

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL



**ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DEL RÍO CHOTANO EN LAS
COMUNIDADES DE AYGASBAMBA, TORIL, PINGOBAMBA,
CHORORCO Y LA IRACA APLICANDO MODELOS MATEMÁTICOS
EN EL DISTRITO Y PROVINCIA DE CHOTA, CAJAMARCA 2020**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL AMBIENTAL**

AUTOR

JHONATHAN JESSAREL YDROGO GONZALEZ

ASESOR

WILMER MOISÉS ZELADA ZAMORA

<https://orcid.org/0000-0002-6064-7506>

Chiclayo, 2021

**ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DEL RÍO CHOTANO EN LAS
COMUNIDADES DE AYGASBAMBA, TORIL, PINGOBAMBA,
CHORORCO Y LA IRACA APLICANDO MODELOS MATEMÁTICOS EN
EL DISTRITO Y PROVINCIA DE CHOTA, CAJAMARCA 2020**

PRESENTADA POR:

JHONATHAN JESSAREL YDROGO GONZALEZ

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO CIVIL AMBIENTAL

APROBADA POR:

Juan Ignacio Luna Mera
PRESIDENTE

César Cachay Lazo
SECRETARIO

Wilmer Moisés Zelada Zamora
VOCAL

DEDICATORIA

Con mucha felicidad y a la vez tristeza, dedico esta investigación especialmente a mi madre María Gladis González Rojas que, a pesar de su ausencia físicamente, siempre estará guiándome en el camino profesional y de la vida; también, dedico a mi hermana Jecsica del Rocío Ydrogo González y a mi padre Marcial Ydrogo Carranza por su gran apoyo a cada momento.

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento es para el ingeniero Wilmer Moisés Zelada Zamora, por brindarme su apoyo y su experiencia para el desarrollo de esta investigación; así mismo, por brindarme enseñanzas, consejos y guías para un buen desarrollo profesional en el futuro.

RESUMEN

Esta tesis posee el análisis hidrológico y el análisis hidráulico de la cuenca aportante y del tramo de estudio del río Chotano, el cual pasa por las comunidades de Aygasbamba, Toril, Pingobamba, Chororco y La Iraca y se ven afectadas las zonas agrícolas, como resultado del estudio se obtienen mapas de inundación de estas comunidades ubicadas en el distrito y provincia de Chota, Cajamarca. Para poder lograr el estudio de inundabilidad del río Chotano se tomó en cuenta la determinación de las características geomorfológicas de la cuenca aportante, la obtención de caudales de diseño para un periodo de retorno de 20, 50, 100, 200 y 500 años, la elaboración del modelo hidráulico y finalmente los mapas de inundación con propuesta de ubicación para futuros trabajos. Para llegar a obtener los resultados se hizo con la ayuda de modelos digital de elevación (DEM) proporcionado por la NASA y el cual se procesó en el modelo matemático ARCGIS, por otro lado, las precipitaciones son datos de SENAMHI los cuales permiten proyectar futuras precipitaciones que con la ayuda del modelo matemático HEC HMS se calcularon los caudales máximos para los periodos de retornos antes mencionado, finalmente, estos caudales se procesaron en IBER para mostrar el comportamiento del río Chotano. Se puede identificar que, para un periodo de retorno de 20 años, el área inundada es de 18.60 ha, para 50 años es de 26.69 ha, 100 años es 33.00 ha, 200 años de 37.82 ha y de 500 años es de 43.29 ha.

Palabras claves: Hidrología, hidráulica, inundabilidad, ARCGIS, HEC HMS, IBER

ABSTRACT

This thesis has the hydrological analysis and the hydraulic analysis of the contributing basin and the study section of the Chotano River, which passes through the communities of Aygasbamba, Toril, Pingobamba, Chororco and La Iraca and the agricultural areas are affected, as a result from the study, flood maps of these communities located in the district and province of Chota, Cajamarca are obtained. In order to achieve the study of flooding of the Chotano river, the determination of the geomorphological characteristics of the contributing basin, the obtaining of design flows for a return period of 20, 50, 100, 200 and 500 years, the elaboration of the hydraulic model and finally the flood maps with a proposed location for future works. To obtain the results, it was done with the help of digital elevation models (DEM) provided by NASA and which was processed in the ARCGIS mathematical model, on the other hand, the precipitations are data from SENAMHI which allow to project future precipitations. that with the help of the HEC HMS mathematical model the maximum flows for the aforementioned return periods were calculated, finally, these flows were processed in IBER to show the behavior of the Chotano river. It can be identified that, for a return period of 20 years, the flooded area is 18.60 ha, for 50 years it is 26.69 ha, for 100 years it is 33.00 ha, 200 years for 37.82 ha and for 500 years it is 43.29 ha.

Keywords: Hydrology, hydraulics, flooding, ARCGIS, HEC HMS, IBER

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	11
II. MARCO TEÓRICO	14
2.1. Antecedentes del problema	14
2.2. Bases Teórico Científicas	17
III. MATERIALES Y MÉTODOS	23
3.1. Tipo y nivel de investigación.....	23
3.2. Diseño de investigación	23
3.3. Población y muestra	23
3.3.1. Población	23
3.3.2. Muestra	23
3.4. Criterios de selección.....	24
3.5. Operacionalización de variables.....	24
3.5.1. Variable independiente	24
3.5.2. Variable dependiente	24
3.5.3. Cuadro de operacionalización de variables	25
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	26
3.6.1. Técnicas.....	26
3.6.2. Instrumentos	26
3.7. Procedimientos.....	27
3.7.1. Estudios Hidrológicos	27
3.7.2. Estudios Hidráulicos	27
3.8. Plan de procesamiento y análisis de datos	27
3.9. Matriz de consistencia	29
3.10. Consideraciones éticas	30
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
4.1. Análisis de cuenca aportante	31
4.1.1. Delimitación de cuenca aportante al estudio	31
4.1.2. Características geomorfológicas de la cuenca aportante al estudio.....	32
4.2. Análisis de Precipitación	37
4.3. Curvas IDF	42
4.4. Modelamiento en HEC – HMS.....	53
4.5. Modelamiento en IBER.....	56
4.6. Discusión.....	66
4.7. Propuesta.....	75

V. CONCLUSIONES	77
VI. RECOMENDACIONES	79
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
VIII. ANEXOS	82

LISTA DE CUADROS

Cuadro 01. Distrito de Chota expuesto a inundaciones.	14
Cuadro 02. Operacionalización de variables.....	25
Cuadro 03. Matriz de consistencia.....	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 01. Mapa de peligro por inundación 2013.	14
Figura 02. Mapa de riesgo por inundación 2014.....	15
Figura 03. Mapa de riesgo por inundación en centros poblados 2018.	15

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01. Ejemplo Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia.....	21
Gráfico 02. Curva hipsométrica y Frecuencia de altitudes.....	33
Gráfico 03. Curvas IDF, usando data de 50 años	45
Gráfico 04. Curvas IDF	49
Gráfico 05. Hietograma de diseño, periodo de retorno 20 años.....	51
Gráfico 06. Hietograma de diseño, periodo de retorno 50 años.....	51
Gráfico 07. Hietograma de diseño, periodo de retorno 100 años.....	52
Gráfico 08. Hietograma de diseño, periodo de retorno 200 años.....	52
Gráfico 09. Hietograma de diseño, periodo de retorno 500 años.....	53
Gráfico 010. Hidrograma para un periodo de retorno de 20 años.	54
Gráfico 011. Hidrograma para un periodo de retorno de 50 años.	55
Gráfico 012. Hidrograma para un periodo de retorno de 100 años.	55
Gráfico 013. Hidrograma para un periodo de retorno de 200 años.	56
Gráfico 014. Hidrograma para un periodo de retorno de 500 años.	56
Gráfico 015. Sección 01 – 7+750.....	61
Gráfico 016. Sección 02 – 7+600.....	61

Gráfico 017. Sección 03 – 7+450.....	62
Gráfico 018. Sección 04 – 7+350.....	62
Gráfico 019. Sección 05 – 7+300.....	62
Gráfico 020. Sección 06 – 4+300.....	62
Gráfico 021. Sección 07 – 4+200.....	62
Gráfico 022. Sección 08 – 4+050.....	63
Gráfico 023. Sección 09 – 4+000.....	63
Gráfico 024. Sección 10 – 3+900.....	63
Gráfico 025. Sección 11 – 2+950.....	63
Gráfico 026. Sección 12 – 2+200.....	63
Gráfico 027. Sección 13 – 1+900.....	64
Gráfico 028. Sección 14 – 0+650.....	64

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 01. Tramo de estudio.....	24
Imagen 02. Punto de aforo de cuenca aportante al estudio.....	31
Imagen 03. Delimitación de corriente y orden de corriente.....	32
Imagen 04. Modelo Digital de Elevación – Zona de Estudio.....	57
Imagen 05. Shape de usos de suelo.....	57
Imagen 06. Modelación IBER, caudal con periodo de retorno de 10 años.....	58
Imagen 07. Modelación IBER, caudal con periodo de retorno de 20 años.....	59
Imagen 08. Modelación IBER, caudal con periodo de retorno de 50 años.....	59
Imagen 09. Modelación IBER, caudal con periodo de retorno de 100 años.....	60
Imagen 010. Modelación IBER, caudal con periodo de retorno de 20, 100 y 500 años.....	60
Imagen 011. Modelación IBER, caudal con periodo de retorno de 500 años.....	61
Imagen 012. Propuesta de Ubicación de defensas ribereñas.....	76

LISTA DE TABLAS

Tabla 01. Datos de curva hipsométrica.....	33
Tabla 02. Altitud media de la cuenca aportante.....	34
Tabla 03. Pendiente media de la cuenca, método de Cuadrículas Asociadas a un Vector.....	35
Tabla 04. Pendiente media del cauce principal, método de Taylor y Schwarz.....	36
Tabla 05. Características de la Cuenca Aportante.....	36
Tabla 06. Precipitaciones máximas en 24 horas – Estación Chota.....	37
Tabla 07. Precipitaciones máximas en 24 horas – Estación Chugur.....	38

Tabla 08. Precipitaciones máximas en 24 horas completas – Estación Chota	39
Tabla 09. Prueba de Bondad Kolmogorov – Smirnov.	41
Tabla 010. Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno para una distribución Log Normal 3 Parámetros.	42
Tabla 011. Intensidades para diferentes periodos de retorno y diferentes duraciones.	44
Tabla 012. Datos de las curvas IDF, usando data de 50 años.	45
Tabla 013. Precipitaciones para diferentes periodos de retorno.....	46
Tabla 014. Intensidades para diferentes periodos de retorno.	47
Tabla 015. Intensidades vs duración.	48
Tabla 016. Datos para hietograma, periodos de retorno 20, 50, 100, 200 y 500 años.	50
Tabla 017. Curva CN – Cuenca Aportante.....	53
Tabla 018. Áreas inundadas por comunidades, Tr = 20 años.....	64
Tabla 019. Áreas inundadas por comunidades, Tr = 50 años.....	65
Tabla 020. Áreas inundadas por comunidades, Tr = 100 años.....	65
Tabla 021. Áreas inundadas por comunidades, Tr = 200 años.....	65
Tabla 022. Áreas inundadas por comunidades, Tr = 500 años.....	66
Tabla 023. Porcentaje de zonas afectadas ante un periodo de retorno de 20 años.....	69
Tabla 024. Porcentaje de zonas afectadas ante un periodo de retorno de 50 años.....	70
Tabla 025. Porcentaje de zonas afectadas ante un periodo de retorno de 100 años.....	71
Tabla 026. Porcentaje de zonas afectadas ante un periodo de retorno de 200 años.....	72
Tabla 027. Porcentaje de zonas afectadas ante un periodo de retorno de 500 años.....	73
Tabla 028. Pérdida económica ante inundación para periodo de retorno de 20, 50, 100, 200 y 500 años.....	75

LISTA DE ANÉXOS

Anexo 01. Desborde del río Chotano provocando daños en la carretera Chota-Túnel Conchano, 2009.....	82
Anexo 02. Inundación en zonas de cultivo y pastizales, 2009.....	82
Anexo 03. Daño en áreas de cultivo 2010.....	83
Anexo 04. Daño en animales vacunos 2010.	83
Anexo 05. Daños a la vida y salud, Cajamarca.....	84
Anexo 06. Daño de viviendas afectadas y destruidas.	84
Anexo 07. Daños de instituciones educativas y establecimientos de salud.	85
Anexo 08. Cuadro de cantidad de hectáreas de producción por producto.	85
Anexo 09. Planos de altura de agua y áreas inundadas para periodo de retorno de 20, 50, 100, 200 y 500 años.....	85

I. INTRODUCCIÓN

En el país, uno de los problemas a causa de intensas lluvias son las inundaciones, por lo general estas intensas lluvias están asociadas al cambio climático y al fenómeno El Niño. Los datos de estas lluvias son registrados en estaciones meteorológicas y posteriormente procesar esos datos para estimar futuras inundaciones.

A causa de los problemas de inundación, se han registrado pérdidas humanas y daños materiales, siendo el campo agrario uno de los más afectados debido a su proximidad a los ríos para poder aprovechar el flujo del agua. Los estudios de inundabilidad son de mucha importancia para el desarrollo vital de una nación propensa a fenómenos naturales de ese tipo. Los resultados pueden influir de gran medida en las actividades que se realizan en torno a las zonas inundables. El principal objetivo de los estudios de inundabilidad es evitar y disminuir los daños producidos debido a fuertes aumentos de caudal, para así poder diseñar estructuras adecuadas frente a este problema, también mediante estos estudios se puede generar una nueva ordenación territorial en las zonas urbanas. [1]

El distrito de Chota es uno de los 19 distritos que posee la Provincia de Chota, posee un área de 261.75 km², de los cuales 1.95 km² es de ámbito urbano y 260.8 km² de zona rural, y se encuentra a una altitud de 2 380 msnm. Su territorio está ubicado entre los ríos Chotano y Doñana. El primero pasa por el sur de la ciudad y sus afluentes principales son las quebradas de Yuracyacu, Colpamayo, San Mateo y Lópezmayo. El segundo río pasa por el norte de la ciudad y recibe las aguas del río Conchano a través de un túnel de 4 km, además sus afluentes son las quebradas de Pingobamba, Las Babillas, la Colpa, Chuspimayo y Sivingán. Ambos ríos se unen al oeste del distrito de Chota y continúan su recorrido.

Chota posee un total de 47 279 habitantes según datos de INEI y tiene como principal fuente económica a la agricultura, pero ha registrado fenómenos que provocados por las fuerte lluvias han dado origen a deslizamiento e inundaciones. En el año 2009, se registró el desborde del río Chotano debido a las fuertes lluvias que se presentaban en la zona, originando la interrupción del pase en la carretera hacia el túnel Conchano, varios vehículos quedaron varados y esperaron varias horas hasta que el caudal disminuyera para poder cruzar (Anexo 01), los cultivos de maíz fue uno de los más afectados, así como también los pastizales (Anexo 02). En esta oportunidad las personas afectadas pidieron a las autoridades que se ejecuten trabajos de defensa ribereña.

En el año 2010, también se registraron eventos de este tipo, en donde a causa del desborde del río Chotano, varias viviendas fueron inundadas, y varios cultivos fueron afectados (Anexo

03). La magnitud de esta inundación fue tal que arrastró a varios ganados que después de mucho esfuerzo fueron rescatados varios kilómetros aguas abajo (Anexo 04). Para el año 2015, debido a una gran intensidad de lluvias, provocaron inundaciones que destruyeron y afectaron viviendas, carreteras y cultivos en las localidades de Choctapata-Rojaspampa, El Lirio, Chaupelanche, Aygasbamba, Cabracancha y Chuyabamba. El INDECI indicó que las áreas de cultivo que son afectadas son un promedio de 150 ha y también había pérdida de animales vacunos [2].

En el 2017, la provincia de Chota fue afectado por las intensas precipitaciones del Fenómeno El Niño, debido a que se registraron fuertes lluvias y productos de estas se generaron el desborde de los ríos provocando inundación afectando áreas de cultivo, caminos rurales, carreteras y viviendas. La población Chotana damnificada y afectada es de 3 046 personas, siendo esta el 1.9% de la población total de la provincia de Chota (Anexo 05).

También, se registraron daños en las viviendas, las cuales fueron un total de 471 viviendas destruidas y afectadas (Anexo 06). Las instituciones educativas y establecimientos de salud también registraron problemas frente a este fenómeno. Las instituciones educativas afectadas son 22 e inhabilitadas son 2. Respecto a los establecimientos de salud, los afectados fueron 3 pero no se registró ninguno inhabilitado (Anexo 07).

La justificación social radica en que el distrito de Chota tiene un área de 261.75 km² de las cuales 63 715.55 hectáreas son agrícolas. El 95.11% de los productores del área son personas naturales que viven en la zona rural y manejan el 53.78% de las tierras con un promedio por predio de 2.09 ha, solo el 4.88% de productores radican en la zona urbana y manejan el 46.21% de las tierras con un predio promedio de 34.93 ha. Así mismo, en las comunidades de Aygasbamba, Toril, Pingobamba, Chororco y La Iraca la principal actividad económica es la agricultura teniendo como principales productos a la papa, maíz, arveja, frijol y olluco, estos cultivos forman parte del autoconsumo de las familias campesinas y algunos de ellos son destinados a la venta, pero parte de toda esta producción es afectadas por las intensas lluvias que aumentan el caudal del río Chotano y posteriormente inunda zonas de cultivos y también puede afectar a los animales pecuarios.

La justificación económica es un punto importante porque la economía se centra en la agricultura, porque la comercialización de productos agrícolas, pecuarios y de transformación tienen como fin a nivel distrital e interprovincial, siendo los principales mercados de la costa norte del país y el mercado de Lima. En la zona de estudio, existe una variedad de productos

agrícolas de los cuales el Maíz Amiláceo es el que más se produce y a su vez es el que es más afectado cuando se genera inundación (Anexo 08).

La justificación técnica radica que a causa de problemas de inundación es necesario la utilización de diversos instrumentos que norman los distintos estudios como: recolección de datos de estudios que se realizaron en el tramo del río Chotano, analizar los datos de precipitaciones, cálculo de intensidad de las precipitaciones para los respectivos periodos de retorno 20, 50, 100, 200 y 500 años, presentación de los gráficos, modelamiento hidráulico de la zona de estudio del río Chotano, entre otros tipos de recolección de datos que permitirán la correcta evaluación del estudio de inundación debido al desborde del río Chotano, todo esto nos permitirá hacer una confiable elaboración del presente proyecto tomando en cuenta las normas existentes, aportando así a la población en general un estudio confiable y veraz en el que se puede confiar para poder tomar decisiones futuras.

Por lo tanto, el objetivo general consiste en realizar el estudio de inundabilidad a nivel de prefactibilidad del río Chotano en las comunidades de Aygasbamba, Toril, Pingobamba, Chororco y La Iraca aplicando modelos matemáticos, y como objetivos específicos está: la determinación de las características geomorfológicas de la cuenca aportante al tramo de estudio del río Chotano con información digital de elevación (DEM) haciendo uso del modelo ArcGis; la obtención de caudales de diseño para periodos de retorno de 20, 50, 100, 200 y 500 años, mediante un análisis hidrológico para el tramo de estudio del río Chotano aplicando modelos matemáticos ArcGis y Hec-HMS; la realización de un modelamiento hidráulico del río Chotano, a través de la aplicación de modelos matemáticos ArcGis, Hec-HMS e Iber para periodos de retorno de 20, 50, 100, 200 y 500 años; la elaboración de mapas de inundación de la zona a estudiar aplicando el Sistema de Información Geográfica ArcGis e Iber; y la proposición de la ubicación y tipo de protección ante una inundación para futuros estudios en el río Chotano.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

Entre los diversos estudios e investigaciones relacionadas con la presente investigación son:

Autoridad Nacional del Agua. 2016. “Distritos Expuestos a Inundaciones”. Ministerio de Agricultura y Riego.

En el 2016, se iniciaron los estudios de identificación de zonas vulnerables ante inundaciones en ríos y quebradas por la Autoridad Nacional del Agua. En este estudio se identificó al distrito de Chota como uno de los puntos críticos frente a una inundación (Cuadro 01) [3].

235	CAJAMARCA	CHOTA	SAN JUAN DE LICUPIS
236	CAJAMARCA	CHOTA	MIRACOSTA
237	CAJAMARCA	CHOTA	COCHABAMBA
238	CAJAMARCA	CHOTA	LAJAS
239	CAJAMARCA	CHOTA	CHOTA
240	CAJAMARCA	CHOTA	TACABAMBA
241	CAJAMARCA	CHOTA	LLAMA

Cuadro 01. Distrito de Chota expuesto a inundaciones.

Fuente: Autoridad Nacional del Agua

Cerdán Moreno, Carlos. 2018. “Estudio de Evaluación de Riesgo de Desastres y Vulnerabilidad al Cambio Climático”. Gobierno Regional de Cajamarca.

A lo largo de años, el Gobierno Regional de Cajamarca ha identificado puntos vulnerables frente a una inundación. En 2013 identificó el peligro ante una inundación en la localidad de Chota como “muy alto” (Figura 01). Al año siguiente se realizó el estudio de riesgo de inundación en centros poblados indicando niveles de riesgo “alto” (Figura 02). Finalmente, en el año 2018, identifican en el distrito de Chota como riesgo “alto” y “medio” (Figura 03) [4].

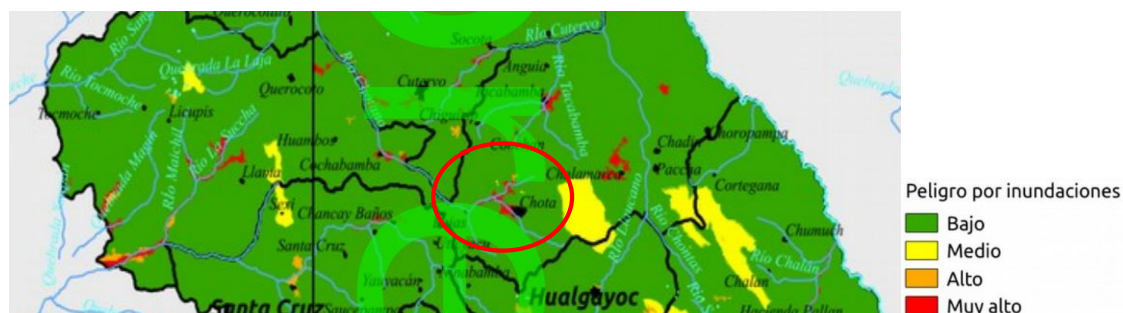


Figura 01. Mapa de peligro por inundación 2013.

Fuente: Gobierno Regional de Cajamarca

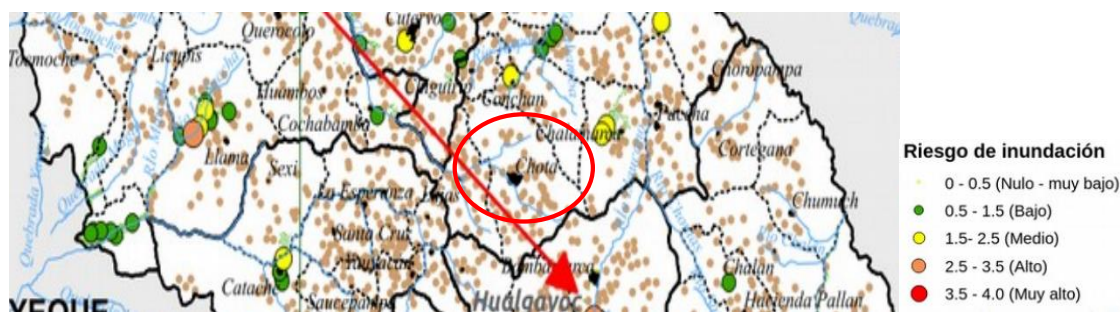


Figura 02. Mapa de riesgo por inundación 2014.

