5	4.7	0	0	1.2	10
1986	23	10	5	39	1.2	0	0	1.2	1.8	2.5	0	2.3	39
1987	31.3	8	22.5	10	6	0	1.8	0.8	2	3	3	0	31.3
1988	45	13	5.2	14	0	0	0	1.8	2	1.1	0	1.1	45
1989	12	37	30.4	30	0	0	0	2.5	3	6	1.7	0	37
1990	7.6	5.5	15	5	1.8	0	0	0	0	5	0	2.3	15
1991	0	6.4	58	8.8	2.2	0	0	0	0.8	3.6	4	4	58
1992	12	10	20.5	90	5.2	6.5	0	1	2.8	3	0	2.6	90
1993	5	28	54	19.5	2.5	0	1.5	0	1.8	7.8	6	10	54
1994	10.5	23	57.8	24.5	1.5	2.5	0	0	3	0	6.5	16.5	57.8
1995	14.7	25	10	12.4	1.6	0	0	1.1	0.8	0	1.2	4.3	25
1996	16	37.6	28.6	4.8	1	0	0.5	1	2.5	2	0	1.2	37.6
1997	5.2	13	5.3	48.9	0.7	1.8	0	0	3.5	4.8	12.5	50	50
1998	91.8	81	102	25	4.4	1.6	0	0	4.4	4.2	1.5	5	102
1999	15.5	42.9	12.5	6.2	5.2	5	2.7	0	8.7	1	2.8	9.6	42.9
2000	8.5	21.3	57.5	25.2	17	2.6	0	0.3	2	0.6	3.6	6.7	57.5
2001	20	15.9	50.6	13.1	0.8	0	0	0	1.2	1.9	3	3.8	50.6
2002	1.8	108.1	36	36.1	0.3	0	0	0	0.4	3.5	8.3	7.6	108.1
2003	5.3	11.2	12.2	14.2	1.3	0.8	0	0.2	0	1.4	2.6	31.2	31.2
2004	4	34	5.2	7.3	2.8	0.2	0.3	0	6.1	4.7	0.6	2.7	34
2005	14	14		3.6	0	0	0	0	0.2	2.5	1.4	3.6	
2006	20.1	28	26.1	18.7	0	2.5	0	0	0	0	3.5	9.6	28
2007	9.1	7.7	19.5	7.6	9.4	0	0	1.4	0	4.9	2	1.9	19.5
2008	25.8	47.3	34.4	38	0	0.9	0	0	1.3	5.5	4.2	0.5	47.3
2009	30.8	36.6	46.6	5.6	4.5	0	0	0	2.3	4.6	10	0.9	46.6
MEDIA	14.7	25.1	28.9	16.2	4.1	2	0.5	0.8	2.1	3.4	3.3	7.1	42.8
DS	14.9	20.4	27.9	17.2	9.4	5.9	0.9	1.2	1.8	2.9	3.1	9.1	26.8
MAXIMA	91.8	108.1	125	90	63	38.5	4	5.2	8.7	12.5	12.5	50	125
MINIMA	0	1.4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.2

Anexo 17.