Fuente: Gobierno Regional de Cajamarca

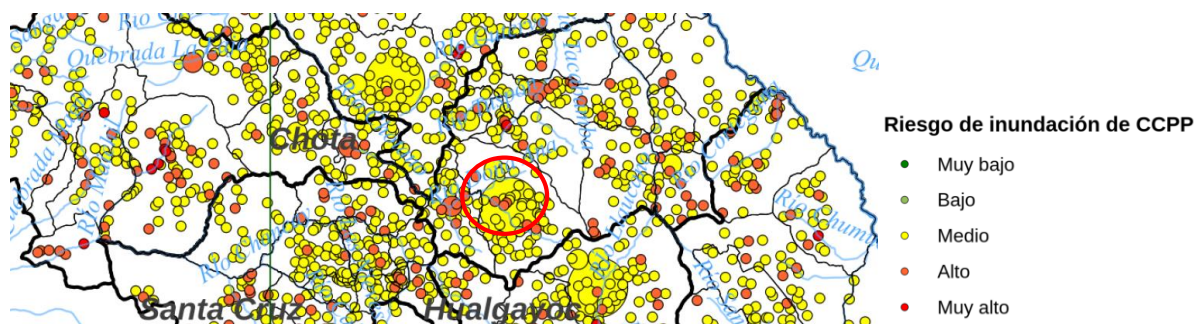


Figura 03. Mapa de riesgo por inundación en centros poblados 2018.

Fuente: Gobierno Regional de Cajamarca

Chagua Cierito, James. 2018. “Estudio de inundación de la zona correspondiente al distrito de Calango, provincia de Cañete, departamento de Lima, mediante el uso de modelos matemáticos HEC-HMS y HEC-RAS”. Tesis para optar el título profesional de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú.

“En las orillas del río Mala se encuentran viviendas y zonas de cultivo de Calango, siendo afectado todos los años debido al aumento del caudal del río” [5].

“Determina para un periodo de retorno de 100 y 500, caudales de 409.5 m³/s y 542.58 m³/s, y un área inundada de 177.140 m² y 254.170 m² respectivamente” [5]

Juarez Suarez, Mercedes y Jaime Garcia Rivero. 2017. “Evaluación hidráulica del río Moche tramo puente de fierro, longitud 1km”. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Privada Antenor Orrego.

“Tiene como objetivo elaborar el análisis hidráulico en el río moche en el tramo de puente de fierro de longitud de un 1 km, para poder evaluar escenarios futuros y poder mitigar daños posibles provocados por la crecida del río moche, las cuales afectan directamente al caserío

Quirihac en el distrito de Laredo, provincia Trujillo- La libertad, teniendo en cuenta la evaluación del río moche en el tramo puente de fierro, se ha desarrollado un estudio hidráulico del río mencionado, que nos permite realizar el estudio hidrológico que consiste en estimar descargas máximas a partir de reporte de caudales máximos en 24 horas registradas en la estación Quirihuac, para periodos de retorno 50,100 y 500 años a través de un análisis de frecuencia para lo cual empleamos el programa HYDRONOMON, luego realizamos el modelamiento hidráulico de la zona en estudio que se desarrolló con el software IBER, el cual nos permitió obtener niveles de aguas máximas a lo largo del río” [6].

“El caudal máximo para diferentes periodos de retorno $tr=50$ años, $tr=100$ años y $tr=500$ años fueron $Q50=370.56\text{m}^3/\text{s}$, $Q100=508.44\text{m}^3/\text{s}$ y $Q500=1056.28\text{m}^3/\text{s}$ ” [6].

Basso Báez, Sebastián. 2017. “Modelación de inundaciones generadas por crecidas del río Blanco en la localidad de Chaitén, post eventos del 2008. Región de Los Lagos, Chile”. Trabajo de titulación para optar al título profesional de Geógrafo, Universidad Austral de Chile.

“Se empleó una metodología rigurosa para la obtención de los resultados. Se hizo en primera instancia un trabajo hidrológico, el cual por medio de registros de precipitaciones obtenidas de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), se generaron familias de curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF). De estas familias de curvas se trabajó con tormentas de diseño con 30 y 100 años de periodo de retorno, obteniendo así hietogramas de intensidad para ambos tiempos escogidos con el método de bloques alternos. Posteriormente se empleó el modelo HEC-HMS, el cual, mediante hietogramas de intensidad, permitió la obtención de hidrogramas de crecida de caudal” [7].

“A partir de las simulaciones generadas se concluye que los “peak” de los caudales que afectarían de mayor forma el área urbana de Chaitén, tanto la zona norte como sur, deben ser como mínimo entre el rango de $650\text{ m}^3/\text{s}$ y $700\text{ m}^3/\text{s}$. Además, en varios escenarios existe la posibilidad de un ensanchamiento del canal en el último tramo del río Blanco antes de llegar al delta debido a los calados y velocidades resultantes para cada escenario” [7].

Rodríguez Contreras, Javier. 2014. “Estudio de inundabilidad del cauce del río Antas en su tramo de desembocadura con el mar mediterráneo”. Universidad Politécnica de Cartagena.

“Andalucía, situada a caballo entre los rasgos climáticos propios de dos ambientes distintos, vertiente mediterránea y atlántica, es una región sometida a la influencia de precipitaciones intensas de tipo convectivo, a lo que hay que añadir otros factores como un relieve abrupto,

escasa cubierta vegetal y territorios con una elevada densidad de población y concentración de actividades. Estos factores convierten a la región en un territorio especialmente vulnerable a las inundaciones y así lo corroboran las acontecidas en el pasado, con daños graves y pérdidas notables” [8].

“Del cálculo hidrológico se desprende un caudal de avenida extraordinaria con periodo de retorno de 500 años, de 698 m³/s, dicho caudal correspondería con una precipitación máxima diaria de 220 mm” [8].

2.2. Bases Teórico Científicas

Autoridad Nacional del Agua (ANA)

“La Autoridad Nacional del Agua es la máxima autoridad del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos, que forma parte del Ministerio de Agricultura y Riego de acuerdo a la Ley N° 29338 – Ley de Recursos Hídricos” [9].

Constitución Política del Perú (Art. 66.- Recursos Naturales)

“Siendo el agua uno de los recursos naturales más importantes, este es propio del estado, y este regula su aprovechamiento y por lo tanto genera leyes que lo protejan como tal. Estas leyes son adecuadas a las necesidades que poseen las personas que usan este recurso, llevando una adecuada administración”.

Ley de Recursos Hídricos

“El Ministerio de Agricultura indica que la Ley de Recursos Hídricos protege y regula el uso general del agua y los bienes que están asociadas a este recurso” [10].

Artículo 103. Reserva de recursos hídricos.

“La reserva de recursos hídricos es un derecho especial intransferible que se otorga por resolución de la Autoridad Nacional para el desarrollo de proyectos, que reserva un volumen de agua para su uso consuntivo o no consuntivo, en el marco del plan de gestión de recursos hídricos de la cuenca” [10].

Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI)

“Es un organismo que depende del Ministerio de Defensa, cuya labor es de gestionar una correcta respuesta de los pobladores en caso de algún evento catastrófico, revisar la atención que se les da a las personas afectadas por estos, coordinar con las entidades responsables de dar atención de emergencia, rehabilitar las zonas que hayan sido afectadas y evaluar los danos que se ha ocasionado” [11].

“INDECI se encuentra en los 24 departamentos del país para proporcionar asistencia técnica y asesoramiento a nivel nacional, así mismo cuenta con almacenes nacionales ubicados estratégicamente para abastecimiento a las áreas afectadas frente algún desastre” [11].

DEFINICIONES

Agua

“El agua abarca aproximadamente el 70% de la superficie del todo el planeta, en donde la podemos encontrar en los lagos, ríos, océanos, en el aire, suelo, etc. Es indispensable para la vida del ser humano y a su vez, el agua controla el clima del mundo. Una de las cualidades que posee el agua es que tiene propiedades físicas y químicas extraordinarias tales como ser un reactivo ideal para el metabolismo de los seres vivos, ser un gran disolvente entre otras. Así mismo, el agua es capaz de dar orígenes a nuevos ecosistemas y alterar el clima de estos” [12]. “El agua es un elemento necesario para la supervivencia del hombre, pero a medida que van pasando las generaciones, el número de personas sigue en aumento, siendo por tal razón que no todas las personas pueden hacer uso adecuado de este recurso. En el caso de Perú, posee el 1.89% del agua dulce del mundo, lo que le hace un país que posee el privilegio de este recurso, siendo tal razón cuidarla y llevarla con equidad a todos los peruanos” [9]

Ciclo Hidrológico

“El ciclo hidrológico es la sucesión de fenómenos por los cuales pasa el agua bajo diferentes circunstancias, pasando desde la atmosfera en su fase de vapor que posteriormente regresara a la superficie a través de su fase sólida y líquida” [13]

“El ciclo hidrológico no posee principio ni fin, esto se debe a sus diversos cambios por lo que el agua pasa a través de la naturaleza, tomando en cuenta un punto del ciclo, el agua es su estado líquido se encuentra en lagos, ríos y océanos que a través de la evaporación van a la atmosfera formando el vapor de agua, en donde debido a variaciones de temperatura, este vapor se condensa y precipita a superficie del planeta. No toda el agua que ha sido precipitada cae en la superficie terrestre, una parte es captada por las plantas y la otra pasa a ser parte de la escorrentía superficial que regresará a la atmosfera, pero a su vez parte del agua de la escorrentía infiltra llegando hasta las aguas subterráneas que van a dar hacia los ríos o los océanos y nuevamente se inicia el ciclo hidrológico” [14]

Ríos

Perennes: Son flujos de agua que se mantienen constante en el tiempo. Los ríos perennes poseen un flujo base que se mantienen a lo largo del año, salvo en épocas de estiaje extremas [13]

Intermitente: Son ríos que poseen un flujo continuo solo en épocas de lluvias, en donde el agua subterránea está por encima del fondo río, pero en caso de estaciones secas el agua subterránea está por debajo del fondo del río [13]

Efímeros o ríos secos: Generalmente este tipo de ríos no poseen un flujo base. Estos ríos son activados solo en situaciones extremas de lluvias procedentes de la cuenca, por lo general son ubicados en zonas áridas [13]

Cuenca Hidrológica

“Es un sistema que presenta como principal aporte a la lluvia, y como salida el caudal, el flujo subsuperficial, la percolación y la evotranspiración. El caudal es el de mayor valor debido a que a través de este, se elimina la mayor cantidad de agua que se encuentra en la cuenca, pero las otras salidas también son importantes, debido a que en relación con su flujo base” [13].

Superficie de Cuenca

“Es el área plana que está incluida en su divisoria topografía, siendo esta área proyectada en el plano horizontal y se forma o se determina después de realizar una adecuada delimitación de la cuenca” [13].

Perímetro de Cuenca

“De la misma forma en que se puede medir el área de la cuenca, también se mide el entorno de cada cuenca. Para realizar la correcta delimitación de la cuenca o identificación del perímetro, se siguen ciertos criterios para determinar una trayectoria que va por un recorrido sinuoso” [13].

Pendiente de Cuenca

“La pendiente de una cuenca influye directamente en la velocidad de escurrimiento y en el tiempo de concentración, es por ese motivo que tiene gran importancia su determinación. Es por eso que es mejor definir un valor determinado o un índice que comprenda la pendiente de la cuenca, a realizar una representación del relieve mediante una curva o un rectángulo” [15].

Cauce Principal

“Debido a los cálculos que se realizan en torno a una precipitación, es necesario identificar e individualizar el cauce principal del río para poder identificar sus características como la pendiente o la longitud. Uno de los principales problemas es a identificación del cauce principal, debido a que es necesario poder distinguir de los afluentes, aunque todo va a depender de la proximidad del punto de control. Por lo general, el cauce principal es aquel que posee mayores dimensiones, pero como criterio más práctico, se considera como cauce principal al de mayor longitud, medido desde el punto de control hasta el nacimiento del río” [15].

Pendiente del Cauce Principal

“El conocer la pendiente que posee cauce principal de una cuenca en un dato muy esencial, porque mediante este se puede observar cómo va a ser la actuación del recurso hídrico. En general, la pendiente de una parte del cauce del río es el resultado de la división de la diferencia entre las cotas y la longitud horizontal analizada” [16].

Periodo de Retorno

“Se realiza un análisis de frecuencia hidrológica para poder identificar el periodo de retorno de un evento de importante magnitud, este periodo de retorno también ayuda en las obras de gran importancia que serán diseñadas para periodos de retornos altos. Para poder realizar este análisis, se ordenan los valores de mayor a menor para frecuencias de valores altos” [13].

Determinación de la Tormenta de Diseño

“Una tormenta de diseño es un conjunto de precipitaciones que obedecen a un mismo patrón para ser usado en un sistema hidrológico. La tormenta de diseño se puede determinar mediante el uso de un hietograma de diseño que indique la distribución temporal de precipitaciones. La tormenta de diseño está conformada por el tránsito de los caudales y las entradas del sistema” [17].

Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia

La intensidad de una precipitación es la profundidad por unidad de tiempo (mm/h). Generalmente se emplea la intensidad promedio (2,1), que es:

$$i = \frac{P}{T_d} \quad (2,1)$$

P = profundidad de lluvia (mm)

Td = Duración (hrs)

“Las curvas de intensidad – duración – frecuencia relaciona la intensidad, la duración y la frecuencia que un tipo de lluvia puede presentar, es decir la probabilidad que ocurra nuevamente” [17].

“Para poder realizar una correcta determinación de las curvas IDF es necesario poder tener los registros pluviográficos e identificar las lluvias más intensas de diferentes duraciones de cada año del lugar y estudiar las frecuencias de cada una de las series que se formarán. Por lo tanto, se debe estudiar los hietogramas de las tormentas que se han dado en un año y elegir la lluvia que corresponde a la hora más lluviosa, a las dos horas más lluviosas, a las tres horas y así sucesivamente. Se puede formar series anuales con los valores de cada duración elegida, en las cuales se elaboran escogiendo en cada año el valor mayor observado que corresponde a cada duración, para así obtener un valor para cada año y cada duración” [17].

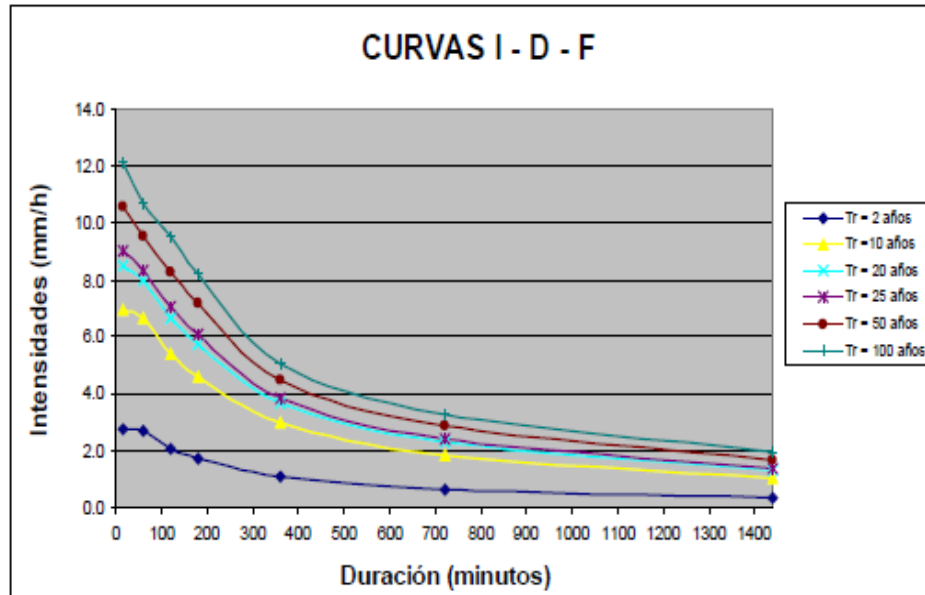


Gráfico 01. Ejemplo Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia.

Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones

Tiempo de Concentración

“El tiempo de concentración es el tiempo en que se demora en recorrer una gota desde el punto más alejado hasta el punto de control de la cuenca. La duración de una tormenta es inversa a la intensidad que esta presenta, siendo que, a mayor tiempo de duración de la tormenta, menor intensidad; por consiguiente, la duración crítica es igual al tiempo de concentración t_c . Este tiempo de concentración va a depender de diferentes factores como la geometría de la cuenca, pendiente del cauce principal, tipo de suelos o flora que existe en la cuenca. Las fórmulas que más se usan tienen como factores la longitud del cauce mayor, su pendiente y área de la cuenca” [17].

Hietograma de Diseño

“En muchas oportunidades, no solo es suficiente conocer los datos de una precipitación máxima para un determinado de tiempo, sino que también se busca conocer como ha sido la evolución de esa precipitación en ese tiempo dado” [17]

Estimación de Caudales

“Para la estimación de caudales, se realiza un análisis estadístico de los caudales máximos instantáneos anuales cerca del punto de interés. Para este análisis estadístico se considera y se calcula caudales básicos para un tiempo de retoro tales como de 2, 5, 10, 20, 50, 100 y 500 años, siendo estos valores estándar” [17].

Modelo Del Hidrograma Unitario

“Este método nos da a conocer la diferencia en el tiempo de cierta información hidrológica o de una cuenca. El método del hidrograma unitario es usado como si en una cuenca se produjera una precipitación neta de una determinada duración, esto se aplica a un hidrograma unitario de la cuenca y el hidrograma para esorrentía directa que se produce en la salida de la cuenca analizada” [17].

ArcGis

“ArcGIS es un sistema que ayuda a administrar información geográfica. Esto con el fin de tener un conocimiento geográfico al servicio de empresas, educación y gobiernos” [16]

Hec-HMS

“Hec-HMS es un software que fue desarrollado por el centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los EE.UU. El cual nos ayuda a simular el comportamiento que la cuenca de un río en su escurrimiento superficial, teniendo en cuenta que funcionará como un sistema con sus componentes hidrológicos e hidráulicos, obteniendo como resultado los hidrogramas de salida de una cuenca o varias subcuencas (caudales máximos y tiempos picos) a partir de las condiciones extremas de lluvia” [16].

Iber

“Iber es un modelo matemático bidimensional desarrollado por el Grupo de Ingeniería del agua y Medio Ambiente, GEAMA (Universidad de A Coruña, UDC) y el instituto FLUMEN (Universidad Politécnica de Cataluña), UPC, y Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE)” [18].

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Se describe y explica cómo se hizo la investigación. De acuerdo al enfoque puede comprender:

3.1. Tipo y nivel de investigación

De acuerdo al tipo de investigación es Descriptiva, debido a que se conocerán las características y comportamiento del río en estudio mediante el uso de los modelos matemáticos.

De acuerdo al nivel de investigación es Cuantitativa, porque en todo el desarrollo del proyecto se hará con procesamiento de datos numéricos obtenidos externamente y por los modelos matemáticos a emplear.

3.2. Diseño de investigación

El diseño de investigación es a nivel de Prefactibilidad, porque se está realizando estudios previos para identificar zonas que posteriormente necesitaran solución frente al problema que se está planteando en esta investigación.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

El río Chotano, se encuentra ubicado en la Longitud $78^{\circ}38'55''$ – Latitud $06^{\circ}32'50''$ y pertenece a la Cuenca del Atlántico, Oriental o del Maraón (con una extensión de 23,972.23 km² de la superficie cajamarquina y constituyen un 72%). La hidrología que conforma el río Chotano siendo sus afluentes principales las quebradas de Yuracyacu, Colpamayo, San Mateo y Lópezmayo. El nombre del río Chotano es dado aguas debajo de la unión de estas quebradas, que se conserva hasta la unión con el río Huacabamba que pasara a formar parte del río Chamaya y este a su vez forma parte del río Maraón para así poder desembocar en el Atlántico.

3.3.2. Muestra

El área de estudio se ubica en la cuenca del río Chotano, con una longitud de 7.5 km. A lo largo del tramo por analizar, el río pasa por 5 comunidades que muestran un total de 174 hectáreas de cultivo, de los cuales la mayor producción se encuentra en el maíz. El tramo de estudio del río chotano inicia desde las comunidades de Aygasbamba, Toril, Pingobamba, Chororco y La Iraca, hasta antes de la intersección con el río Doñana.

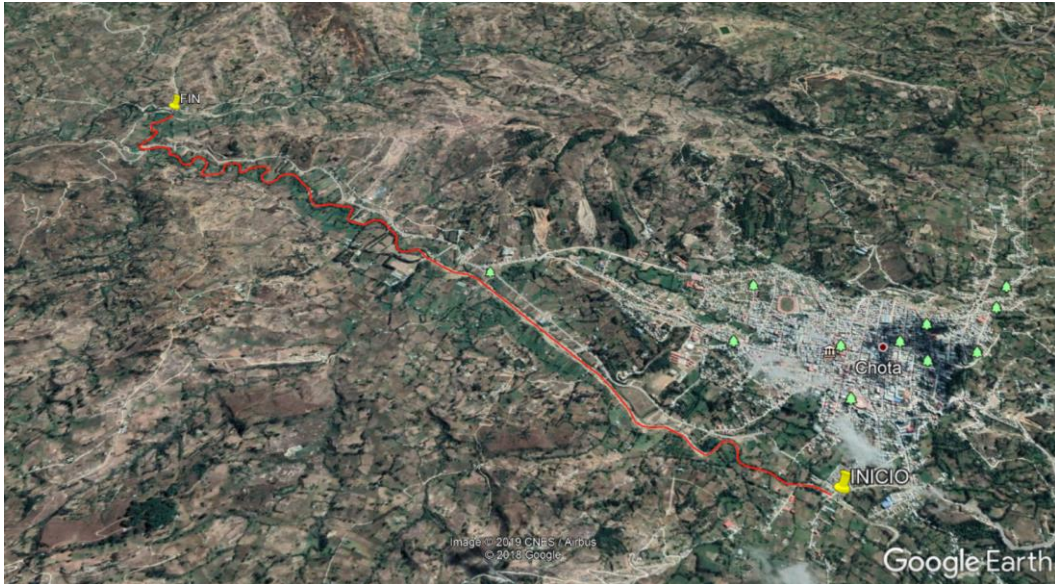


Imagen 01. Tramo de estudio.

Fuente: Google Earth

3.4. Criterios de selección

Para el desarrollo de esta investigación se identificó a lo largo del río Chotano, de acuerdo a los antecedentes, los puntos donde se han registrado problemas de desborde del río provocando inundación y a su vez originando daños económicos y agrícolas.

Para obtener un mejor comportamiento del río Chotano, frente a los diferentes pedidos de retorno que serán analizados, se ha establecido seleccionar el tramo que se muestra en la Imagen 01.

3.5. Operacionalización de variables

3.5.1. Variable independiente

Caudal

- Análisis de cuenca
- Análisis de precipitaciones

3.5.2. Variable dependiente

Inundación

- Modelo digital del terreno
- Simulación hidráulica

3.5.3. Cuadro de operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LA VARIABLE	DIMENSIONES	INSTRUMENTO	INDICADORES
CAUDAL DE MÁXIMA AVENIDA (Independiente)	Es el volumen o cantidad de agua que pasa por una sección transversal del río por una unidad de tiempo, por lo general es expresado es m ³ /s.	ANÁLISIS DE CUENCA	ARCGIS	<ul style="list-style-type: none"> - Superficie o área de la cuenca aportante - Perímetro de la cuenca aportante - Topografía (Curva Hipsométrica y curva de frecuencia de altitudes) - Factor de forma - Índice de Gravelius - Pendiente media de la cuenca aportante - Orden de corriente
		ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES	HEC - HMS	<ul style="list-style-type: none"> - Duración - Intensidad Máxima - Frecuencia - Tiempo de retorno - Análisis del Hidrograma
INUNDACIÓN (Dependiente)	Es la ocupación o cubrimiento de agua en áreas o lugares en donde no llega esta. Puede ser por desbordes de río, acequias o por lluvias torrenciales (INDECI).	MODELO DIGITAL DEL TERRENO	ARCGIS	<ul style="list-style-type: none"> - Topografía del río
		SIMULACIÓN HIDRÁULICA	IBER	<ul style="list-style-type: none"> - Evaluación hidráulica - Ubicación de puntos críticos

Cuadro 02. Operacionalización de variables.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas

Recopilación de información

Recopilar los datos de la cuenca como lo son caudales y datos históricos de avenidas mínimas y máximas que son de gran importancia para nuestros cálculos, además de saber las características del cauce del río Chotano.

Zonificación de las zonas inundables

Se recolecta toda información obtenida en el campo con la finalidad de ubicar en un plano las posibles zonas de inundación de la zona del ámbito del proyecto.

Estudios hidrológicos

El estudio hidrológico, inicia con el análisis morfológico de la cuenca aportante al tramo de estudio, que incluye: la delimitación de la cuenca, la medición del área y la longitud, altura máxima y mínima, índice de compacidad, factor de forma, curva hipsométrica y datos relevantes para este estudio.

Modelación hidrológica

Un estudio de modelación hidrológica solo es necesario sino se dispone de datos de los caudales para los cauces considerados. En caso de existir registros de caudales, los valores pico de caudal para diferentes periodos de retorno se pueden calcular utilizando el método de análisis estadístico.

Modelación hidráulica

En la modelación hidráulica se ingresarán los datos de los caudales para los diferentes periodos de retorno, donde se podrá apreciar el comportamiento del río frente a tales eventos, de esta manera, el modelo hidráulico indicara cuales son las zonas más propensas a inundaciones.

Identificación de soluciones

De desarrollarán mapas de inundación e identificarán las zonas que son más afectas ante esos eventos. También se propondrá el tipo de defensa ribereña ante esta situación.

3.6.2. Instrumentos

Para el desarrollo de esta investigación se usar los siguientes instrumentos:

- Bibliográficas.
- Normativa Existente.
- Manuales de hidrología, hidráulica y drenaje.
- ArcGis
- Hec-HMS

- Iber
- Office: Word, Excel, Power Point

3.7. Procedimientos

3.7.1. Estudios Hidrológicos

El procesamiento del estudio de la cuenca aportante se procederá con la ayuda de los modelos de elevación digital proporcionado por la NASA, con la ayuda del modelo matemático ArcGis poder conocer las características geomorfológicas de la cuenca.

Para la información hidrológica y meteorológica de la zona de estudio, será proporcionada por el SENAMHI, la cual es una entidad que se encarga de registrar las actividades hidrometeorológicas del Perú. En el caso que no se obtenga información de la estación cercana, se solicitara la información a las entidades que se encargan de la administración de los recursos hídricos. Si la información de las precipitaciones dadas por el SENAMHI presenta datos faltantes, se procederá al procesamiento de datos y así estimar datos faltantes.

Teniendo los datos adecuados se procederá al cálculo de las precipitaciones máximas e intensidades de lluvia para periodo de retorno de 20, 50, 100, 200 y 500 años. Posteriormente se obtendrán las curvas IDF de la zona de estudio.

3.7.2. Estudios Hidráulicos

Con la ayuda del modelo matemático HEC-HMS se podrán obtener los caudales máximos para los periodos de retorno de 20, 50, 100, 200 y 500 años.

Se enlazará el modelo matemático bidimensional Iber y el modelo ArcGis para obtener las elevaciones del río. Posteriormente, se ingresará los datos de caudales de los diferentes periodos de retorno en el modelo Iber.

Se identificará el comportamiento del río ante los diferentes caudales, también se obtendrá las zonas inundables y cuantas son las áreas afectadas ante problemas de inundación.

Finalmente se elaborará un mapa con las zonas inundadas y para cada periodo de retorno, también de identificar la ubicación de defensa ribereña para futuros trabajos de protección frente a desastres.

3.8. Plan de procesamiento y análisis de datos

Fase I:

Obtención de eventos de inundación registrados en el río Chotano

Recolectar información de estudios realizados en la zona o estudios de inundación a nivel nacional e internacional.

Identificar la información teórica correspondiente a la investigación.

Fase II:

Se identificará el Modelo Digital de Elevación (DEM) proporcionados por la NASA para la zona de estudio.

La obtención de los parámetros geomorfológicos de la cuenca aportante al tramo de estudio del río Chotano con la ayuda del modelo matemático ArcGis.

Fase III:

Obtención de datos meteorológicos confiables pertenecientes a la cuenca aportante.

Complementación de los datos de precipitación faltantes, si es que los hubiera.

Procesamiento de datos de precipitación.

Fase IV:

Cálculo de precipitación máxima para tiempos de duración de 24 horas de la zona de estudio.

Cálculos de intensidades de lluvia para los periodos de retorno de 20, 50, 100, 200 y 500 años.

Fase V:

Obtención de los caudales máximos para los periodos de retorno de 20, 50, 100, 200 y 500 años.

Obtención de los hidrogramas de la cuenca con la ayuda del modelo matemático Hec-hms.

Fase VI:

Modelamiento hidráulico con la ayuda del modelo bidimensional Iber, en donde se enlazará con el modelo ArcGis.

Se identificará el comportamiento del río Chotano frente a los diferentes periodos de retorno propuestos.

Fase VII:

Obtención de los mapas de inundación del río Chotano en el tramo de análisis.

Se propondrá la localización y tipo de defensas ribereñas para futuros estudios de la zona.

3.9. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGIA
<p>Al producirse intensas lluvias, el río Chotano aumenta su caudal, provocando que este salga de su cauce dando lugar a inundaciones afectando diferentes áreas de cultivos, viviendas y muerte de animales</p>	<p>Objetivo General</p> <p>Realizar el estudio de inundabilidad a nivel de prefectibilidad del río Chotano en las comunidades de Aygasbamba, Toril, Pingobamba, Chororco y La Iraca aplicando modelos matemáticos.</p> <p>Objetivos Específicos</p> <p>-Determinar las características geomorfológicas de la cuenca aportante al tramo de estudio del río Chotano con información digital de elevación (DEM) haciendo uso del modelo matemático ArcGis.</p>	<p>Variable Independiente</p> <p>Caudal</p> <p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Superficie o área de la cuenca aportante - Perímetro de la cuenca aportante - Topografía (Curva Hipsométrica y curva de frecuencia de altitudes) - Factor de forma - Índice de Gravelius - Pendiente media de la cuenca aportante - Orden de corriente - Duración de Precipitación - Intensidad Máxima de Precipitación - Frecuencia de precipitación - Frecuencia de precipitación - Tiempo de retorno - Análisis del Hidrograma <p>Variable Dependiente</p> <p>Inundación</p>	<p>Tipo de la investigación:</p> <p>Descriptiva Cuantitativa</p> <p>Diseño de la investigación:</p> <p>A nivel de Prefactibilidad</p> <p>Población:</p> <p>El río Chotano, se encuentra ubicado en la Longitud 78°38'55" – Latitud 06°32'50" y pertenece a la Cuenca del Atlántico, Oriental o del Maraón.</p>

	<p>-Obtener caudales de diseño para periodos de retorno de 20, 50, 100, 200 y 500 años, mediante un análisis hidrológico del río Chotano aplicando modelos matemáticos ArcGis y Hec-HMS.</p> <p>-Realizar un modelamiento hidráulico del río Chotano, a través de la aplicación de modelos matemáticos ArcGis, Hec-HMS e Iber para periodos de retorno de 20, 50, 100, 200 y 500 años.</p> <p>-Elaborar mapas de inundación de la zona de estudio aplicando el Sistema de Información Geográfica ArcGis e Iber.</p> <p>-Proponer la ubicación y tipo de protección ante una inundación para futuros estudios en el río Chotano.</p>	<p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Topografía del río. - Evaluación hidráulica. - Ubicación de zonas críticas. 	<p>Muestra:</p> <p>El área de estudio se ubica en la cuenca del río Chotano, con una longitud de 7.5 km. A lo largo del tramo por analizar, el río pasa por 5 comunidades que muestran un total de 174 hectáreas de cultivo, de los cuales la mayor producción se encuentra en el maíz. El tramo de estudio del río Chotano inicia desde las comunidades de Aygasbamba, Toril, Pingobamba, Chororco y La Iraca, hasta antes de la intersección con el río Doñana.</p>
--	---	---	--

Cuadro 03. Matriz de consistencia.

3.10. Consideraciones éticas

En la presente investigación se ha considerado un adecuado citado de las investigaciones anteriores relacionadas frente al problema que se está presentando en el río Chotano, y también, se mencionan las fuentes de las definiciones de los términos usados. Además, para el desarrollo y la obtención de los objetivos planteados, se ha considerado datos cuantitativos reales y confiables, como lo son las precipitaciones, la elevación de toda la cuenca aportante y la elevación de la zona de estudio. Finalmente, estos datos serán ingresados en modelos matemáticos confiables de gran reconocimiento en el área de Hidrología e Hidráulica.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de cuenca aportante

4.1.1. Delimitación de cuenca aportante al estudio

Para realizar la delimitación de la cuenca aportante del río Chotano para la zona de estudio, se tomó como punto de aforo en el distrito de Chota. Por otro lado, el modelo digital de elevación (DEM) fue proporcionado por la página web de la NASA mediante el satélite ALOS de la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA). El recurso cartográfico ALOS PALSAR DEM fue elegido debido a su resolución nativa de 12.5 m.

Para el desarrollo de la delimitación y la obtención de las características geomorfológicas de la cuenca, considerando el punto de aforo como se indica en la Imagen 02, el uso del Sistema de Información Geográfica ArcGis.

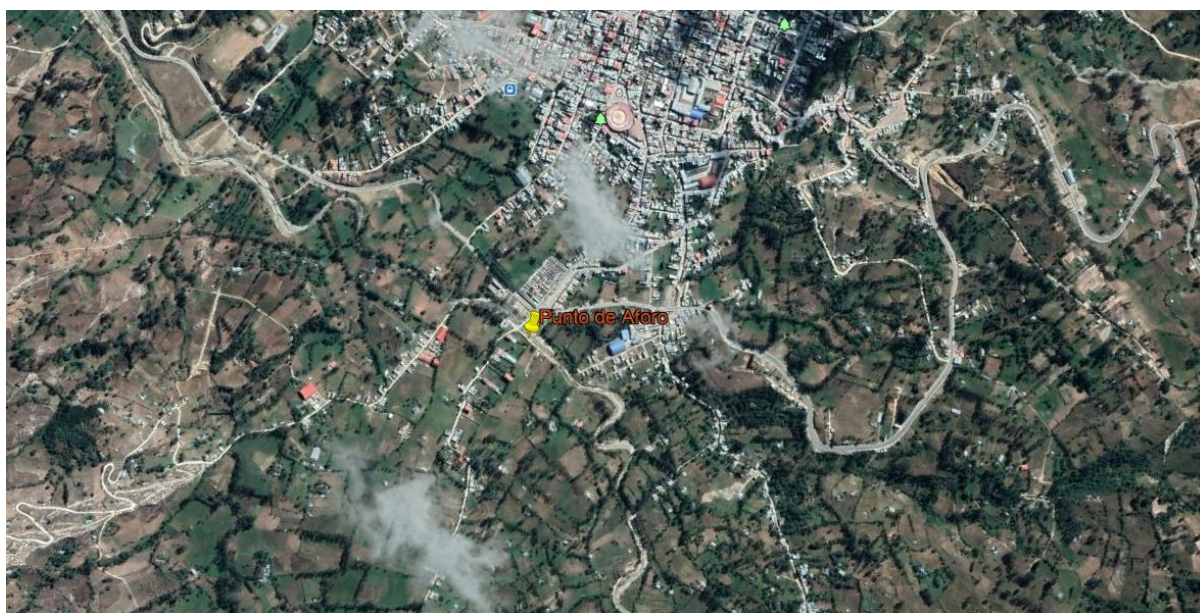


Imagen 02. Punto de aforo de cuenca aportante al estudio.

Fuente: Google Earth

La delimitación de la cuenca aportante al estudio está en la Imagen 03, además se observa la orden de corriente que posee la cuenca para el análisis de inundación. La cuenca solo posee hasta el tercer orden (azul), el segundo y primer orden con de color amarillo y verde respectivamente.

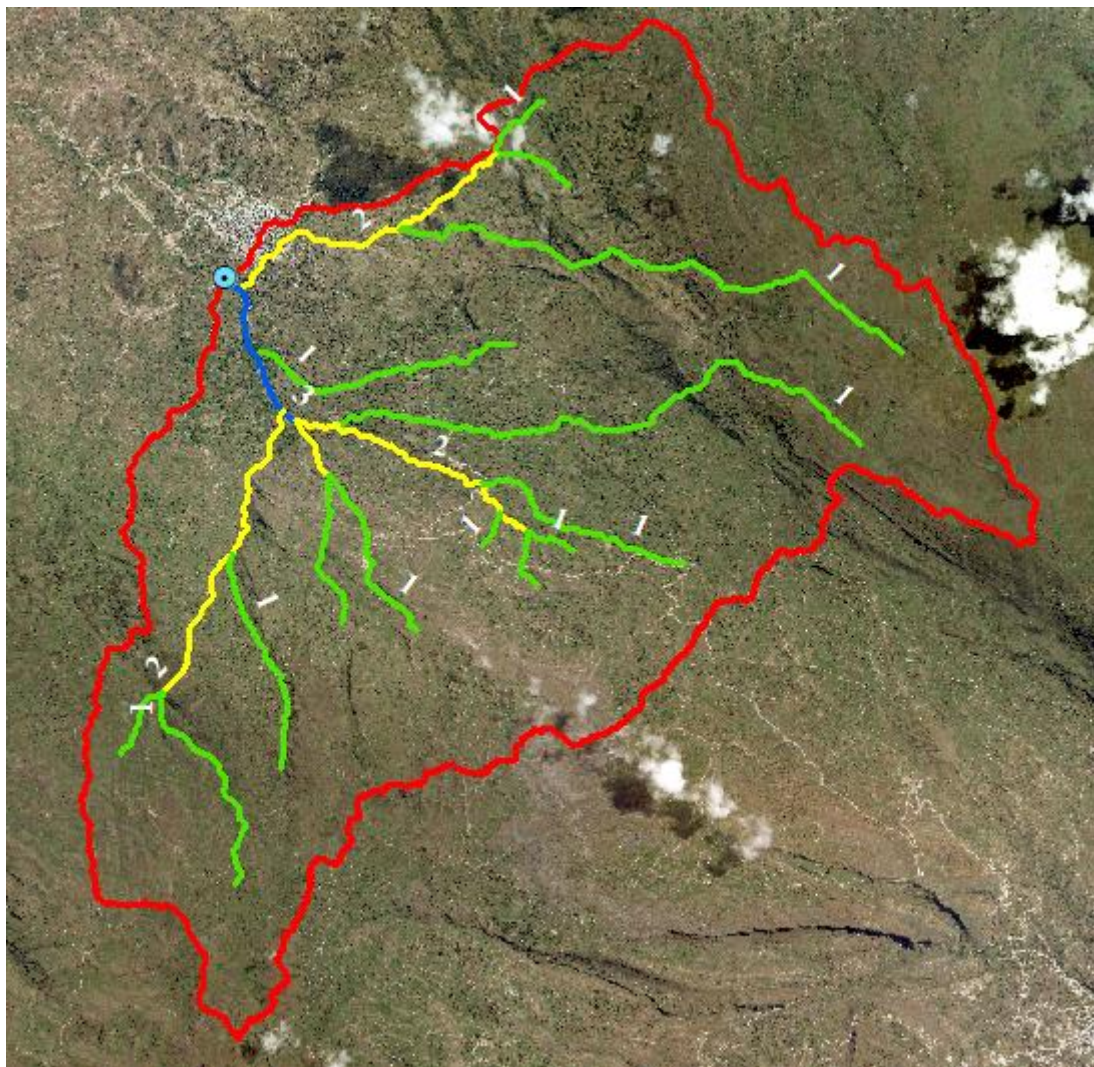


Imagen 03. Delimitación de corriente y orden de corriente.

4.1.2. Características geomorfológicas de la cuenca aportante al estudio

Mediante el uso del Sistema de Información Geográfica ArcGis se pudo obtener parámetros como el área y perímetro de la cuenca siendo de 125.32 km² y 78.68 km respectivamente.

Para la realización de la curva hipsométrica fue ayudada por el DEM y por ArcGis, los resultados obtenidos fueron a partir del promedio de las cotas y de las áreas que se encontraban en tales cotas como se muestra en la Tabla 01.

Mínima	Máxima	Promedio "Ci"	Área Parcial (km2) "Ai"	Área Acumulada (km2)	Porcentaje de área entre C.N.	Porcentaje de área sobre C.N.
2319.00	2500.00	2409.50	6.42	125.32	5.12%	100%
2501.00	2700.00	2600.50	11.22	118.90	8.96%	95%
2701.00	2800.00	2750.50	6.48	107.68	5.17%	86%
2801.00	3000.00	2900.50	16.77	101.20	13.38%	81%
3001.00	3100.00	3050.50	9.39	84.43	7.49%	67%
3101.00	3300.00	3200.50	18.54	75.04	14.79%	60%
3301.00	3400.00	3350.50	9.21	56.50	7.35%	45%
3401.00	3600.00	3500.50	23.87	47.29	19.05%	38%
3601.00	3700.00	3650.50	9.31	23.42	7.43%	19%
3701.00	3897.00	3799.00	14.11	14.11	11.26%	11%

Tabla 01. Datos de curva hipsométrica.

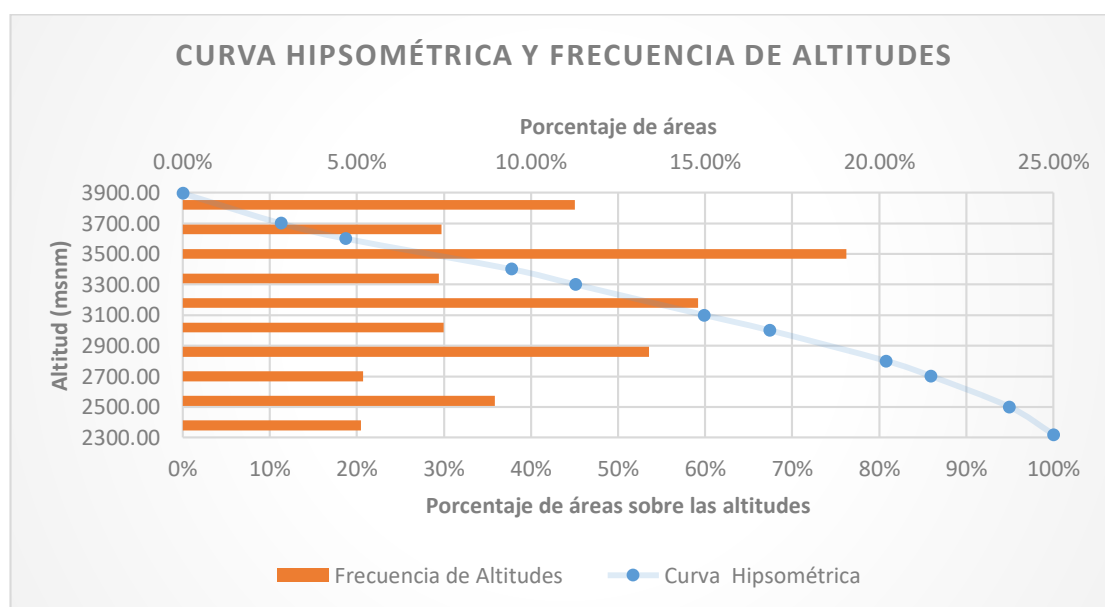


Gráfico 02. Curva hipsométrica y Frecuencia de altitudes.

Posteriormente se obtuvo el parámetro de altitud media de la cuenca aportante al estudio como lo indica en la Tabla 02. Para hallar la altitud media se opera (4,1):

$$\text{Altitud media} = \frac{\sum Ci * Ai}{\text{Área de cuenca}} \quad (4,1)$$

Mínima	Máxima	Promedio "Ci"	Área	
			Parcial (km2) "Ai"	Ci*Ai
2319.00	2500.00	2409.50	6.42	15459.95
2501.00	2700.00	2600.50	11.22	29187.36
2701.00	2800.00	2750.50	6.48	17827.54
2801.00	3000.00	2900.50	16.77	48638.21
3001.00	3100.00	3050.50	9.39	28642.29
3101.00	3300.00	3200.50	18.54	59324.77
3301.00	3400.00	3350.50	9.21	30864.39
3401.00	3600.00	3500.50	23.87	83567.33
3601.00	3700.00	3650.50	9.31	33981.02
3701.00	3897.00	3799.00	14.11	53596.17
			125.32	401089.03
Altitud media de la cuenca			3200.59	msnm

Tabla 02. Altitud media de la cuenca aportante.

Los datos obtenidos de la caracterización de la cuenca analizada se muestran en la Tabla 05, siendo datos como área, perímetro, pendiente media, longitud del cauce principal, longitud de cauca total, longitud de cauce de orden 1, 2 y 3, densidad de drenaje, pendiente media del cauce principal, coeficiente de compacidad o índice de Gravelius, factor de forma y tiempo de concentración, todos son datos obtenidos con la ayuda del SIG ArcGis.

El cálculo de la pendiente media de la cuenca se realizó con la ayuda del método de Cuadrículas Asociadas a un Vector, la cual se obtienen los datos directos del SIG ArgGis (Tabla 03)

Rango de Pendiente %		Promedio	Número de Ocurrencia	Promedio x Ocurrencia
Inferior	Superior			
0	2	1.00	21026.00	21026.00
2	4	3.00	12924.00	38772.00
4	8	6.12	58389.00	357417.75
8	15	11.51	171834.00	1977039.01
15	25	19.89	280464.00	5577297.43
25	50	37.51	222624.00	8350625.46
50	75	62.50	27751.00	1734529.72
75	226	150.73	7019.00	1057965.27
			802031.00	19114672.64
Pendiente media de la Cuenca:				23.83 %

Tabla 03. Pendiente media de la cuenca, método de Cuadrículas Asociadas a un Vector.

Para obtener el dato de pendiente media del cauce principal, se hizo uso del método de Taylor y Schwarz como se muestra en la Tabla 04.

Cotas	Δ Cotas	Distancia entre Cotas l_i^*	Distancia inclinada entre cotas l_i^{**}	Raíz de pendiente por segmento $S_i^{1/2}$	$l_i^{**}/S_i^{1/2}$	
2319	2410	91	2585.90	2587.50	0.1876	13793.24
2410	2510	100	1332.11	1335.85	0.2740	4875.61
2510	2611	101	986.76	991.92	0.3199	3100.43
2611	2710	99	1083.73	1088.24	0.3022	3600.55
2710	2810	100	1094.09	1098.65	0.3023	3633.99
2810	2911	101	995.34	1000.45	0.3185	3140.67
2911	3010	99	1072.12	1076.68	0.3039	3543.16
3010	3110	100	891.94	897.53	0.3348	2680.51
3110	3210	100	388.02	400.70	0.5077	789.31

3210	3311.5	101.5	132.58	166.97	0.8750	190.84
3311.5	3412	100.5	272.23	290.19	0.6076	477.59
3412	3513	101	611.76	620.05	0.4063	1526.00
3513	3610	97	642.31	649.59	0.3886	1671.58
3610	3710	100	1926.45	1929.05	0.2278	8466.85
3710	3810	100	4017.66	4018.90	0.1578	25473.82
3810	3845	35	188.39	191.61	0.4310	444.55
			18221.40	18343.89		77408.71
S=	0.0562	m/m				

Tabla 04. Pendiente media del cauce principal, método de Taylor y Schwarz.

Características de la Cuenca Aportante	Valor	Unidad
Área	125.32	Km ²
Perímetro	78.68	Km
Pendiente media de la cuenca	0.2383	m/m
Longitud de cauce principal	18.22	Km
Longitud de cauce total	70.22	Km
Longitud de cauce de orden 1	50.23	Km
Longitud de cauce de orden 2	17.05	Km
Longitud de cauce de orden 3	2.94	Km
Densidad de drenaje	0.560	Km/Km ²
Pendiente media de cauce principal	0.0562	m/m
Coefficiente de Compacidad o Índice de Gravelius	1.98	
Factor de forma	1.65	
Tiempo de concentración	1.88	horas

Tabla 05. Características de la Cuenca Aportante.