Precipitaciones máximas de 24 h del SENAMHI de la estación Sayapullo.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MÁX
1979													
1980												25.9	
1981	33.3	37.8	60.9	11	13.7	2.2	0	0	0	15.2	4.1	18.5	60.9
1982	25.8	55	18	60	0	0	0	0	30.2	18.4	59.2	0	60
1983	60.6	77.6	361.7	311.8	113.6	32.6	10.7	0	23	16.7	1.3	1.5	361.7
1984	48.5	95	60.4	54.1	24.6	0.7	0	0	38	0	21.4	13.4	95
1985	19.6	5.8	73.1	12.9	0	0	0	1.6	0	0	1.9	4.2	73.1
1986	46.1	73.1	19.3	54.2	27.7	0	0	3.7	0.5	0	41.2	39.3	73.1
1987	47	34.7	34.3	25.6	0.5	0	0	3	12.4	0.4	5.6	0.8	47
1988	8.8	26.7	31.1	50.8	0.3	0	0	0.5	0.9	2.9	1.1	7.1	50.8
1989	15.3	25.2	61.6	18.8	0.8	0	0	0.5	1.7	34.6	0	0	61.6
1990	4.6	4.3	11.4	15.5	6.7	0	0	0	0.1	6.7	1.5	1.7	15.5
1991	5.6	13.2	40	19.6	5	0	0	0	0	2.2	2.4	2.8	40
1992	16.4	1.3	7.7	21.6	7.3	0	0	2.9	0	0.3	0	2.5	21.6
1993	8.6	33	55.8	42.1	42.5	0.2	0	0	1.2	3.3	13.7	10.4	55.8
1994	15.1	11.8	18.9	19.5	2.4	24.8	0	0	1.6	2.9	13.8	21.4	24.8
1995	44.4	27	34.1	12.4	8	0	0	0.1	3.2	5	8.9	22.7	44.4
1996	15.5	13.4	23.1	10.2	2.1	0	0	2.5	1.9	15.4	1.2	0.4	23.1
1997	16.5	17	1.3	28	1.9	0	0	0	16	13	23.3	43.2	43.2
1998	60.5	77.9	73.8	40	12.1	5.7	0	0	8	9.6	15.2	17.7	77.9
1999	19.7	59.1	48.7	22	18.6	7.7	0.5	0	20	7.5	21.5	15.6	59.1
2000	31.2	48.1	57.7	20.2	16.8	2	0	1.7	3	5.1	12.7	29.8	57.7
2001	22.2	24.8	66.2	23.5	41.5	0	0.5	0	12.2	10.7	24.4	17.6	66.2
2002	15.1	41.2	48	69.3	4.6	1.8	0.2	0	16.2	14.5	17	22.4	69.3
2003	37.6	16.5	37.7	9.2	11.5	11.3	0.1	0.1	3.7	12.7	20.1	35.8	37.7
2004	10.1	18.3	31.4	24.6	5.4	0	2.9						
2005													
MEDIA	26.2	34.9	53.2	40.7	15.3	3.7	0.6	0.7	8.4	8.6	13.5	14.8	66.1
DS	17.1	26	69	60.3	24.3	8.3	2.2	1.2	10.8	8.3	14.5	13.3	67.4
MAXIMA	60.6	95	361.7	311.8	113.6	32.6	10.7	3.7	38	34.6	59.2	43.2	361.7
MINIMA	4.6	1.3	1.3	9.2	0	0	0	0	0	0	0	0	15.5

Anexo 18.