El tiempo de concentración fue calculado usando el método de Kirpich y de California Culverts Practice, dando como resultado 113 minutos.

4.2. Análisis de Precipitación

Para obtener los datos de precipitación se consultó a la estación que se encuentra en la cuenca aportante, la cual es la Estación Chota, se encuentra a una altitud de 2486.6 msnm, latitud -6.547222 y longitud -78.648611, siendo una estación climática del tipo convencional perteneciente a la cuenca Chamaya. También, dicha estación climática cuenta con un código de estaciones, la cual es 303.

La Estación Chota no cuenta con datos de precipitaciones de 10 años. Por otro lado, dichos datos que se recolectaron fueron procesados para obtener las precipitaciones máximas en 24 horas.

ESTACIÓN CHOTA							
Año	P max24h (mm)	Año	P max24h (mm)	Año	P max24h (mm)	Año	P max24h (mm)
1968	33.3	1978	47.2	1999	48.2	2009	49.0
1969	40.5	1979	34.8	2000	35.6	2010	54.2
1970	33.1	1981	35.0	2001	35.9	2011	32.9
1971	50.2	1982	27.5	2002	47.0	2012	53.2
1972	28.0	1993	36.6	2003	60.7	2013	36.8
1973	36.6	1994	32.5	2004	57.0	2014	39.5
1974	30.2	1995	90.8	2005	38.3	2015	37.2
1975	62.0	1996	28.3	2006	61.8	2016	6.3
1976	41.0	1997	45.2	2007	33.7	2017	53.1
1977	34.0	1998	74.3	2008	59.1	2018	28.9

Tabla 06. Precipitaciones máximas en 24 horas – Estación Chota

Fuente: SENAMHI

Debido a la falta de datos que posee la Estación Chota, se tuvo en cuenta otra estación, la cual se ubica en una zona de igual características hidrometeorológicas y altitud similar, siendo la Estación Chugur. Dicha estación se encuentra a una altitud de 2744 msnm, latitud -6.666667 y longitud -78.733333, siendo una estación climática del tipo convencional perteneciente a la cuenca Chancay – Lambayeque con el código de estación 153208.

La Estación Chugur cuenta con los datos completos en el intervalo de tiempo de la Estación Chota, por tal razón, la Estación Chugur servirá como fuente para complementar los datos faltantes de la Estación Chota.

ESTACIÓN CHUGUR			
Año	P max24h (mm)	Año	P max24h (mm)
1968	80.9	1994	27.2
1969	36.5	1995	66.7
1970	40.0	1996	48.8
1971	56.2	1997	63.8
1972	39.5	1998	51.2
1973	50.6	1999	85.1
1974	63.5	2000	44.9
1975	33.2	2001	46.9
1976	75.8	2002	75.2
1977	74.2	2003	78.7
1978	29.2	2004	45.5
1979	30.7	2005	62.3
1981	52.8	2006	58.4
1982	43.4	2007	43.4
1983	27.0	2008	70.0
1984	32.0	2009	64.7
1985	18.9	2010	62.8
1986	19.8	2011	81.3
1987	19.4	2012	48.9
1988	38.6	2013	52.0
1989	42.5	2014	95.0
1990	23.7	2015	77.1
1991	10.7	2016	53.6
1992	11.0	2017	85.5
1993	60.0	2018	30.0

Tabla 07. Precipitaciones máximas en 24 horas – Estación Chugur

Fuente: SENAMHI

Teniendo en cuenta la correlación que presentan los datos de la Estación Chota y la Estación Chugur, se tuvo en cuenta el método de Regresión Potencial para completar los datos faltantes de la Estación Chota. Siendo los datos completos para esta investigación los que se muestran en la Tabla 08.

ESTACIÓN CHOTA			
Año	P max24h (mm)	Año	P max24h (mm)
1968	38.87	1994	32.50
1969	42.18	1995	90.80
1970	38.77	1996	28.30
1971	46.64	1997	45.20
1972	36.43	1998	74.30
1973	40.38	1999	48.20
1974	37.44	2000	35.60
1975	52.07	2001	35.90
1976	42.41	2002	47.00
1977	39.19	2003	60.70
1978	45.26	2004	57.00
1979	39.56	2005	38.30
1981	39.65	2006	61.80
1982	36.20	2007	33.70
1983	38.93	2008	59.10
1984	39.84	2009	49.00
1985	37.31	2010	54.20
1986	37.50	2011	32.90
1987	37.42	2012	53.20
1988	40.97	2013	36.80
1989	41.60	2014	39.50
1990	38.29	2015	37.20
1991	35.46	2016	6.30
1992	35.53	2017	53.10
1993	36.60	2018	28.90

Tabla 08. Precipitaciones máximas en 24 horas completas – Estación Chota

Se realizó el uso de las distribuciones probabilísticas de Gumbel, Normal, Gamma de 2 Parámetros y Log Normal 3 Parámetros; estas distribuciones fueron elegidas debido a que los datos se ajustan a cada una de ellas con un nivel de significancia del 5% para hidrología. Para identificar que distribución es la más correcta, se realizó la Prueba de Bondad Kolmogorov – Smirnov como se muestra en la Tabla 09.

DISTRIBUCIONES PROBABILÍSTICAS									
P max	Fo	Log Normal 3		Normal		Gamma 2		Gumbel	
24H		Parámetros		Parámetros		Parámetros			
		F	Fo - F	F	Fo - F	F	Fo - F	F	Fo - F
6.30	0.020	0.000	0.020	0.002	0.018	0.000	0.020	0.000	0.020
28.30	0.039	0.110	0.070	0.125	0.086	0.128	0.089	0.086	0.047
28.90	0.059	0.121	0.062	0.135	0.077	0.141	0.082	0.100	0.041
32.50	0.078	0.204	0.125	0.208	0.130	0.231	0.152	0.203	0.125
32.90	0.098	0.214	0.116	0.217	0.119	0.242	0.144	0.217	0.119
33.70	0.118	0.236	0.119	0.236	0.119	0.265	0.147	0.244	0.127
35.46	0.137	0.288	0.151	0.282	0.145	0.317	0.180	0.308	0.171
35.53	0.157	0.290	0.134	0.284	0.127	0.319	0.162	0.311	0.154
35.60	0.176	0.292	0.116	0.286	0.109	0.321	0.145	0.313	0.137
35.90	0.196	0.302	0.106	0.294	0.098	0.330	0.134	0.325	0.129
36.20	0.216	0.311	0.095	0.302	0.087	0.340	0.124	0.336	0.120
36.43	0.235	0.318	0.083	0.309	0.073	0.347	0.111	0.344	0.109
36.60	0.255	0.324	0.069	0.314	0.059	0.352	0.097	0.351	0.096
36.80	0.275	0.330	0.056	0.319	0.045	0.358	0.084	0.359	0.084
37.20	0.294	0.343	0.049	0.331	0.037	0.371	0.077	0.374	0.079
37.31	0.314	0.347	0.033	0.334	0.020	0.374	0.061	0.378	0.064
37.42	0.333	0.350	0.017	0.337	0.004	0.378	0.044	0.382	0.048
37.44	0.353	0.351	0.002	0.338	0.015	0.378	0.025	0.383	0.030
37.50	0.373	0.353	0.020	0.339	0.033	0.380	0.008	0.385	0.012
38.29	0.392	0.379	0.014	0.363	0.029	0.405	0.013	0.415	0.022
38.30	0.412	0.379	0.033	0.363	0.049	0.405	0.006	0.415	0.003
38.77	0.431	0.395	0.037	0.377	0.054	0.420	0.011	0.433	0.001
38.87	0.451	0.398	0.053	0.380	0.071	0.423	0.028	0.436	0.015

38.93	0.471	0.400	0.071	0.382	0.088	0.425	0.046	0.438	0.032
39.19	0.490	0.409	0.082	0.390	0.100	0.433	0.057	0.448	0.042
39.50	0.510	0.419	0.091	0.400	0.110	0.443	0.067	0.459	0.050
39.56	0.529	0.421	0.109	0.401	0.128	0.445	0.085	0.461	0.068
39.65	0.549	0.424	0.125	0.404	0.145	0.448	0.101	0.465	0.084
39.84	0.569	0.430	0.138	0.410	0.158	0.454	0.115	0.472	0.097
40.38	0.588	0.449	0.140	0.427	0.161	0.471	0.117	0.491	0.097
40.97	0.608	0.468	0.140	0.446	0.162	0.489	0.119	0.512	0.096
41.60	0.627	0.489	0.138	0.466	0.162	0.508	0.119	0.534	0.093
42.18	0.647	0.509	0.138	0.484	0.163	0.526	0.121	0.554	0.093
42.41	0.667	0.516	0.150	0.491	0.175	0.533	0.134	0.561	0.105
45.20	0.686	0.606	0.080	0.580	0.106	0.614	0.072	0.648	0.038
45.26	0.706	0.608	0.098	0.582	0.124	0.616	0.090	0.650	0.056
46.64	0.725	0.650	0.075	0.624	0.101	0.653	0.072	0.688	0.038
47.00	0.745	0.661	0.085	0.635	0.110	0.663	0.083	0.697	0.048
48.20	0.765	0.694	0.070	0.670	0.094	0.693	0.072	0.727	0.038
49.00	0.784	0.716	0.068	0.693	0.091	0.712	0.072	0.745	0.039
52.07	0.804	0.790	0.014	0.773	0.030	0.778	0.026	0.807	0.003
53.10	0.824	0.812	0.012	0.798	0.026	0.798	0.026	0.825	0.001
53.20	0.843	0.814	0.030	0.800	0.043	0.800	0.043	0.826	0.017
54.20	0.863	0.833	0.030	0.821	0.041	0.817	0.045	0.842	0.021
57.00	0.882	0.879	0.003	0.874	0.009	0.861	0.022	0.879	0.004
59.10	0.902	0.907	0.005	0.905	0.003	0.887	0.015	0.901	0.001
60.70	0.922	0.924	0.002	0.925	0.004	0.905	0.017	0.915	0.006
61.80	0.941	0.934	0.007	0.937	0.004	0.915	0.026	0.924	0.017
74.30	0.961	0.990	0.029	0.994	0.033	0.981	0.020	0.978	0.017
90.80	0.980	1.000	0.019	1.000	0.020	0.998	0.018	0.996	0.016
D= Máx (Fo (xm)-F(xm))			0.1510		0.1753		0.1798		0.1711

Tabla 09. Prueba de Bondad Kolmogorov – Smirnov.

De esta forma se observa que el máximo valor de D es de la distribución Gamma 2 Parámetros con un valor de 0.1798 y el valor mínimo es de la distribución Log Normal 3 Parámetros con un valor de 0.1510. Para identificar que distribución teórica es la correcta, se identifica al menor valor de D perteneciendo a la distribución de Log Normal 3 Parámetros.

Teniendo en cuenta la identificación de la distribución correcta, se usa para poder predecir las precipitaciones máximas para periodos de retorno de 20, 50, 100, 200 y 500 años como se indica en la Tabla 10.

PRECIPITACIONES MÁXIMAS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO PARA UNA DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL 3 PARÁMETROS				
T (Años)	Probabilidad de Excedencia $P = F(Z)$	Probabilidad de no Excedencia $1 - F(Z)$	Z	P 24hr
2	0.500	0.500	94.92	41.92
5	0.200	0.800	105.54	52.54
10	0.100	0.900	111.56	58.56
20	0.050	0.950	116.79	63.78
50	0.020	0.980	122.97	69.96
100	0.010	0.990	127.26	74.26
200	0.005	0.995	131.33	78.33
500	0.002	0.998	136.43	83.43

Tabla 010. Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno para una distribución Log Normal 3 Parámetros.

4.3. Curvas IDF

Curvas IDF de cuenca aportante

Estas curvas IDF fueron creadas a partir de los datos de la Tabla 8, los cuales son datos de la Estación Chota que fueron procesados con el método de Dick Peschke. Los resultados se muestran en la Tabla 11.

n=	50	DURACIÓN					
TIEMPO DE		1 h	3 h	6 h	9 h	12 h	24 h
RETORNO							
N° de orden	(n+1)/m	60	180	360	540	720	1440
(m)		min	min	min	min	min	min
1	51.00	41.02	18.00	10.70	7.89	6.36	3.78
2	25.50	33.57	14.73	8.76	6.46	5.21	3.10
3	17.00	27.92	12.25	7.28	5.37	4.33	2.58
4	12.75	27.42	12.03	7.15	5.28	4.25	2.53
5	10.20	26.70	11.71	6.97	5.14	4.14	2.46
6	8.50	25.75	11.30	6.72	4.96	3.99	2.38
7	7.29	24.49	10.74	6.39	4.71	3.80	2.26
8	6.38	24.04	10.54	6.27	4.63	3.73	2.22
9	5.67	23.99	10.52	6.26	4.62	3.72	2.21
10	5.10	23.52	10.32	6.14	4.53	3.65	2.17
11	4.64	22.14	9.71	5.77	4.26	3.43	2.04
12	4.25	21.78	9.55	5.68	4.19	3.38	2.01
13	3.92	21.23	9.32	5.54	4.09	3.29	1.96
14	3.64	21.07	9.24	5.50	4.06	3.27	1.94
15	3.40	20.45	8.97	5.33	3.94	3.17	1.89
16	3.19	20.42	8.96	5.33	3.93	3.17	1.88
17	3.00	19.16	8.41	5.00	3.69	2.97	1.77
18	2.83	19.06	8.36	4.97	3.67	2.96	1.76
19	2.68	18.79	8.24	4.90	3.62	2.91	1.73
20	2.55	18.51	8.12	4.83	3.56	2.87	1.71
21	2.43	18.25	8.00	4.76	3.51	2.83	1.68
22	2.32	18.00	7.90	4.70	3.46	2.79	1.66
23	2.22	17.91	7.86	4.67	3.45	2.78	1.65
24	2.13	17.87	7.84	4.66	3.44	2.77	1.65
25	2.04	17.85	7.83	4.66	3.43	2.77	1.65
26	1.96	17.71	7.77	4.62	3.41	2.75	1.63
27	1.89	17.59	7.72	4.59	3.38	2.73	1.62
28	1.82	17.56	7.70	4.58	3.38	2.72	1.62

29	1.76	17.52	7.69	4.57	3.37	2.72	1.62
30	1.70	17.30	7.59	4.51	3.33	2.68	1.60
31	1.65	17.30	7.59	4.51	3.33	2.68	1.60
32	1.59	16.94	7.43	4.42	3.26	2.63	1.56
33	1.55	16.92	7.42	4.41	3.26	2.62	1.56
34	1.50	16.90	7.42	4.41	3.25	2.62	1.56
35	1.46	16.86	7.40	4.40	3.24	2.61	1.55
36	1.42	16.81	7.37	4.38	3.23	2.61	1.55
37	1.38	16.63	7.29	4.34	3.20	2.58	1.53
38	1.34	16.54	7.25	4.31	3.18	2.56	1.53
39	1.31	16.46	7.22	4.29	3.17	2.55	1.52
40	1.28	16.35	7.17	4.27	3.15	2.54	1.51
41	1.24	16.22	7.12	4.23	3.12	2.52	1.50
42	1.21	16.08	7.06	4.20	3.10	2.49	1.48
43	1.19	16.05	7.04	4.19	3.09	2.49	1.48
44	1.16	16.02	7.03	4.18	3.08	2.49	1.48
45	1.13	15.23	6.68	3.97	2.93	2.36	1.40
46	1.11	14.86	6.52	3.88	2.86	2.31	1.37
47	1.09	14.68	6.44	3.83	2.83	2.28	1.35
48	1.06	13.06	5.73	3.41	2.51	2.03	1.20
49	1.04	12.79	5.61	3.34	2.46	1.98	1.18
50	1.02	2.85	1.25	0.74	0.55	0.44	0.26

Tabla 011. Intensidades para diferentes periodos de retorno y diferentes duraciones.

Con estos resultados se procedió a interpolar para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 30 y 50 años, esto debido a que se posee una data de 50 años. Los resultados se muestran en la Tabla 12 y Gráfico 3.

DURACIÓN		TIEMPO DE RETORNO					
Min	Horas	2	5	10	20	30	50
60	1	17.77	23.23	26.59	29.91	34.88	40.73
180	3	7.80	10.19	11.66	13.12	15.30	17.87
360	6	4.64	6.06	6.94	7.80	9.10	10.62
540	9	3.42	4.47	5.12	5.76	6.71	7.84
720	12	2.76	3.60	4.12	4.64	5.41	6.32
1440	24	1.64	2.14	2.45	2.76	3.22	3.76

Tabla 012. Datos de las curvas IDF, usando data de 50 años.

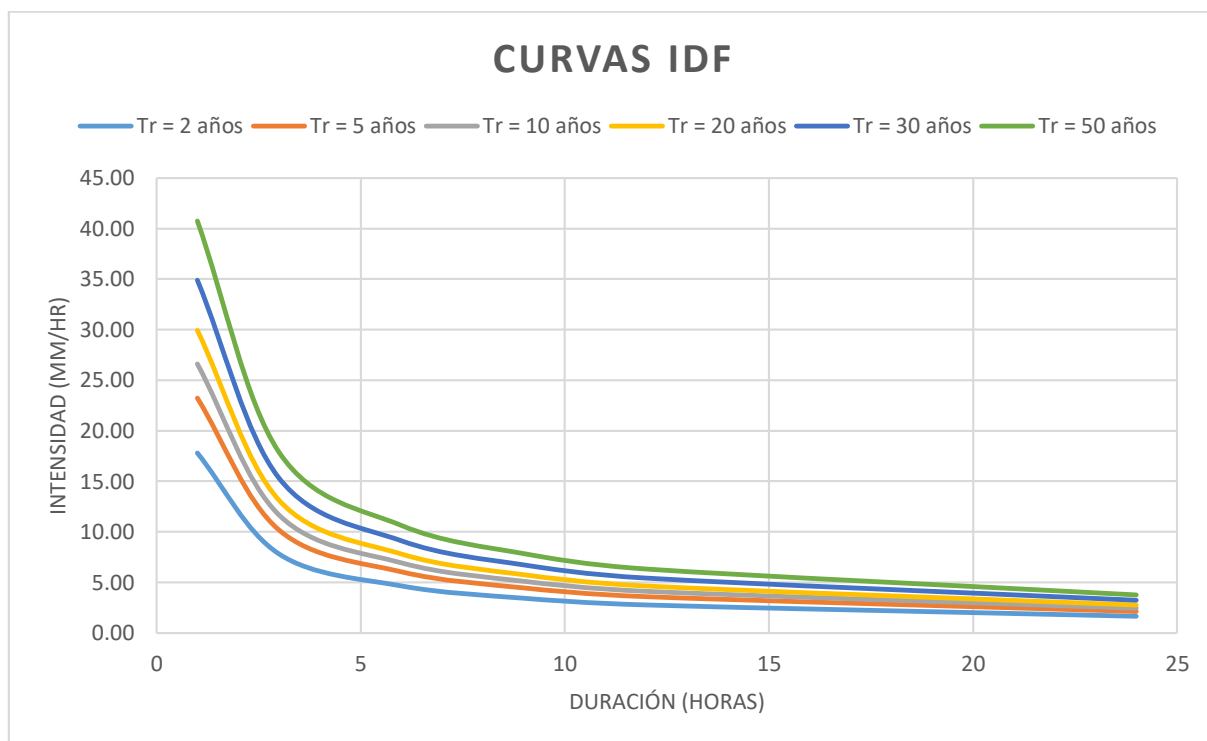


Gráfico 03. Curvas IDF, usando data de 50 años

Curvas IDF proyectadas

Las curvas IDF fueron creadas a partir de los datos de precipitación para los periodos de retornos de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 y 500 años. Debido a la falta de un pluviógrafo en la Estación Chota, se usó la metodología de Dick Peschke recomendada por el MTC, estas

precipitaciones fueron obtenidas mediante la proyección de la distribución teórica de LogNormal 3 Parámetros (Tabla 10), los resultados de las precipitaciones se muestran en la Tabla 13.

DURACIÓN (Minutos)	PRECIPITACIÓN EN 24 HORAS (mm)							
	41.92	52.54	58.56	63.78	69.96	74.26	78.33	83.43
	PERIODO DE RETORNO (Años)							
	2	5	10	20	50	100	200	500
	PRECIPITACIÓN (mm)							
60	18.94	23.74	26.46	28.82	31.61	33.55	35.39	37.69
120	22.52	28.23	31.46	34.27	37.59	39.90	42.08	44.82
180	24.92	31.24	34.82	37.93	41.60	44.16	46.57	49.61
240	26.78	33.57	37.41	40.75	44.70	47.45	50.05	53.31
300	28.32	35.50	39.56	43.09	47.27	50.17	52.92	56.36
360	29.64	37.15	41.41	45.10	49.47	52.51	55.39	58.99
480	31.85	39.92	44.49	48.47	53.16	56.43	59.52	63.39
720	35.25	44.18	49.24	53.64	58.83	62.45	65.86	70.15
1080	39.01	48.89	54.49	59.36	65.11	69.11	72.89	77.64
1440	41.92	52.54	58.56	63.78	69.96	74.26	78.33	83.43

Tabla 013. Precipitaciones para diferentes periodos de retorno.

Posteriormente, se logró determinar las intensidades de lluvia para cada periodo de retorno con la siguiente ecuación (2,1):

$$I = \frac{P}{T} \quad (2,1)$$

Donde:

P= Precipitación (mm)

T= Tiempo (hr)

I= Intensidad (mm/hr)

Los resultados se muestran en la Tabla 14.

DURACIÓN (Minutos)	PERIODO DE RETORNO (Años)							
	2	5	10	20	50	100	200	500
	INTENSIDAD (mm/hr)							
60	18.94	23.74	26.46	28.82	31.61	33.55	35.39	37.69
120	11.26	14.11	15.73	17.14	18.79	19.95	21.04	22.41
180	8.31	10.41	11.61	12.64	13.87	14.72	15.52	16.54
240	6.70	8.39	9.35	10.19	11.18	11.86	12.51	13.33
300	5.66	7.10	7.91	8.62	9.45	10.03	10.58	11.27
360	4.94	6.19	6.90	7.52	8.25	8.75	9.23	9.83
480	3.98	4.99	5.56	6.06	6.64	7.05	7.44	7.92
720	2.94	3.68	4.10	4.47	4.90	5.20	5.49	5.85
1080	2.17	2.72	3.03	3.30	3.62	3.84	4.05	4.31
1440	1.75	2.19	2.44	2.66	2.92	3.09	3.26	3.48

Tabla 014. Intensidades para diferentes periodos de retorno.

Construcción de las curvas Intensidad, Duración y Frecuencia – IDF

Haciendo uso de regresión lineal se pudo calcular la ecuación de intensidad, para los cuales se obtuvieron los factores característicos de la zona de estudio (K, m y n), la ecuación (4,2) es la siguiente:

$$I = \frac{414.9389 \times T^{0.1176}}{D^{0.75}} \quad (4,2)$$

I= Intensidad

T= Tiempo de Retorno

D= Duración de la precipitación

En la Tabla 15 y en el Gráfico 4 se muestran los valores de intensidad y curvas IDF respectivamente.

TR=	2	5	10	20	50	100	200	500
DURACIÓN	INTENSIDAD (mm/hr)							
(min)								
60	20.88	23.26	25.23	27.38	30.49	33.08	35.89	39.97
120	12.42	13.83	15.00	16.28	18.13	19.67	21.34	23.77
180	9.16	10.20	11.07	12.01	13.38	14.51	15.74	17.54
240	7.38	8.22	8.92	9.68	10.78	11.70	12.69	14.13
300	6.25	6.96	7.55	8.19	9.12	9.89	10.73	11.95
360	5.45	6.07	6.58	7.14	7.95	8.63	9.36	10.43
420	4.85	5.40	5.86	6.36	7.09	7.69	8.34	9.29
480	4.39	4.89	5.30	5.76	6.41	6.95	7.54	8.40
540	4.02	4.48	4.86	5.27	5.87	6.37	6.91	7.69
600	3.71	4.14	4.49	4.87	5.42	5.88	6.38	7.11
660	3.46	3.85	4.18	4.53	5.05	5.48	5.94	6.62
720	3.24	3.61	3.91	4.25	4.73	5.13	5.57	6.20
780	3.05	3.40	3.69	4.00	4.45	4.83	5.24	5.84
840	2.89	3.21	3.49	3.78	4.21	4.57	4.96	5.52
900	2.74	3.05	3.31	3.59	4.00	4.34	4.71	5.24
960	2.61	2.91	3.15	3.42	3.81	4.14	4.49	5.00
1020	2.49	2.78	3.01	3.27	3.64	3.95	4.29	4.77
1080	2.39	2.66	2.89	3.13	3.49	3.79	4.11	4.57
1140	2.29	2.56	2.77	3.01	3.35	3.64	3.94	4.39
1200	2.21	2.46	2.67	2.89	3.22	3.50	3.79	4.23
1260	2.13	2.37	2.57	2.79	3.11	3.37	3.66	4.07
1320	2.06	2.29	2.48	2.69	3.00	3.26	3.53	3.94
1380	1.99	2.21	2.40	2.61	2.90	3.15	3.42	3.81
1440	1.93	2.14	2.33	2.52	2.81	3.05	3.31	3.69

Tabla 015. Intensidades vs duración.

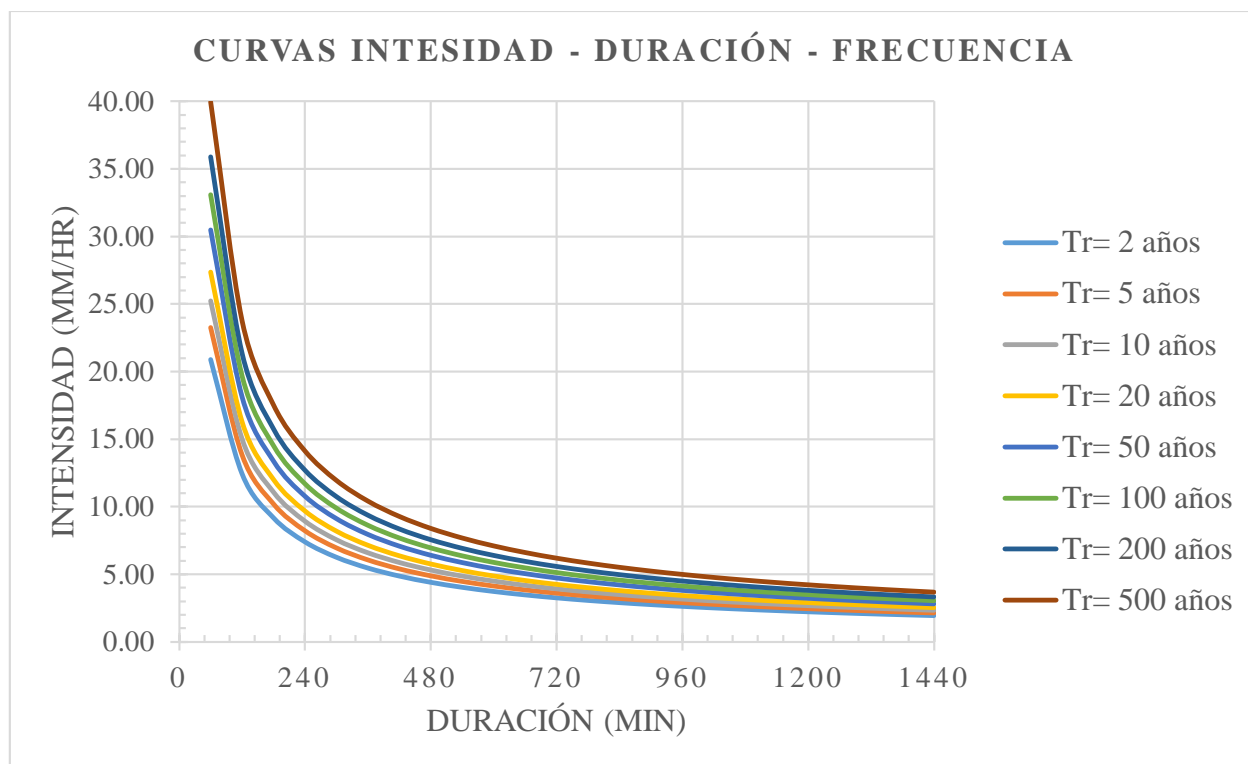


Gráfico 04. Curvas IDF

Hietograma de diseño

Para obtener el hietograma de diseño por el método del Bloque Alterno, tiene en cuenta el tiempo de duración de la tormenta, para esta investigación es de 24 horas.

En la Tabla 16, se muestra los datos del hietograma para los periodos de retorno de 20, 50, 100, 200 y 500 años, así mismo se muestran los Grafico 05, 06, 07, 08 y 09, el hietograma de precipitaciones para cada año respectivamente.

HIETOGRAMA					
Duración	Tr = 20 años	Tr = 50 años	Tr = 100 años	Tr = 200 años	Tr = 500 años
60	0.641	0.714	0.775	0.841	0.936
120	0.686	0.764	0.828	0.899	1.001
180	0.738	0.822	0.891	0.967	1.077
240	0.800	0.891	0.967	1.049	1.168
300	0.876	0.976	1.059	1.149	1.280
360	0.972	1.083	1.175	1.274	1.419

420	1.096	1.221	1.325	1.437	1.601
480	1.266	1.410	1.529	1.659	1.848
540	1.512	1.684	1.827	1.982	2.207
600	1.909	2.126	2.307	2.503	2.788
660	2.687	2.992	3.246	3.522	3.923
720	5.180	5.769	6.259	6.791	7.563
780	27.376	30.491	33.080	35.890	39.973
840	3.473	3.868	4.197	4.553	5.071
900	2.221	2.474	2.684	2.912	3.243
960	1.683	1.875	2.034	2.207	2.458
1020	1.376	1.532	1.663	1.804	2.009
1080	1.174	1.307	1.419	1.539	1.714
1140	1.030	1.147	1.244	1.350	1.504
1200	0.921	1.026	1.113	1.208	1.345
1260	0.836	0.931	1.010	1.096	1.221
1320	0.767	0.855	0.927	1.006	1.120
1380	0.710	0.791	0.859	0.931	1.037
1440	0.663	0.738	0.801	0.869	0.967

Tabla 016. Datos para hietograma, periodos de retorno 20, 50, 100, 200 y 500 años.

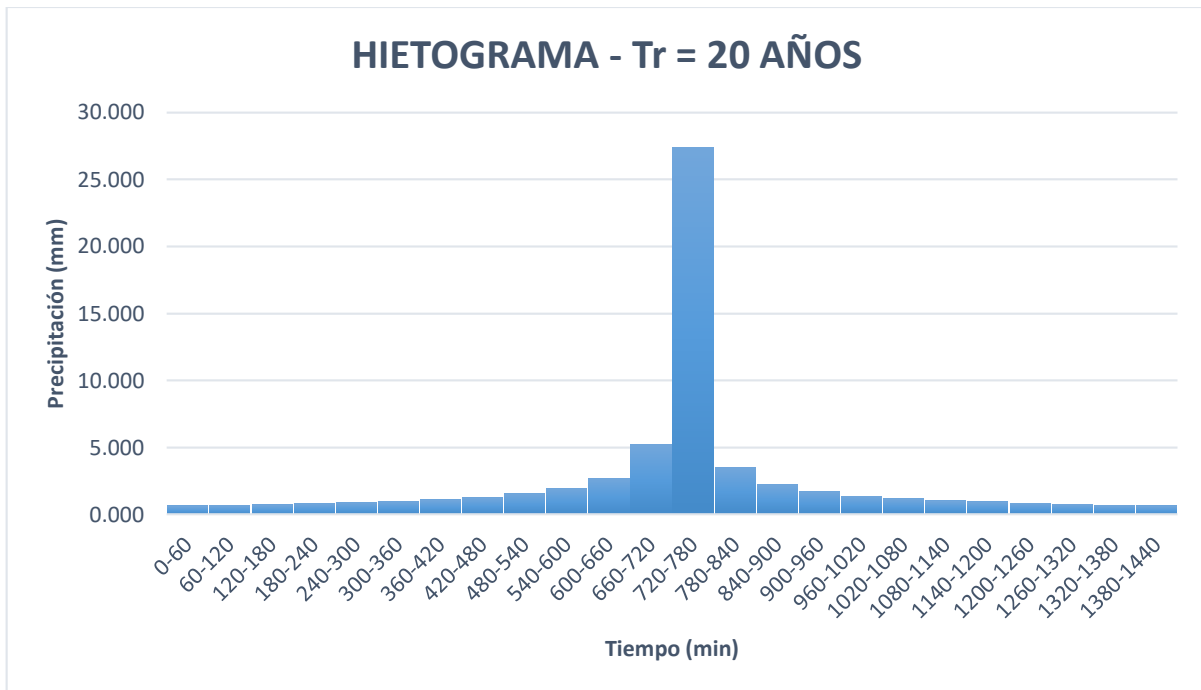


Gráfico 05. Hietograma de diseño, periodo de retorno 20 años.

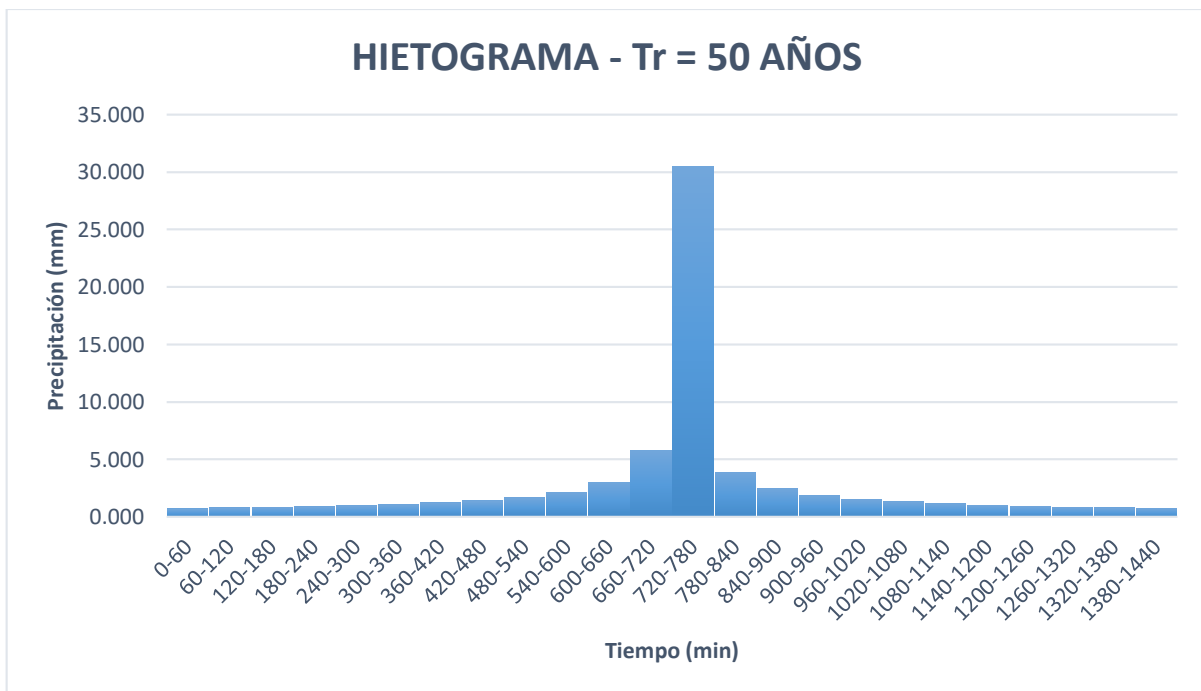


Gráfico 06. Hietograma de diseño, periodo de retorno 50 años.

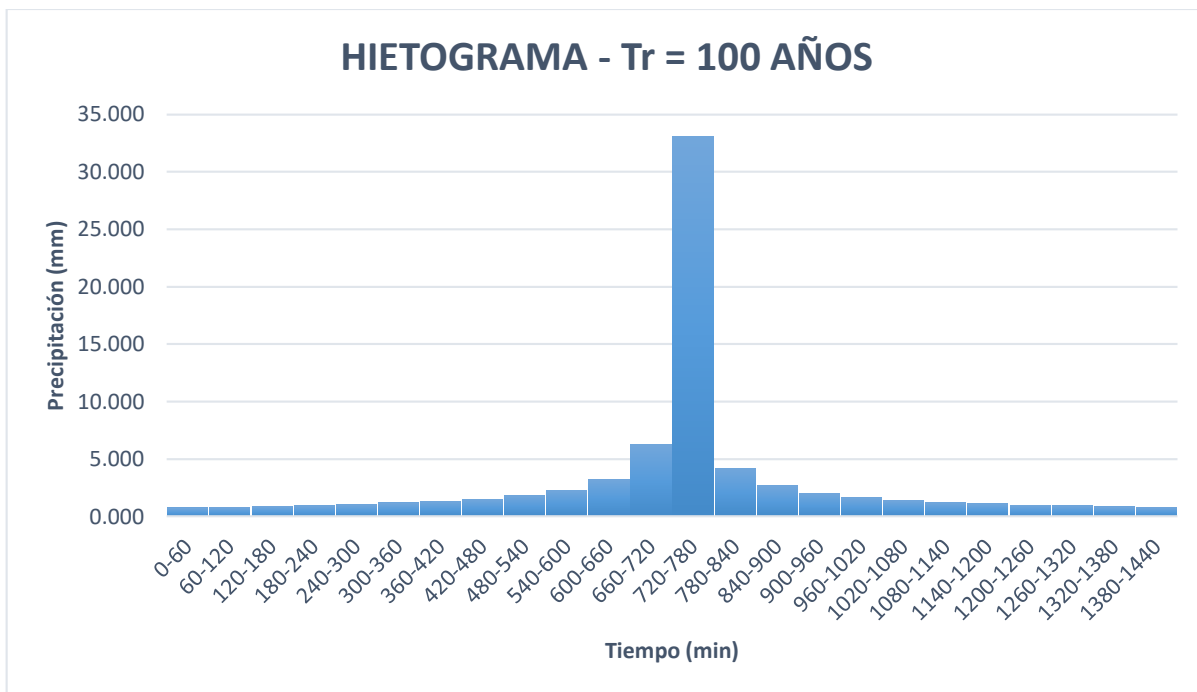


Gráfico 07. Hietograma de diseño, periodo de retorno 100 años.

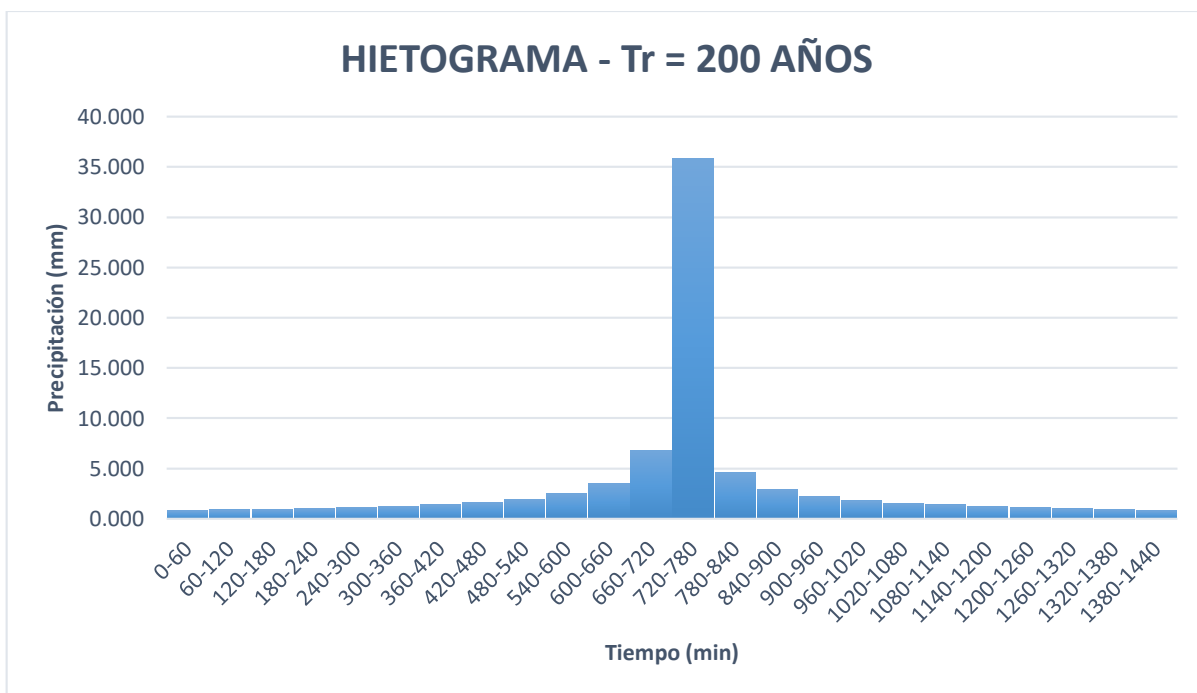


Gráfico 08. Hietograma de diseño, periodo de retorno 200 años.

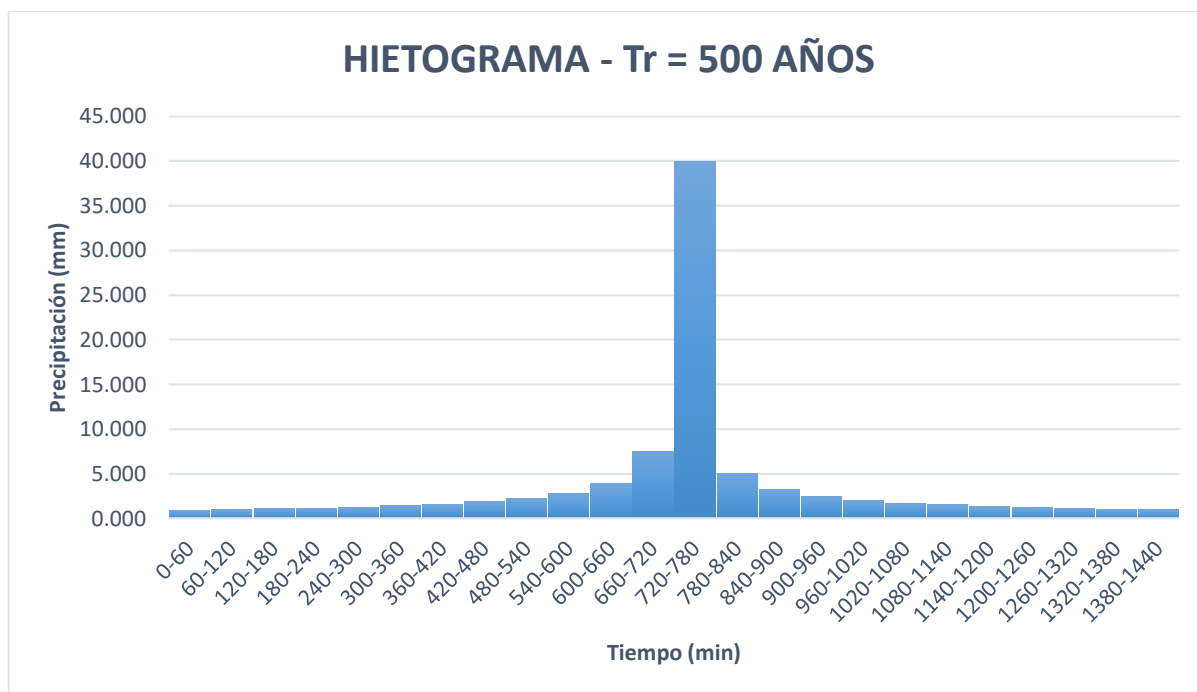


Gráfico 09. Hietograma de diseño, periodo de retorno 500 años.

4.4. Modelamiento en HEC – HMS

Obtención de CN

Para obtener la curva número (CN), primero se recurrió al catálogo de metadatos de la Autoridad Nacional del Agua, posteriormente se identificó las áreas para diferentes números para luego ponderar el CN con su respectiva área como se muestra en la Tabla 17.

	ÁREA (KM2)	CN	AREA X CN
A1	99.30	67	6653.10
A2	26.02	82	2133.42
TOTAL	125.32		8786.52
CN=	70.11		

Tabla 017. Curva CN – Cuenca Aportante.

Abstracción inicial (Ia)

Para obtener la abstracción inicial se usó la siguiente expresión (4,3):

$$Ia = 5080/CN - 50.8 \text{ (mm)} \quad (4,3)$$

Considerando el valor de CN ya antes calculado, se obtuvo el valor de la abstracción inicial de 21.65 mm.

Tiempo de retardo (Lag time)

Para poder obtener los caudales de diseño, se obtuvo a través del método del SCS, para lo cual necesita introducir el tiempo de retardo. Se obtiene mediante la siguiente expresión (4,5):

$$\text{Lag time} = 0.6 Tc \quad (4,5)$$

Considerando que el tiempo de concentración (T_c) fue calculado a través del método de Kirpich. Por lo tanto, el tiempo de retardo es igual a 1.127 horas, transformando a minutos tenemos 67.64 min.

Resultados del modelo hidrológico

Una vez ingresados los datos de cuenca y de precipitaciones de hietogramas para cada periodo de retorno, HEC – HMS dio como respuestas caudales de diseño para los periodos de retorno de 20, 50, 100, 200 y 500, los cuales fueron 99.60 m³/s, 132.1 m³/s, 161.50 m³/s, 195.5 m³/s y 248.60 m³/s respectivamente. El caudal máximo se mostró en los hidrogramas de diseño, indicados en los Graficos 10, 11, 12, 13 y 14.

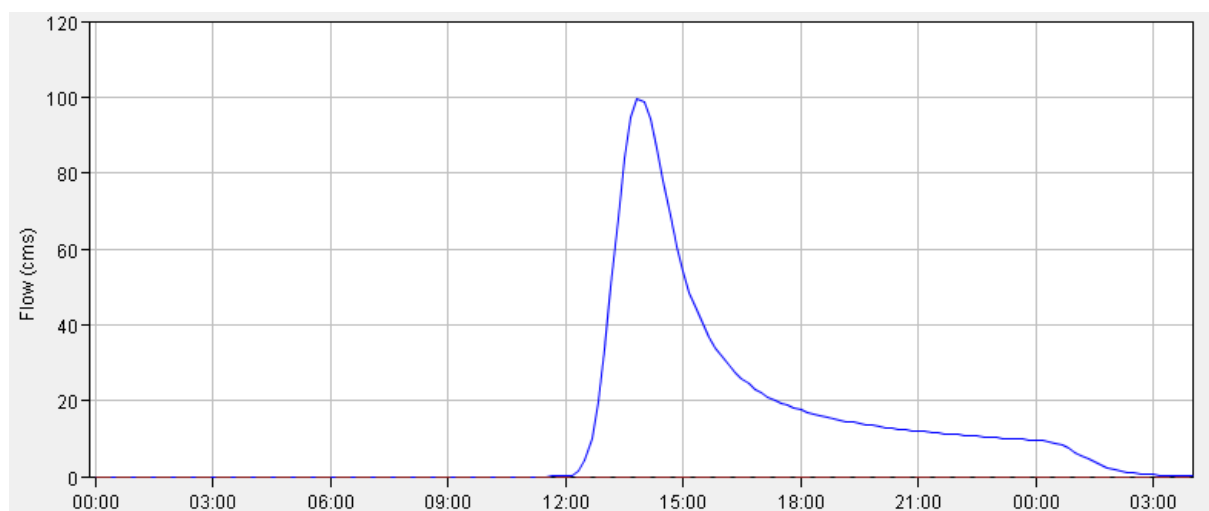


Gráfico 010. Hidrograma para un periodo de retorno de 20 años.