Precipitaciones máximas de 24 h del SENAMHI de la estación Sinsicap.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MÁX
1965	0.6	1.2	24.1	8.3	2.1	0	0	0	2.8	8	0	7.3	24.1
1966	19.2	6.4	21.2	7.4	0	0	0	0	1.7	7.8	3.7	1.4	21.2
1967	10.2	96.4	9.2	6.2	2.8	0	4	1.5	3.6	6.2	0.8	0.4	96.4
1968	8.9	7.2	15.6	10.9	1.2	0	0	6.2	3.3	15.6	2.7	9.9	15.6
1969	4.7	9.6	16.9	7.2	0.6	0.8	0	0.4	1.6	7.6	3.2	13.6	16.9
1970	19.2	6.4	9.2	9.2	5.8	1.9	0	1.4	3.4	7.9	1.8	5.3	19.2
1971	7.5	13.2	22.2	9.3	1.3	5.2	0	3.6	6.8	2.9	0.9	12.1	22.2
1972	14.6	25.1	90.4	7.5	3.8	2.1	0	1.3	5.9	2.9	5.3	6.1	90.4
1973	24.1	47.3	25.6	15.7	3.3	3.6	3.7	0	3.4	2.9	2.9	6.1	47.3
1974	2.9	14.2	6.4	3.9	1.2	1.7	0.9	1.9	2	2.1	2.4	2.5	14.2
1975	9.1	42.6	18.1	10.2	0.6	2.1	0	7.4	5.2	8.5	3.9	5.7	42.6
1976	12.2	21.3	12.4	21.3	3.9	6.6	0	0	0	1.8	0	7.9	21.3
1977	14.4	35.6	16.8	7.6	1.3	0	0	0	2.2	2.2	3.4	2.5	35.6
1978	10.1	25.5	14.2	2.1	2.8	0	0	0	2.6	0.6	4.7	3.5	25.5
1979	5.5	15.9	44.1	8.4	0	0	0	3.6	2.1	0	0.8	2.9	44.1
1980	0.5	8.8	9.9	3.1	2.3	0	0	0	0	4.5	3.2	9.2	9.9
1981	19.8	11.2	18.2	3.2	0	0	0	0.7	0.8	9.2	1.3	2.3	19.8
1982	16.6	1.2	12.6	4.8	0	0	0	0	0	8.3	33.7	3.2	33.7
1983	42.5	27.1	88.3	31.3	42.1	20.1	0	0	0	12.1	2.1	12.9	88.3
1984	6.1	28.6	22.4	4.2	8.1	2.2	0	0	0	12.2	5.1	3.4	28.6
1985	14.1	8.6	12.3	3.2	2.2	0	0	0	3.4	0	0	3.1	14.1
1986	14.2	10.4	4.8	11.3	0	0	0	8.9	0	3.8	2.6	5.2	14.2
1987	18.3	10.2	38.6	9.1	1.2	2.1	0	0	0	2.8	6.1	3.2	38.6
1988	29.4	8.8	6.1	12.3	4.7	0	0	0	0	4.1	2.4	3.6	29.4
1989	6.2	21.4	13.2	5.1	1.6	1.4	0	1.3	4.6	15.3	0	0	21.4
1990	3.1	10.8	6.8	2.7	0	1.2	0	0	0.9	4.1	12.4	3.2	12.4
1991	1.2	5.9	20.8	7.2	4.4	0	0	0	0	5.1	2.2	4.2	20.8
1992	7.9	8.6	13	42.9	5.6	5.2	0	0	4.7	1.2	1.3	1.3	42.9
1993	11.3	37.2	28.1	13.1	2.3	0	0	0	8.2	3.3	9.4	5.7	37.2
1994	23.6	24.1	24.2	15.2	1.8	3	0	0	1.3	1.5	8.8	7.2	24.2
1995	8.2	16.5	7.6	4.1	3.2	2.8	0.8	0	0.8	4	4.3	11.2	16.5
1996	6.3	35.6	25.1	7.2	0.6	0	0	0	1.8	3.7	2.1	1.9	35.6
1997	4.2	8.7	11.1	21.2	1.3	1.1	0	0	2.8	3.1	6.3	31.8	31.8
1998	39.7	49.6	64.4	12.4	8.2	3.1	0	0	1.4	4.4	2.2	4.5	64.4
1999	16.6	53.3	7.8	9.7	14.4	0.6	1.8	0	2.4	2.6	1.6	9.4	53.3
2000	12.4	20.5	22.6	16.5	10.4	0	0	2.2	12.2	1.3	3.2	11.1	22.6
2001	19.4	15.1	47.9	12.4	4.3	2.4	0	0	5.1	5.7	3.4	2.6	47.9
2002	1.8	63.8	16.4	18.9	0.9	1	0	0	0.3	5.5	7.4	3.7	63.8
2003	5.5	24.7	5.8	10.5	3.9	0.9	0.1	0	0	1.8	9.6	28.2	28.2
2004	5.1	16.1	6.2	7.7	12.1	0	0	0	0	36.7	2.9	4.8	36.7
2005	9.2	14.1	15.7	7.6	0	0	0	0	0	5.3	2.1	9.4	15.7
2006	10.8	63.9	19.4	12.1	0	2.4	0	0	1.1	0.8	10.7	13.3	63.9
2007	7		14.4	9	12.6	0	0	0.3	0.3	5.3	10.4	7.6	
2008	16.7	48	21.6	14.5	2.2	2.3	0.6	0.8	0.9	6.7	4.9	2.1	48
2009	24.4	16.3	24.4	9.4	1.1	0	0.8	0.4	0	4.5	11.1	4.8	24.4
2010	12.2	49.7	8.7	11.2	7.2	0.2	0	0	12.4	1.7	4.9	3.5	49.7
MEDIA	12.4	23.6	21	11	4.1	1.6	0.3	1	2.4	5.7	4.7	6.5	35
DS	9.1	19.8	18.5	7.5	6.8	3.2	0.9	2	2.9	5.9	5.4	6.1	21
MAXIMA	42.5	96.4	90.4	42.9	42.1	20.1	4	8.9	12.4	36.7	33.7	31.8	96.4
MINIMA	0.5	1.2	4.8	2.1	0	0	0	0	0	0	0	0	9.9

Anexo 19.

Diagramas de cajas del análisis outliers del ANA