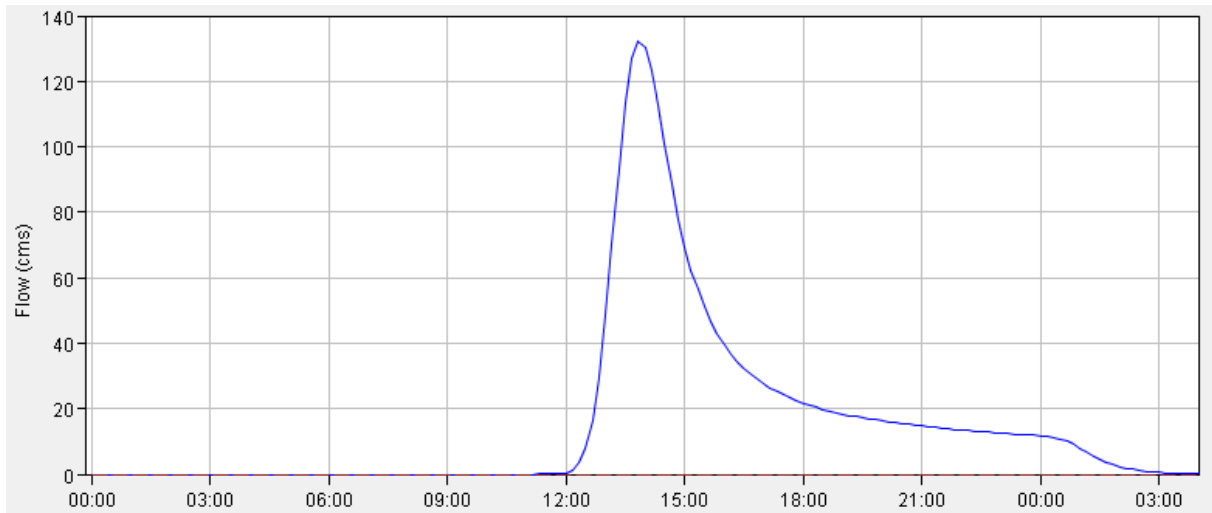


Gráfico 011. Hidrograma para un periodo de retorno de 50 años.

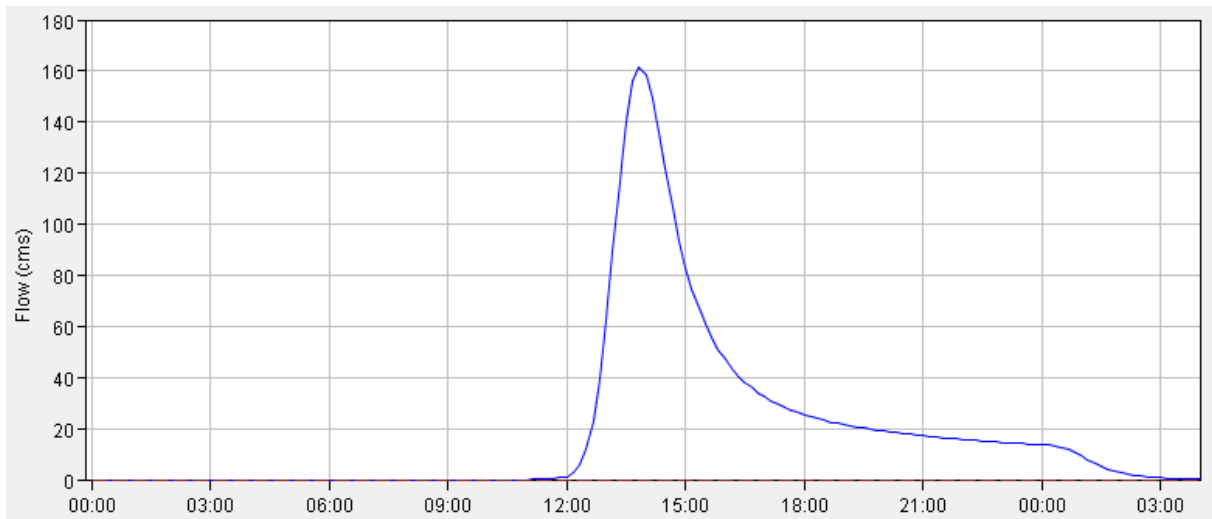


Gráfico 012. Hidrograma para un periodo de retorno de 100 años.

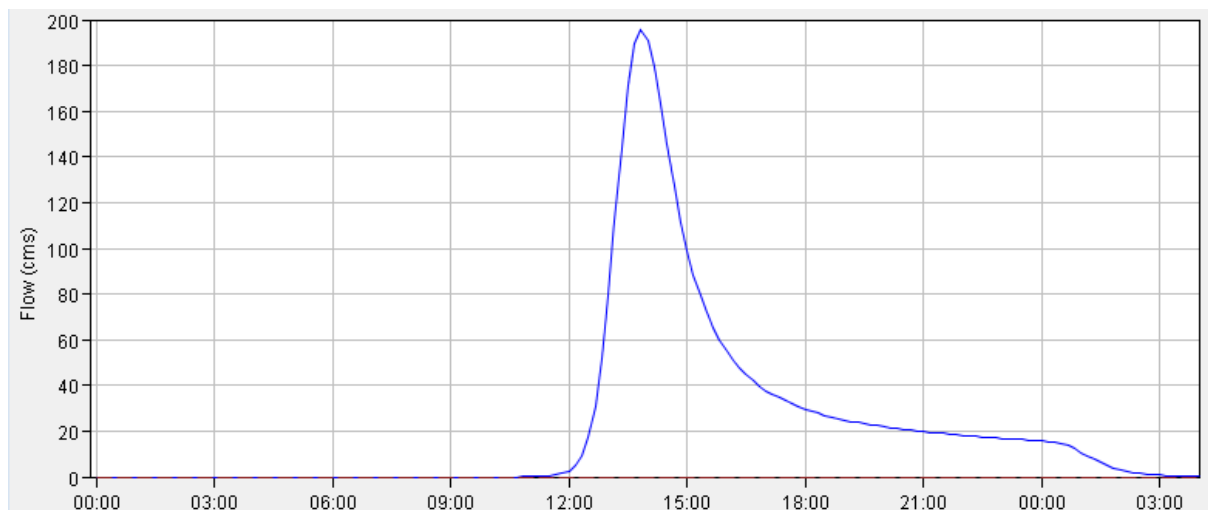


Gráfico 013. Hidrograma para un periodo de retorno de 200 años.

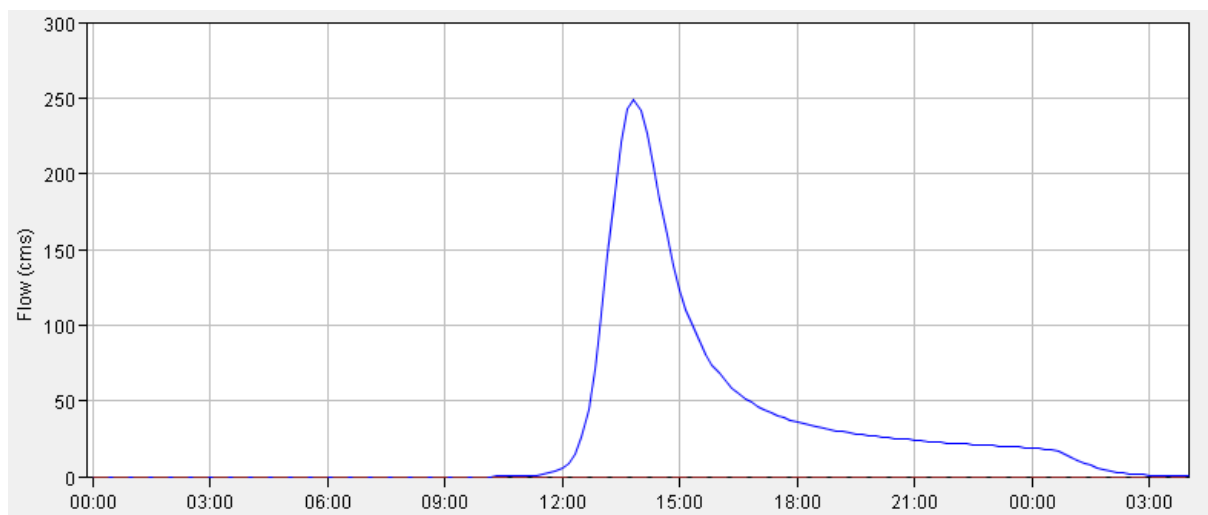


Gráfico 014. Hidrograma para un periodo de retorno de 500 años.

4.5. Modelamiento en IBER

Preparación de Datos

Con la ayuda del SIG ARCGIS, se procesó la información del DEM proporcionado por la NASA, esto con el fin de obtener el relieve topográfico de la zona de inundación. Para lograr esto, se recortó el DEM original en función de la zona de inundación proyectada en un sistema UTM-WGS 1984 – Zona 17 sur. Este DEM procesado fue exportado como archivo ASCII para la posterior lectura de Iber.



Imagen 04. Modelo Digital de Elevación – Zona de Estudio.

Posteriormente, se creó un shape de usos de suelos, en el cual se identificó 4 zonas, las cuales fueron praderas, suelo desnudo, zonas urbanas y río. Esto con el fin de exportar a Iber y generar una malla con sus rugosidades dependiendo del tipo de zona.



Imagen 05. Shape de usos de suelo.

Tanto el modelo digital de elevación como el shape de usos de suelos fueron importados en Iber, así mismo, se le importo una ortofoto con el fin de apreciar con más detalles de las zonas que serán afectadas en la simulación de inundación.

Finalmente se ingresan los datos de entrada, siendo el caudal máximo cada periodo de retorno, dando como resultados las Imágenes 06, 07, 08, 09, 10 y 11.



Imagen 06. Modelación IBER, caudal con periodo de retorno de 10 años.

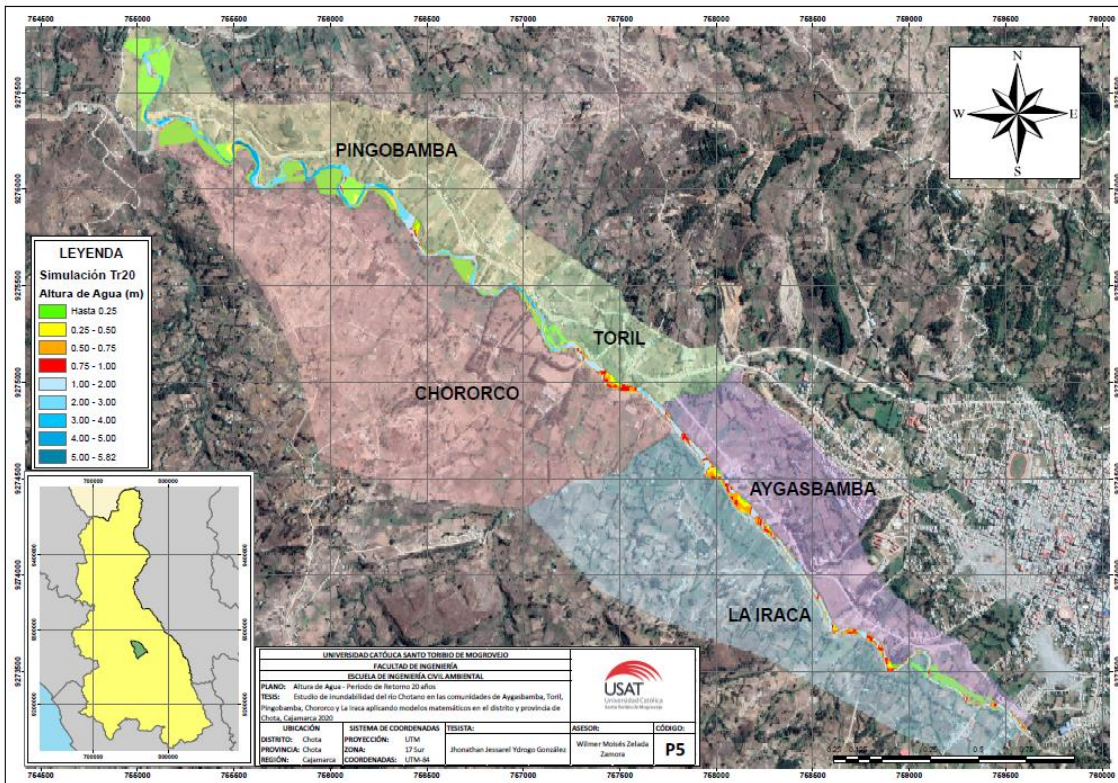


Imagen 07. Modelación IBER, caudal con periodo de retorno de 20 años.

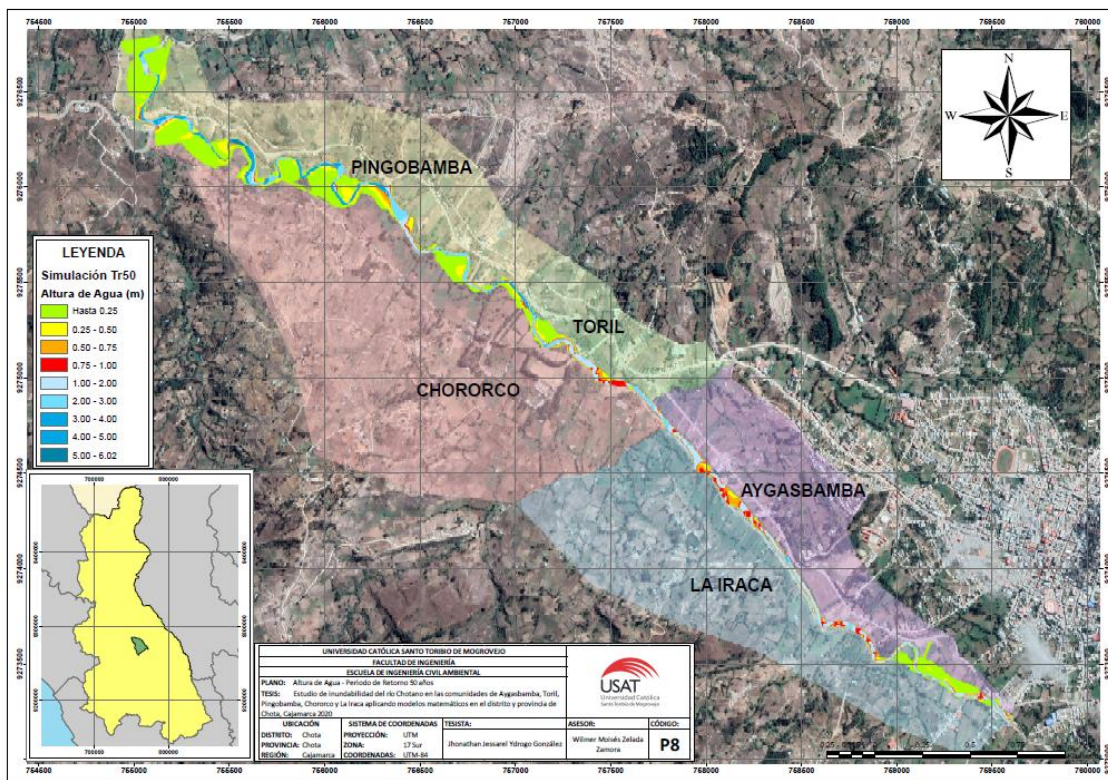


Imagen 08. Modelación IBER, caudal con periodo de retorno de 50 años.

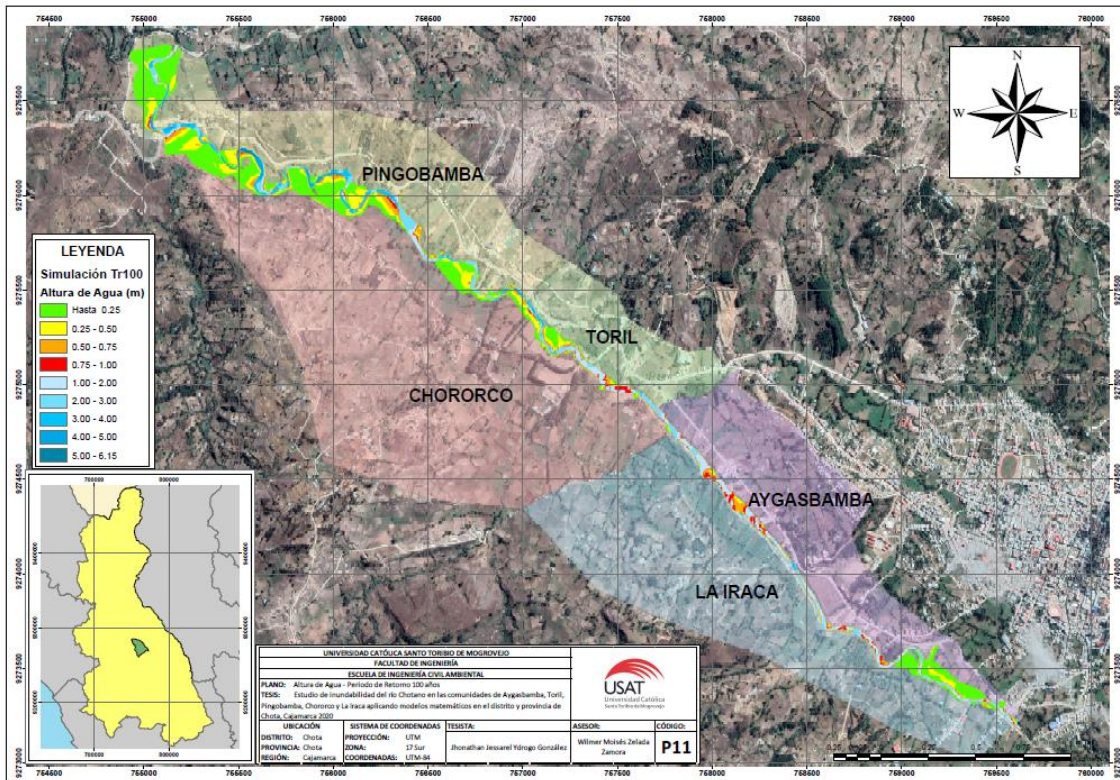


Imagen 09. Modelación IBER, caudal con periodo de retorno de 100 años.

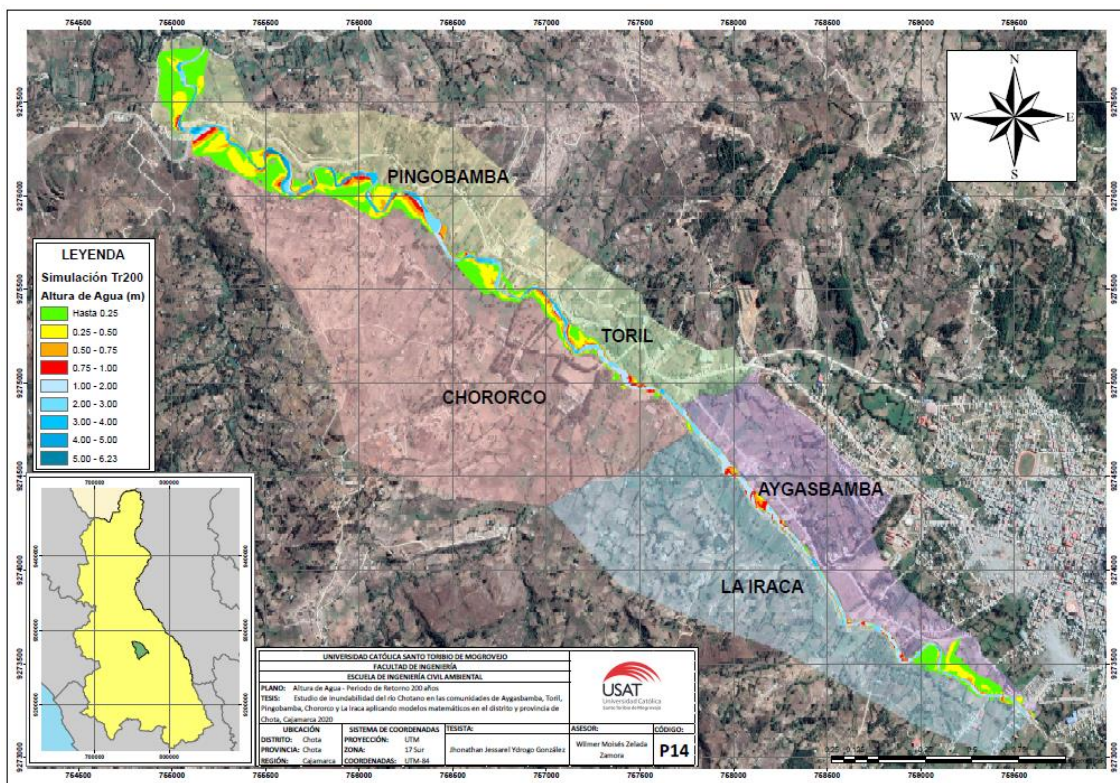


Imagen 010. Modelación IBER, caudal con periodo de retorno de 200 años.

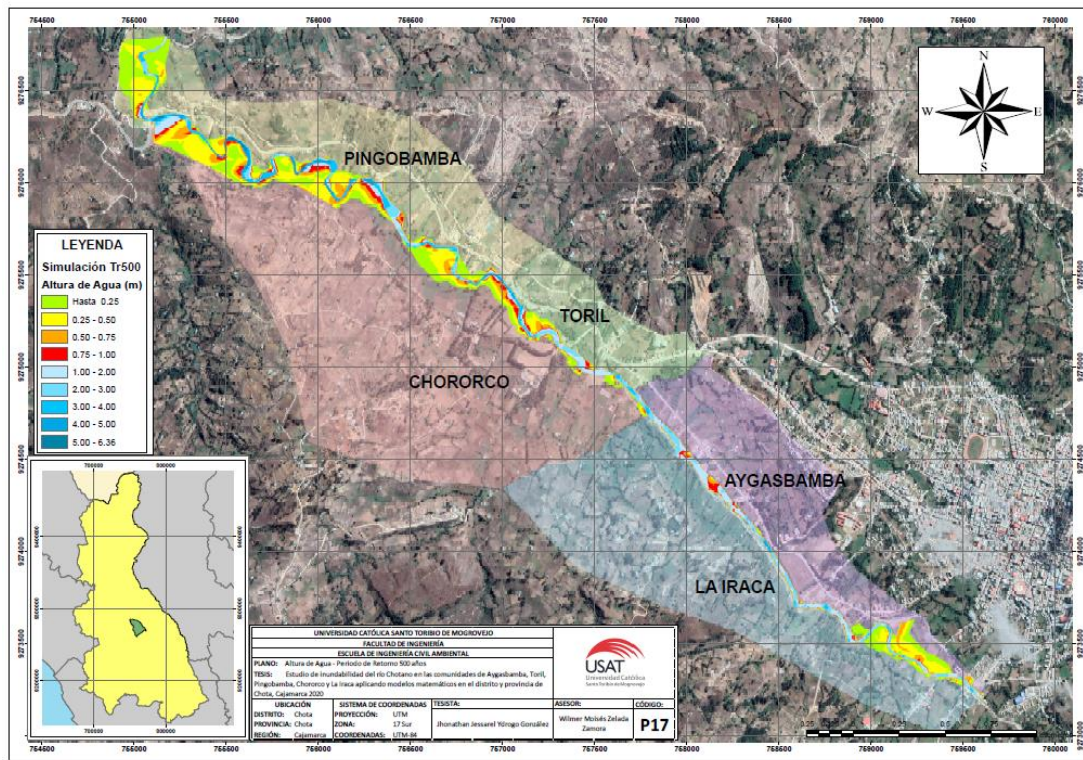


Imagen 011. Modelación IBER, caudal con periodo de retorno de 500 años.

Luego de realizar la simulación, se procedió a generar las secciones transversales del río Chotano, en dichos perfiles se muestra el nivel de agua frente a los periodos de retornos que se están estudiando. Dichas secciones se muestran en los Gráficos 15, 16, 17, 18, 19, 20

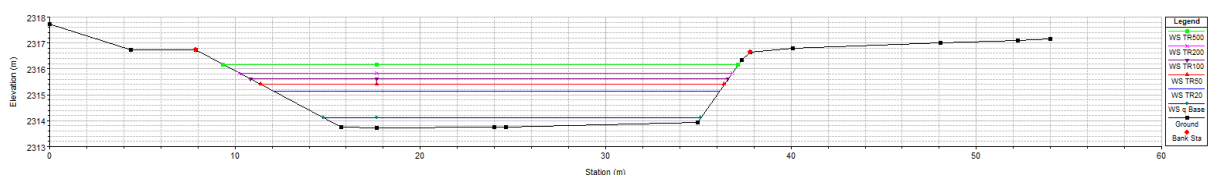


Gráfico 015. Sección 01 – 7+750.

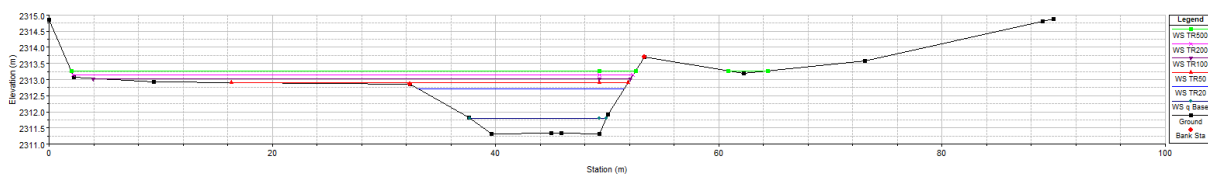


Gráfico 016. Sección 02 – 7+600.

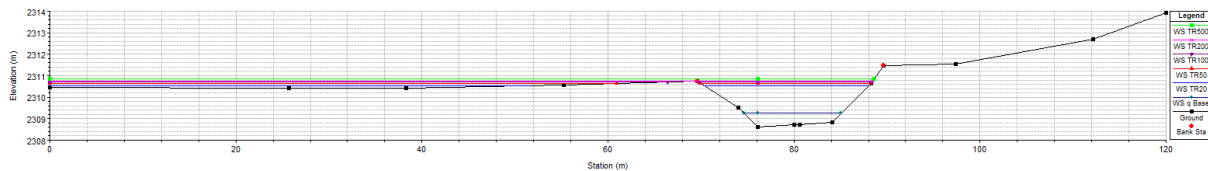


Gráfico 017. Sección 03 – 7+450.

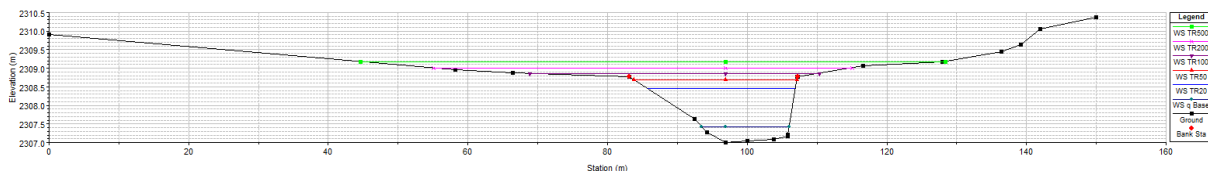


Gráfico 018. Sección 04 – 7+350.

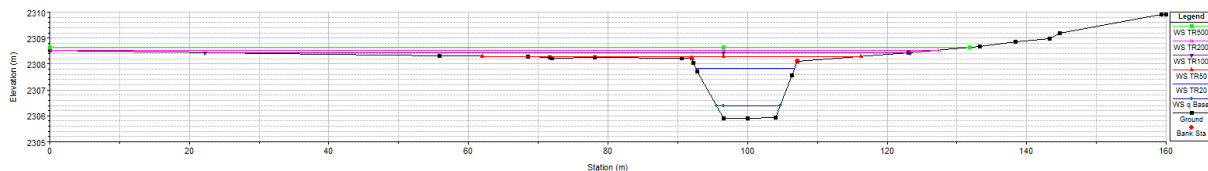


Gráfico 019. Sección 05 – 7+300.

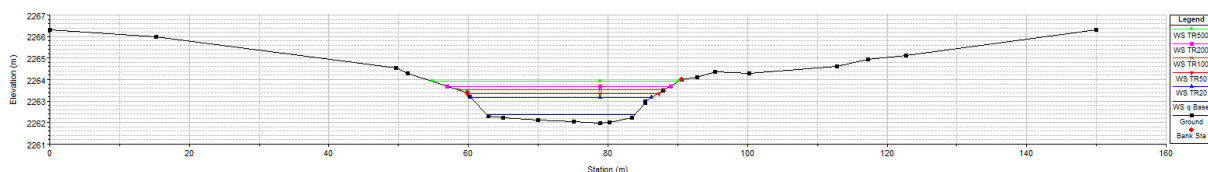


Gráfico 020. Sección 06 – 4+300.

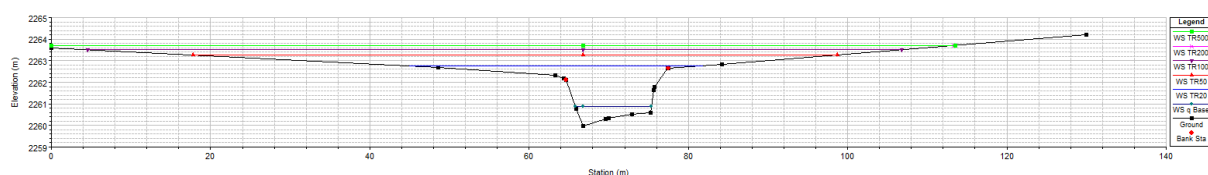


Gráfico 021. Sección 07 – 4+200.

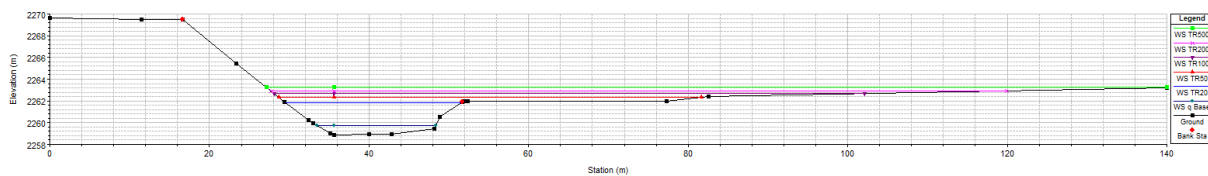


Gráfico 022. Sección 08 – 4+050.

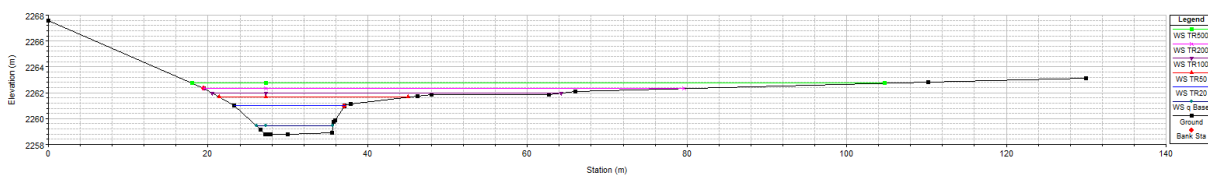


Gráfico 023. Sección 09 – 4+000.

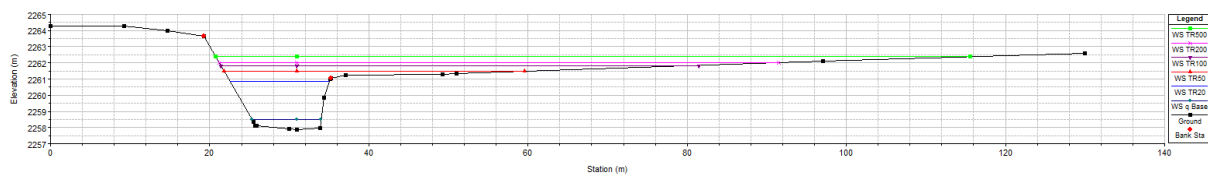


Gráfico 024. Sección 10 – 3+900.

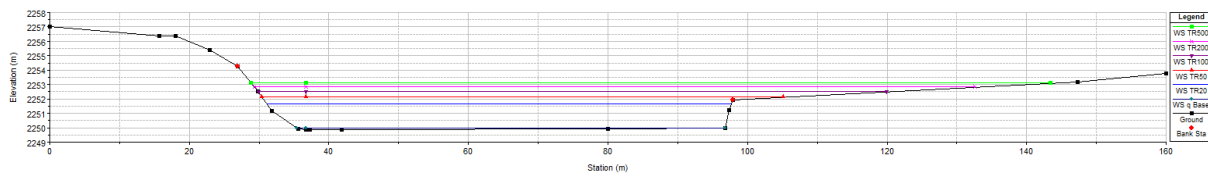


Gráfico 025. Sección 11 – 2+950.

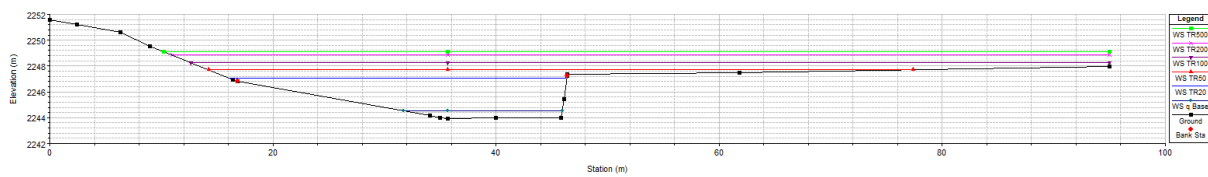


Gráfico 026. Sección 12 – 2+200.

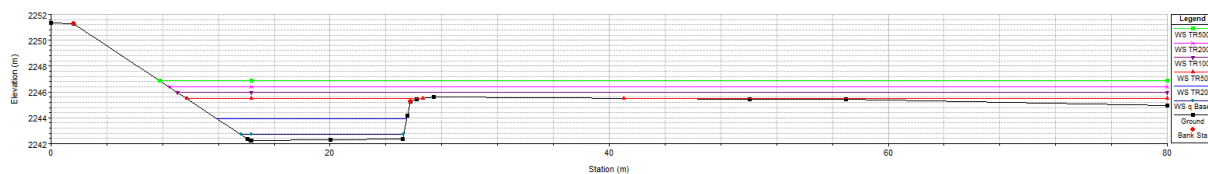


Gráfico 027. Sección 13 – 1+900.

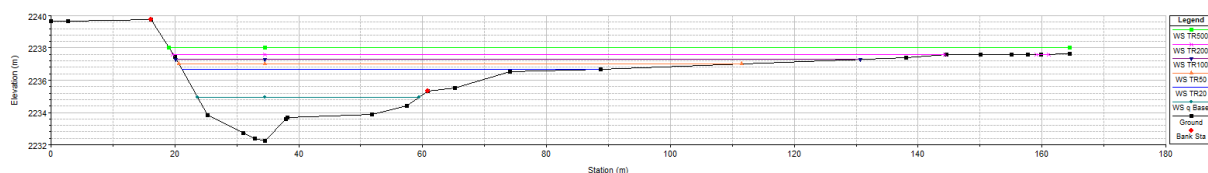


Gráfico 028. Sección 14 – 0+650.

Finalmente, para lograr identificar la cantidad de área afectada, se exportan los resultados de la simulación de Iber mediante un formato ASCII para su posterior lectura en el SIG ARGGIS, esto con el fin de identificar la cantidad de áreas afectadas ante precipitaciones con diferentes periodos de retorno.

Finalmente, se obtienen las áreas inundadas en cada comunidad por las cuales pasa el río Chotano, estos resultados se muestran en las Tablas 18, 19, 20, 21 y 22.

TR= 20 AÑOS	AREA INUNDADA (m2)
AYGASBAMBA	15432.81
LA IRACA	4426.40
TORIL	7883.33
PINGOBAMBA	71167.35
CHORORCO	87130.08
TOTAL	186039.98

Tabla 018. Áreas inundadas por comunidades, Tr = 20 años.

TR= 50 AÑOS	AREA INUNDADA
	(m2)
AYGASBAMBA	22947.16
LA IRACA	10298.25
TORIL	11238.41
PINGOBAMBA	90207.76
CHORORCO	132238.10
TOTAL	266929.68

Tabla 019. Áreas inundadas por comunidades, Tr = 50 años.

TR= 100 AÑOS	AREA INUNDADA
	(m2)
AYGASBAMBA	27633.08
LA IRACA	14583.10
TORIL	11937.09
PINGOBAMBA	103256.78
CHORORCO	172630.42
TOTAL	330040.48

Tabla 020. Áreas inundadas por comunidades, Tr = 100 años.

TR= 200 AÑOS	AREA INUNDADA
	(m2)
AYGASBAMBA	32412.40
LA IRACA	18411.66
TORIL	12877.99
PINGOBAMBA	116005.90
CHORORCO	198501.84
TOTAL	378209.78

Tabla 021. Áreas inundadas por comunidades, Tr = 200 años.

TR= 500 AÑOS	AREA INUNDADA
	(m2)
AYGASBAMBA	42794.34
LA IRACA	21943.72
TORIL	14513.94
PINGOBAMBA	128453.14
CHORORCO	225167.40
TOTAL	432872.55

Tabla 022. Áreas inundadas por comunidades, Tr = 500 años.

4.6. Discusión

En el presente desarrollo de esta investigación, se tuvo en cuenta los antecedentes de inundación antes mencionados, por tal razón, se optó por analizar todo el tramo del río Chotano en conjunto. Los resultados que se han obtenido en esta investigación se procederán a interpretar correctamente, siendo estos resultados del análisis de cuenca aportante, análisis de precipitaciones y las modelaciones tanto en HEC –HMS como en Iber.

Cuenca Aportante

El análisis de cuenca nos dio como resultado diferentes factores propios de esta cuenca (Tabla 05). El análisis de cuenca tuvo como punto de aforo el inicio de la zona de inundación, es por eso que se necesita realizar un análisis previo como cuenca aportante de la zona de inundación, de esta manera se obtendrán los datos de caudales con la ayuda de los parámetros obtenidos en el análisis.

Los parámetros son:

Área: siendo esta de 125.32 km², según indica [16], una cuenca es considerada grande cuando su área es mayor a 250 km², pero si el área es menor, se considera cuenca pequeña. Por tal razón, la cuenca aportante de esta investigación es una Cuenca Pequeña según su área.

Pendiente media de la cuenca: según D.S. N° 017-2009-AG, la pendiente de la cuenca de 23.83% está en la descripción de Moderadamente Empinado.

Pendiente media del cauce principal: según D.S. N° 017-2009-AG, la pendiente de la cuenca de 5,62% está en la descripción de Moderadamente Inclinado.

Coeficiente de compacidad o Índice de Gravelius: el valor de este parámetro es de 1.98, según [16], lo cual nos indica que para una cuenca alargada se espera que sea mayor a 1, la cuenca aportante presenta esta característica.

Factor de forma: el valor es de 1.65, este valor de factor de forma nos indica que es una cuenca rectangular oblonga.

Tiempo de concentración: el tiempo de concentración es la simulación del tiempo de recorrido de una gota de agua desde la zona más alejada de la cuenca hasta el punto de aforo, para el caso de la cuenca aportante de esta investigación de 1.88 horas.

Precipitaciones

Debido a la falta de datos que presentaba la Estación Chota, se obtuvo por completar dichos datos mediante una regresión potencial, esto debido a que el análisis para completar datos se usaron otros dos métodos más, Regresión lineal y exponencial, los cuales no fueron aptos debido a que el factor de correlación de la Regresión potencial se acercaba más a 1.

Por otro lado, para poder realizar la estimación de las precipitaciones para los periodos de retornos estudiados, se usó el método de distribuciones teóricas LogNormal de 3 Parámetros, esto debido a que se ajustaba más a los datos que tenía la Estación Chota, se mostró con la ayuda de la prueba de Kolmogorov – Smirnov, el cual indica que el menor valor de D es el correcto, siendo de 0.1510.

Para poder realizar las curvas IDF, se identificó la ecuación del modelo general de intensidad, según [17], esta ecuación se elabora con el fin de evitar la lectura de intensidades de lluvia de diseño en una gráfica. Debido a que en el país cuenta con escasa información pluviográfica, se obtuvo en cuenta las precipitaciones máximas de la Estación Chota. Finalmente, la con la ayuda de la ecuación para obtener las curvas IDF se logró identificar al hidrograma de diseño que posteriormente fue llevado al modelo matemático Hec-Hms.

Modelación

Para realizar la modelación en hec –hms, se tuvo en cuenta parámetros de cuenca (Tabla 05), fueron ingresados junto con el hietograma para cada periodo de retorno con el fin de obtener el caudal máximo correspondiente. Posteriormente el caudal fue ingresado en Iber para obtener las zonas de inundación, para ello se tuvo en cuenta estructuras tales como puentes, los cuales no se ven afectados debido a que el tirante está por debajo de la parte inferior del tablero del puente.

Con la ayuda del SIG ArcGis se exportaron la topografía y las condiciones de rugosidades a Iber, así mismo, se ingresó los caudales correspondientes para la evaluación de cada periodo de retorno. El comportamiento del río y las zonas inundadas se muestran en las Imágenes 06, 07, 08, 09, y 10, también la altura del agua para cada caudal máximo se muestra en las gráficas de las secciones transversales.

Las zonas de inundación afectan a terreno de cultivo y a viviendas que se encuentran cercanas al río Chotano, las más afectadas son las zonas de cultivo y los productos que se encuentran ahí, por lo general el producto más afectado es el maíz amiláceo en cultivo conjunto con el frijol.

Para un análisis con un periodo de retorno de 20 años se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 23):

En la comunidad de Aygasbamba, del 100% del área inundada, el 78% es área de cultivo, el 10% son viviendas y el 12% son zonas que se encuentran en las franjas del río.

En La Iraca no se presentan viviendas afectas, por otro lado, las áreas que son afectadas con de cultivos o aledañas al río que representan el 54% y 46% respectivamente.

En Toril, la mayor cantidad de daño es para las zonas de cultivo el cual es un 92% del área inundada en la comunidad y un 8% para zonas aledañas.

La comunidad de Pingobamba es la segunda comunidad con mayor inundación, el 10% de la zona de inundación son viviendas, el 80% son áreas de cultivos y el 10% son zonas que se encuentran cerca del río.

En Chororco se encuentra la mayor cantidad de área inundada, el 80% son áreas de cultivo, el 10% son viviendas, el 10% son zonas aledañas al río y en las cuales se encuentra parte de la vía de acceso al Colegio Experimental Agropecuario de Chota y al Instituto Tecnológico de Chota.

TR 20 AÑOS	AYGASBAMBA	LA IRACA	TORIL	PINGOBAMBA	CHORORCO
Zonas aledañas o franjas	12%	46%	8%	10%	10%
Viviendas	10%	0%	0%	10%	10%
Pastizales y Cultivos	78%	54%	92%	80%	80%
ÁREA TOTAL INUNDADA	100%	100%	100%	100%	100%

Tabla 023. Porcentaje de zonas afectadas ante un periodo de retorno de 20 años.

Para un periodo de retorno de 50 años se obtienen los siguientes resultados (Tabla 24):

En Aygasbamba, aproximadamente el 7% de la zona de inundación son viviendas, en la que se incluye la I. E. INICIAL N° 399 que se ve afectada en una posible avenida. También, se observa que el 85% de las áreas inundadas son áreas de cultivo que su mayor producción es maíz amiláceo. El 7 % restante son áreas que se encuentran aledañas al río.

La Iraca es la comunidad con menor afectación a causa de una posible inundación, al igual que en las demás comunidades, las zonas más afectadas son terrenos de cultivo de frejol, maíz amiláceo y maíz choclo que representa un 80% del área de inundación en esta comunidad y el 20% son zonas aledañas al río.

En la comunidad de Toril, en su mayoría las zonas afectadas por inundación son terrenos de cultivo en el cual su mayor producción es el maíz amiláceo. El 20% de área inundada son áreas aledañas al río. Por otro lado, no se presentan viviendas afectadas.

En Pingobamba, al igual que en Toril, la mayor cantidad de zona afectada en la inundación es terrenos de cultivos, aproximadamente 3 lotes de viviendas son afectadas, por otro lado, es la segunda comunidad más afectada frente a posibles inundaciones. La mayor producción afectada es el maíz, ya sea amiláceo y choclo, hasta un 84% del área inundada don cultivos. El 8% son zonas que se encuentran aledañas al río y el 8% son viviendas que se encuentran cerca. Por otro lado, la vía que conecta al distrito de Chota con el túnel Conchano se ven afectadas, esto sucede a unos 200 metros aguas arriba de la unión del río Doñana al río Chotano.

La comunidad de Chororco es la que posee mayor cantidad de zonas afectadas ante una inundación, aproximadamente el 7% de estas zonas son vivienda, el 7% son zonas aledañas al

río y el 86% son zonas de producción de cultivos o animales. Por otro lado, afecta la vía de acceso al Colegio Experimental Agropecuario de Chota y al Instituto Tecnológico de Chota, así mismo afecta zonas pertenecientes a estas instituciones en las cuales se realizan actividades académicas relacionadas a lo agropecuario.

TR 50 AÑOS	AYGASBAMBA	LA IRACA	TORIL	PINGOBAMBA	CHORORCO
Zonas aledañas o franjas	8%	20%	6%	8%	7%
Viviendas	7%	0%	0%	8%	7%
Pastizales y Cultivos	85%	80%	94%	84%	86%
ÁREA TOTAL INUNDADA	100%	100%	100%	100%	100%

Tabla 024. Porcentaje de zonas afectadas ante un periodo de retorno de 50 años

Para el periodo de retorno de 100 años la cantidad de áreas de cultivo aumenta y se muestran en los siguientes resultados (Tabla 25):

En la comunidad de Aygasbamba el 88% de las zonas inundadas son áreas de cultivo, el 5% son zonas en las cuales hay viviendas y el 7% son zonas aledañas al río que se ven afectadas ante una inundación. Al igual que en el periodo de retorno de 50 años se ve afectado la I. E. INICIAL N° 399.

En La Iraca las zonas de cultivo afectadas aumentan, las cuales son un 86% del total de área inundada en dicha comunidad, por otro lado, no presenta viviendas inundadas. El 14% son zonas aledañas al río.

La comunidad de Toril presentaría, del total de la zona de inundación, el 95% son zonas agrícolas y el 5% son áreas cercanas al río. No presenta viviendas inundadas.

Pingobamba, siendo una de las comunidades más afectadas, el 86% del área inundada son cultivos, pero el 7% son viviendas aledañas y el otro 7% son zonas aledañas al río. También, al igual que en el periodo de retorno de 50 años se ve afectada la vía que conecta Chota con el Túnel Conchado y varias comunidades cercanas.

Chororco posee, de toda la zona de inundación, 90% de áreas de cultivo, el 5% son de viviendas y el 5% zonas aledañas al río. También, afecta la vía de acceso al Colegio Experimental Agropecuario de Chota y al Instituto Tecnológico de Chota.

TR 100 AÑOS	AYGASBAMBA	LA IRACA	TORIL	PINGOBAMBA	CHORORCO
Zonas aledañas o franjas	7%	14%	6%	7%	5%
Viviendas	5%	0%	0%	7%	5%
Pastizales y Cultivos	88%	86%	94%	86%	90%
ÁREA TOTAL INUNDADA	100%	100%	100%	100%	100%

Tabla 025. Porcentaje de zonas afectadas ante un periodo de retorno de 100 años

En un periodo de retorno de 200 años se muestran los siguientes resultados (Tabla 26):

En la comunidad de Aygasbamba, del total del área inundada, el 90% son áreas de cultivo, el 5% son viviendas y el otro 5% es de las zonas aledañas al río. También se ve afectada la I. E. INICIAL N° 399 en mayor medida.

La Iraca aumenta su cantidad de zonas de cultivo afectadas, siendo el 89% del total de las zonas inundada en dicha comunidad, 11% restante son zonas aledañas al río.

En Toril solo se muestra que se han afectado áreas agrícolas y áreas aledañas al río, siendo 95% y 5% respectivamente del total de la zona inundada en esa comunidad.

Pingobamba presenta, de todas las zonas de inundación en la comunidad, el 88% son áreas que se usan para el cultivo, el 6% son de las viviendas que se encuentran cerca del río y el restante 6% de las zonas aledañas. También, afecta la vía que conecta Chota con el Túnel Conchano y comunidades cercanas.

En Chororco se sigue presentando el problema del acceso a Colegio Experimental Agropecuario de Chota y al Instituto Tecnológico de Chota y, por otro lado, presenta un 90% de áreas de cultivo afectadas, 5% de viviendas cercanas y el 5% de las zonas aledañas al río del total del área inundada en dicha comunidad.

TR 200 AÑOS	AYGASBAMBA	LA IRACA	TORIL	PINGOBAMBA	CHORORCO
Zonas aledañas o franjas	6%	11%	5%	6%	5%
Viviendas	5%	0%	0%	6%	5%
Pastizales y Cultivos	90%	89%	95%	88%	90%
ÁREA TOTAL INUNDADA	100%	100%	100%	100%	100%

Tabla 026. Porcentaje de zonas afectadas ante un periodo de retorno de 200 años

Finalmente, para un periodo de retorno de 500, es donde se identifica mayor cantidad de zona inundadas, siendo las siguientes (Tabla 27):

Aygasbamba presenta la inundación de la I. E. INICIAL N° 399 con mayor altura de agua. Por otro lado, las zonas de cultivo son 92%, las viviendas son 4% y el 4% son zonas aledañas al río, todo esto del total de área inundada.

La comunidad de La Iraca no presenta daños en las viviendas, pero las zonas de cultivo son el 91% de toda la inundación en dicha comunidad, el 9 % restante son zonas aledañas al río.

Al igual que La Iraca, Toril no posee viviendas afectadas, pero tiene áreas que son usadas en la agricultura, siendo el 91% del área total inundada y el 9% son parte de las franjas del río.

Pingobamba aumenta el daño a las áreas de cultivos, siendo 89% del total de inundación en la comunidad, el 5% es de viviendas y el 6% es de áreas de las franjas del río. Al igual que los periodos de retornos anteriores, afecta la vía de Chota – Túnel Conchano.

En Chororco el 92% son zonas que se usan para las actividades agrícolas, el 4% son viviendas que se afectarían y el 4% son zonas aledañas al río. También el acceso Colegio Experimental Agropecuario de Chota y al Instituto Tecnológico de Chota sigue siendo afectado al igual que los periodos de retorno anteriores.

TR 500 AÑOS	AYGASBAMBA	LA IRACA	TORIL	PINGOBAMBA	CHORORCO
Zonas aledañas o franjas	4%	9%	5%	6%	4%
Viviendas	4%	0%	0%	5%	4%
Pastizales y Cultivos	92%	91%	95%	89%	92%
ÁREA TOTAL INUNDADA	100%	100%	100%	100%	100%

Tabla 027. Porcentaje de zonas afectadas ante un periodo de retorno de 500 años

A partir de la identificación del tipo de áreas inundadas, se puede predecir los daños económicos que representarían cada tiempo de retorno en cada comunidad. Según indica la Agencia Agraria - Chota, se practica el cultivo conjunto de maíz amiláceo/Choclo con el frejol, el cual prosee una producción en maíz de 1500 kg/ha y en frejol 180 kg/ha, así mismo, indica que los precios por kilos son de 1.60 y 2.70 Nuevos soles respectivamente. Los daños económicos son los siguientes (Tabla 28):

<u>TR 20 AÑOS</u>	<u>AYGASBAMBA</u>	<u>LA IRACA</u>	<u>TORIL</u>	<u>PINGOBAMBA</u>	<u>CHORORCO</u>
Área total de cultivo Inundada (ha)	1.21	0.24	0.72	5.67	6.85
Maíz amiláceo / choclo (kg)	1812.57	358.70	1082.58	8500.14	10269.31
Frejol (kg)	217.51	43.04	129.91	1020.02	1232.32
PÉRDIDA ECONÓMICA					
Maíz amiláceo / choclo (Nuevos Soles)	2900.12	573.92	1732.13	13600.22	16430.90
Frejol (Nuevos Soles)	587.27	116.22	350.76	2754.04	3327.26
TOTAL	3487.39	690.14	2082.89	16354.26	19758.15

<u>TR 50 AÑOS</u>	<u>AYGASBAMBA</u>	<u>LA IRACA</u>	<u>TORIL</u>	<u>PINGOBAMBA</u>	<u>CHORORCO</u>
Área total de cultivo Inundada (ha)	1.96	0.83	1.06	7.57	11.36
Maíz amiláceo / choclo (kg)	2939.73	1239.48	1585.84	11356.20	17035.51
Frejol (kg)	352.77	148.74	190.30	1362.74	2044.26
PÉRDIDA ECONÓMICA					
Maíz amiláceo / choclo (Nuevos Soles)	4703.56	1983.17	2537.35	18169.92	27256.82
Frejol (Nuevos Soles)	952.47	401.59	513.81	3679.41	5519.51
TOTAL	5656.03	2384.76	3051.16	21849.32	32776.33
PÉRDIDA ECONÓMICA					
<u>TR 100 AÑOS</u>	<u>AYGASBAMBA</u>	<u>LA IRACA</u>	<u>TORIL</u>	<u>PINGOBAMBA</u>	<u>CHORORCO</u>
Área total de cultivo Inundada (ha)	2.43	1.25	1.13	8.88	15.40
Maíz amiláceo / choclo (kg)	3642.62	1882.21	1690.65	13313.55	23094.36
Frejol (kg)	437.11	225.86	202.88	1597.63	2771.32
PÉRDIDA ECONÓMICA					
Maíz amiláceo / choclo (Nuevos Soles)	5828.18	3011.53	2705.03	21301.68	36950.98
Frejol (Nuevos Soles)	1180.21	609.84	547.77	4313.59	7482.57
TOTAL	7008.39	3621.37	3252.80	25615.27	44433.55
PÉRDIDA ECONÓMICA					
<u>TR 200 AÑOS</u>	<u>AYGASBAMBA</u>	<u>LA IRACA</u>	<u>TORIL</u>	<u>PINGOBAMBA</u>	<u>CHORORCO</u>
Área total de cultivo Inundada (ha)	2.91	1.64	1.22	10.15	17.98
Maíz amiláceo / choclo (kg)	4359.51	2456.49	1831.78	15225.92	26975.07
Frejol (kg)	523.14	294.78	219.81	1827.11	3237.01

PÉRDIDA ECONÓMICA					
Maíz amiláceo / choclo (Nuevos Soles)	6975.22	3930.39	2930.85	24361.47	43160.12
Frejol (Nuevos Soles)	1412.48	795.90	593.50	4933.20	8739.92
TOTAL	8387.70	4726.29	3524.34	29294.67	51900.04
<u>TR 500 AÑOS</u>	<u>AYGASBAMBA</u>	<u>LA IRACA</u>	<u>TORIL</u>	<u>PINGOBAMBA</u>	<u>CHORORCO</u>
Área total de cultivo Inundada (ha)	3.94	1.99	1.38	11.40	20.65
Maíz amiláceo / choclo (kg)	5916.80	2986.30	2077.17	17093.00	30974.91
Frejol (kg)	710.02	358.36	249.26	2051.16	3716.99
PÉRDIDA ECONÓMICA					
Maíz amiláceo / choclo (Nuevos Soles)	9466.89	4778.08	3323.48	27348.81	49559.85
Frejol (Nuevos Soles)	1917.04	967.56	673.00	5538.13	10035.87
TOTAL	11383.93	5745.64	3996.48	32886.94	59595.72

Tabla 028. Pérdida económica ante inundación para periodo de retorno de 20, 50, 100, 200 y 500 años.

Las comunidades que se ven mayormente afectadas son Pingobamba y Chororco, teniendo perdidas que van desde los 16000 y 19000 Nuevos Soles hasta los 32000 y 60000 Nuevos soles respectivamente.

4.7. Propuesta

Debido a que se ha mostrado que ante periodos de retorno como lo son de 20 años y 50 años hay inundación, se requiere una alternativa de solución, esto debido a que varias hectáreas de cultivo son afectadas, así mismo existe erosión de en ambos márgenes del río, es por este motivo que es necesario usar Gaviones para evitar la erosión y la inundación. Estas estructuras se proponen se ubicadas en algunas zonas a un solo margen del río debido a la misma topografía

del margen derecho evita la inundación. Por tal motivo se indica la construcción de 3.21 km de gaviones en el margen derecho y 4.15 km en el margen izquierdo, dando un total de 7.36 km.

Para cada comunidad hay una determinada longitud de defensa ribereña, para Aygasbamba son 0.56 km, para La Iraca es de 0.75 km, a Toril le corresponde 0.39 km, para Pingobamba 2.06 km y finalmente para Chororco 3.60 km.

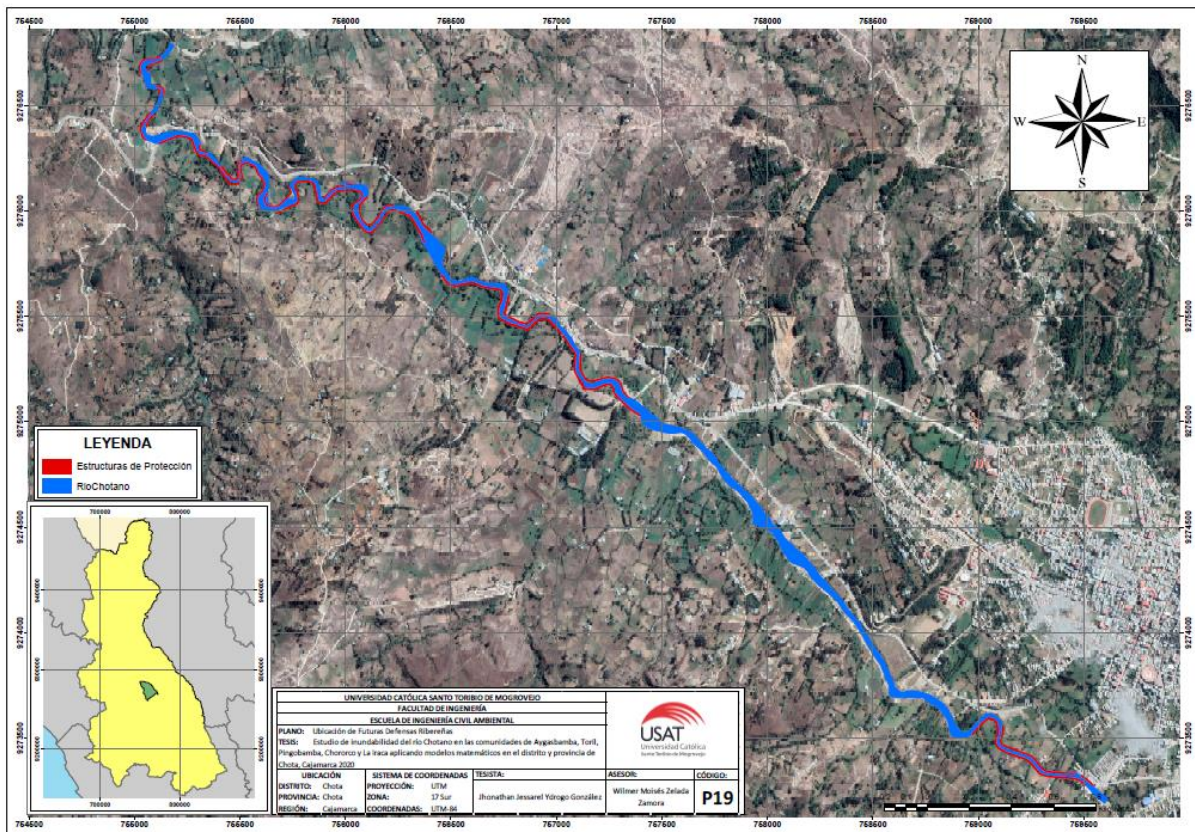


Imagen 012. Propuesta de Ubicación de defensas ribereñas.

V. CONCLUSIONES

Al concluir con esta investigación realizado al río Chotano que pasa por las comunidades de Aygasbamba, Toril, Pingobamba, Chororco y La Iraca, se pudo obtener las siguientes conclusiones:

Las características geomorfológicas de la cuenca aportante se obtuvo a partir del DEM proporcionado con el satélite de la NASA y con el SIG ArcGis, las características más resaltantes es el área siendo igual a 125.32 km² siendo clasificada con una cuenca pequeña, la pendiente media de la cuenca es 23.83% considerada como moderadamente empinada, la pendiente del cauce es 5.62% considerado como moderadamente inclinado, el coeficiente de compacidad o Índice de Gravelius es de 1.98 lo cual no indica es que una cuenca alargada, el factor de forma es de 1.65 y nos indica que es una cuenca rectangular oblonga y el tiempo de concentración es de 113 minutos.

Con el proceso hidrológico y con el modelo matemático HEC-HMS haciendo uso del método de SCS se obtuvo caudales máximos y el hidrograma de diseño para los periodos de retorno de 20, 50, 100, 200 y 500 años, siendo estos 99.6 m³/s, 132.1 m³/s, 161.5 m³/s, 195.5 m³/s y 248.6 m³/s respectivamente.

El modelamiento hidráulico se hizo con el modelo matemático IBER. Con ArcGis se logró exportar el DEM de la zona de investigación a través de un archivo ASCII, lo mismo ocurrió para las rugosidades de Manning que se encuentran en la zona de estudio, estas rugosidades fueron considerados según la base de datos de IBER y se tuvo en cuenta según las características de las zonas, las cuales son praderas, suelo desnudo, zonas urbanas y río, teniendo valores de 0.05, 0.023, 0.15 y 0.025 respectivamente, dicho modelo fue para cada periodo de retorno, los cuales mostraron diferentes alturas que puede llegar el agua.

En los mapas de inundación de la zona de estudio se obtuvo como resultados un total de 18.604 ha. de zona inundada para un periodo de retorno de 20 años, para un periodo de retorno de 50 años se tuvo 26.693 ha. de zona afectada, para un periodo de retorno de 100 años el valor de la cantidad de zonas afectas es de 33.004 ha, 37.821 ha. fue la cantidad del área de zonas afectadas para un periodo de retorno de 200 años, finalmente, para un periodo de retorno de 500 años el área afectada es de 43.287 ha. Las zonas que más se afectan en los diferentes periodos de retorno son áreas de uso agrícola el cual tiene una mayor producción de maíz amiláceo/choclo y frijol, esto debido a una producción conjunta debido a que pueden cultivarse en la misma área. Teniendo en cuenta esto, los daños económicos van desde 700 hasta 20000

Nuevos Soles en un periodo de retorno de 20 años, resaltando que son comunidades que se dedican a la agricultura, esta pérdida es un gran golpe a la economía de los pobladores.

Para el tipo de protección se tuvo en cuenta el caudal que se generó a partir de un tiempo de retorno de 50 años siendo 132.1 m³/s, el tipo de protección es gaviones con el fin de evitar un posible desborde y erosión del río Chotano, se tendrá entonces un total de 7.36 km de estructura de defensa, siendo 4.15 km para el margen izquierdo y 3.21 km para el margen derecho. Para cada comunidad hay una determinada longitud de defensa ribereña, para Aygasbamba son 0.56 km, para La Iraca es de 0.75 km, a Toril le corresponde 0.39 km, para Pingobamba 2.06 km y finalmente para Chororco 3.60 km.

VI. RECOMENDACIONES

Para poder realizar la identificación de las características geomorfológicas de una cuenca, se recomienda el uso de DEM con buena resolución y de una fuente adecuada, debido a que existen DEM con imperfecciones a causa de malas condiciones climáticas en la zona. Por tal razón ALOS PALSAR DEM es uno de estos recursos que corrigen estas imperfecciones para lograr una mayor exactitud para realizar el análisis a una cuenca.

La obtención de caudales a partir de precipitaciones es uno de los métodos más usados, por tal razón es recomendable la implementación de pluviógrafo en zonas donde haya antecedentes de daños por inundación. Actualmente se obtiene caudales por medio de precipitaciones máxima en 24 horas lo cual no refleja el verdadero comportamiento de una tormenta.

Para poder realizar un correcto modelamiento hidráulico, se debe obtener DEM de alta resolución, esto se puede lograr con la ayuda de un levantamiento topográfico convencional o incluso con levantamiento usando un dron. De esta forma, el comportamiento del río será mucho más real y nos dará mayor exactitud que el uso de los DEM satelitales.

Los mapas de inundación son muy necesarios para poder identificar zonas en peligro ante una avenida, con el fin de estar preparados frente a futuros problemas de este tipo. Por tal, se recomienda la difusión de los mapas de esta investigación para dar a conocer las zonas vulnerables y su futuro uso para la construcción de una estructura que proteja las zonas afectadas y encausar el río Chotano.

Para poder realizar una adecuada implementación de protección ante inundación, es necesario realizar un Estudio de Mecánica de Suelos, con el fin de conocer las características físicas y mecánicas del suelo que se encuentra en el río y cercano a este. Por otro lado, se tiene que tener en cuenta de no afectar los terrenos agrícolas que se encuentran cercanas, porque la agricultura es la principal fuente de ingresos en dichas comunidades y representaría una gran pérdida económica a las familias propietarias que se dedican a esta actividad.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. Herrera, «LA IMPORTANCIA DE LOS ESTUDIOS DE INUNDABILIDAD,» *Green Globe*, 2016.
- [2] INDECI, *ESTADO SITUACIONAL DE LA EMERGENCIA*, Chota: Ministerio de Defensa, 2015.
- [3] Autoridad Nacional del Agua, *Distritos Expuestos a Inundaciones*, Ministerio de Agricultura y Riego, 2016.
- [4] C. A. Cerdán Moreno, *Estudio de la Evaluación de Riengo de Desastres y Vulnerabilidad al Cambio Climático*, Cajamarca: Gobierno Regional de Cajamarca, 2018.
- [5] J. Z. Chagua Cierito, "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, Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2018.
- [6] M. E. Juarez Suarez y J. C. Rodriguez Perez, *EVALUACIÓN HIDRÁULICA DEL RÍO MOCHE TRAMO PUENTE DE FIERRO, LONGITUD 1 KM.*, Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego, 2017.
- [7] S. L. Basso Báez, *MODELACIÓN DE INUNDACIONES GENERADAS POR CRECIDAS DEL RÍO BLANCO EN LA LOCALIDAD DE CHAITÉN, POST EVENTOS DEL 2008*, Valdivia: Universidad Austral de Chile, 2017.
- [8] J. Rodríguez Contreras, *ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DEL CAUCE DEL RÍO ANTAS EN SU TRAMO DE DESEMBOCADURA CON EL MAR MEDITERRÁNEO*, Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena, 2014.
- [9] Autoridad Nacional del Agua, «AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.ana.gob.pe/>.
- [10] Ministerio de Agricultura, *LEY DE RECURSOS HÍDRICOS N° 29338*, Lima, 2019.
- [11] INDECI, *ACERCA DE INDECI*, Ministerio de Defensa, 2020.

- [12] A. Fernández Cirelli, «EL AGUA: UN RECURSO ESENCIAL,» *Redalyc*, pp. 148, 149, 2012.
- [13] S. Fattorello y P. Fernandez, *DISEÑO HIDROLOGICO*, Paris: WASA-GN, 2011.
- [14] W. Chereque Morán, *HIDROLOGÍA PARA ESTUDIANTES DE INGENIERÍA CIVIL*, Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 1989.
- [15] R. Villodas, *HIDROLOGÍA*, Mendoza: Universidad Nacional de Cuyo, 2008.
- [16] M. Villón Béjar, *HIDROLOGÍA*, Lima: Villón, 2002.
- [17] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, *MANUAL DE HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA Y DRENAJE*, Lima, 2011.
- [18] Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, FLUMEN y CIMNE, *IBER, MODELIZACIÓN BIDIMENSIONAL DEL FLUEJO EN LÁMINA LIBRE EN AGUAS POCO PROFUNDAS. MANUAL BÁSICO DE USUARIO*, 2010.

VIII. ANEXOS



Anexo 01. Desborde del río Chotano provocando daños en la carretera Chota-Túnel
Conchano, 2009.

Fuente: RTV2 CHOTA



Anexo 02. Inundación en zonas de cultivo y pastizales, 2009.

Fuente: RTV2 CHOTA



Anexo 03. Daño en áreas de cultivo 2010.

Fuente: RTV2 CHOTA



Anexo 04. Daño en animales vacunos 2010.

Fuente: RTV2 CHOTA

ZONAS	Población Damnificada y Afectada	Población según INEI	% Afectación
TOTAL	13.123	1.313.522	1,0%
CAJAMARCA	1.235	316.152	0,4%
SAN MARCOS	53	51.031	0,1%
CELENDIN	735	88.508	0,8%
CHOTA	3.043	160.447	1,9%
SAN PABLO	570	23.114	2,5%
JAEN	517	183.634	0,3%
HUALGAYOC	138	89.813	0,2%
SANTA CRUZ	280	43.856	0,6%
CONTUMAZA	3.442	31.369	11,0%
SAN MIGUEL	2.059	56.146	3,7%
CUTERVO	966	138.213	0,7%
SAN IGNACIO	85	131.239	0,1%

Anexo 05. Daños a la vida y salud, Cajamarca.

Fuente: INDECI

ZONAS	Viviendas destruidas y afectadas	Viviendas según INEI
TOTAL	2.843	390.510
CAJAMARCA	378	86.189
SAN MARCOS	15	17.717
CELENDIN	129	28.256
CHOTA	471	52.271
SAN PABLO	92	7.590
JAEN	211	50.523
HUALGAYOC	39	32.335
SANTA CRUZ	232	13.318
CONTUMAZA	714	11.419
SAN MIGUEL	393	19.321
CUTERVO	152	37.440
SAN IGNACIO	17	34.131

Anexo 06. Daño de viviendas afectadas y destruidas.

Fuente: INDECI

ZONAS	II.EE. AFECTADAS	II.EE. INHABITABLES	EE.SS. AFECTADOS	EE.SS. INHABITABLES
Total	94	8	19	2
CAJAMARCA	11	2	2	0
SAN MARCOS	0	0	0	0
CELENDIN	6	0	1	0
CHOTA	22	2	3	0
SAN PABLO	0	0	0	0
JAEN	4	0	3	0
HUALGAYOC	1	0	0	0
SANTA CRUZ	0	1	1	0
CONTUMAZA	24	1	2	0
SAN MIGUEL	16	2	7	2
CUTERVO	4	0	0	0
SAN IGNACIO	6	0	0	0

Anexo 07. Daños de instituciones educativas y establecimientos de salud.

Fuente: INDECI

COMUNIDAD	ÁREA DE PRODUCCIÓN (has)	Arveja G. Seco	Arveja G. Verde	Camote	Cebada	Frijol G.Seco	Frijol G. Verde	Maíz Amil	Maíz Choclo
PINGOBAMBA	44	5	2	2	1	4	2	20	8
CHORORCO	44	4	1	-	-	3	2	28	6
IRACA	23	3	1	-	-	3	2	8	6
TORIL	41	4	1	-	-	4	2	21	9
AYGASBAMBA	22	5	1	-	-	2	1	8	5
TOTAL	174	21	6	2	1	16	9	85	34

Anexo 08. Cuadro de cantidad de hectáreas de producción por producto.

Fuente: Agencia Agraria – Chota

Anexo 09. Planos de altura de agua y áreas inundadas para periodo de retorno de 20, 50, 100, 200 y 500 años.